



# Kankaan alueen aurinkokaavaselvitys

LOPPURAPORTTI 22.5.2013





# Kankaan alueen aurinkokaavaselvitys

## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	3
2	Aurinkosähköteknologiat rakennuksissa .....	4
2.1	Teknistoloudelliset reunaehdot .....	4
2.2	Tulevaisuuden näkymät .....	9
3	Aurinkoenergian optimaalinen hyödyntäminen Kankaan alueella .....	11
3.1	Laskentamenetelmä .....	11
3.2	Muutosehdotukset alkuperäiseen rakennemalliin .....	11
3.3	Korttelikohtaisen tuottoarviot .....	16
3.4	Aluekohtainen tuotto .....	17
3.5	Aurinkoenergian passiivisen hyödyntämisen huomioon ottaminen .....	20
4	Ehdotukset aurinkoenergian huomioon ottamiseksi aluesuunnittelussa .....	21
4.1	Kaavamääräykset .....	21
4.2	Rakentamistapaohjeet .....	24
4.3	Tontinluovutusehdot .....	25
5	Yhteenveto ja johtopäätökset .....	27
	Lähteet .....	30
	Liite 1: Aurinkosähkön tuotantoteknologioiden hyötysuhteiden kehittyminen .....	31
	Liite 2: Muutetun rakennemallin aksonometriat .....	32



# 1 Johdanto

Jyväskylän kaupunki on kehittämässä Kankaan alueesta edelläkävijäkaupunginosaa. Edelläkävijyydellä tarkoitetaan innovatiivisten ratkaisujen etsimistä työpaikkojen, palveluiden ja asumisen tukitoimintojen toteutukseen. Samalla tavoitellaan mm. alueen hiilijalanjäljen pienentämistä. Kankaan alueella on käynnissä Kytkin-projekti, jossa Jyväskylän kaupunki selvittelee aurinkosähkön hyödyntämistä yhdessä Jyväskylän Energia Oy:n kanssa. Kankaan alue on noin 50 hehtaarin alue Jyväskylän keskustan läheisyydessä, vanhan paperitehtaan alueella. Alueelle on tarkoitus sijoittaa seuraavien 15–30 vuoden aikana noin 5 000 asukasta ja 2 000 työpaikkaa. Alueen rakentamisen on tarkoitus käynnistyä vuonna 2014, jolloin ensimmäiset asukkaat voisivat muuttaa alueelle 2015–2016.

Aurinkoenergian käyttö painottuu Suomessa maalysyyskuun väliselle ajanjaksolle, jolloin vuotuisesta auringon säteilyenergiasta saadaan noin 90 %. Aluesuunnittelulla voidaan vaikuttaa oleellisesti hyödyksi saatavan auringonsäteilyn määrään. Aurinkokaavaselvityksen lähtökohtana on tasapainoinen ja omaleimainen kaupunkikuva Kankaan alueelle. Selvityksellä haetaan aurinkosähkön tuotantopotentiaalin optimaalista hyödyntämistä tulevaisuudessa, mm. rakennusten suuntausten, korkeus-asemien ja kattomuotojen osalta.

Aurinkosähkön tuotannon näkökulmasta alueen rakentaminen ajoittuu aurinkosähkön teknologian voimakkaan kehittymisen aikaan. Aurinkosähkötieteiden kehittymisellä tullaan vaikuttamaan eri komponenttien kustannuksiin, tuotannon hyötysuhteisiin sekä käytettävyyteen. Teknologian kehittyminen tulee mahdollistamaan aurinkosähkön uudentyyppisiä sovelluksia, esimerkiksi entistä monipuolisempia integrointimahdollisuuksia rakenteisiin.<sup>1</sup> Selvityksessä on otettu huomioon todennäköiset suuntaviivat aurinkosähkötieteiden kehittämisestä tulevaisuudessa. Pohjatietona on käytetty myös esiselvitystä Kankaan alueen tulevaisuuden energiaratkaisuista<sup>2</sup>.

Aurinkosähkötieteiden nykytilaa, hyödynnettävyyttä sekä tulevaisuuden näkymiä on kuvattu luvussa 2. Luvussa esiin nostettuja kirjallisuustietoja on täydennetty kotimaisten teknologiatoimittajien ja käyttäjien haastatteluilla. Laskentatulokset aurinkosähkön optimaalisista tuotantomahdollisuuksista on esitetty luvussa 3. Pelkästään tuotannon optimointiin perustuva kattopintojen suunnittelu saattaa olla kaupunkikuvallisesti haasteellista, teknisesti kallista toteuttaa käytännössä tai aiheuttaa korkeita huolto- ja ylläpitokustannuksia.

Lukuun 4 on koottu ehdotukset aurinkosähkön tuoton optimoimiseksi Kankaan alueella - sekä aluesuunnittelun yhteydessä yleisesti. Jyväskylän kaupunki omistaa 30 hehtaaria Kankaan alueen 50 hehtaarin kokonaisuudesta. Kaupungilla on täten käytettävissään sekä kaavoituksellisia, että tontinluovutusehtoihin liittyviä mahdollisuuksia ohjata rakentamista. Lisäksi kaupunki voi ohjata rakenta-

---

<sup>1</sup> Ks. esim. IEA World Energy Outlook 2012, IEA Technology Perspectives 2050, Campbell M., 2011, PV Power Plant Cost Trends, presentation to U.S. Department of Energy Balance of Systems (BOS) SunPower Workshop, January 13, 2011.

<sup>2</sup> FCG. 2012. Esiselvitys Kankaan alueen tulevaisuuden energiaratkaisuista – Aurinko- ja tuulienergian hyödyntämis-mahdollisuudet.



mista rakentamistapaohjeiden sitovien määräyksien tai suositusten ja ohjeiden kautta. Yleisesti ohjausvaikutukset pyritään pitämään mahdollistavina, siten että yksittäisillä vääriä valinnoilla ei suljeta pois tulevaisuudessa mahdollisesti järkeviä ratkaisuja<sup>3</sup>. Lisäksi määräys- ja suositusehdotusten laadinnassa on otettu huomioon vaikutukset alueen kilpailukykyyn mm. rakentamisen kustannusten ja houkuttelevuuden kannalta. Selvityksen yhteenveto ja johtopäätökset on esitetty luvussa 5.

## 2 Aurinkosähköteknologiat rakennuksissa

### 2.1 Teknistaloudelliset reunaehdot

Aurinkosähköä tuotetaan aurinkopaneeleilla, jotka muuntavat saapuvan auringon säteilyn sähköksi. Aurinkosähköntuotto on suoraan suhteessa paneelille saapuvaan auringon säteilymäärään. Yleisin aurinkopaneeleiden valmistusmateriaali on kiteinen pii. Yksi- ja monikiteisillä piikennoilla saavutetaan parempi hyötysuhde kuin uudemmissa ohutkalvo- ja nanokideteknologioilla. Kaupallisissa aurinkosähkösovelluksissa päästään kiteisen piin paneeleilla nykyään yleisesti 13–17 % hyötysuhteeseen, kun ohutkalvopaneeleiden kokonaishyötysuhde on luokkaa 8–11 %.<sup>4</sup>

Aurinkopaneeleilla hyödyksi saatavan sähkön määrään vaikuttavat paikallisen säteilymäärän lisäksi paneelien suuntaus ja valmistusteknologia sekä invertterin ja mahdollisen akuston latauksen hyötysuhde. Ohutkalvopaneeleilla pystytään keräämään hajasäteilyä hiukan tehokkaammin kuin kiteisen piin paneeleilla, mutta vaikutus on vuositasolla vähäinen. Ohutkalvopaneelit päästävät enemmän valoa lävitseen, jolloin auringonsäteilyä ei saada hyödynnettyä sähköntuotannossa yhtä paljon kuin kiteiseen piihin perustuvissa paneeleissa. Kiteisen piin kennot soveltuvat myös Suomen olosuhteisiin ohutkalvoteknologiaa paremmin, sillä viileä ilmasto parantaa kiteisestä piistä valmistettujen kennojen hyötysuhdetta suhteellisesti enemmän kuin ohutkalvokennojen<sup>5</sup>. Eri paneeliteknologioiden mitattujen hyötysuhteiden kehittyminen laboratorio-olosuhteissa on esitetty liitteessä 1<sup>6</sup>.

Aurinkopaneelien sijoittelussa on otettava huomioon rakennusten kattojen ja julkisivujen soveltuvuus paneeliasennuksiin. Esimerkiksi tasakattojen tapauksessa asennus tehdään pystytelineiden avulla, jotta paneelit voidaan sijoittaa optimaaliseen kallistuskulmaan (ks. kuva 1). Myös kattomateriaalilla ja kattojen rakenteella on merkitystä paneelien asennettavuuteen. Tärkein huomioon otettava asia on, että telineet saadaan kiinnitettyä tai niiden paino kohdistettua katon kantaviin rakenteisiin. Rakenteisiin kiinnitettyjen paneelijärjestelmien kuormitus kattoon on tavallisesti pieni.

Mikäli telineasennus toteutetaan betonilaatalla, tulee asennuskohdan kantavuus varmistaa. Järjestelmien painoa voidaan myös jakaa tarvittaessa suuremmalle pinta-alalle erilaisin ratkaisuin. Telineet

---

<sup>3</sup> Esimerkiksi Lylykangas, K., 2012. Ilmastotavoitteita toteuttava asemakaavoitus.

<sup>4</sup> Ks. esim. IRENA, 2012. Renewable energy technologies: cost analysis series. Solar Photovoltaics.

<sup>5</sup> Esimerkiksi Jyväskylässä ulkoilman keskilämpötila on 2,9 °C ja auringonsäteilyllä painotettu keskilämpötila on 11,4 °C. Tämä tarkoittaa, että koska valmistajien tulee ilmoittaa aurinkopaneeleiden hyötysuhde 25 °C:ssa (standardilämpötila), niin Jyväskylässä paneelien hyötysuhde on keskimäärin ilmoitettua korkeampi.

<sup>6</sup> National Renewable Energy Laboratory (NREL), [www.nrel.gov](http://www.nrel.gov). Viitattu 2.4.2013.

muodostavat tasakatoille myös lumiaitoja, joten mahdollisesti kerääntyvän lumen massa on myös otettava huomioon kuormien laskennassa. Käytännössä kaikki kattomateriaalit soveltuvat paneelien asennukseen, mikäli mahdolliset läpiviennit kosteussuojataan (tiivistetään) asianmukaisesti. Järjestelmätoteutusta suunniteltaessa on arvioitava myös paneelitelineisiin kohdistuva tuulikuorma. Mitä suurempi paneelien kallistuskulma on, sitä suurempi tuulikuorma telineisiin kohdistuu. Tuulikuorma vaikuttaa siihen, kuinka raskas betonilaatta tarvitaan tai vaihtoehtoisesti kuinka monta kiinnitystä katon kantaviin rakenteisiin tulee tehdä. Betonilaatta-asennuksissa investointikustannus on usein kattorakenteisiin kiinnitettävää järjestelmää edullisempi.



**Kuva 1.** Aurinkopaneelit asennettuna tasakatolle pystytelineisiin. Kuva: Finnwind Oy.

Mikäli asennukseen käytetään pystytelineitä, tulee ottaa huomioon etummaisen paneelirivistön varjostus takana oleville paneeleille. Nyrkkisäännön mukaan vaakatasossa mitattu etäisyys etummaisen paneelirivin yläosasta takana olevan paneelirivin etuosaan tulee olla 2,5 kertaa paneelin korkeus, mikäli paneelit on asennettu 30° kulmaan<sup>7</sup> (ks. kuva 2).

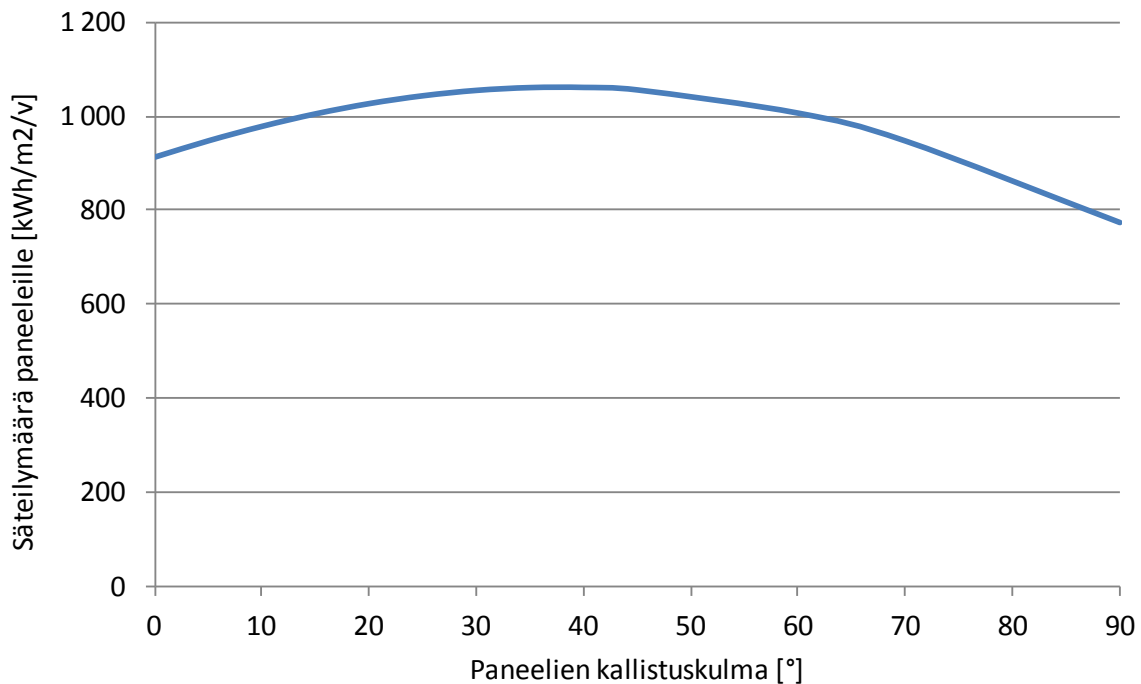


**Kuva 2.** Pystytelineisiin asennettujen aurinkopaneelien sijoittamisessa on otettava huomioon etummaisen paneelirivistön synnyttämä varjostus, jolloin paneelirivien väliin on jätettävä riittävästi tilaa.

Paneelit voidaan asentaa myös vaakatasoon, mutta tällöin paneeleille tulevan säteilyn määrä jää selvästi alhaisemmaksi, kuin 20–50° asennuskulmassa (ks. kuva 3). Heikon tuoton vuoksi paneeleita ei ole taloudellisesti kannattavaa asentaa tasakatolle vaakatasoon. Tämän vuoksi kyseinen asennus-

<sup>7</sup> Elforsk. 2011. Solceller i samhällsplanering.

vaihtoehto on suljettu myös tämän selvityksen myöhempien tarkastelujen ulkopuolelle. Pystysuora asennus (kallistuskulma 90°) on tuottomäärältään edelleen vaaka-asennusta heikompi, joten myös tämä vaihtoehto on rajattu jatkotarkastelujen ulkopuolelle.








**Kuva 3.** Paneelien kallistuskulman vaikutus paneeleille tulevalle auringon kokonaissäteilymäärälle Jyväskylässä<sup>8</sup>. Säteily määrä on laskettu siten, että paneelit on suunnattu kohti etelää (atsimuutti 0°). Mahdollisia varjostuksia ei ole otettu huomioon.

Taulukossa 1 on esitetty kattoprofiilin vaikutus aurinkopaneelien potentiaaliseen asennuspinta-alaan, vuotuisen sähköntuottoon sekä tuotantokustannuksiin Jyväskylän säävyöhykkeellä. Taulukosta nähdään, että parhaaseen tuottoon ja kustannustehokkuuteen päästään asentamalla paneelit 30–40° kulmaan harjakatolle. Katon suuntaisesti asennetut paneelit myös suojaavat katto kulumiselta.

<sup>8</sup> Auringon säteilytiedot: Ilmatieteen laitos, Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa.

**Taulukko 1.** Kattoprofiilin vaikutus aurinkopaneelien potentiaaliseen asennuspinta-alaan, vuotuisen sähköntuottoon sekä tuotantokustannuksiin Jyväskylässä.<sup>9</sup> Eri kattoprofiilien optimaaliset paneelipinta-alat on määritetty rakennukselle, jossa 20° pulpettikattoon voidaan asentaa 100 m<sup>2</sup> aurinkopaneeleita. Paneelit on oletettu suunnattavan etelään (atsimuutti 0°). Tuottoarviot ja kustannukset on laskettu vuonna 2013 kaupallisesti saatavilla olevien aurinkopaneelien perusteella<sup>10</sup>.

Katon muoto		Paneelien pinta-ala [m <sup>2</sup> ]	Tuotto [kWh/m <sup>2</sup> /v]	Tuotto [MWh/v]	Tuotantokustannus [€/MWh]
	40° symmetrinen harjakatto	61	159	9,7	154
	30° kaltevuussuhde 2:3	81	158	12,8	154
	20° pulpettikatto	100	154	15,4	159
	30° telineet tasakatolla	40	158	6,3	162
	Tasakatto	94	137	12,9	182

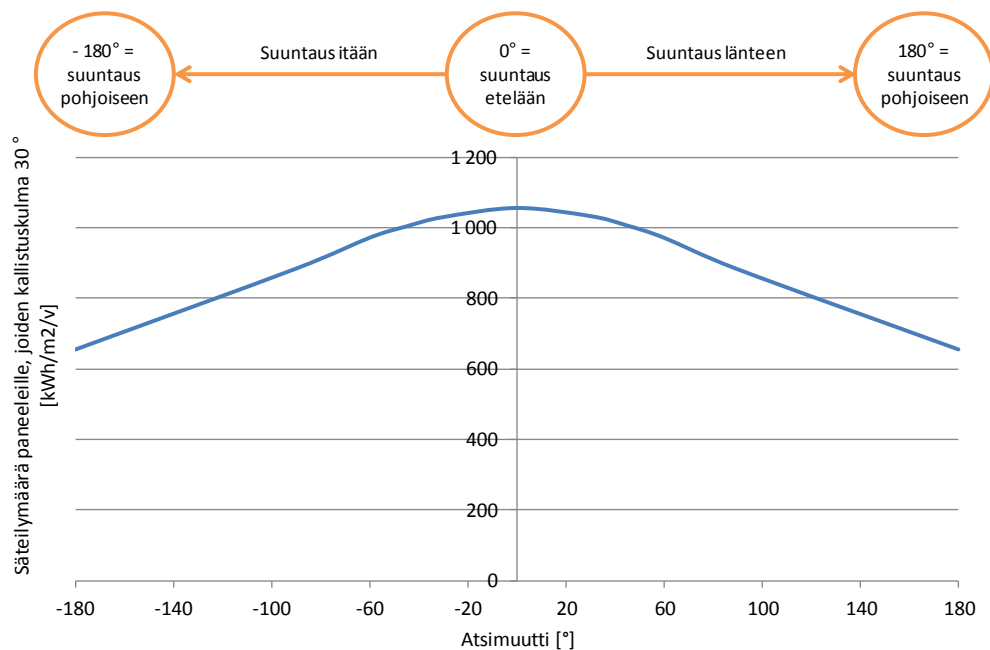
Asennuskulman lisäksi sähköntuottopotentiaaliin vaikuttaa paneelien suuntaus. Parhaisiin tuottomääriin päästään suuntaamalla paneelit kohti etelää. Kuvasta 4 nähdään, että suoraan etelään suunnatuille 30° kulmaan asennetuille paneeleille tulevan auringon kokonaissäteilyn määrä on Jyväskylässä noin 1 060 kWh/m<sup>2</sup>/v. Säteily määrä ylittää 1 000 kWh/m<sup>2</sup>/v vielä kaakkoon ja lounaaseen suunnatuilla paneeleilla optimaalisella asennuskulmalla.

<sup>9</sup> Lähde kattomuotojen vaikutuksesta paneelien pinta-alaan: Elforsk. 2011. Solceller i samhällsplanering.

<sup>10</sup> Tuotantomäärien laskennassa on oletettu, että 15 % paneeleille tulevasta auringonsäteilystä muutetaan sähköksi. Tuotantokustannus on laskettu siten, että kokonaisinvestointi on 2 €/Wp (Wp kuvastaa aurinkosähköpaneelin maksimituotantotehoa watteina). Mahdollisista pystytelineistä arvioidaan syntyvän 5 % lisäkustannus investointiin. Käyttöikä on laskennassa 25 vuotta ja korkokanta 5 %. Laskennassa ei ole otettu huomioon paneelien degradaatiota eikä invertterien uusimista, joka tulee tehdä noin 15 vuoden välein.







**Kuva 4.** Paneelien suuntauksen vaikutus paneeleille tulevalle auringon kokonaissäteilymäärälle Jyväskylässä<sup>11</sup>. Säteily määrä on laskettu siten, että paneelit on asennettu 30° kallistuskulmaan. Mahdollisia varjostuksia ei ole otettu huomioon.

Aurinkopaneelien tuotantoon vaikuttavat myös paneeleille saapuvaa säteilyä varjostavat rakenteet ja kasvillisuus. Varjostukset muuttuvat vuodenajan ja vuorokauden ajankohdan myötä aurinkonsäteilyn tulokulman muuttuessa. Kesäaikaan pääosa auringon tuotosta saadaan suhteellisen korkealta paistavasta auringosta verrattuna talveen, alkukevääseen ja loppusyksyyn, jolloin aurinko paistaa suhteellisen matalalta. Valtaosa aurinkosähkön tuotannosta ajoittuu touko–syyskuuhun, jona aikana varjostuksia pitäisi eritoten pyrkiä välttämään. Suomen oloissa paneeleita varjostavia tekijöitä tulee tarkastella suhteellisen laajalla alueella idästä etelän kautta länteen, osin riippuen paneelien suuntauksesta.

Lähtökohtaisesti paneelien tuotantoon vaikuttavat vain varjostuslähteet, jotka sijaitsevat paneeleita korkeammalla. Riittävänä etäisyytenä varjostuksen lähteen ja paneelien välillä voidaan pitää noin 5-kertaista eroa varjon lähteen korkeuden ja paneelien alapinnan välillä<sup>12</sup>.

Aurinkopaneelit eivät vaadi käytännössä lainkaan huoltoa<sup>13</sup>, sillä järjestelmät eivät sisällä liikkuvia osia eivätkä ne kulu helposti. Tästä syystä paneeleille luvataan usein jopa 25 vuoden tekninen takuu<sup>14</sup> ja käytännössä elinikä voi olla tätäkin korkeampi. Järjestelmään liitettävä invertteri tulee kui-

<sup>11</sup> Auringon säteilytiedot: Ilmatieteen laitos, Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa.

<sup>12</sup> Käyttäen samaa ohjesääntöä, joka on esitelty tasakatolle sijoitettavien paneelien yhteydessä (ks. kuva 2).

<sup>13</sup> Mahdolliset huoltotoimet liittyvät paneelien puhdistamiseen ja kunnon tarkastamiseen. Lian, puiden lehtien, lumen yms. puhdistamista ei kuitenkaan tarvitse tehdä säännöllisesti, mikäli paneelien kallistuskulma on riittävän suuri. Inverttereiden osalta ylläpitokustannuksia saattaa syntyä suurissa järjestelmissä mm. invertterin tuulettimen hihnan vaihtamisesta - joskaan tämäkään ei ole säännönmukaista.

<sup>14</sup> Tässä viitataan kiteisen piin paneeleihin; ohutkalvopaneelien takuu on useimmissa tapauksessa lyhyempi.



tenkin uusia noin 15 vuoden välein. Teknologiasta riippuen aurinkopaneelien hyötysuhde heikkenee iän myötä jonkin verran. Kiteisestä piistä valmistetut paneelit menettävät sähköntuotantokykyään arviolta puoli prosenttia vuodessa<sup>15</sup>. Ohutkalvopaneelien hyötysuhteen heikkeneminen on jonkin verran nopeampaa.

Aurinkopaneelien hinnat ovat viime vuosina laskeneet nopeasti. Tämän hetkinen hintataso asennettulle kiteiseen piihin perustuvalla aurinkosähköjärjestelmälle on luokkaa 2 000–3 300 €/kWp (alv 0 %). Teollisuuskokoluokan järjestelmissä voidaan päästä jo tämän hintatason alle. Yhden piikkikilowatin (kWp) järjestelmä vaatii arviolta 7–10 neliömetrin asennuspinta-alan, riippuen paneelin teknisistä ominaisuuksista. Asennustyön ja asennustarvikkeiden osuus etenkin pienissä järjestelmissä, jotka liitetään vaihtosähköverkkoon, voi kattaa kokonaisinvestoinnista jopa puolet. Isommissa, kymmenien kilowattien järjestelmissä paneelien osuus investoinnista on tavallisesti noin puolet. Noin 25 % kustannuksista aiheutuu invertterin ja muiden sähkökomponenttien hankinnasta ja loput 25 % asennuksesta ja asennustarvikkeista.<sup>16</sup>

Verkkoon liitetyn järjestelmän mitoitus on taloudellisinta tehdä siten, että tuotettu sähkö pystytään hyödyntämään mahdollisimman suurelta osin itse kohteessa, jolloin säästetään sekä sähkön siirtomaksuissa että energia- ja arvonlisäveroissa. Tällöin järjestelmän teho kannattaa mitoittaa vastaamaan kohteen pohjakuormaa, joka koostuu mm. ilmanvaihdon kuluttamasta sähköstä ja kodinkoneiden ja muiden elektroniikkalaitteiden lepokulutuksesta. Mikäli järjestelmä halutaan mitoittaa suuremmaksi, syötetään tuotettu ylijäämä sähköä hetkittäin sähköverkkoon tai varastoidaan paikalliseen akustoon tai sähköautojen akkuihin. Maksimimitoituksen reunaehtona voidaan pitää käytettävissä olevaa asennuspinta-alaa, johon paneelit voidaan kohteessa integroida. Tässä selvityksessä ei oteta kantaa rakennusten sähkönkulutukseen tai kulutusprofiiliin, vaan keskitytään rakennusten sijoittelulla ja suuntauksella mahdollistamaan optimaalisen kattopinta-alan hyödyntäminen aurinkosähkön tuotannossa.

## 2.2 Tulevaisuuden näkymät

Aurinkopaneelien hyötysuhteet tulevat kasvamaan tulevaisuudessa. Teoreettinen maksimihyötysuhde kiteiseen piihin ja ohutkalvoteknologiaan perustuville kennoille on noin 30 %. Vuoteen 2015 mennessä yksikiteisten piipaneelien hyötysuhteen arvioidaan nousevan yli 20 prosenttiin ja ohutkalvopaneelien keskimäärin 15 prosenttiin. Korkeimpiin, noin 70–90 % teoreettisiin hyötysuhteisiin, voidaan päästä tulevaisuudessa moniliitoskennoilla sekä keskittävillä teknologioilla. Nämä teknologiat vaativat kuitenkin vielä useiden vuosien kehityspanoksen kaupallistuakseen.<sup>17</sup>

Piihin perustuvat paneelit tulevat asiantuntijoiden näkemysten mukaan säilyttämään korkean markkinaosuuden lähitulevaisuudessa. Tämä johtuu ennen kaikkea piikennojen hyötysuhteen tasaisesta kasvamisesta sekä siitä, että pii on yleinen raaka-aine, jonka käsittelyyn käytettävä teknologia on jo tällä hetkellä erittäin kehittynyttä.

---

<sup>15</sup> Ks. esim. Tuomas Lapp. 2009. Aurinkovoimalan käyttö lisäenergian lähteenä Kiilto Oy:ssä.

<sup>16</sup> Ks. esim. [www.solarbuzz.com](http://www.solarbuzz.com) ja [www.europe-solar.de](http://www.europe-solar.de) ja [www.nrel.gov](http://www.nrel.gov).

<sup>17</sup> IRENA, 2012. Renewable energy technologies: cost analysis series. Solar Photovoltaics.

Rakennusmateriaaleihin integroidut ratkaisut tulevat asiantuntijoiden mukaan lisääntymään tulevaisuudessa.<sup>18</sup> Tämä tarkoittaa, että rakennuselementit ja esimerkiksi ikkunat toimivat eriste- ja julkisivumateriaalin lisäksi myös sähkön tuottajina. Tällöin aurinkoenergiaratkaisujen teknisten ominaisuuksien lisäksi myös visuaalisuus tulee korostumaan teknologian käyttöönotossa. Ruukki on ensimmäisenä valmistajana kehittänyt täyslasisen julkisivun, joka tuottaa sähköä auringosta ohutkalvoteknologian avulla (ks. kuva 5)<sup>19</sup>. On todennäköistä, että tällaiset nk. toisen sukupolven aurinkopaneelit tulevat yleistymään jo lähivuosina etenkin toimistoissa ja liikerakennuksissa.

Rakenteisiin integroitavien aurinkoenergiaratkaisujen suosion voidaan olettaa kasvavan myös laajemmin, kun ohutkalvoteknologia halpenee ja sen hyötysuhdetta saadaan parannettua. Verkkoon kytketyt suuren kokoluokan amorfiseen piihin perustuvat ohutkalvopaneelijärjestelmät ovat tällä hetkellä tuotannon yksikkökustannuksilta suurin piirtein samalla tasolla kuin pienen kokoluokan kiteisen piin sovellukset. Tästä seuraava vaihe on voi olla erilaisille pinnoille painettavat, tulostettavat tai maalattavat kolmannen sukupolven väriainekennot, joiden tuotantokustannukset arvioidaan kehittyvän vain murto-osaan siitä, mihin nykyisellä paneelivalmistuksella päästään. Teknologian laajamittaista kaupallistumista ei kuitenkaan arvioiden mukaan ole odotettavissa vielä lähivuosina.<sup>20</sup>



**Kuva 5.** Ruukin kehittämä aurinkopaneelijulkisivu. Kuva: Rautaruukki Oyj.

Aurinkopaneelien ei tarvitse olla litteitä. Amerikkalainen V3Solar on kehittänyt kartion muotoisen, pystyakselinsa ympäri pyörivän, paneelijärjestelmän. Kartion ulkopuoli muodostuu kuoresta ja keskittimestä, joka heijastaa valoa lävitseen kuoren alla oleville kennoille. Pyörimisliikkeen johdosta kennoille suunnattu auringonvalo kuormittaisi kutakin kohtaa vain hetken, jolloin kenno ehtisi jäähtyä ennen kuin auringonsäteet osuisivat jälleen tiettyyn osaan keskittimessä.<sup>21</sup> Tällaiset keskittävään tekniikkaan perustuvat ratkaisut eivät kuitenkaan käytännössä sovellu Suomen olosuhteisiin, jossa suoraa auringonsäteilyä on vuoden yli saatavilla niukasti.

*International Energy Agency (IEA)* ja *European Photovoltaic Industry Association (EPIA)* arvioivat, että kiteisen piin aurinkopaneelijärjestelmien investointikustannukset ovat vuonna 2030 noin kolmas-

---

<sup>18</sup> Ren21. Renewables, Global Futures Report 2013.

<sup>19</sup> Ks. [www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Rakentamisen-ratkaisut/Julkisivuverhoukset/Liberta-Solar-julkisivu---rakennukseen-integroitavat-aurinkopaneelit](http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Rakentamisen-ratkaisut/Julkisivuverhoukset/Liberta-Solar-julkisivu---rakennukseen-integroitavat-aurinkopaneelit).

<sup>20</sup> Ks. esim. IRENA, 2012. Renewable energy technologies: cost analysis series. Solar Photovoltaics.

<sup>21</sup> Ks. [v3solar.com](http://v3solar.com).



osan tämän päivän tasosta. Ohutkalvojärjestelmien hintojen aleneminen tulee olemaan lähivuosina tätäkin nopeampaa, sillä teknologia ei ole vielä niin kypsässä vaiheessa kuin piikennot. Aurinkosähkön keskimääräisen tuotantokustannuksen vuonna 2030 arvioidaan IEA:n ja EPIA:n eri skenaarioissa olevan 2–6 kertaa alhaisempi kuin vuonna 2010.<sup>22</sup>

## 3 Aurinkoenergian optimaalinen hyödyntäminen Kankaan alueella

### 3.1 Laskentamenetelmä

Aurinkosähköntuotanto perustuu aurinkosähköpaneelien auringon säteilystä tuottamaan sähköön. Yksinkertaisimmillaan auringon säteily kohdistuu suorana säteilynä aurinkopaneelin pinnalle. Erityisesti Suomen tyyppisissä sääolosuhteissa täytyy kuitenkin ottaa huomioon myös hajasäteily, eli muuta kautta kuin suoraan auringosta paneeleihin kohdistuva säteily. Suomessa hajasäteilyn osuus ylittää jopa 40 % aurinkosähkön vuosituotosta. Esimerkiksi Jyväskylän ilmasto-oloja kuvaavan testivuoden perusteella tehdyssä tuottolaskelmassa hajasäteilyn osuus on 44 % aurinkosähkön kokonaistuotosta. Suoran ja hajasäteilyn lisäksi paneelipinnoille tulee myös heijastunutta säteilyä, mikä korostuu etenkin talviaikana, jolloin aurinko on matalalla ja lumipeite toimii hyvänä heijastimena.

Säteilymäärien laskennassa on käytetty ohjelmistoa, joka hyödyntää todellista säätietoa ja ottaa huomioon eri säteilykomponentit erilaisille kallistuskulmille ja suuntauksille. Kokonaiskuvan ja korttelikohtaisten tuottoarvioiden muodostamiseksi on lisäksi käytetty Göteborgin yliopiston kehittämää SEES-laskentaohjelmistoa (*Solar Energy from Existing Structures*)<sup>23</sup>, jonka avulla voidaan ottaa huomioon rakennusten todelliset korkeudet, syntyvät varjostukset ja tarvittaessa myös kasvillisuuden vaikutukset. Kaikissa laskennoissa aurinkosähköntuottopotentiaalia on tarkasteltu koko vuoden yli käyttäen Ilmatieteen laitoksen testivuoden tietoja Jyväskylälle<sup>24</sup>.

### 3.2 Muutosehdotukset alkuperäiseen rakennemalliin

Alkuperäistä rakennemallia käytettiin lähtökohtana vaihtoehtoisten rakennemallien tekemisessä. Hankkeen aikana laadittiin ensin työversio, jonka pohjalta muodostettiin lopullinen rakennemalliehdotus hankkeen ohjausryhmältä saatujen kommenttien perusteella. Lopullista ehdotusta, joka on esitetty kuvassa 6, käytettiin aurinkoenergian potentiaalilaskennan vertailussa alkuperäiseen rakennemalliin. Kuvaan on merkitty sinisellä värillä parhaiten aurinkosähköntuotantoon soveltuvat kattopinnat (pulpettikatot sekä harjakattojen etelään laskevat pinnat), oranssilla värillä on merkitty tasakatot sekä harjakattojen pohjoiseen laskevat pinnat.

---

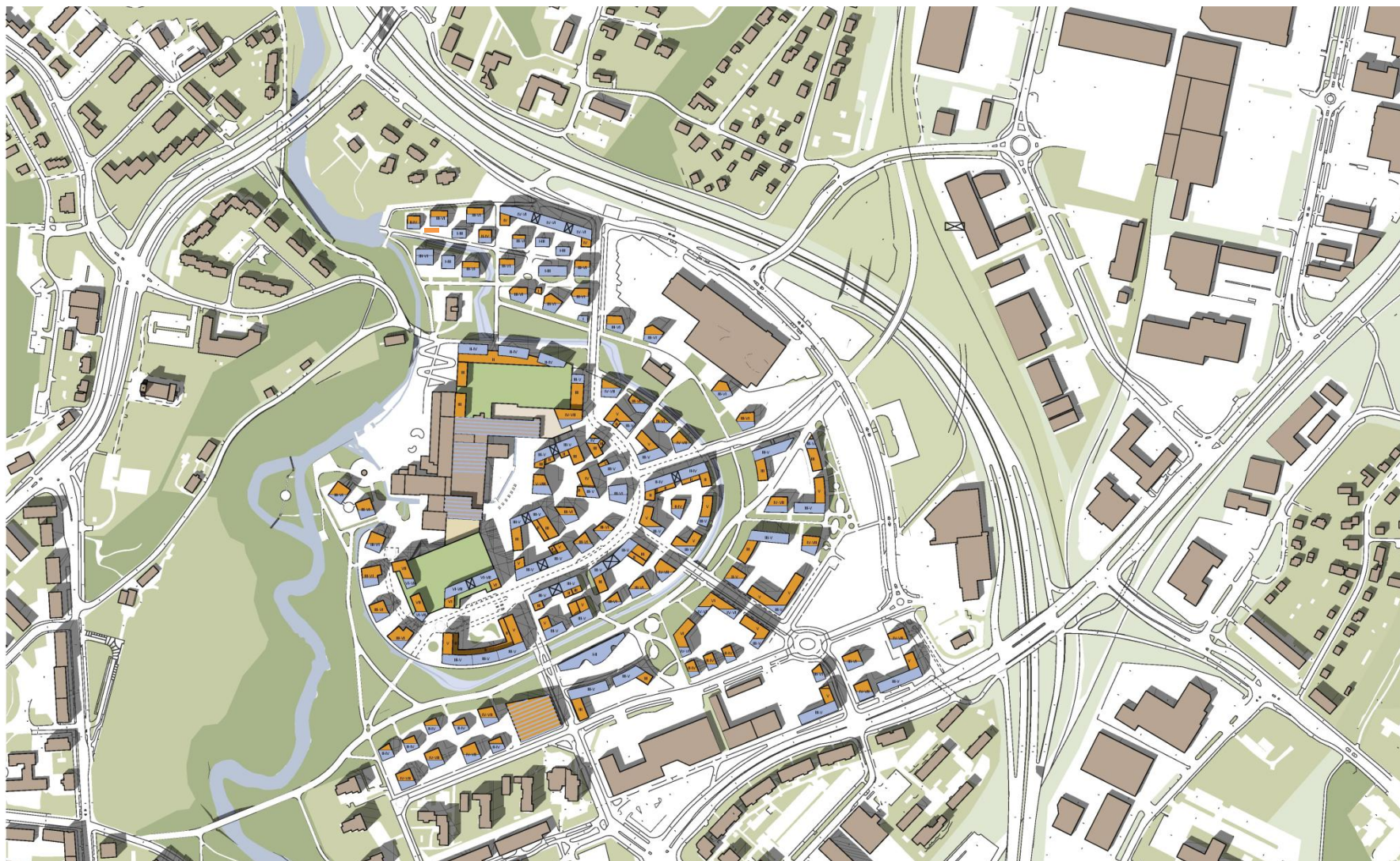
<sup>22</sup> IRENA, 2012. Renewable energy technologies: cost analysis series. Solar Photovoltaics.

<sup>23</sup> Ks. [www.gvc.gu.se/Forskning/klimat/stadsklimat/gucg/software/sees](http://www.gvc.gu.se/Forskning/klimat/stadsklimat/gucg/software/sees).

<sup>24</sup> Ilmatieteen laitos, Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa.







**Kuva 6.** Kankaan alueen muutetun rakennemallin havainnekuva.



### 3.3 Kattomuotojen ja rakennusten suuntausten vaikutukset tuottoon

Kattomuodolla on suhteellisesti suurempi vaikutus aurinkosähkön tuotantopotentiaaliin kuin katon suuntauksella. Suunnittelussa tulisi pyrkiä suuntaamaan optimaalisessa kulmassa mahdollisimman suuri pinta-ala katosta säteilyn kannalta merkittäviin ilmansuuntiin. Taulukossa 2 on havainnollistettu matriisimuodossa paneelien suuntauksen ja kallistuskulman vaikutus paneelien pinnalle tulevaan säteilymäärään ja tätä kautta saatavaan aurinkosähkön tuottoon. Tarkastelun rajoissa säteilymäärä paneelin pinnalle on parhaimmillaan noin 1 060 kWh/m<sup>2</sup> ja heikoimmillaan noin 980 kWh/m<sup>2</sup>.

**Taulukko 2.** Aurinkopaneelien suuntauksen ja kallistuskulman vaikutus paneelille tulevan säteilyn määrään. Vihreämpi väri kuvaa korkeaa ja punaisempi väri heikkoa säteilyn määrää.

		Suuntaus, atsimuutti [°]						
		-45	-30	-15	0	15	30	45
Kallistus [°]	15							
	20							
	30							
	40							

Alkuperäisessä rakennemallissa rakennusten suuntaukseen tai kattojen muotoon ei ollut kiinnitetty huomiota aurinkoenergian hyödyntämisen näkökulmasta. Rakennusten katot koostuivat tasakatoista sekä harjakatoista, joiden harjojen suuntauksessa ei ollut otettu huomioon aurinkosähkön tuotantomahdollisuuksia<sup>25</sup>. Suuntauksiin ei voitu käytännössä vaikuttaa, sillä tällöin olisi jouduttu muuttamaan kokonaisten kortteleiden sijaintia ja näin ollen suunnittelemaan uudelleen myös alueen tiestö. Muutoksia pyrittiin tekemään rakennusten muotoon ja erityisesti kattopintoihin mahdollisuuksien mukaan.

Ehdotetussa Kankaan alueen rakennemallissa kaikkien harjakattojen etelän puoleisen lappeen kallistuskulma on 40° ja kattojen harjat on tehty itä-länsisuuntaisesti. Hiukan vajaa puolet kattojen pinta-alasta on optimaalisesti hyödynnettävissä aurinkoenergian tuotannossa. Pulpettikatot on rakennemallissa suunniteltu 30° kulmaan. Pulpettikatollisten rakennusten keskimääräinen suuntaus on hiukan itäsuuntainen (atsimuutti arviolta -15°).

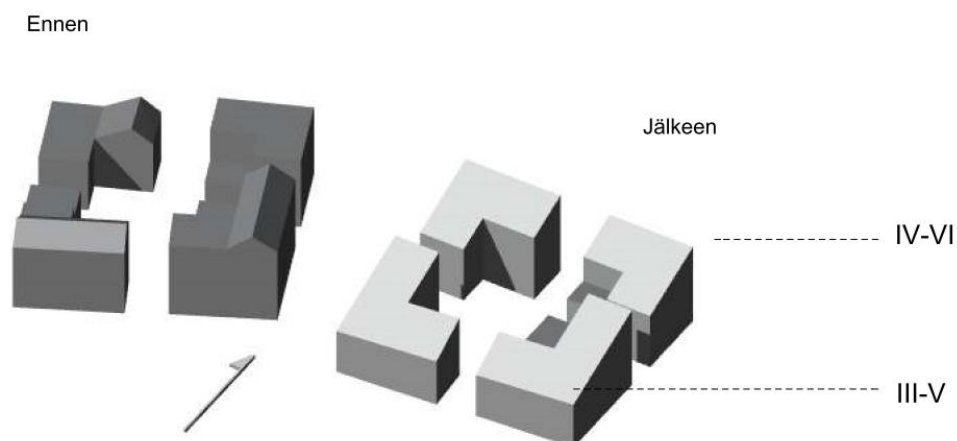
Katon muotoon vaikuttavat myös katolle sijoitettavat kiinteistötekniiset laitteet, kuten ilmanvaihtokoneet. Nämä sekä vähentävät hyödynnettävissä olevaa kattopinta-alaa että luovat varjostuksia. Aurinkosähkölaitteisiin liitettävät invertterit sijoitetaan usein sisälle rakennukseen tekniseen tilaan,

<sup>25</sup> Myöhemmin esitettävissä tuottolaskelmissa käytettiin yksinkertaistavaa oletusta, että kaikki alkuperäisen rakennemallin katot ovat tasakattoja. Tämä vastaa kerrostalorakentamisessa vallitsevaa käytäntöä, jossa katot ovat yleensä tasakattoja.



mutta joissain tilanteissa invertterit voidaan sijoittaa myös katolle. Sisätiloissa invertterien ympärille on jätettävä tilaa riittävän ilmanvaihdon varmistamiseksi.

Kuvassa 7 on havainnollistettu, miten korttelin rakennukset voidaan suunnitella siten, että niiden suuntaus ja kattomuoto mahdollistaa aurinkoenergian paremman hyödyntämisen. Alkuperäisessä korttelissa (vasemmanpuoleinen) paneelien optimaalinen sijoittelu vaikeutuu mm. harjakattojen suuntauksesta ja kattopintojen varjostuksista johtuen. Alkuperäisten rakennuksien katoista on myös huomattava osuus tasakattoja, joille paneelit täytyisi asentaa pystytelineillä, jolloin kattopinta-alaan suhteutettu aurinkosähkön tuotto jäisi alhaiseksi. Ehdotetussa korttelirakenteessa optimaalisesti aurinkoenergian tuotannossa hyödynnettävä kattopinta-ala kasvaa selvästi.

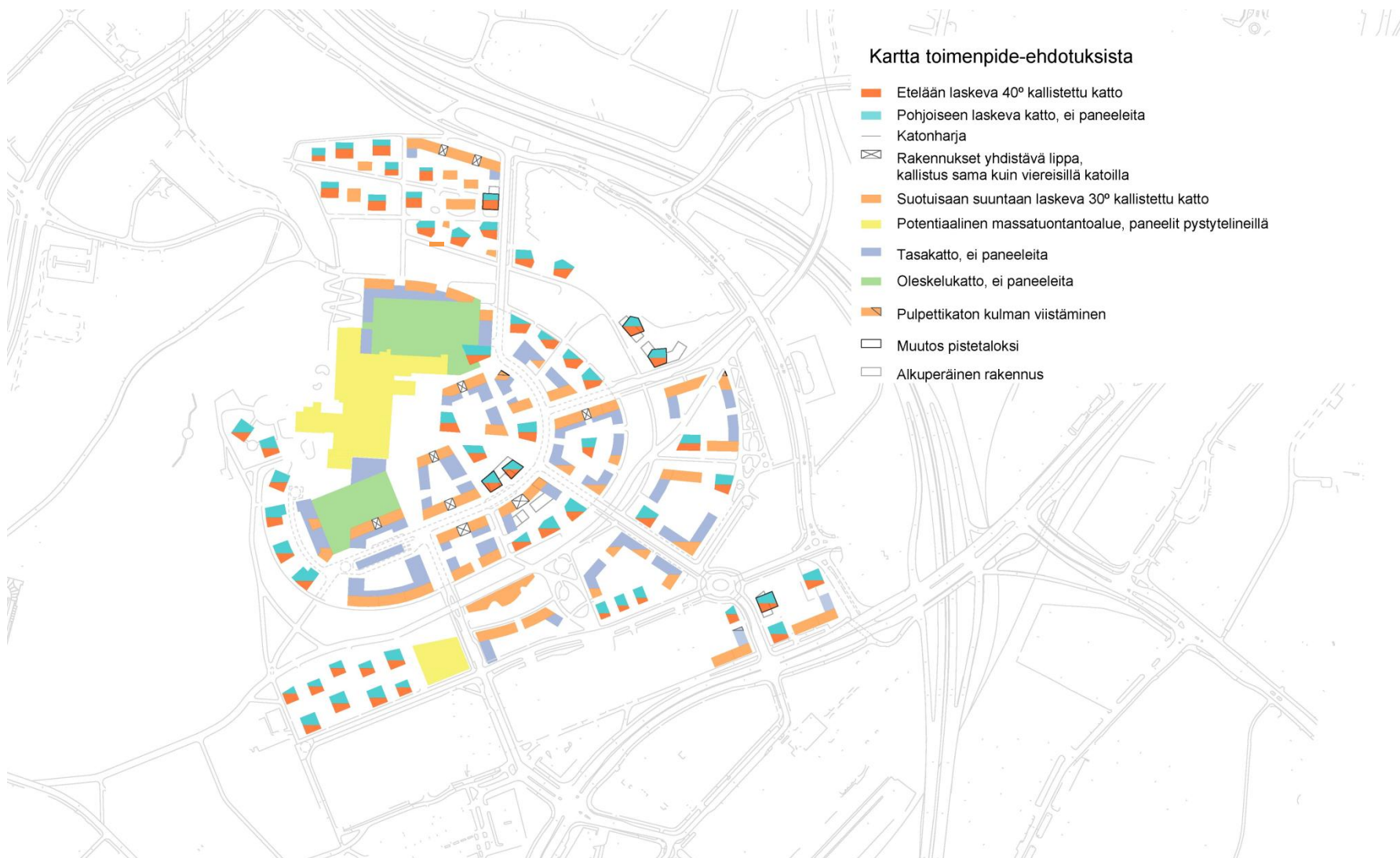


**Kuva 7.** Esimerkki korttelin rakennusten suuntauksen ja kattomuotojen suunnittelusta siten, että aurinkoenergian tuotantoon soveltuva kattopinta-ala kasvaa.

Alueelle tulevan uudisrakennuskannan lisäksi aurinkopaneeleita voidaan asentaa myös olemassa olevan entisen paperitehtaan katolle. Suurimpien pysäköintilaitosten katot tulevat pääosin ulko-oleskelutiloiksi, joten niiden auringontuottopotentiaalia ei ole tarkasteltu. Tuottolaskelmat on tehty optimoimalla aurinkosähkön tuotantoa siten, että tuotannon määrän ja kannattavuuden kannalta epäedulliset asennuspinnat on rajattu tarkastelun ulkopuolelle. Muutosehdotukset alkuperäiseen rakennemalliin on esitelty kuvassa 8.







**Kuva 8.** Toimenpide-ehdotukset Kankaan alueen rakennemalliin.



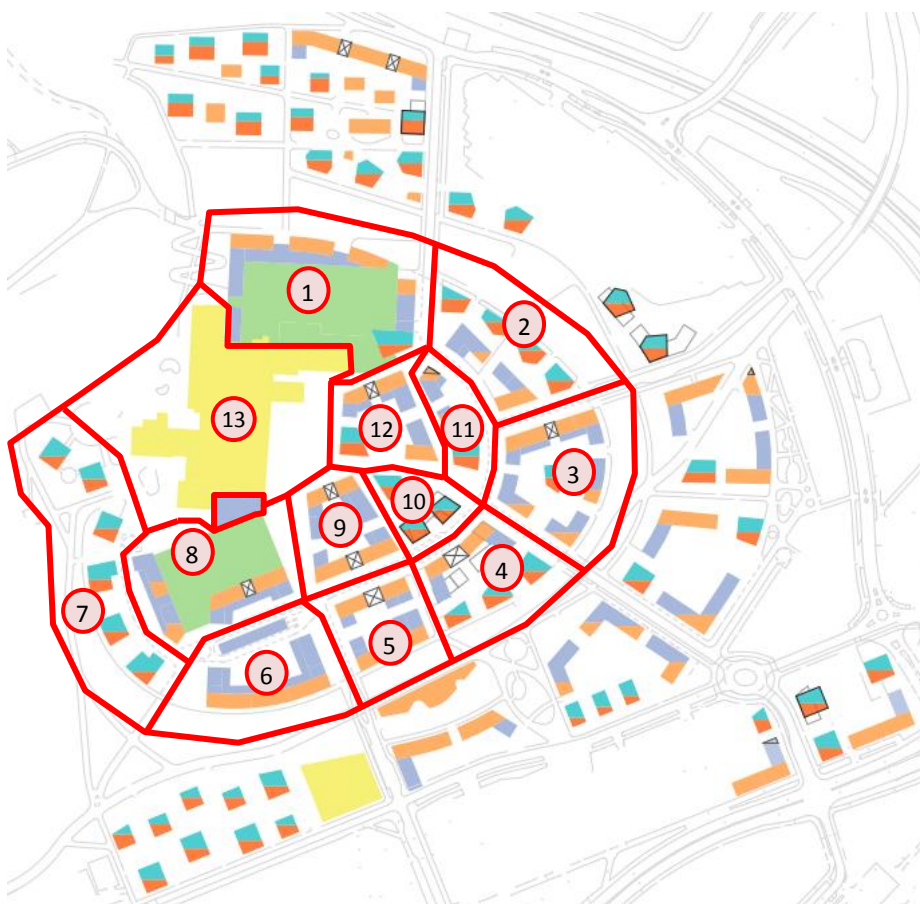


### 3.4 Korttelikohtaisen tuottoarviot

Alkuperäiseen rakennemalliin tehtävien muutoksien vaikutukset korttelikohtaisesti on esitetty taulukossa 3. Käytetty korttelijako käy ilmi kuvasta 9. Korttelikohtaisessa tarkastelussa on rajoitauttu aikataulullisesti ensin rakentuvaan keskusta-alueeseen.

Lähtökohtana tarkastelussa on ollut lisätä aurinkosähköntuotannolle käytännössäkin kannattavaa kattopintaa mahdollisimman paljon, eikä pelkästään lisätä mahdollisimman paljon paneeleita kaikille kattopinnoille. Tämän vuoksi esimerkiksi pistemäisissä kerrostaloissa harjakatot on suunnattu tuotannon kannalta optimaalisesti suoraan etelään (ks. esim. alue 7 alla).

Tuloksien perusteella pistemäisen kerrostalon optimaalisesti suunnatulla harjakatolla voidaan saavuttaa noin kolminkertainen tuotto suhteessa tasakattoon. Oikean suuntaisesti suunnatuilla pulpettikatoilla aurinkosähkön tuottoa on saatu lisättyä noin viisinkertaisesti suhteessa tasakattoon. Kattopintojen yhdistäminen lipoilla ja rakennusten kääntäminen lisäävät myös tuotantopotentiaalia.



**Kuva 9.** Kankaan alueen tarkemmin tarkastellut korttelit.



**Taulukko 3.** Aurinkosähkön tuotantopotentiaalilaskennan tulokset sekä lähtötiedot ja -oletukset<sup>26</sup>.

Korttelin nro.	Ehdotetun mallin tuottopotentiaali, MWh/v	Alkuperäisen mallin tuottopotentiaali, MWh/v	Tuottosuhde (ehdotettu/alkuperäinen)	Ehdotetut toimenpiteet
1	244	68	3,6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pohjoispuolen talojen kattomuodoksi pulpettikatto</li> <li>Lounaisnurkan taloon etelään suunnattu harjakatto</li> </ul>
2	192	54	3,5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kattomuodoksi pulpettikatot soveltuvin osin</li> <li>Pistetaloihin etelään suunnatut harjakatot</li> </ul>
3	218	62	3,5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kattomuodoksi pulpettikatot soveltuviin kohtiin</li> <li>Pistetaloon etelään suunnattu harjakatto</li> </ul>
4	184	48	3,8	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pohjoispuolen L-talojen kääntäminen</li> <li>Pohjoispuolen talojen kattomuodoksi pulpettikatto</li> <li>Pohjoispuolen talojen kattopinnan yhdistäminen</li> <li>Pistetaloihin etelään suunnatut harjakatot</li> </ul>
5	179	37	4,9	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kattomuodoksi pulpettikatot soveltuvin osin</li> <li>Pohjoispuolen talojen kattopinnan yhdistäminen</li> </ul>
6	189	36	5,3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kattomuodoksi pulpettikatto soveltuvin osin</li> </ul>
7	142	53	2,7	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pistetaloon etelään suunnattu harjakatto</li> </ul>
8	170	40	4,3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kattomuodoksi pulpettikatto soveltuvin osin</li> <li>Kattopinnan yhdistäminen lipalla</li> </ul>
9	187	45	4,1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kattomuodoksi pulpettikatto soveltuvin osin</li> <li>Kattopintojen yhdistäminen lipoilla</li> </ul>
10	68	22	3,1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pidemmän rakennusmassan jako pistetaloin</li> <li>Pistetaloihin etelään suunnattu harjakatto</li> </ul>
11	82	24	3,4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kattomuodoksi pulpettikatto soveltuvin osin</li> <li>Pistetaloon etelään suunnattu harjakatto</li> </ul>
12	162	41	3,9	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kattomuodoksi pulpettikatto soveltuvin osin</li> <li>Kattopinnan yhdistäminen lipalla</li> <li>Pistetaloon etelään suunnattu harjakatto</li> </ul>
13	742	742	1,0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ei muutoksia</li> </ul>
Muut	2 137	621	3,2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pidemmän rakennusmassan jako pistetaloin</li> <li>Kattomuodoksi pulpettikatto soveltuvin osin</li> <li>Kattopintojen yhdistäminen lipoilla</li> <li>Pistetaloihin etelään suunnattu harjakatto</li> </ul>
Yht.	4 896	1 892	2,6	

### 3.5 Aluekohtainen tuotto

Alkuperäiseen rakennemalliin tehdyt muutokset johtavat laskennan perusteella noin 2,6-kertaiseen aurinkoenergian tuottopotentiaaliin. Optimaalinen aurinkosähkön tuottopotentiaali alueella on toimenpide-ehdotusten jälkeen noin 5 GWh/v, kun se alkuperäisessä mallissa olisi noin 2 GWh/v. Laskennan lähtötiedot ja -oletukset on esitetty taulukossa 4. Laskennassa on oletettu, että aurinkopaneeleita sijoitetaan myös tasakatoille (kuvassa 8 liila kattoväri). Paneelien hyötysuhteena on käytetty laskennassa arvoa 15 %.

Hyödynnettävään kattopinta-alaan suhteutettu aurinkoenergian tuotantopotentiaali on ehdotetussa mallissa selvästi alkuperäistä korkeampi. Tämä johtuu ennen kaikkea kattomuotojen eroista rakennemallien välillä, kun tasakatoilla telineasennukset vähentävät hyödynnettävissä olevaa kattopinta-

<sup>26</sup> Esitetyt lukuarvot ovat laskennallisia arvioita perustuen ehdotettuun ja alustavaan rakennemalliin. Käytännössä toteutuvat tuotannot voivat poiketa tässä esitetyistä arvioista mm. katolta varatun tuotantopinta-alan tai käytetyn tuotantoteknologian erojen vuoksi.



alaa (ks. taulukko 1). Myös rakennusten toisiinsa aiheuttamalla varjostuksella on vaikutusta tuotantopotentiaaliin. Aluekohtaisen säteilymäärälaskennan perusteella voidaan arvioida, että varjostuksien vähentämisellä on aurinkosähkön tuotantoa saatu parannettua noin 5 %:lla.

**Taulukko 4.** Aurinkosähkön tuotantopotentiaalilaskennan tulokset sekä lähtötiedot ja -oletukset.

	Alkuperäinen rakennemalli (VE0)	Ehdotettu rakennemalli (VE2)
Aurinkosähkön tuotantopotentiaali (uudisrakennukset ja tehtaan katto)	1,9 GWh/v	4,9 GWh/v
Aurinkoenergian tuotannossa hyödynnettävä kattopinta-ala (uudisrakennukset ja tehtaan katto)	60 986 m <sup>2</sup>	60 981 m <sup>2</sup>
Tuotantopotentiaali per tuotannossa hyödynnettävä kattopinta-ala (uudisrakennukset ja tehtaan katto)	31 kWh/m <sup>2</sup> /v	81 kWh/m <sup>2</sup> /v
Harja- ja pulpettikattojen pinta-alaosuus uudisrakennuksissa	0 % *	58 %
Tasakattojen pinta-alaosuus uudisrakennuksissa	100 % *	42 %

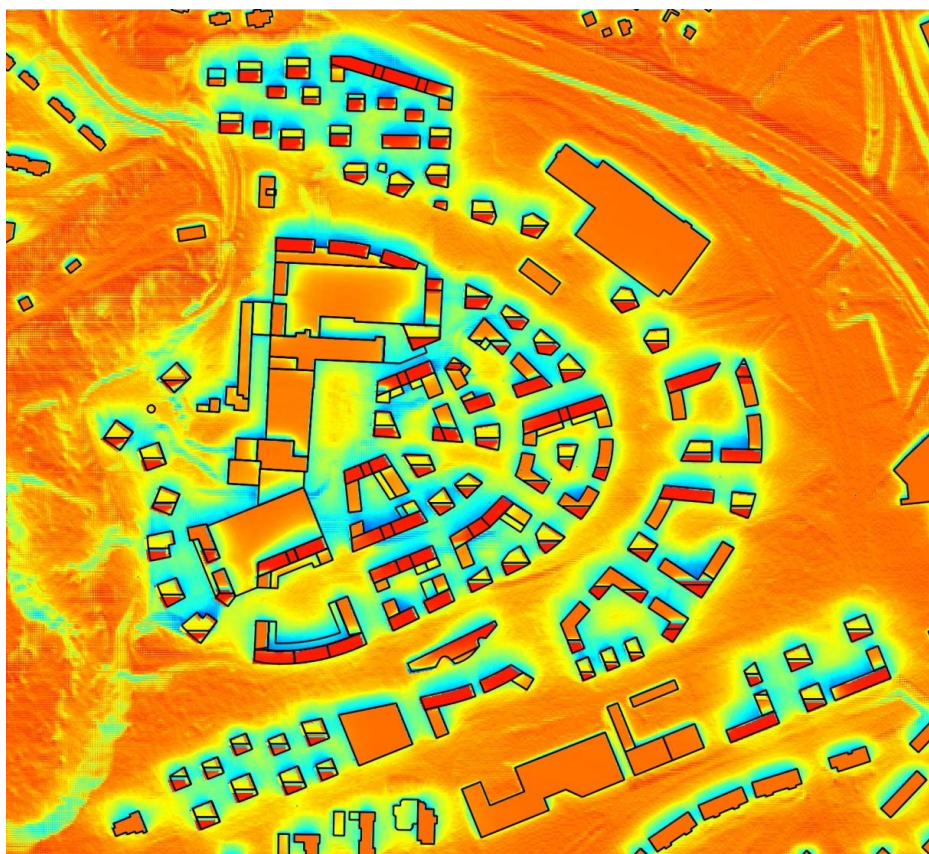
\* Yksinkertaistettu oletus. Alkuperäisessä rakennemallissa oli myös harjakattoja, mutta näiden suuntaukset vaihtelivat.

Harjakattojen osalta on oletettu, että optimaaliseen suuntaan laskevasta katon pinta-alasta 80 % voidaan päällystää aurinkopaneeleilla. Pulpettikatoilla prosenttiosuus on 70 %, sillä laskennassa on otettu huomioon, että katoille tulee voida sijoittaa myös kiinteistötekniisiä laitteita, kuten ilmanvaihtokoneita. Harjakatoilla laitteet voidaan sijoittaa aurinkosähköntuotannon kannalta harjan epäsuotuisalle puolelle, jolloin ne eivät vaikuta potentiaalisen asennuspinta-alan määrään eivätkä synnytä varjostuksia paneeleille.

Tasakatoilla paneelit asennetaan laskentaoletusten mukaan telineisiin 30° kulmaan. Tällöin asennettavien paneelien pinta-ala suhteessa katon pinta-alaan on noin 15 % asuinrakennuksissa ja 40 % massatuotantoalueilla (ks. kuva 8). Asuinrakennuksissa suhdeluku on pienempi, sillä tarkastelussa on arvioitu, että näiden katoilla on enemmän kiinteistötekniisiä laitteita. Lisäksi katoille on hyvä jättää tilaa liikkumiselle, jota lisää mm. kiinteistöhuollon tarve.

Uudisrakennusten kattopinta-ala on ehdotetussa rakennemallissa noin 12 % suurempi kuin alkuperäisessä. Tämä johtuu ennen kaikkea siitä, että kattojen kallistus lisää pinta-alan määrää verrattuna tasakattojen tilanteeseen. Ehdotetussa mallissa kattoja yhdistävät lipat tuovat noin 1 000 m<sup>2</sup> lisää hyödynnettävää pinta-alaa, mutta toisaalta muutama suurempi rakennus alkuperäisessä rakennemallissa on muutettu pistetaloiksi, joka pienentää jonkin verran ehdotetun mallin kattopinta-alaa.

Aluekohtaiseen aurinkosähkön tuotantoon voi vaikuttaa rakennuksien keskinäinen suhde toisiinsa sekä muuhun ympäristöön. Kokonaiskuvan ja korttelikohtaisten tuottoarvioiden muodostamiseksi aurinkoenergian tuottoa on arvioitu käyttäen Göteborgin yliopiston kehittämää SEES-laskentaohjelmistoa. Kuvassa 10 on havainnollistettu auringonsäteilyn määrää Kankaan alueella SEES-ohjelmistolla laskien.



**Kuva 10.** Auringonsäteilyn määrä Kankaan alueella päivitetystä suunnitelmassa. Väriasteikko kuvastaa aurinkoenergian tuotantopotentiaalia katto-pinnoilla rakennusten sijainnit, kattojen kallistuskulmat ja katoille syntyvät varjostukset huomioon ottaen (sininen ja vihreä: vähäinen tuotto, oranssi: kohtuullinen tuotto ja punainen: hyvä tuotto). Tarkastelussa ei ole otettu huomioon puuston mahdollisia varjostusvaikutuksia<sup>27</sup>.

SEES-laskentaohjelmisto ottaa huomioon rakennusten todelliset korkeudet, maaston muodot sekä näin syntyvät varjostukset. Nimensä mukaisesti laskentaohjelmisto on suunniteltu olemassa olevan rakennetun ympäristön aurinkosähköntuottopotentiaalien arviointiin. Tässä hankkeessa mallia on käytetty yleiskaavan kaavarungon rakennuskannan arviointiin. Suunnitteluprosessissa laskentatyökalua ja suunnitelman päivittämistä on tehty iteratiivisesti siten, että esimerkiksi liian korkeiden rakennusten aiheuttamia varjostuksia on pyritty välttämään päivitetystä suunnitelmassa edellä kuvattujen suunnittelun reunaehtojen puitteissa. Yhdistämällä laskentatuloksia kaupunkikuvallisiin näkemyksiin on tehty valintoja mm. rakennuksien suuntaamisesta, massoitte- lusta sekä kerroskorkeuksista.<sup>28</sup>

<sup>27</sup> Laskennan lähtökohtana on alueen suunnittelun luonnosversio. Rakennuksien sijainnit, muodot ja niiden katoilta saatavat tuotot voivat muuttua alueen lopullisen kaavoituksen ja rakentamisen mukaan (esim. vanhan tehdasrakennuksen itäpuolelta on laskennan jälkeisessä suunnitelman versiossa jo poistettu pohjoisin pistetalo).

<sup>28</sup> Hankkeessa on tehty kehitystyötä 3D-mallin sovittamiseksi laskentaa varten. Laskentateknisesti käytössä oleva SEES-ohjelmisto käyttää syötteenä paikkatietomuotoisia rakennusten ja maaston korkeustietoja. Korkeustiedot on rasteroitu siten, että laskelmissa käytetty yhden pikselin koko vastaa n. 0,7 x 0,7 m alaa luonnossa. Kokonaisuudessaan laskenta on tehty noin 1,5 miljoonalle pikselille. Mallinnuksen ja laskennan tarkkuus on yksittäisten kattopintojen osalta suuntaa antava ja joiden kattomuotojen osalta kuvaan on jäänyt laskentateknisiä epätarkkuuksia (esim. pitkien kattopintojen



Alueellinen aurinkosähköntuottotarkastelu on Kankaan tapauksessa mahdollisesti kiinnostavaa myös aurinkosähkön alueellisen hyödyntämisen näkökulmasta. Mikäli yksittäisen kiinteistön katolla tuotettavan aurinkosähkön määrä ylittää kiinteistön oman tarpeen, voitaisiin ylijäämä sähköä mahdollisesti hyödyntää alueen muissa kiinteistöissä. Alueellinen hyödyntäminen edellyttäisi kuitenkin liike-toiminnallisesti järkevien ja säädöksiin puitteissa mahdollisten olosuhteiden luomista. Näiden tarkempi pohdinta on kuitenkin rajattu tämän selvityshankkeen ulkopuolelle.

### **3.6 Aurinkoenergian passiivisen hyödyntämisen huomioon ottaminen**

Passiivisella aurinkoenergian hyödyntämisellä tarkoitetaan auringon lämmön tai valon hyödyntämistä ilman erillisiä laitteita, perustuen pelkästään rakenteellisiin ratkaisuihin. Passiiviset ratkaisut voivat liittyä esim. ikkunoiden kokoon ja muotoon sekä markiisien tai muiden katerakenteiden hyödyntämiseen. Ikkunoiden päälle voidaan asentaa lippoja, jotka estävät auringonsäteilyn pääsemisen sisätiloihin kesällä, mutta mahdollistavat kuitenkin säteilyn lämmittävän vaikutuksen kylminä vuodenaikoina, kun aurinko paistaa matalammalta.

Aurinkoenergian hyödyntämisen lisäämiseksi lippojen päälle voidaan myös asentaa aurinkopaneeleita (ks. kuva 11). Lippoihin asennettavien paneelien sähköntuottomäärät eivät ole kuitenkaan yhtä suuria kuin mikäli paneelit voidaan asentaa katoille, sillä rakennuksen seinä lisää vuotuista varjostuksen määrää ja myös hajasäteilyn määrä jää vuositasolla alhaisemmaksi. Maaston muodot ja kasvuston/puuston huomioon ottaminen on järkevää: esimerkiksi talon eteläseinustalle voidaan sijoittaa lehtipuita, jolloin kesäisin luodaan varjostus ja talvisin auringonsäteet pääsevät lämmittämään rakenteita.

---

reunojen varjostukset), jotka voidaan tarkemmalla analyysillä poistaa. Lisätietoja mallin toiminnasta löytyy teoksesta P. Jonsson ja F. Lindberg, *Solar Energy from Existing Structures*, Elforsk rapport 11:77, 2011.







**Kuva 11.** Vasemmalla Kuopion nollaenergiataloon integroituja aurinkopaneeleita ja -keräimiä (kuva: Kuopion Opiskelija-asunnot Oy) ja oikealla lontoolaisen toimistorakennuksen julkisivuun lisättyjä aurinkosäleikköjä (kuva: Pirjo Heinänen).

Kaksoisjulkisivujen käyttö on myös yleistynyt etenkin toimistorakennuksissa. Kaksoisjulkisivu suojaa rakennusta kesällä, mutta päästää auringonvaloa sisään talvella. Julkisivujen välitila voidaan tuulettaa kesäisin painovoimaisesti ja talvisin se kerää lämpöä.<sup>29</sup> Samaan toimintaperiaatteeseen perustuu myös rakennusten ikkunoiden eteen lisättävät aurinkosäleiköt, joita voidaan käyttää yhtälailla toimisto- ja asuinrakennuksissa (ks. kuva 11).

## 4 Ehdotukset aurinkoenergian huomioon ottamiseksi aluesuunnittelussa

### 4.1 Kaavamääräykset

#### ***Yleiskaavamääräykset***

Kankaan alueelle ollaan laatimassa aluevarausosayleiskaavaa. Osayleiskaavatasolla voidaan todeta, että alueella sallitaan tai vaaditaan aurinkosähkön tuottamista.

<sup>29</sup> Jukka Forsman. 2012. Uusiutuvan energian käyttö toimistotalossa, case Viikon Ympäristöalo (esitys).



Esimerkiksi Helsingin Östersundomin yleiskaavaan on tulossa aurinkoenergian edistämiseksi räätälöityjä kaavamääräyksiä. Seuraavat sitaatit ovat kaavaluonnoksen määräyksistä, ”Kuntatekniikka” -otsikon alta (tilanne 13.11.2012):

*”Yleiskaava-alueella luodaan edellytyksiä suoran aurinkosähkön monipuoliseen hyödyntämiseen keskitetysti ja hajautetusti sekä aurinkolämmön hyödyntämiseen hajautetusti ja kaukolämpö- tai kaukokylmäjärjestelmissä.”*

Kokonaisesta aurinkovoimalasta on puolestaan määrätty seuraavaa:

*”Porvoonväylän reunavyöhykkeille saadaan sijoittaa aurinkosähkön valmistamiseen ja varastointiin liittyviä laitteita.”*

Vastaavasti Kankaan määräyksissä voisi olla seuraava yleismaininta:

*”Kankaan alueella saa sijoittaa aurinkosähkön valmistamiseen liittyviä laitteita katoille ja julkisivuihin.”*

### **Asemakaavamääräykset**

Asemakaavassa tonteille määritetään tavallisesti rakennusoikeus sekä rakennuksen sijoituspaikka tontilla. Myös talotyyppi, kerrosluku ja esimerkiksi autopaikkojen sijainti ja lukumäärä voidaan määrätä asemakaavassa. Aurinkoenergian tuottamisen kannalta olennaisia ovat rakennusten kattojen sijainti, korkeusasema, suunta ja pystykulma. Siksi aurinkosähköä koskevat kaavamääräykset käsittelevät seuraavia asioita:

- Tärkeimmät paikat, joihin aurinkopaneeleita on taloudellisesti kannattavaa ja kaupunkikuvalisestisesti järkevää sijoittaa
- Kattojen alimpien ja ylimpien kohtien korkeusasema, kerrosten määrällä ei ole merkitystä
- Kattorakenteet sellaisiksi, että aurinkopaneeleita on mahdollista sijoittaa katoille
- Kattojen suuntaus ja likimääräinen pystykulma rakennuksittain
- Rakennuksia yhdistävien lippojen sijainti, suuntaus ja kallistuskulma

Esimerkiksi Tampereen Nurmi-Sorilan alueella halutaan tuottaa aurinkosähköä kattopaneeleilla. Seuraava sitaatti on ote Nurmi-Sorilan esitteestä:

*”Jokaisen rakennuksen katolle tulee voida sijoittaa aurinkopaneeleita siten että ne saavat aurinkoa vähintään 20° pystykulmassa kaakon-lounaan väliltä ilman viereisen rakennuksen tai kasvillisuuden kohtuutonta varjostusta.”*

Kankaan alueelle voitaisiin antaa yleismääräys:

*”Ne katot tai katon osat, joille on osoitettu sijoitettavaksi aurinkopaneeleita, tulee rakentaa sellaisiksi, että paneelien asentaminen myös jälkikäteen on mahdollista.”*

Lisäksi saattaa olla tarpeen varautua myös aurinkoenergian varastointiin (akkuihin, jotka sijoitetaan tekniseen tilaan esimerkiksi katon harjan tai pulpetin alle).





*"Jokaisessa kiinteistössä on varattava tilaa aurinkoenergian varastointiin tarvittavia laitteita varten. Tekniset tilat on osoitettava rakennuslupaa haettaessa."*

Kankaan alueella on neljän tyyppisiä rakennuksia: pistetalot, pitkänomaiset likimain itä-länsisuuntaiset talojen, pitkänomaiset likimain etelä-pohjoissuuntaiset talot ja suuret pysäköintilaitokset sekä tehdas. Jokaisella talotyypillä on omanlaisensa kattoratkaisu. Talotyypeille voisi antaa seuraavia määräyksiä:

**Pistetalot:**

*"Korttelissa XXX, YYY ja ZZZ on oltava itä-länsisuuntainen harjakatto. Vähintään 40 % katon pinta-alasta on oltava noin 40° pystykulmassa suoraan etelään suunnattua kattolapetta."*

**Likimain itä-länsisuuntaiset pitkänomaiset talot:**

*"Korttelissa XXX, YYY ja ZZZ katon on laskettava suotuisaan ilmansuuntaan ja oltava noin 30° pystykulmassa."*

**Likimain etelä-pohjoissuuntaiset pitkänomaiset talot:**

*"Korttelissa XXX, YYY ja ZZZ on rakennettava tasakatto. Pulttikatto-merkinnällä osoitetuissa kohdissa katon on laskettava suoraan etelään noin 30° pystykulmassa."*

**Pysäköintilaitokset:**

*"Korttelissa XXX, YYY ja ZZZ katon tulee olla tasainen."*

**Vanha paperitehdas:**

*"Kattopintojen soveltuvuus aurinkoenergian hyödyntämiseen tulee selvittää."*

Kankaan alueella aurinkosähkön tuotantopotentiaalia on lisätty suunnittelemalla kattopintaa kasvattavia lippoja rakennusten väliin. Niistä voidaan määrätä esimerkiksi seuraavaa:

*"Korttelin sisällä rakennukset yhdistävät lipat on sallittu. Lippojen koron ja pystykulman tulee olla sama kuin niiden rakennusten katoilla, jotka se yhdistää."*

Aurinkosähköntuotannolle otollisimpia ovat itä-länsisuuntaiset pitkänomaiset rakennukset. Samat rakennukset kuitenkin myös kuumenevat eniten auringossa, erityisesti eteläjulkisivultaan. Siksi kyseisille rakennuksille ehdotetaan alla esitettyä määräystä. Lämpökuormien hallinnan keinoja esitellään tarkemmin rakentamistapaohjeissa.

*"Sikäli kun rakennuksia pyritään suuntaamaan etelään, tulee rakennussuunnitteluvaiheessa huomioida etelänpuoleisten tilojen lämpökuormien hallinta."*

Aurinkosähkön tuottoon vaikuttavien haitallisten varjostusten välttämiseksi tulisi varjostuksen lähteen ja paneelien välillä olla riittävä etäisyys. Esimerkiksi jos paneeleita ollaan sijoittamassa 8



metriä korkean rakennuksen katolle, tulisi rakennuksen eteläpuolelle sijoitettavan 12 m korkean puun sijaita vähintään 20 m etäisyydellä rakennuksesta<sup>30</sup>.

*”Rakennuksia mahdollisesti varjostavan kasvillisuuden ja muiden rakenteiden sijoittelussa tulee ottaa huomioon vaikutukset aurinkosähkön tuotantoon.”*

## 4.2 Rakentamistapaohjeet

Rakentamistapaohjeilla pyritään sulauttamaan aurinkopaneelit osaksi rakennettua ympäristöä ilman, että kaupunkikuva kärsii. Lisäksi rakennusmateriaaleilla ja värityksellä on vaikutusta myös aurinkoenergiatuotannon mahdollisuuksiin. Aurinkosähköä koskevat rakentamistapaohjeet käsittelevät seuraavia asioita:

- Aurinkopaneelien ja vesikaton ulkonäkö, sovittaminen yhteen
- Kattojen rakenteet
- Tekniset tilat
- Lämpökuormien hallinta

Pyrkimykset maksimoida kohtuuhintaisen aurinkosähkön tuottaminen tuottaa jyrkkien kattojen hallitsemaa arkkitehtuuria. Kalteville katoille sijoitettujen aurinkopaneelien ei haluta muuttavan rakennuksen hahmoa. Siksi paneelien on oltava kattopinnan suuntaisia ja vain vähän siitä ulkonevia eli integroitua mallia. Silloin paneelit eivät näy katukuvaan räystäiden yli.<sup>31</sup> Korkeammassa rakennuksessa näkyvyys katutasolle on vähäisempi ongelma, mutta koska Kankaan alue näkyy kauempaa laajalle alueelle, on korkeidenkin kattojen päällä oleviin rakenteisiin syytä kiinnittää huomiota.

Kattojen vaalea väritys lisää heijastussäteilyn määrää<sup>32</sup>, mutta toisaalta tummat paneelit erottuvat vaaleilla katoilla selkeämmin. Hyvin heijastavat kattomateriaalit lisäävät heijastussäteilyn määrää. Kaupunkikuvan ja tekniikan kompromissina ehdotamme kiiltäviä peltikattoja, joiden tummuusaste on sama kuin paneeleilla.

Paneelien väri on niissä käytetyn piin vuoksi sininen tai harmaa. Uusien teknologioiden käyttöönotto on mahdollista, mutta suosittelemme, että rakennustapaohjeessa määritellään harmoninen keski-harmaa kattoväritys koko alueelle. Alla on annettu ehdotukset rakentamistapaohjeeksi kattojen ja kattorakenteiden osalta.

*”Vesikaton on oltava konesaumattua peltiä. Aurinkopaneelien on oltava kattopintaan integroitavaa mallia. Katon on oltava väriltään harmaa tai siniharmaa (NCS-koodi XXX) ja kiiltävä. Aurinkopaneelien ja niiden kiinnitysosien värin on oltava mahdollisimman lähellä katon väriä.”*

<sup>30</sup> Ohjesääntönä voidaan pitää varjostavan rakenteen tai kasvillisuuden korkeuden ja kattopinnan välistä eroa kerrottuna viidellä. Tässä (12 m - 8 m) = 4 m x 5 = 20 m.

<sup>31</sup> Kotimaisista toimijoista esimerkiksi Naps Systems valmistaa integroitavia kattopaneeleita.

<sup>32</sup> Heijastussäteilyn osuus paneeleille tulevasta kokonaissäteilystä on vuositasolla kuitenkin vain muutaman prosentin luokkaa. Heijastussäteilyn määrään vaikuttaa lisäksi paneelien kallistuskulma.



*”Tasakatoilla kantavat rakenteet on sijoitettava siten, että paneelilineet voidaan helposti kiinnittää niihin.”*

Aurinkosähköjärjestelmään kuuluu aurinkopaneelien lisäksi invertteri ja mahdollisesti akkuja sähköön varastoimista varten. Näitä laitteita varten tarvitaan teknisiä tiloja, jotka on kaupunkikuvallisesti edustavinta sijoittaa harja- ja pulpettikattojen sisään:

*”Aurinkosähköön tuottamiseen liittyviä teknisiä tiloja ei saa sijoittaa vesikaton yläpuolelle.”*

Aurinkosähköön tuotantopotentiaalin maksimointi johtaa rakennusten eteläjulkisivujen lämpökuorman maksimointiin. Alla on ehdotus rakentamistapaohjeeksi lämpökuormien hallintaan.

*”Lämpökuormaa voidaan hallita muun muassa eteläjulkisivujen parvekkeilla: yksittäisillä ulostyöntyvillä parvekkeilla, kennomaisella parvekejulkisivulla tai sisäänvedetyillä parvekkeilla, jotka varjostavat takana tai alapuolella olevia ikkunoita. Julkisivuun tai katolle voidaan sijoittaa myös erilaisia lippoja ja säleikköjä. Lisäksi voidaan käyttää teknisiä ratkaisuja, kuten ikkunoiden selektiivilasia.”*

## 4.3 Tontinluovutusehdot

Tontinluovutusehdoissa voidaan määrätä erikseen kiinteistökohtainen uusiutuvan energian tuotto. Tontinluovutusprosessiin voidaan kilpailulainsäädännön syrjimättömyysnäkökulmien puitteissa sisällyttää ehtoja aurinkoenergian tai kiinteistökohtaisen uusiutuvan energian hyödyntämiseksi. Kunta voi myös asettaa esimerkiksi vaihtoehtoja rakennuksen energiataloudelle. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi siten, että tontin ostaja tai vuokraaja voi valita, panostaako hän esimerkiksi aurinkoenergian tuotantoon vai esimerkiksi kohteen energiantarpeen pienentämiseen. Mikäli tontinluovutusehdoissa vaaditaan uusiutuvan energian tuottoa, niin käytännön toteutuksessa rakennuttajilta on edellytettävä energian tuotannon raportointia, kunnalle on varattava tuotannon tarkastusoikeus ja edelleen sopimuksessa on määritettävä sanktiot sopimusrikkomuksista.

### **Kilpailumenetelmät tontinluovutuksessa, tapaukset Honkasuo ja Eko-Viikki:**

Helsingin Honkasuon alueesta järjestettiin vuonna 2010 kaksivaiheinen tontinvarauskilpailu: 1. kilpailuvaihe (hiilijalanjäljen ja energiatehokkuuden tarkistuslaskenta) - välikritiikki - 2. kilpailuvaihe. Kriteereillä ohjattiin suunnittelua ja rakentamista kohti vähähiilisiä ratkaisuja ja edistettiin tuotekehitystyötä. Ehdotusten rakennetyypit, rakenneliitosten hiilijalanjälki sekä saavutettava energiatehokkuus tarkistettiin laskelmilla. Voittajaehdotuksen tärkeimmät energiatehokkuus- ja kestävyysratkaisut perustuivat pitkälti energiataloudelliseen arkkitehtuuriin.

Useimmat ratkaisut eivät vaadi erityistä talotekniikkaa: etelään päin olevat pitkät räystäät suojaavat asuntoja kuumimmalta auringonpaisteelta, mutta sen sijaan matalalta paistava talviaurinko pääsee paistamaan asuntoon esteettömästi. Eteläisen kattolapteen 30° kulma on aurinkopaneeleille erinomainen. Terrassin liikuteltavalla säleiköllä voi säädellä sekä asuntoon tulevan auringonvalon määrää että terrassin yksityisyyttä. Asuntojen huonejako on suunniteltu siten, että asukas voi halutessaan



jättää osan tiloista ilman lämmitystä. Asukkaita kannustetaan hankkimaan yhteisiä hankintoja, esim. kasvikuivureita, polkupyöräkorjaustarvikkeita tai autonhuoltovälineitä.

*Helsingin Viikissä* haluttiin 1990-luvulla löytää ekologiaan liittyviä innovaatioita ja samalla varmistaa niiden toteutuminen. Päädyttiin uudentyyppiseen ilmoittautumis-kutsukilpailuun. Kilpailuun ilmoit-tautui 29 ryhmää, mukana suurimmat asuntorakennuttajat ja rakennusliikkeet. Jatkoon valittiin 6 ryhmää. Kutsukilpailu käytiin maalis-heinäkuussa 1996.

Kilpailun lisäksi etenkin tontinvarausehdoista muodostui ehkä merkittävästi Viikin ympäristön laatua edistävä väline. Niiden keskeinen ehto oli, että rakennusten tuli täyttää laadittujen ekokriteerien minimivaatimukset. Lisäksi kuhunkin hankkeeseen tuli sisältyä ekologista koerakentamista, tontinva-raajien tuli noudattaa alueen rakentamistapamääräyksiä sekä osallistua ekorakentamisen tulosten seurantaan, esittelyyn ja tiedottamiseen.

Yksi Viikin opeista on se, että kriteeristön käyttö suunnittelun ohjauksessa oli raskasta rakennuttajille, suunnittelijoille ja kaupungin edustajille. Tiukka kriteeristö oli liian työläs yksittäistä kehityskohdetta laajempaan käyttöön. Viikin myöhemmissä rakennusvaiheissa säilytettiin aiemmat ohjauksen peri-aatteet ja tavoitteet, mutta kriteerejä supistettiin. Tämä oppi pätee tänäkin päivänä: mitä tarkempaa analyysiä edellytetään, sitä raskaammaksi arviointi muodostuu. Tontinluovutusehtojen kriteereissä kannattaakin keskittyä niihin asioihin, joilla on suuri vaikutus.

### ***Ehdotuksia Kankaan alueen tontinluovutusehdoiksi ja arkkitehtikilpailuiden sisäl-löksi:***

Alueella on jo sitouduttu kumppanuuksien kautta tapahtuvaan kehittämiseen, milloin tontinluovu-tuskilpailut eivät ole mahdollisia. Sen sijaan vastaavia kriteerejä voidaan asettaa arkkitehtikilpailuihin, joita alueen kehittämisessä on tarkoitus hyödyntää.

*Kepin lisäksi kaupunki voisi Kankaan alueella käyttää porkkanaa: tontin myyntihinnasta voitai-siin vähentää tietty prosenttiosuus aurinkosähköjärjestelmän investointikustannuksista. Esi-merkiksi Tampereen Vuoreksen asuntomessualueella kaupunki perii passiivi- ja nollaenergiata-loilta vain puolet tontinvuokrasta viideltä ensimmäiseltä vuodelta.*

*Aurinkosähkön tuotannon tai kiinteistökohtaisen uusiutuvan energian tuotannon huomioon ottamista voisi edellyttää alueella järjestettävien arkkitehtikilpailujen lähtökohdissa.*



## 5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Jyväskylän Kankaan aluetta ollaan kehittämässä edelläkävijäalueeksi. Yhtenä kehityskohteena on aurinkosähkön tuotannon mahdollisimman laajamittainen käyttöönotto alueella. Tässä selvityksessä on tarkasteltu millä keinoin aurinkosähkön tuotantoa voidaan edistää ja kuinka suuri aurinkosähkön tuotantopotentiaali voisi parhaimmillaan olla.

Selvityshankkeen keskeinen tulos on, että aurinkosähkön tuottopotentiaalia voidaan merkittävästi parantaa suhteessa perinteiseen suunnitteluun suhteellisen yksinkertaisilla toimenpiteillä. Päiviteityssä suunnitelmassa aurinkosähkön tuotantopotentiaali on arviolta 2,6-kertainen lähtökohtana käytettyyn perinteisesti laadittuun rakennemalliin verrattuna.

Aurinkoenergiapotentiaalia olisi hyödyllisintä tarkastella mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, sillä tällöin esimerkiksi tiestön rakennetta ei ole lyöty lukkoon. Mikäli alueen yleissuunnitelma ja korttelirakenne on jo kiinnitetty, voidaan tuotantoon vaikuttaa vielä rakennuksia suuntaamalla sekä katto-muotojen huolellisella suunnittelulla.

Kankaan alueella ympäröivät liikenneyhteydet, alueen muoto ja alueelle jo tehty suunnitelmat rajaavat jossain määrin mahdollisuuksia muuttaa esimerkiksi korttelirakenteita. Aurinkosähkön tuoton kannalta keskeistä Kankaan alueella onkin kuinka paljon aurinkosähkön tuotantoon soveltuvaa kattopinta-alaa voidaan tuotannolle osoittaa.

Tässä hankkeessa tehty selvitykset ovat käyttäneet lähtökohtana jo tehtyä rakennemallia ja muutokset ovat keskittyneet rakennuksien suuntaamiseen, massoitteeluun, kerroskorkeuksien määrittelyyn ja erityisesti kattomuotojen suunnitteluun. Suunnittelun tuloksena on omaleimainen kaupunkikuva, jossa aurinkosähkön tuottoa on saatu merkittävästi lisättyä.

Aurinkosähkön tuotantoteknologiat ovat kehittyneet voimakkaasti viime vuosina. Jo nykyisillä teknologioilla voidaan aurinkopaneeleita kiinnittää ja integroida joustavasti eri tavoin. Perinteiset aurinkosähköpaneelit vaikuttavat kuitenkin kustannustehokkaimmalta tavalta tuottaa aurinkosähköä nyt ja vielä useiden vuosien päähän tulevaisuudessa. Aurinkosähköpaneelien hinnat ovat maailmanlaajuisesti laskeneet hyvin jyrkästi viime vuosina.

Perinteisten paneelien asennukseen parhaiten soveltuvat sijoituskohteet ovat kattopinnat. Jatkossa kustannuksia voitaneen alentaa enemmän aurinkosähköjärjestelmien muissa osissa sekä Suomen oloissa kalliissa työvoimakuluissa. Esimerkiksi kattorakenteisiin integroidut aurinkopaneelit voivat vähentää työmaakuluja merkittävästi.

Aurinkosähkön aktiivisen ja passiivisen hyödyntämisen mahdollisuuksia voidaan ohjata kaavamääräyksillä. Kaavoituksessa keskeistä on rakennusvaiheen tai myöhemmän aurinkoenergian hyödyntämisen mahdollistaminen, esimerkiksi varmistamalla että rakennukset ja niiden katot suunnataan oikein. Kankaan alueella asemakaavoituksella voidaan mm. varmistaa, että eri talotyyppien kattopinnat tulevat aurinkosähkön kannalta suunnatuiksi oikein, että tuotantomahdollisuuksia ei turhaan rajoiteta ja että paneelien jälkiasennukset ovat mahdollisia. Yksityiskohtaisella ohjeistuksella rakentamistapaohjeissa voidaan varmistaa, ettei rakennusvaiheessa tehdä valintoja, jotka rajaavat aurinkoenergian hyödyntämistä.

Kankaan alueen kehittäminen aurinkoenergian edelläkävijäksi edellyttää tulevien rakentajien ja toimijoiden sitouttamista aurinkoenergian tuotantoon. Tämä edellyttää tiivistä vuorovaikutusta



toimijoiden kanssa sekä liiketoiminnallisesti järkevien lähtökohtien löytymistä. Kankaan tapauksessa myös alueella järjestettävien arkkitehtikilpailujen ehdoilla voidaan edistää aurinkosähkön käyttöön ottoa alueella.

Aurinkosähkön tuotantopotentiaalin tarkastelussa on pidetty lähtökohtana, että aurinkosähkön tuotannon pitää olla ainakin jossain määrin taloudellisesti perusteltua. Oletuksena on siis, että tuotantokapasiteettia tulee käytännössä vain parhaille paikoille ja huonosti soveltuville kattopinnoille aurinkopaneeleita ei kannata asentaa lainkaan.

Aurinkosähkön tuotannon toteutuminen käytännössä edellyttää, että aurinkosähköpaneelille ja muille tarvittaville järjestelmän osille löytyy investoija. Investoijan näkökulmasta aurinkosähkön tuotannosta tulee saada riittävä taloudellinen tai muu hyöty investoinnin kulujen kattamiseksi. Tärkeitä näkökulmia ovat mm. miten kiinteistöissä tuotettua sähköä voidaan jakaa eri huoneistojen kesken ja miten eri kiinteistöissä tuotettavaa aurinkosähköä voidaan hyödyntää alueellisesti. Näiden vaihtoehtojen pohdinta on rajattu tämän selvityksen ulkopuolelle, mutta etenee muissa Kankaan alueen hankkeissa.

Kuvassa 12 on havainnollistettu, miltä aurinkosähköntuotannon näkökulmasta optimoidun rakennemallin toteutus Kankaan alueella voisi näyttää.







**Kuva 12.** Ilmakuvasovite Kankaan alueesta ehdotetuilla toimenpiteillä.





# Lähteet

## **Kirjallisuus**

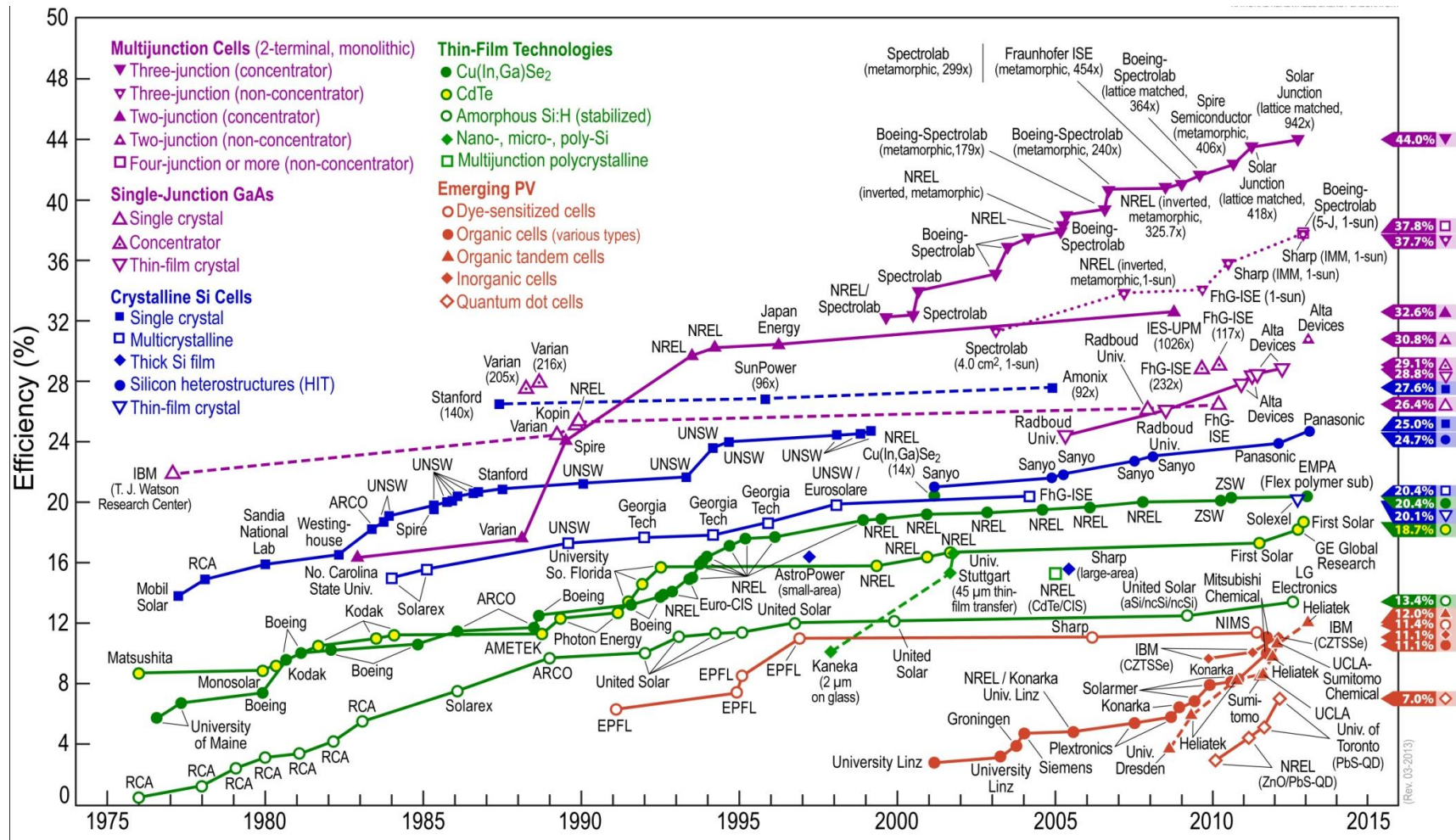
- A-Konsultit. 2008. Pitkämäki rakentamistapaohje.
- Elforsk. 2011. Solceller i samhällsplanering.
- Eriksson Arkkitehdit Oy. 2012. Tontinluovutus-laaturaportti. Teoksessa: Yhdyskuntarakennetta eheyttävän pientalo-asumisen loppuraportti.
- Eriksson Arkkitehdit Oy, Aurinkoteknillinen yhdistys & Naps Systems Oy. 2012. Aurinkovoimala Helsingin kaupungin Östersundomiin. Esiselvitys.
- FCG. 2012. Esiselvitys Kankaan alueen tulevaisuuden energiaratkaisuista – Aurinko- ja tuulienergian hyödyntämismahdollisuudet.
- Helsingin kaupunki & Ympäristöministeriö. 2004. Eko-Viikki. Tavoitteet, toteutus ja tulokset.
- IEA Technology Perspectives 2050.
- IEA World Energy Outlook 2012.
- Ilmatieteen laitos, Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa.
- IRENA, 2012. Renewable energy technologies: cost analysis series. Solar Photovoltaics.
- Jukka Forsman. 2012. Uusiutuvan energian käyttö toimistotalossa, case Viikon Ympäristötalo (esitys).
- Kytösäho Ifa. Helsinki vuokraa ja myy tontteja eko- ja energiatehokkaasti. Seminaariesitys. 11.2.2011.
- Matthew Campbell. 2011. PV Power Plant Cost Trends, presentation to U.S. Department of Energy Balance of Systems (BOS) SunPower Workshop, January 13, 2011.
- National Renewable Energy Laboratory (NREL), [www.nrel.gov](http://www.nrel.gov). Viitattu 2.4.2013.
- Oy Eero Paloheimo Ecocity Ltd, Arkkitehtuuritoimisto B&M Oy & Pacsdata Oy. 2012. Aurinkokaupunki Nurmi-Sorila.
- P. Jonsson & F. Lindberg. 2011. Solar Energy from Existing Structures, Elforsk rapport 11:77, 2011.
- Ren21. Renewables, Global Futures Report 2013.
- Ruukki, [www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Rakentamisen-ratkaisut/Julkisivuverhoukset/Liberta-Solar--julkisivu---rakennukseen-integroitavat-aurinkopaneelit](http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Rakentamisen-ratkaisut/Julkisivuverhoukset/Liberta-Solar--julkisivu---rakennukseen-integroitavat-aurinkopaneelit). Viitattu 17.4.2013.
- Tampereen Vuores, [www.tampere.fi/vuores.html](http://www.tampere.fi/vuores.html). Viitattu 29.4.2013.
- Teuvo Lylykangas. 2012. Ilmastotavoitteita toteuttava asemakaavoitus.
- Tuomas Lapp. 2009. Aurinkovoimalan käyttö lisäenergian lähteenä Kiilto Oy:ssä.

## **Haastattelut**

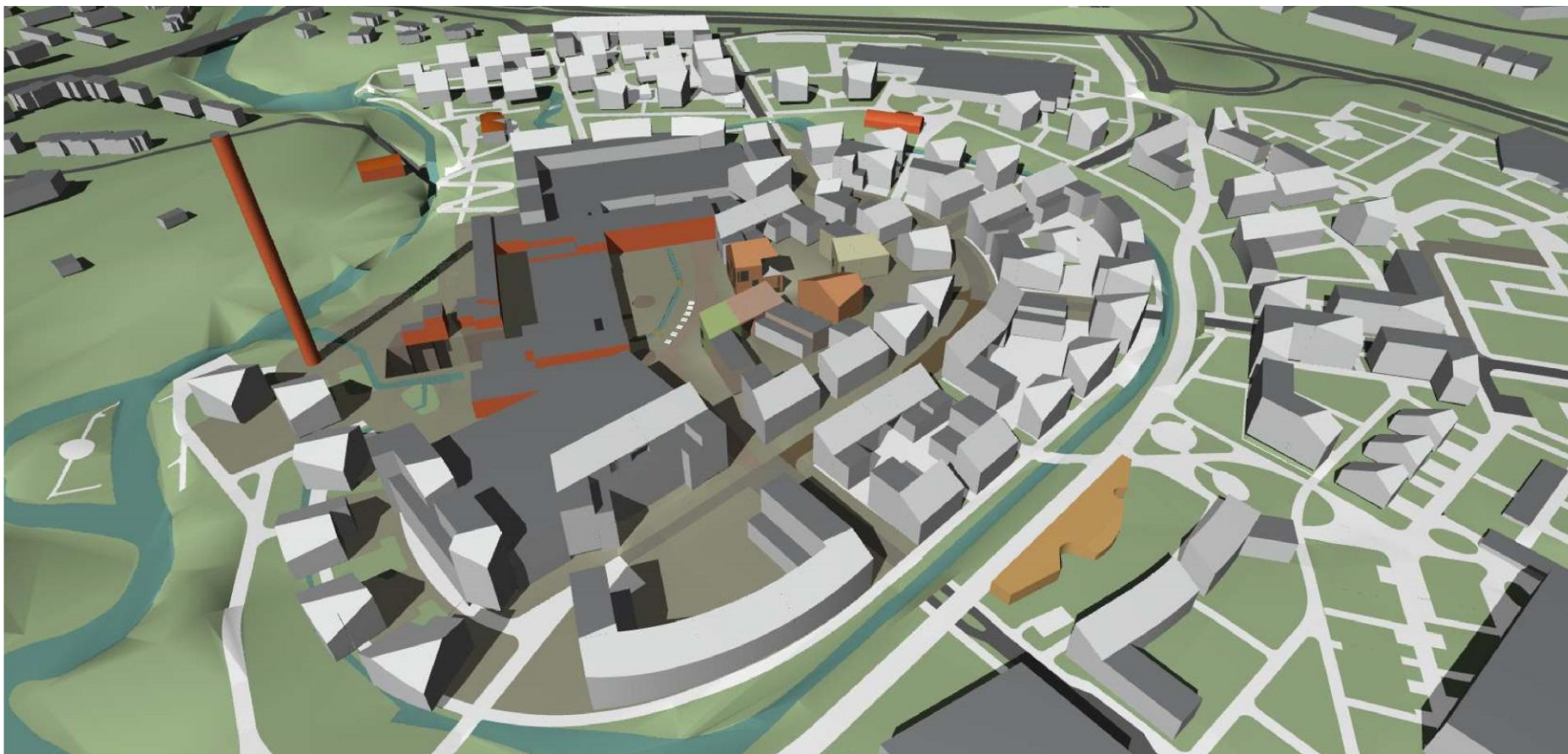
- Mikko Juntunen, Naps Systems Oy
- Matti Kantonen, Finnwind Oy
- Petteri Lautso, Rautaruukki Oyj
- Jyrki Leppänen, ABB Oy
- Eero Vartiainen, Fortum Oyj
- Jari Viinanen, Helsingin kaupungin ympäristökeskus



# Liite 1: Aurinkosähkön tuotantoteknologioiden hyötysuhteiden kehittyminen



## Liite 2: Muutetun rakennemallin aksonometriat



**Kuva L1.** Muutetun rakennemallin aksonometria lounaasta katsottuna.







**Kuva L2.** Muutetun rakennemallin aksonometria kaakosta katsottuna.





**Kuva L3.** Muutetun rakennemallin aksonometria lounaasta katsottuna.







**Kuva L4.** Muutetun rakennemallin aksometria luoteesta katsottuna.

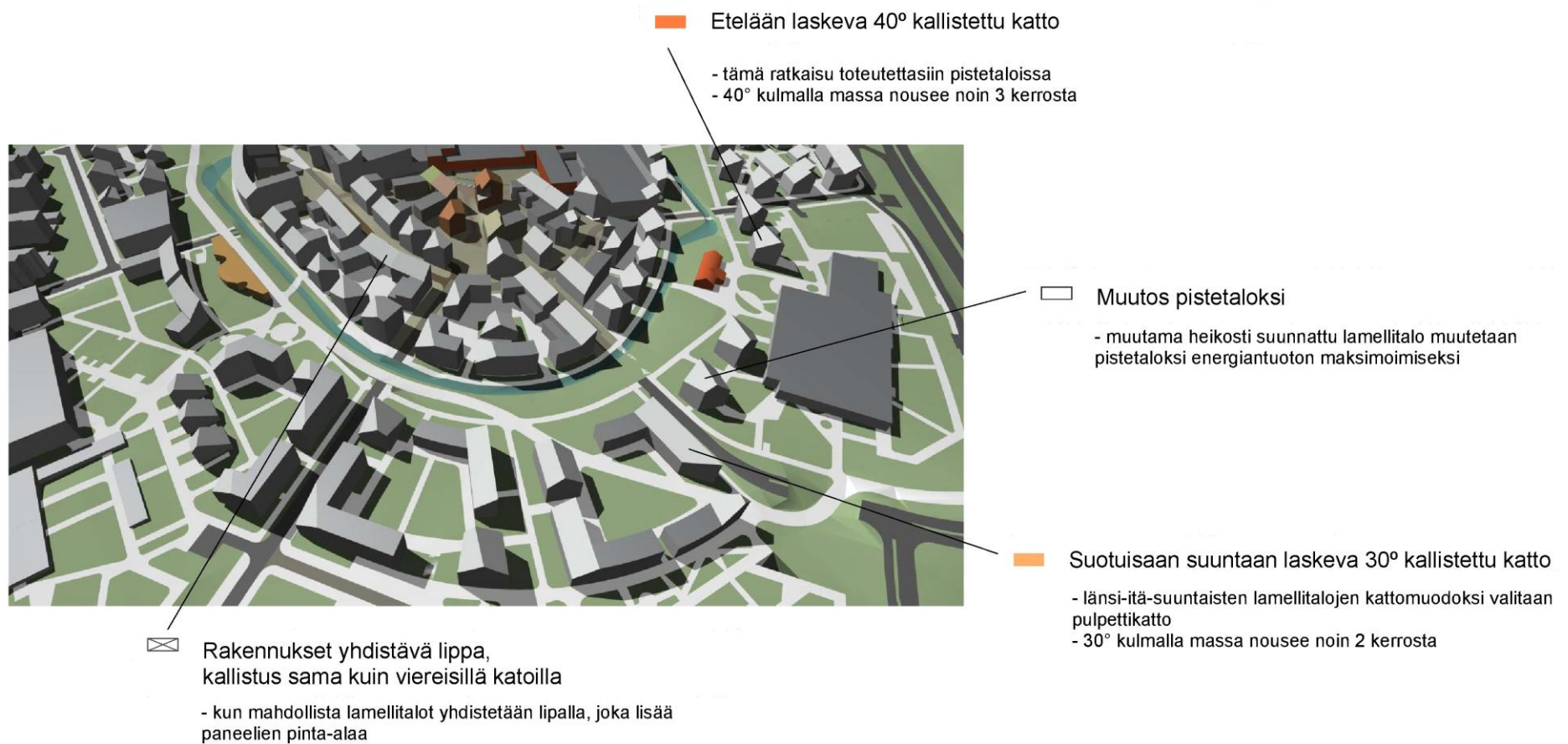




**Kuva L5.** Muutetun rakennemallin aksonometria koillisesta katsottuna.







**Kuva L6.** Päivitetyssä mallissa ehdotetut muutokset.

