



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jarmo Pulliainen

Aurinkoenergia toimistokiinteistöissä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikka

Insinööriytyö

29.3.2019

Tekijä Otsikko	Jarmo Pulliainen Aurinkoenergia toimistokiinteistöissä
Sivumäärä Aika	43 sivua 29.3.2019
Tutkinto	insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-tekniikka
Ohjaajat	lehtori Jarmo Tapio
<p>Tässä tutkielmassa oli tavoitteena selvittää, kuinka hyvin aurinkoenergiavoimalat ovat onnistuneet lunastamaan investointipäätöksiensä mukaiset energiantuotonsa sekä takaisinmaksuaikansa ja näiden kautta mahdollisesti kehittää kaupallista materiaalia. Tämän lisäksi haluttiin tutkia, minkälainen ympäristövaikutus järjestelmillä on elinkaarensa aikana sekä vaikuttaako investoidut järjestelmät kiinteistöjen arvoihin.</p> <p>Tutkimuksessa selvitettiin kahden Helsingin alueella toteutetun hankkeen energiantuotto toteumien suhdetta investointipäätöksiensä lähtötietoina olleisiin arvoihin. Tämän vertailun kautta haluttiin tietää ovatko nämä alkuperäiset laskelmat kohdanneet noin 2,5 vuoden toteuman kanssa. Ympäristövaikutusten osalta niin ikään tarkasteltiin hiilidioksidipäästövähenemää laskennallisesti suhteessa arvioituun alkuperäiseen arviointiin. Edellä mainittujen lisäksi kiinteistön arvon määrittämisen osalta tarkasteltiin laskennallisesti karkealla nettotuotolaskennalla aurinkosähkön vaikutusta kiinteistön arvoon.</p> <p>Tutkimuksessa saatiin selville, että alkuperäinen laskenta on ollut hyvin onnistunut ja järjestelmät toimivat melko lailla odotetusti. Joitain poikkeamia simulointikuukausiin nähden havaittiin molemmissa tarkasteltavissa aurinkosähköjärjestelmissä ja niitä tulisi jatko selvittää. Toki niiden vaikutus kokonaistuottoon on melko pieni. Ympäristövaikutuksiltaan tutkimuksen perusteella aurinkosähköjärjestelmät ovat kokonaisuudessaan ympäristöystävällisiä investointeja. Kiinteistön arvoihin aurinkosähköjärjestelmät tuntuivat vaikuttavan hyvin vähän, toki tämä tarkastelu tehtiin karkealla tasolla ja monilla olettamuksilla.</p> <p>Tutkimuksen jatkona voisi vielä lähteä optimoimaan niitä kuukausia, milloin aurinkosähköjärjestelmät eivät ole tuottaneet niin hyvin, kuin mitä simuloinnin kautta teoriassa olisi saatavissa. Lisäksi kiinteistön arvonmäärittämiseen liittyen olisi mielenkiintoista tutkia asiaa vielä syvällisemmin.</p>	
Avainsanat	aurinkosähkö, investointi, elinkaarianalyysi

Author Title	Jarmo Pulliainen Solar Energy in Office Properties
Number of Pages Date	43 pages 29 March 2019
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Building Services Engineering
Instructors	Jarmo Tapio, Senior Lecturer
<p>The aim of this Master's thesis was to find out how well solar power plants have managed to redeem their energy yields and repayment times according to the investment decisions, and to develop commercial material based on the findings. In addition, the environmental impact of the systems during their life time and whether the systems affect property values were looked into.</p> <p>The study examined the relationship between the energy yields of two projects implemented in the Helsinki area and the values of the investment decisions to establish whether the initial calculations were met. Furthermore, the CO2 emission reduction was calculated in relation to the initial estimate. In addition the effect of solar power on the value of the property was estimated.</p> <p>The study found that the original calculation had been very successful and that the systems functioned mostly as expected, although some deviations from the simulation months were found in the systems. These should be studied further. Based on the study, solar photovoltaic systems as a whole are environmentally friendly investments. According to this very rough review, solar photovoltaic systems seemed to have very little effect on the value of the property.</p> <p>As a follow-up study, optimizing the months when systems have not produced as well as assumed would be interesting. Another interesting point would be to follow the valuation of the property.</p>	
Keywords	photovoltaic, investment, life cycle analysis

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Taustaa ja lainsäädäntöä	2
2.1	Energiantuotanto	2
2.2	Kansainväliset toimet	4
2.3	EU:n toimet	5
2.4	Kansalliset toimet	7
2.5	Paikalliset toimet	7
3	Aurinkoenergia Suomessa	8
4	Kiinteistöomistajan ilmastopoliittika	12
5	Hankeselvitys sekä laskenta	12
5.1	Hankeselvitykset	13
5.2	Investointilaskenta	18
6	Toteutus	22
6.1	Itälahdenkatu 22a	22
6.2	Itämerenkatu 11–13	23
7	Energiatuotto	24
7.1	Itälahdenkatu 22a	25
7.2	Itämerenkatu 11–13	26
8	Elinkaariarviointi	28
8.1	Hiilijalanjälki	28
8.2	Aurinkoenergia suhteessa muihin sähköntuottomuotoihin	29
8.3	Energian takaisinmaksuaika	32
9	Arvovaikutus	33
10	Johtopäätökset	34
11	Pohdinta	37
	Lähteet	39

1 Johdanto

Globaalisti ilmastopoliittika on entistä enemmän esillä politiikassa sekä mediassa tänä päivänä. Ilmaston lämpeneminen on noussut keskusteluihin vahvasti ja toimenpiteet sen hillitsemiseksi ovat kiivaassa käynnissä. Yksi selkeä toimenpide tämän tavoitteen saavuttamiseksi on uusiutuvien energialähteiden laajempi käyttöönotto maailmanlaajuisesti ja samaan aikaan fossiilisten polttoaineiden käytön rajoittaminen tai kokonaan niistä luopuminen.

Työssä tutustutaan siihen, miten kansainvälinen, kansallinen ja paikallinen lainsäädäntö ohjaavat kestävästä kehitystä ja tätä kautta uusiutuvaa energiatuotantoa, kuten aurinkosähköä. Työssä tarkastellaan myös, missä uusiutuvan energiatuotannon ja erityisesti aurinkosähkön suhteen ollaan menossa tällä hetkellä Suomessa.

Työn ensisijaisena tavoitteena on selvittää, kuinka hyvin aurinkoenergiajärjestelmät ovat tänä päivänä onnistuneet lunastamaan paikkansa tässä energiansäästön ja hiilidioksidivähennysten kilpajuoksussa. Osatavoitteena on myös tutkia toteutettujen kahden hankkeen kautta investointilaskelmien oikeellisuutta ja mahdollisuuksia kehittää kaupallista materiaalia tämän myötä. Lisäksi haluttiin hieman selvittää aurinkosähköjärjestelmien mahdollista vaikutusta kiinteistöjen arvoihin.

Tarkasteludataa saadaan kahdesta Helsingissä sijaitsevan toimistokiinteistön katolle toteutetusta aurinkoenergiavoimalasta ja niiden tuottamasta sähköenergiasta reilun kahdenvuoden mittaiselta tarkasteluajanjaksolta.

Kiinteistöt, joihin aurinkovoimalat on toteutettu, omistaa Keskinäinen työeläkevakuutusyhtiö Varma. Varman ympäristöstrategian mukaisesti se pyrkii vähentämään hiilidioksidipäästöjään kiinteistösijoituksiensa osalta ja näin aurinkosähköjärjestelmät ovat myös tätä kautta mielenkiintoisia tarkasteltavia järjestelmäratkaisuja heidän kiinteistöihinsä.

Aineistoa on hankittu useista eri lähteestä niin suomen kielellä kuin englanniksikin. Lähteet vaihtelevat Euroopan unionin tuottamista dokumenteista Maailman ydinvoimajärjestön tutkielmiin ja aina laitevalmistajien ohjeisiin ja selvityksiin.

Tutkimusmenetelmä on kvantitatiivinen, jossa laskentadataa saadaan kahdesta toteutetusta hankkeesta, jotka ovat olleet käytössä vuodesta 2016. Tuottodata tallentuu järjestelmien inverttereihin ja siirtyy näiden kautta valmistajan pilvipalveluun. Näiden aurinkosähköjärjestelmien toteutunutta tuottodataa verrataan hankkeiden investointilaskelmien lähtödataan.

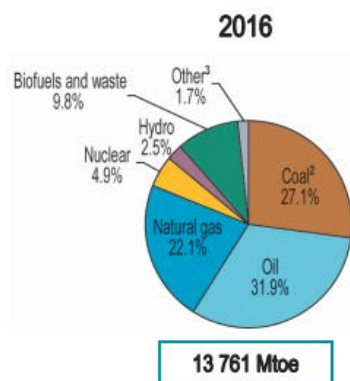
Laskennassa käytetyt euromääräiset arvot hankkeiden toteutuksien osalta eivät ole todellisia, vaan perustuu arvioihin.

2 Taustaa ja lainsäädäntöä

Tässä kappaleessa tutustutaan hieman tarkemmin energiantuotannon taustaan sekä lainsäädäntöihin.

2.1 Energiantuotanto

Suuri osa maapallon primäärienergiatuotannosta toteutetaan edelleen fossiilisten polttoaineiden avulla. Kuvassa 1 uusiutuvia energioita edustaa vesienenergia 2,5 % sekä muut 1,7 %. Tämä sisältää maalämmön, aurinkoenergian, vuorovesi ja aaltoenergian.

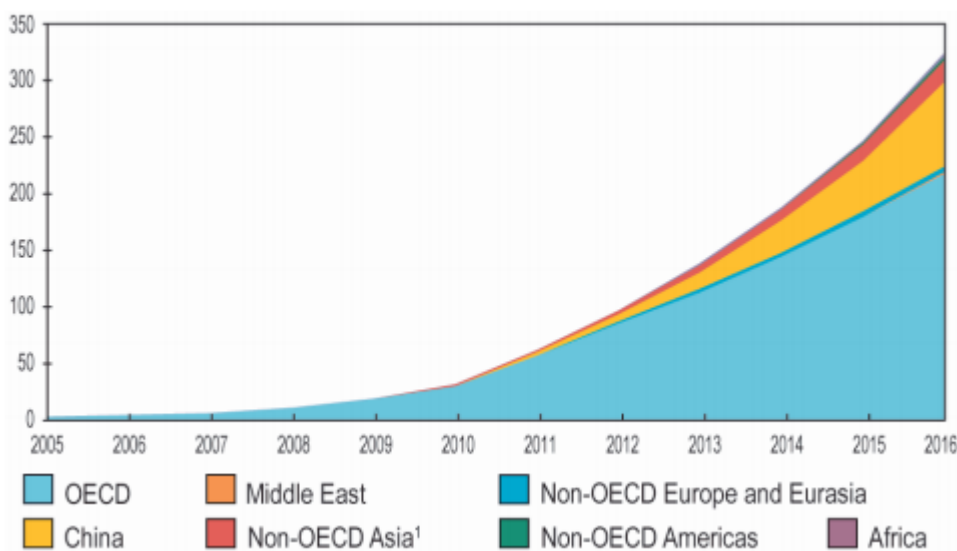


Kuva 1. Maailman primäärienergian tuotto polttoainelajeittain vuonna 2016. (6.)

Uusiutuvien energialähteiden osuus on siis kokonaisenergian tuotosta vain 4 % vuoden 2016 tilaston mukaan.

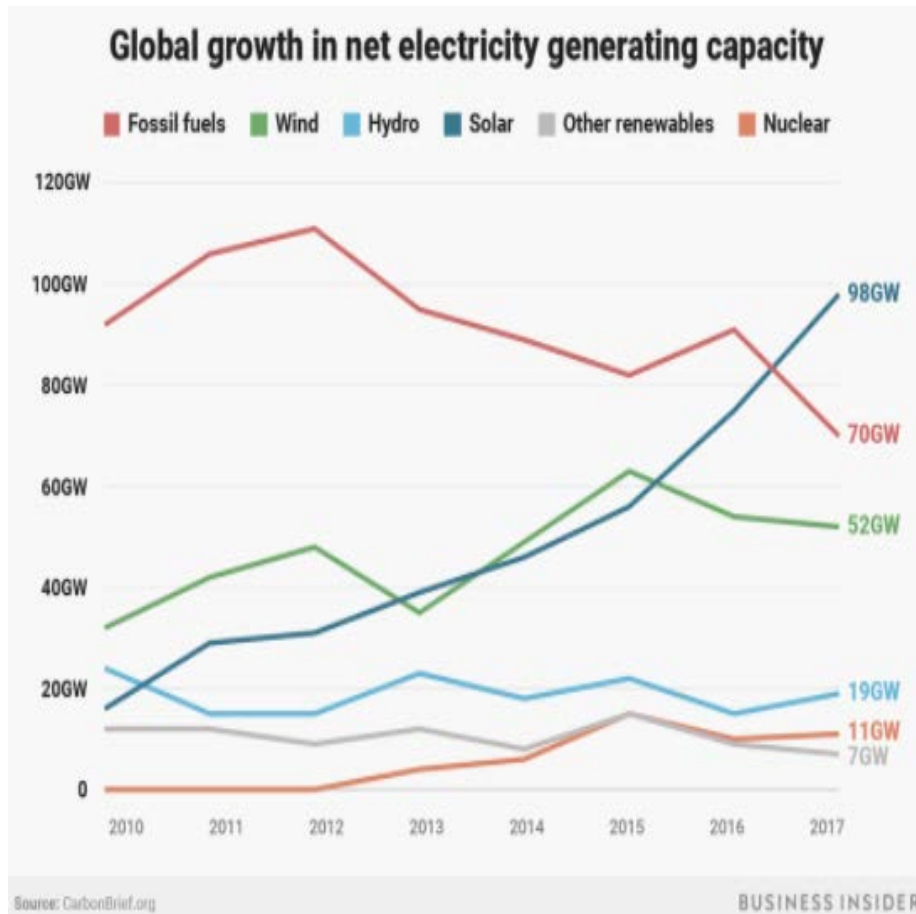
Aurinkoenergian osuus on kuitenkin viime vuosina ollut kovassa kasvussa, kuten kuvasta 2 on havaittavissa. Erityisesti vuodesta 2010 alkaen OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) maissa, mutta myös viime vuosina Kiinassa ja muissa Aasian ei-OECD-maissa on kasvu ollut vielä tätäkin nopeampaa.

World solar PV electricity production from 2005 to 2016 by region (TWh)



Kuva 2. Aurinkoenergian tuoton kehitys. (6.)

Tästä vielä tarkemmin tarkasteltuna maailmanlaajuisesti sähköntuotannon kapasiteettien osalta eri tuottomuodoittain voidaan myös huomata kuvan 3 kaltainen selkeä kehitys aurinkosähkön osuuden vahvana kasvuna vuodesta 2010 vuoteen 2017, joka on noin 80 GW. Samaan aikaan esimerkiksi fossiilisilla polttoaineilla tuotetun sähkön osuus on vähentynyt noin 25 GW.



Kuva 3. Sähkön tuottokapasiteettien kasvu tuottomuodoittain. (7.)

2.2 Kansainväliset toimet

Globaalin lämpenemisen hidastamiseksi tai pysäyttämiseksi on historiassa tehty kansainvälisesti yhteistyötä erilaisten ilmastopoliittisten yhteistyösopimusten myötä.

Wienin yleissopimuksen (vuonna 1985) tavoitteena oli tieteellinen ja tekninen yhteistyö otsonikerroksen suojelemiseksi. Mitään konkreettisia raja-arvoja CFC-yhdisteiden (chlorine-fluorine-carbon) osalta ei sopimuksessa kuitenkaan vielä asetettu. Sopimusta pidetään kuitenkin vahvana pohjana myöhemmin tehdylle Montrealin pöytäkirjalle. (2).

Montrealin pöytäkirjan (vuonna 1987) tarkoitus oli saada otsonikerroksen ohentuminen pysähtymään hillitsemällä haitallisten CFC-kaasujen käyttöä. Sopimus ei suoranaisesti vaikuttanut aurinkosähköjärjestelmien valmistukseen tai myyntiin, mutta edesauttoi

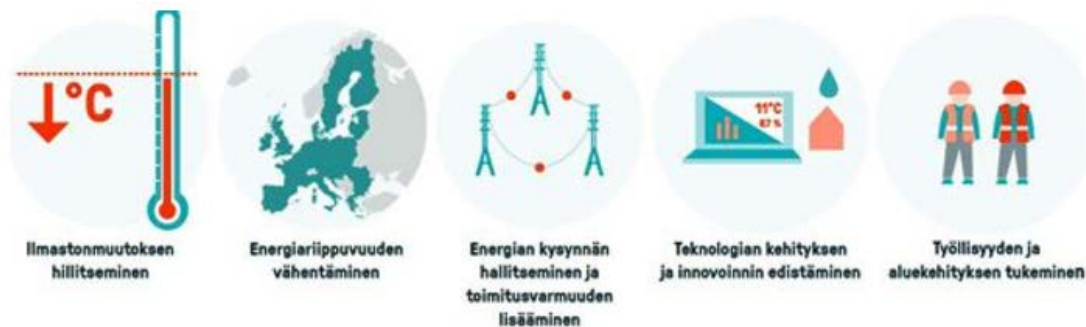
maailmanlaajuista yhteisen päämäärän ja tavoitteiden asetantaa maiden välillä jatkossa. (1; 3.)

Kioton pöytäkirja (vuonna 2005) oli ensimmäinen oikeudellisesti sitova sopimus. Sen tavoitteena on hiilidioksidipäästöjen vähentäminen. Ensimmäinen velvoitekausi oli vuosina 2008–2012. Suomi saavutti ensimmäisellä kaudella sille asetetut tavoitteet, joka oli maksimissaan 355 miljoonaa tonnia CO₂-ekv (CO₂-ekc eli hiilidioksidiekvivalentti, joka mittaa ihmisen tuottamien kasvihuonekaasujen vaikutusta ilmastoon). Tämän arvon Suomi alitti 5 prosentilla. Toisen kauden velvoitteiden mukaisesti EU-maat ovat sitoutunut vähentämään hiilidioksidipäästöjään 20 % vuoden 1990 tasosta kauden 2013–2020 aikana. (8.)

Pariisin ilmastosopimus on vuonna 2015 solmittu sopimus, johon ensi kertaa lähes kaikki maailman maat ovat osoittaneet olevansa kiinnostunut osallistumaan. Sopimuksen tavoitteena on pitää maapallon keskilämpötilan nousu alle 1,5 asteessa esiteolliseen aikaan verrattuna. Tämän lisäksi sopimus ottaa myös kantaa vähähiilisen ja ilmastoystävällisen kehityksen puolesta. Sopimus ei sisällä lukumääräisiä maakohtaisia tavoitteita mm. hiilidioksidipäästöjen osalta, vaan se sitouttaa maat valmistelemaan, tiedottamaan, ylläpitämään sekä saavuttamaan peräkkäiset kansalliset päästötavoitteensa. Vuonna 2017 Yhdysvallat kuitenkin vetäytyi Pariisin ilmastosopimuksesta vedoten sen olevan huono maan taloudelle. (9; 10.)

2.3 EU:n toimet

Euroopan unioni on osaltaan tehnyt toimia ilmastonsuojelun osaksi. Kuvassa 4 on esitetty karkealla jaolla näitä eri toimia kategorioittain. Toimija ohjataan asetetuilla direktiiveillä, joita jäsenmaat noudattavat sellaisenaan tai soveltaen, riippuen direktiivissä.



Kuva 4. Rakennusten energiatehokkuuden kehittämisen keskeisiä osa-alueita EU:ssa. (29.)

Päästädirektiivi (2001/81/EY) tuli voimaan vuonna 2001 ja Suomessa 2002, kun valtioneuvosto hyväksyi kansallisen ilmansuojeluohjelman (SY588). Direktiivi antaa velvoitteen vähentää rikkidioksidin, typen oksidien, VOC-yhdisteiden eli haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja ammoniakkin päästöjä. Aikajakso tälle direktiivin kaudella on 2010–2019. (12.)

Ilmanlaatua koskeva direktiivi (2008/50/Ey) tuli voimaan 2008 ja Suomessa vuonna 2011. Direktiivissä annetaan raja-arvoja päästöille, kuten rikkidioksidille, typpidioksidille ja typen oksideille sekä lyijylle. (12.)

RES-direktiivi (2009/28/EY) ohjaa EU:n tasolla uusiutuvan energiantuotannon edistämistä. Sen mukaisesti vuoteen 2020 mennessä uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian osuus pitäisi nousta EU-tasolla 20 prosenttiin loppukulutuksesta vuoden 1990 lukuihin verrattuna. Kaikilla jäsenmailla on direktiivissä omat tavoitteet, Suomen osuus on 38 prosenttia loppukulutuksesta. (11.)

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (2010/31/EU) tarkoituksena on vähentää kiinteistöjen hiilidioksidipäästöjä energiatehokkuutta parantamalla. Direktiivi antaa kansalliselle tasolle sovellettavaksi raamit kiinteistöjen energiatehokkuuden parantamiseksi. (30.)

Energiatehokkuusdirektiivi eli EED (2012/27/EU) tuli voimaan 4.12.2012. Direktiivi korvasi sitä edeltäneen energiapalveludirektiivin ja CHP-direktiivin. Energiadirektiivin mukaisesti jäsenmaiden tulee laatia kolmen vuoden välien kansallisen tason energiate-

hokkuuden toimintasuunnitelman sekä raportoimaan vuosittain toteutetuista toimista. (28.)

2.4 Kansalliset toimet

Suomen omat asetetut tavoitteet tulevat kuten yllä mm. EU:n asettamina yhteistavoitteina, mutta myös omina kansallisina tavoitteina ja tarkennuksina ennen kaikkea.

Suomessa rakennusten energiatehokkuutta ohjataan kansallisella tasolla maankäyttö- ja rakennuslailla sekä rakentamismääräyskokoelmalla.

Rakentamismääräyskokoelman energia osiossa ohjeistetaan tarkemmin rakennusten energiatehokkuuteen ja niiden vähimmäisvaatimuksiin. Rakentamismääräyskokoelma ohjaa rakentamista jatkuvasti pienempiin energiakulutuksiin ja niin sanottuun lähes nollaenergiarakentamiseen, jonka periaatteena on tehdä hyvin energiatehokkaita rakennuksia, joiden energiatarve tuotetaan pitkälti uusiutuvalla energialla. (29.)

2.5 Paikalliset toimet

Paikalliset toimet aurinkosähköjärjestelmien osalta tarkasteltuna eri kaupunkien ja kuntien osalta vaihtelee. Järjestelmien luvanvaraisuus määrittyy kaupunkikohtaisten rakennusjärjestysten mukaan ja nämä ottavat vaihtelevasti kantaa aurinkosähköjärjestelmien asennuksiin kiinteistöissä. (17.)

Helsingin kaupungin rakennusjärjestyksen mukaisesti aurinkokeräimen sijoittaminen rakennukseen, rakennelmaan tai pihamaalle on vapautettu toimenpideluvan hakemisen piiristä. (18.)

Edellä läpi käydyt ilmastosuojelua auttavat toimenpiteet ovat osaltaan olleet vahvasti edistämässä uusiutuvien energiatuottomuotojen teknologioiden kehitystä sekä tuotantokapasiteettien kasvua ja tätä kautta tuotteiden hintakehityksen muutosta.

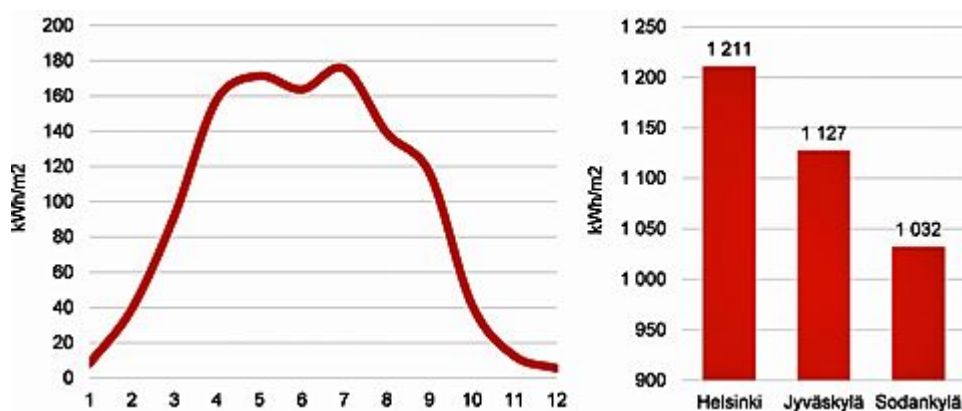
3 Aurinkoenergia Suomessa

Suomen otollisuus aurinkosähkölle on melko hyvä pohjoisesta sijainnista huolimatta. Aurinkopaneeleiden kyky hyödyntää suoran säteilyn lisäksi myös hajasäteily kuten heijastukset vedenpinnasta tai lumihangesta nostavat nimenomaan Suomessakin paneeleista saatavaa tehoa. Kuten kuvasta 5 voidaan havaita, jakautuu vuotuinen auringon säteily määrä Suomessa selvästi. Säteilymäärät onkin syytä aina tarkastella hankekohdaisesti riippuen siitä, mille paikkakunnalle aurinkoenergiavoimalaa ollaan suunnittelemassa. (15.)



Kuva 5. Vuotuinen aurinkosähkön tuotantomäärä 1 kW_p:n järjestelmällä (kWh/v) optimaalisesti suunnatuille ja kallistetuille pinoille. (15.)

Aurinkoenergia jakautuu myös vuositasolla kuukausittain hyvin epätasaisesti kuten kuvasta 6 voidaan havaita.



Kuva 6. Auringon keskimääräiset kuukausittaiset säteilymäärät sekä kaupunkikohtaisia säteilymääräeroja. (15.)

Aurinkosähkön tuotanto on ollut Suomessakin kasvussa, vuosien 2016–2017 aikana sähköverkkoon liitettyjen aurinkosähkövoimaloiden tuotantokapasiteetti kasvoi noin 2,5 kertaiseksi 27,2 MW:sta 66,2 MW:in. Ja vuodesta 2015 vuoteen 2016 vastaavasti kapasiteetti yli kolminkertaistui vuoden 2015 noin 8 MW:sta. (13; 14.)

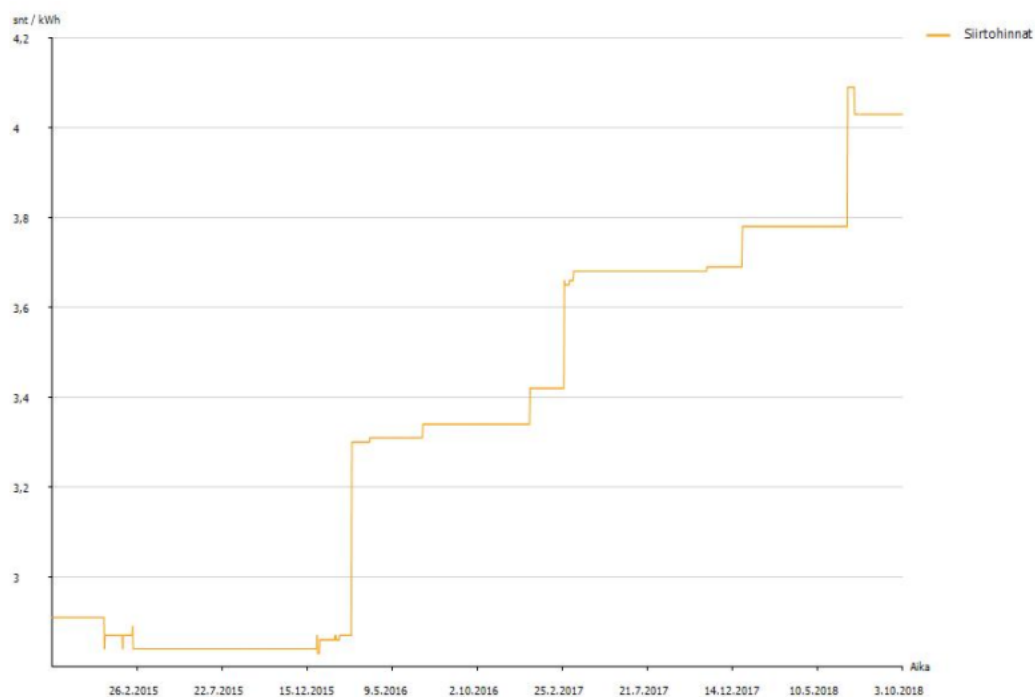


Kuva 7. Verkkoon kytketty aurinkosähkökapasiteetti (4.)

Kuvasta 7 näkyy vielä selkeämmin aurinkosähkötuotantokapasiteetin jyrkkä kasvuvauhti Suomessa. Yhtenä selvittävänä tekijänä kasvulle pidetään aurinkopaneelien asennuksiin liittyvien lupakäytäntöjen helpottamista. (16.)

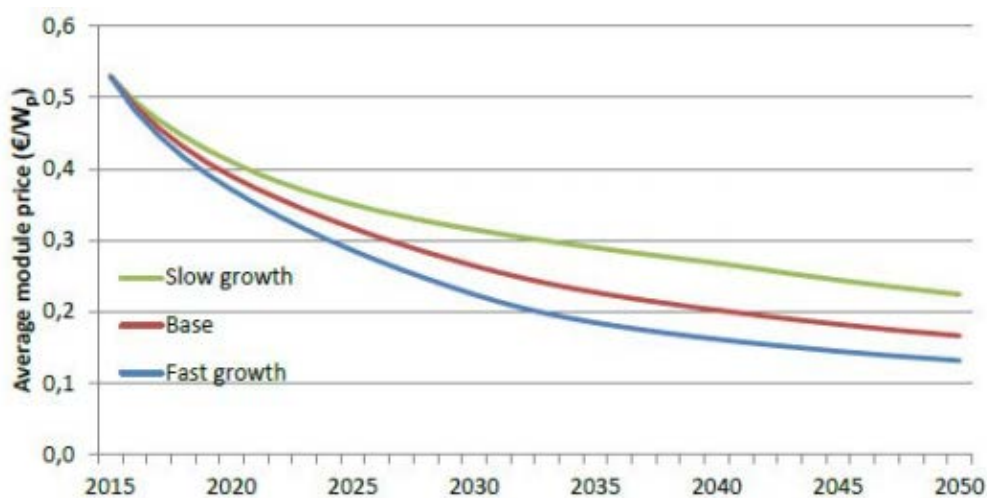
Toisaalta myös erityisesti omakotitalouksien osalta nousseiden verkkoyhtiöiden siirtokustannuksien myötä pientuottajien määrä on ollut kasvussa. Kuvassa 8 on tarkasteltuna Etelä-Suomen sähkön verottoman sähkön nimellisen siirtohinnan kehitystä aikavälillä 3.10.2014–3.10. 2018. Verottomat siirtohinnat ovat tämän mukaisesti kasvaneet tarkastelujaksolla yli 38 %. (19.)

Verottomat nimelliset siirtohinnot. Pientalo 18 000 kWh/v, Etelä-Suomi (ilman Uuttamaata) 03.10.2014 - 03.10.2018



Kuva 8. Sähkön verottoman nimellissiirtohinnan kehitys aikavälillä 3.10.2014–3.10.2018. (19.)

Tulevaisuudessa aurinkopaneelien hintatason on arvioitu kehittyvän vielä edelleen alaspäin, mikä osaltaan parantaa myös hankkeiden takaisinaikalaskelmia pienempien alkuinvestointikustannusten myötä.



Kuva 9. Aurinkopaneelien keskihinnan kehitys ja arvio tulevaisuudesta, wattia per euro. (5.)

Kuvassa 9 on kolme eri skenaariota paneelien hinnan kehityksestä. Hidas ennuste toteutuu, jos aurinkopaneelien määrä kasvaa nykyistä tahtia. Normaali ennuste huomioi historian mukaisen kehityksen ja nopean skenaarion mukaan paneelien asennustahti vielä kiihtyy.

4 Kiinteistöomistajan ilmastopolitiikka

Keskinäinen työeläkevakuutusyhtiö Varman tavoitteena on sijoitusten ilmastopolitiikan mukaisesti pienentää vertailukelpoisten omalla ylläpitovastuulla olevan kiinteistökannan hiilijalanjälkeä suhteessa bruttoneliöihin vuoden 2015 tasosta 15%:lla vuoteen 2020 20 %:lla vuoteen 2025 mennessä. Vuoden 2015 lopussa hiilijalanjälki oli 33,8 kiloa bruttoneliötä kohden. (20.)

Varma on myös mukana vapaaehtoisessa energiatehokkuussopimuksessa, joka kattaa elinkeinoelämän, kunta- ja kiinteistöalan sekä öljyalan. Sopimuksessa sitoudutaan tehostamaan energiankäyttöä sopimuksen mukaisiin tavoitteisiin.

Sopimukseen liittyvillä yrityksillä on myös mahdollisuus hakea valtion tukea energiatehokkuusinvestointeihinsa. Vuoden 2016 lopussa sopimuksien piirissä oli yli 65 % Suomen kokonaisenergiankäytöstä, joka siis oli 371 TWh vuonna 2016. (21.)

Varman merkittävimmät kiinteistöt on myös tarkoitus sertifioida pääsääntöisesti BREEAM-ympäristöluokituksen (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) mukaisesti vuoteen 2025 mennessä. BREEAM-ympäristöluokituksen myötä omistaja saa paremman käsityksen kiinteistöjen sen toimintaympäristöön perustavasta suorituskyvystä ja toisaalta mahdollisuuden vertailla kiinteistöjä keskenään eri luokituksen osa-alueilla. (22.)

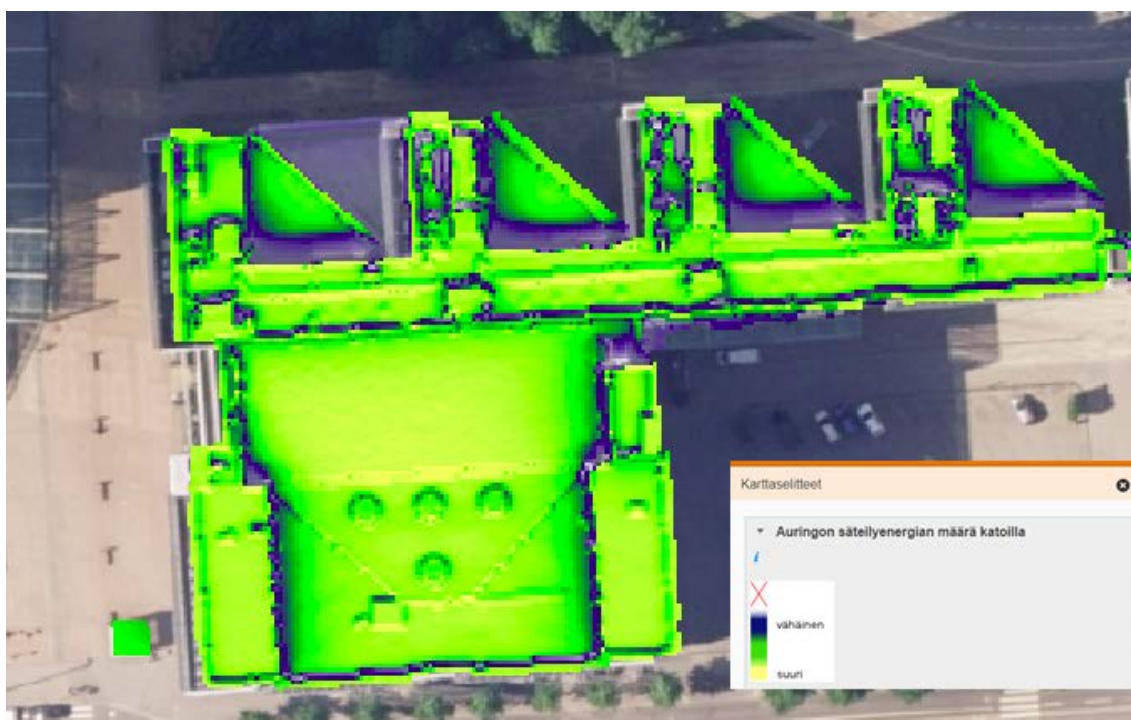
5 Hankeselvitys sekä laskenta

Luvussa käydään läpi karkealla tasolla, mitä asioita hankeselvitysvaiheessa tarkastellaan ja kuinka järjestelmän investointipäätöstä varten tehtävä laskenta muodostuu.

5.1 Hankeselvitykset

Aurinkoenergiaprojektin alkuvaiheissa potentiaaliseen kohteeseen lähdetään selvittämään usein ensin alustavia mahdollisuuksia kuinka paneeleita voisi olla asennettavissa kiinteistöön ja minkä verran auringonsäteilyä niihin kohdistuisi, huomioiden mm. varjotukset puustosta tai muusta rakennetusta ympäristöstä.

Auringon säteily määrä kiinteistöjen katto pinnoille voi tarkastaa Helsingin kaupungin karttapalveluiden kautta (<https://kartta.hsy.fi>). Palvelussa voi erilaisten suodattimien avulla tutkia mm. auringon säteilyenergian määrää katoilla, paneeleille sopivat sijainnit sekä aurinkosähköpotentiaalin.



Kuva 10. Helsingin karttapalvelulla tarkasteltu kiinteistön katon säteily määrää. (42.)

Kuvassa 10 on tarkasteltu säteily määrää mitä kiinteistön katolle tulee. Väriskaala kertoo suurusluokan vaihteluvälillä vähäinen tai suuri.



Kuva 11. Paneeleille sopivat asennuspaikat. (42.)

Kuva 11 näyttää paneeleille alustavasti sopivia asennuspaikkoja halutun kiinteistön katolla värjättyjen alueiden kautta.



Kuva 12. Aurinkosähköpotentiaalin tarkastelu samaiseen kiinteistöön. (42.)

Kuva 12. kiinteistötasolla yleisesti potentiaalisia kokonaisuuksia. Näillä karttapalvelun tarkasteluilla pystytään nopeasti tutkimaan ja toteamaan kyseinen katto tämän perusteella potentiaaliseksi aurinkoenergiajärjestelmälle.

Tarkemman auringonsäteily määrän voi määrittää halutulle kiinteistölle myös European Commission Joint Research Centren Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps-työkalulla (PVGIS). Työkalulla saadaan ulos myös optimaalinen paneelikulma säteilyteho $\text{Wh/m}^2/\text{päivä}$ sekä vertailu jollekin toiselle asennuskulmalle esimerkiksi, jos tiedetään tulevan asennuskulman olevan jotain muuta kuin optimaalinen.

The screenshot displays the 'Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps' interface. At the top, there are logos for JRC and CM SAF, along with navigation links like 'EUROPA > EC > JRC > DIR-C > RE > SOLAREC > PVGIS > Interactive maps > europe'. A search bar contains the text 'e.g. "Ispra, Italy" or "45.256N, 16.9589E"'. The map shows a building on Itämerenkatu with a red location pin. The right-hand panel is titled 'Monthly global irradiation data' and includes the following options:

- Radiation database: Classic PVGIS
- Horizontal irradiation
- Irradiation at opt. angle
- Direct normal irradiation
- Irradiation at chosen angle: 45 deg.
- Linke turbidity
- Dif. / global radiation
- Optimal inclination angle

Monthly ambient temperature data:

- Average daytime temperature
- Daily average of temperature
- Number of heating degree days

Output options:

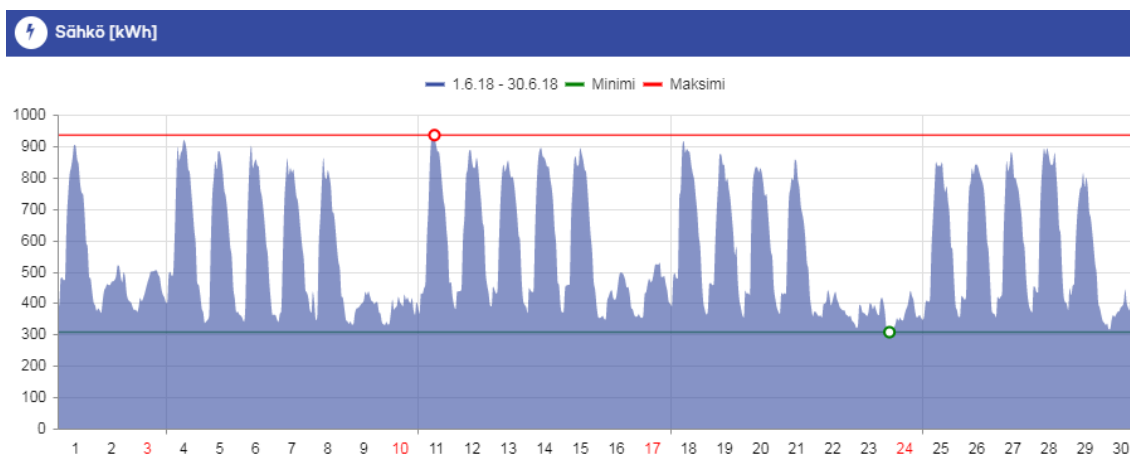
- Show graphs
- Show horizon
- Web page
- Text file
- PDF

A 'Calculate' button is located at the bottom of the panel. A 'NEW: PVGIS 5 release candidate. Read about it here and try it out! This version will no longer be available as of mid October.' notice is visible at the top right of the panel.

Kuva 13. Auringon säteily määrän selvitys. (24.)

Kun alustava selvitys kiinnostavalle kohteelle on selvitetty, tulee tarkastella kohteen sähkönkulutusprofiilia ja tehdä ns. pohjakuormaselvitys. Selvityksessä hyödynnetään kohteen tuntitasoista kulutusdataa, jolloin voidaan selkeästi määrittää kiinteistön kuluttama sähkömäärä aurinkopaneelien mitoittamista varten.

Pohjakuormaselvityksen avulla aurinkosähköjärjestelmä pystytään mitoittamaan optimaalisesti suhteessa käytettävissä olevaan kattopinta-alaan ja omaan tarpeeseen tuotettavan sähkön määrään. Järjestelmän ylimitoittaminen ei ole taloudellisesti kuitenkaan lähtökohtaisesti järkevää, koska tällöin ylituotettu sähkö, jota kiinteistössä ei itse käytetä, joudutaan myymään takaisin verkkoon ja sähköyhtiölle. Sähkön jälleenmyyntiin liittyy myös verovelvollisuus myyjän toimesta, mikä lisää oman ulottuvuuden asiaan. Kuvassa 14 on havainnollistettu Itämerenkatu 11–13 kiinteistön kesäkuukauden tuntidataa sähkönkulutusta. Kuvasta 14 voidaan lukea tarkasteltavan kesäkuukauden pohjakuormaksi noin 300 kW. (23-)



Kuva 14. Pohjakuormaselvitys. (43.)

Pohjakuormaselvityksen kautta tehtävää järjestelmäkoon mitoituksen jälkeen on tärkeä selvittää kiinteistön rakenteelliset rajoitukset. Nämä rajoitukset tulevat pitkälti käytettävissä olevasta riittävän säteilyn saavasta kattopinta-alasta, jonka tulee myös olla suotuisa paneelien asennukselle ja ennen kaikkea kantokyvyltään riittävän vahva. Kattorakenteiden tulee siis pystyä kantamaan normaalin lumi- ja tuulikuorman lisäksi myös uutena lisäyksenä aurinkosähköjärjestelmän paino. Katon kantavuus selvityksiin käytetään isommissa järjestelmissä lähes poikkeuksetta rakennesuunnittelijoita. Samalla kun kantavuuksia tutkitaan, on hyvä ottaa huomioon myös rakenteiden tekninen kunto ja ikä. Jos kattorakenteita joudutaan laajemmin uusimaan kesken aurinkoenergiavoimalan käyttöikä, tulee järjestelmän osittaisesta tai kokonaisesta purkamisesta ja kasamisesta lisäkustannuksia sekä myös menetettyä tuottoaikaa järjestelmälle.

Usein myös järjestelmä toimittajan kautta saadaan tarpeellisia mitoitus tietoja kun kohteelle ollaan valikoimassa sopivinta kiinnitysjärjestelmää kuten esimerkiksi tasahuopakatoilla usein käytettäviä kiinnitystelineitä. Teline-toimittaja pystyy simuloimaan kohteelle sopivimman telinejärjestelmäratkaisun laskemalla sille tarvittavat painot ottaen huomioon maantieteellisen sijainnin ja sen tuulikuormat.

5.2 Investointilaskenta

Järjestelmän investointipäätöslaskelmassa huomioon otettavia asioita on useita, ja niiden kautta onkin hyvä tarkastella aina jokaista hanketta erikseen. Jokainen hanke ja kiinteistö on yksilöllinen, ja kun tähän vielä lisätään kiinteistön omistajan strategia mm. kiinteistön pitoaikaan liittyen, saadaan laskennallinen perusta hankkeelle muodostettua. Tässä luvussa avataan näitä käsitteitä esimerkkien kautta.

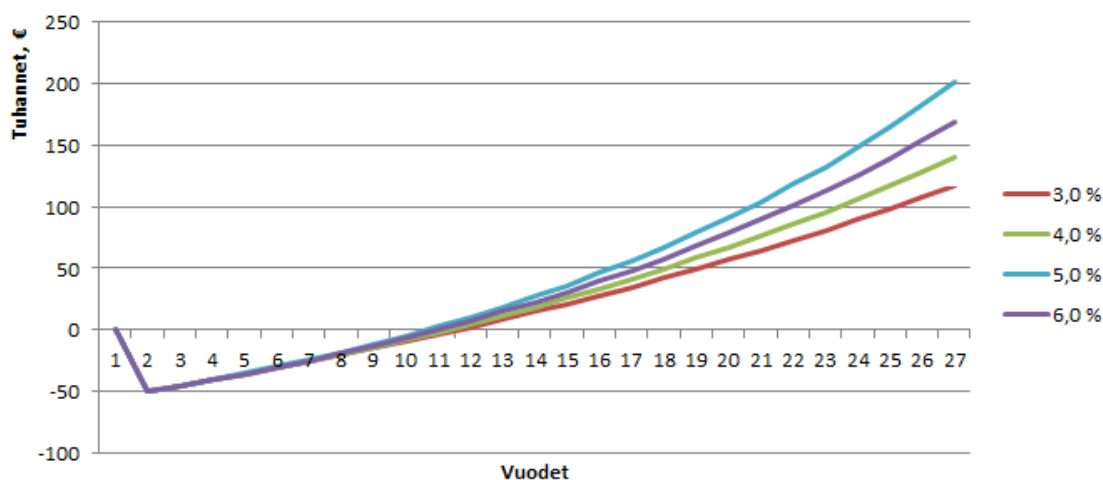
Investointisuuruudella tarkoitetaan järjestelmän hankintahintaa kaikkine kuluineen aina suunnittelusta valvontaan sekä itse urakointiin. (45.)

Nettotuottovaatimus tarkoittaa markkinavuokraan perustuvan nettovuokratuoton suhdetta kiinteistön hintaan. (45.)

Takaisinmaksuajalla tarkoitetaan sitä ajallista jaksoa, jonka verran kestää, ennen kuin järjestelmä on tuottamallaan energialla kuolettanut investointikustannukset sekä mahdolliset käytön aikaiset huoltokustannukset ja muut vastaavat juoksevat kustannukset, mikäli sellaisia on. (45.)

Sähköenergian hinnan kehitys on yksi ehkäpä merkittävimpiä vaikuttajia, kun takaisinmaksuaikaa määritetään. Järjestelmän pitoajan ollessa 25 vuotta on sähkön markkinahinnan arvioiminen hyvin hankalaa koko ajanjaksolle.

Sähkön hinnan kehityksen vaikutus eri skenaarioin



Kuva 15. Sähkön hinnan kehityksen vaikutus eri variaatioilla

Kuvassa 15 on havainnollistettu järjestelmän elinkaaren ajanjaksolla sähkönhinnan kehityksen vaikutusta takaisinmaksuaikaan sekä elinkaaren aikaiseen tuottoon.

Laskennassa käytetty lähtöarvoina investointihintana 50 000 euroa, järjestelmän sähkötuottona 55 MWh/vuosi sekä sähkönhintana 83 €/MWh. Kuvaajasta voidaan hyvin havaita suhteellisen pitkän järjestelmän elinkaaren vaikutus lopputuottoon sekä sähkönhinnan kehityksen merkitys erityisesti.

Vuosittaiset ylläpitokustannukset aurinkosähköjärjestelmillä voidaan laskennassa pitää pyöreänä nollana. Sähkömekaaniset osat eivät itsessään kaipaa huoltoa ja paneeleita ei Suomen olosuhteissa ole lähtökohtaisesti tarve puhdistaa. (33.)

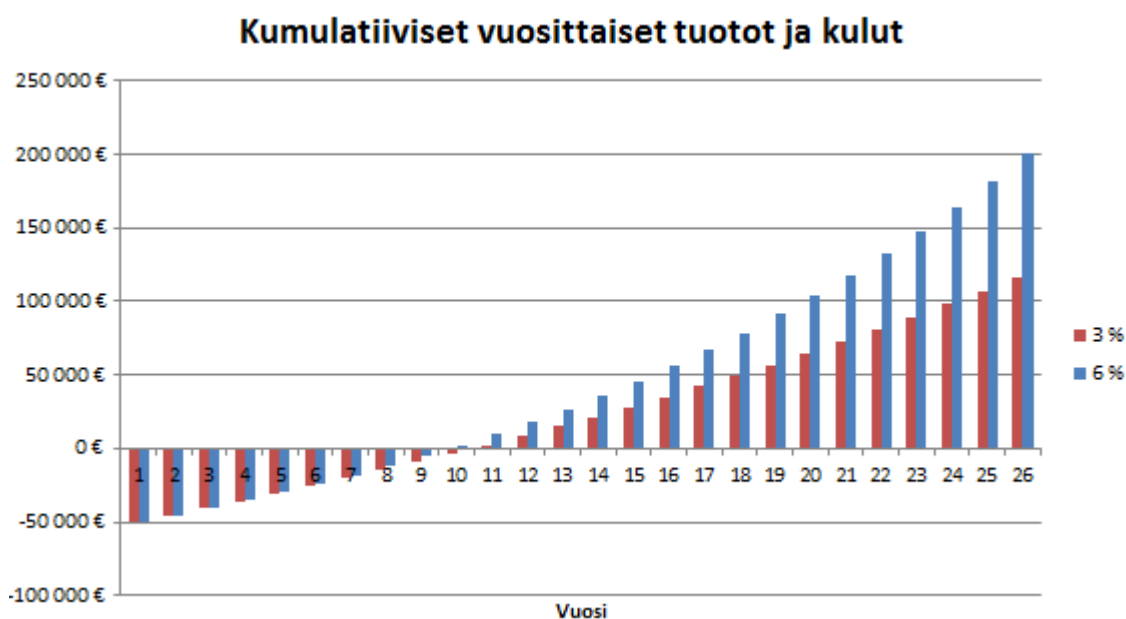
Pitoajalla tai järjestelmän eliniällä tarkoitetaan voimalan elinkaarta, jona aikana se tuottaa sähköä. Komponenteille valmistajat ilmoittavat eliniäksi noin 25 vuotta. Invertteri on järjestelmän ainoa osa, jonka elinkaari voi olla tätä lyhyempi ja mahdollinen uusiminen kertaalleen voi tulla vastaan aikaisemmin.

Päästövähennemällä (tCO₂/v) tarkoitetaan järjestelmän uusiutuvan energiatuotannon kautta saatua kasvihuonekaasupäästöjen pienenemää, kun tätä tuotettua energiamäärää ei toteuteta keskitetyillä sähköntuottomuodoilla kuten esimerkiksi ydinvoimalla.

Päästövähennemän laskemiseen löytyy Energiavirastolta tarkat ohjeistukset, ja sähkön- tuottoon on Suomessa annettu päästökerroin, joka vuonna 2014 oli 175,1 g CO₂- ekv./kWh. (34.)

BusinesFinland myöntää investointitukea aurinkosähköjärjestelmille uusiutuvan energi- an tuotannon edistämiseksi Suomessa. Tukea voi saada kaiken kokoiset yritykset sekä yhteisöt kuten vaikka kunnat. Tuen määrä aurinkosähköhankkeille vuonna 2018 on 25,0 %. (32.)

IRR (Internal Rate of Return) eli sisäinen korko on investoinnin kannattavuuden tarkas- telussa hyvä lähestymistapa sijoitetun pääoman ja vaaditun tuoton kautta. Laskenta- korkokantana kuvassa 16 käytetään KTI Markkinakatsaus syksy 2018 tilaston arvoa 4,1 %, joka on Helsingin keskustan toimistokiinteistöjen arvo. (35.)



Kuva 16. Aurinkosähköjärjestelmän kumulatiiviset vuosituotot 3 %:n ja 6 %:n energiahinnankehityksellä.

Edellä läpi käytyjen investoinnin eri tarkastelusuureiden kautta saadaan laskettua tarkastelu investointihakkeelle ja tehtyä sille herkkyystarkastelua vaikkapa sähkönhinnan kehityksen osalta kuten yllä.

Taulukossa 1 on koottuna hankkeen laskentaan otetut lähtötiedot sekä investoinnin tunnusluvut, jotka on laskettu lähtötietojen kautta.

Taulukko 1. Investointilaskelma ja tunnusluvut

Lähtötieto	Oletus	Yksikkö
Järjestelmän hankintahinta	66 666,67	€
Energiatuki, 25%	16 666,67	€
Investoinnin suuruus	50 000,00	€
Nettotuottovaatimus	4,1	%
Vuotuinen energiantuotto	55	MWh
Energianhinta	83	€/MWh
Ylläpitokustannukset	0,00	€/vuosi
Elinkaari	25	vuotta
Energianhinnan kehityskerroin	3,0	%
Investoinnin tunnusluvut		
TMA	9,6	vuotta
IRR	10,6	%
Päästö vähenemä	53	tCO ₂ /vuosi

Taulukossa 2 on vielä vertailtu neljän eri hintakehityksen vaikutusta investoinnin tunnuslukuihin. Taulukosta voidaan todeta, että sähkönhinnan kehityksen kasvulla hyvin suotuisat vaikutukset hankkeen tunnusluvuille.

Taulukko 2. Sähköhinnankehityksen vaikutus IRR:n ja TMA:han.

	3 %	4 %	5 %	6 %
IRR	10,6 %	11,5 %	12,5 %	13,5 %
TMA	9,6	9,3	9,0	8,7

6 Toteutus

Tässä luvussa käydään läpi toteutetut hankkeet ja niiden järjestelmäratkaisut joihin on päädytty investointipäätöstä tehdessä.

6.1 Itälahdenkatu 22a

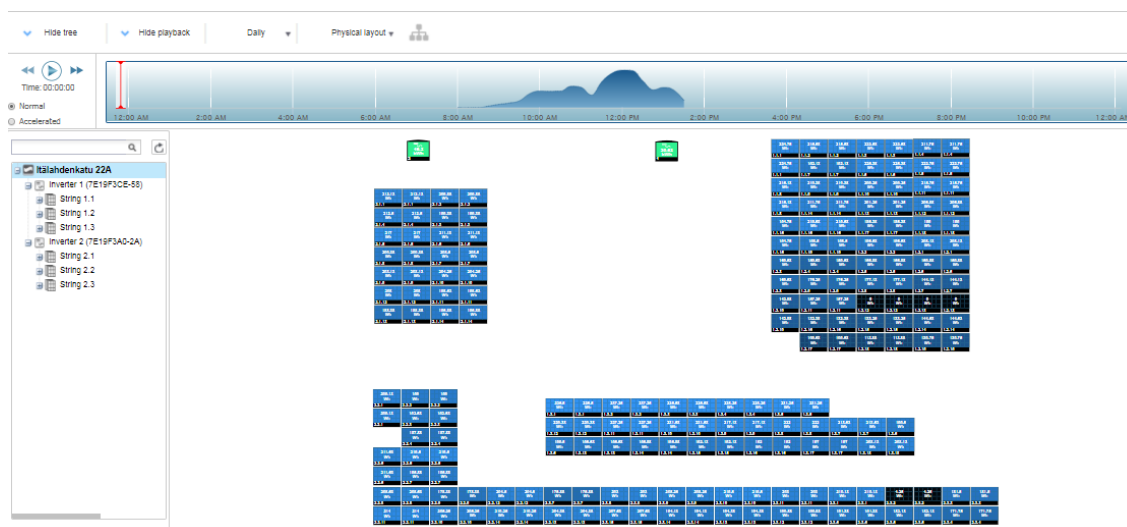
Itälahdenkatu 22a:n kiinteistö on vuonna 1986 valmistunut toimistokiinteistö Helsingin Lauttasaassa. Pinta-alaltaan 10 714 brm²:n kiinteistö on niin sanottu monikäyttäjäkohde, eli kiinteistössä on useampia vuokralaisia ja lisäksi myös henkilöstöravintola.

Järjestelmä koostuu 197:sta Areva Solar Salosolar 320 W:n polykidepaneelistä ja kahdesta Solaredgen SE17K–invertteristä, joiden kummankin takana on kahdessa sarjaan kytketyssä piirissä jaetut P700 power optimizer–tuotannonoptimoija. Näiden power optimizerien avulla järjestelmä pystyy tuottamaan sähköä, vaikka yksittäinen kahden paneelin muodostama yksikkö vikaantuisi tai jäisi vaikka varjoon hetkellisesti. Tällöin järjestelmä osaa jättää nämä paneelit pois tuotannosta ja jatkaa tuotantoa lopulla paneeleilla. Toisin sanoen, ilman tätä ratkaisua koko invertterin takana oleva paneelijono ei tuottaisi muutoin sähköä mahdollisessa häiriötilanteessa. Kuvassa 17 havainnollistettuna karkealla tasolla järjestelmän kytkentälogiikka.



Kuva 17. Power optimizerien kytkentälogiikka. (40.)

Kohteen aurinkosähköjärjestelmä on asennettu huopatasakatolle kelluvalla Aerocompactin telineratkaisulla.



Kuva 18. Itälahdenkatu 22a aurinkosähköjärjestelmän fyysinen asetelma kiinteistön katolla

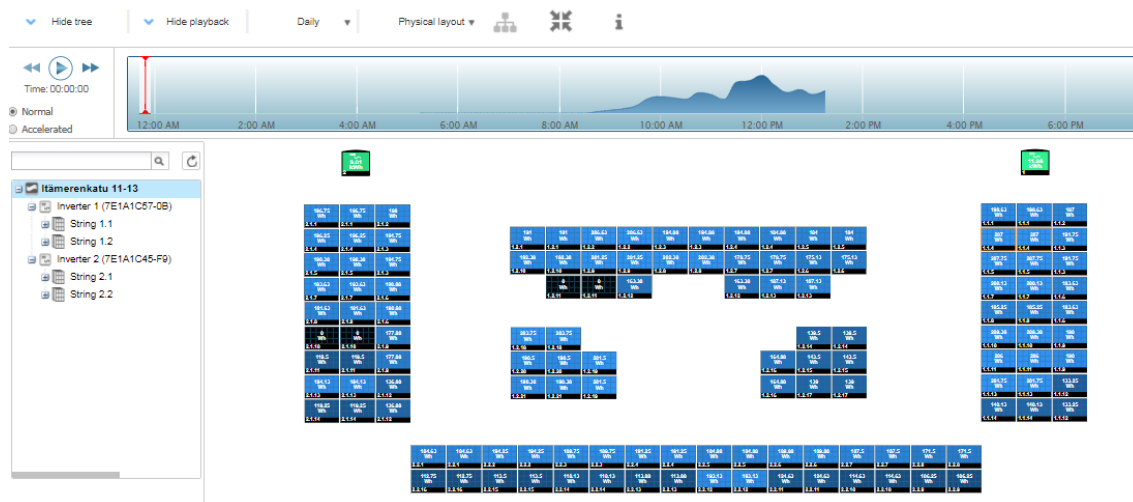
Kuvassa 18 on esitelty Solaredge–palvelun näkymä aurinkosähkövoimalasta sen todellisen asettelun mukaisesti, joka noudattelee kiinteistön vesikaton muotoja ja ottaa huomioon asettelussa mahdolliset varjokohdat ja muut paneeleille epäedulliset sijainnit.

6.2 Itämerenkatu 11–13

Kiinteistö Itämerenkatu 11–13 on vuonna 1999 valmistunut toimistokiinteistö Helsingin Ruoholahdessa. Kiinteistö on alun perin rakennettu Nokian tutkimuskeskukseksi. Nykyisellään 13 165 brm²:n kiinteistö on niin sanottu monikäyttäjäkohde, eli kiinteistössä on useampia vuokralaisia sekä lisäksi kivijalassa on myös pienempiä myymälöitä.

Järjestelmä koostuu 197:sta Areva Solar Salosolar 320 W:n polykidepaneelistä ja kahdesta Solaredgen SE17K–invertteristä, joiden kummankin takana on kahdessa sarjaan kytketyssä piirissä jaetut P700 power optimizer–tuotannonoptimoija. Näiden power optimizerien avulla järjestelmä pystyy tuottamaan sähköä, vaikka yksittäinen kahden paneelin muodostama yksikkö vikaantuisi tai jäisi vaikka varjoon hetkellisesti. Tällöin järjestelmä osaa jättää nämä paneelit pois tuotannosta ja jatkaa tuotantoa lopulla paneeleilla. Toisin sanoen, ilman tätä ratkaisua koko invertterin takana oleva paneelijono

ei tuottaisi muutoin sähköä mahdollisessa häiriötilanteessa. Kohteen aurinkosähköjärjestelmä on asennettu huopatasakatolle kelluvalla Aerocompactin telineratkaisulla.



Kuva 19. Itämerenkatu 11–13 aurinkosähköjärjestelmän fyysinen asetelma kiinteistön katolla. (44.)

Kuvassa 19 on esitelty Solaredge palvelun näkymä aurinkosähkövoimalasta sen todellisen asettelun mukaisesti, joka noudattelee kiinteistön vesikaton muotoja ja ottaa huomioon asettelussa mahdolliset varjokohdat ja muut paneeleille epäedulliset sijainnit.

Molemmat kiinteistöt ovat Helenin sähköverkossa, joten voimaloiden käyttöönoton yhteydessä on tehty sopimukset hankkeittain Helenin kanssa sähkön pientuotannon liittämistä verkkoon. (36.)

7 Energiatuotto

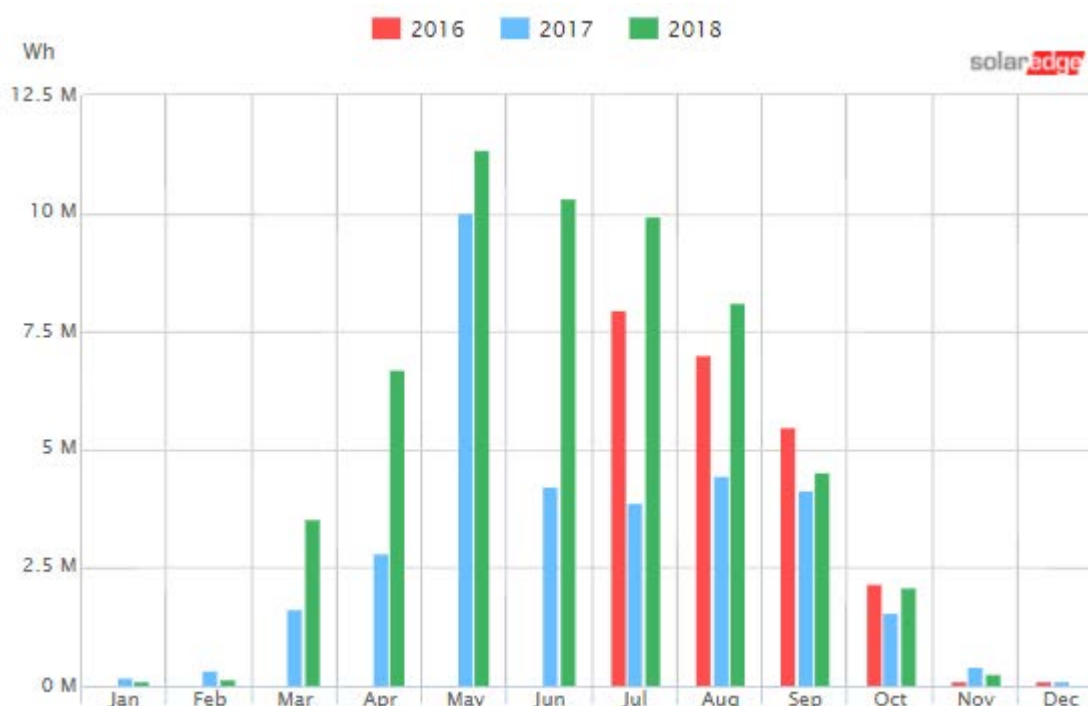
Järjestelmien tuottama aurinkosähkön määrä rekisteröityy inverttereihin, joista tiedon voi käydä lukemassa manuaalisesti, tai jos invertterit ovat yhdistetty internetiin, saadaan data suoraan Solaredgen selainpohjaiseen verkkopalveluun. Kummatkin tässä tutkielmassa tarkasteltavat järjestelmät on liitetty internetin kautta tähän palveluun.

Seuraavassa tarkastellaan kummankin järjestelmän sähköntuottoa suhteessa laskennalliseen mitoitustuottoon.

7.1 Itälahdenkatu 22a

Itälahdenkatu 22a:n aurinkosähköjärjestelmä on otettu käyttöön 22.6.2016. Järjestelmän nimelliskapasiteetti on 63,5 kWp, ja sen laskennallinen vuosituotto on 54 MWh.

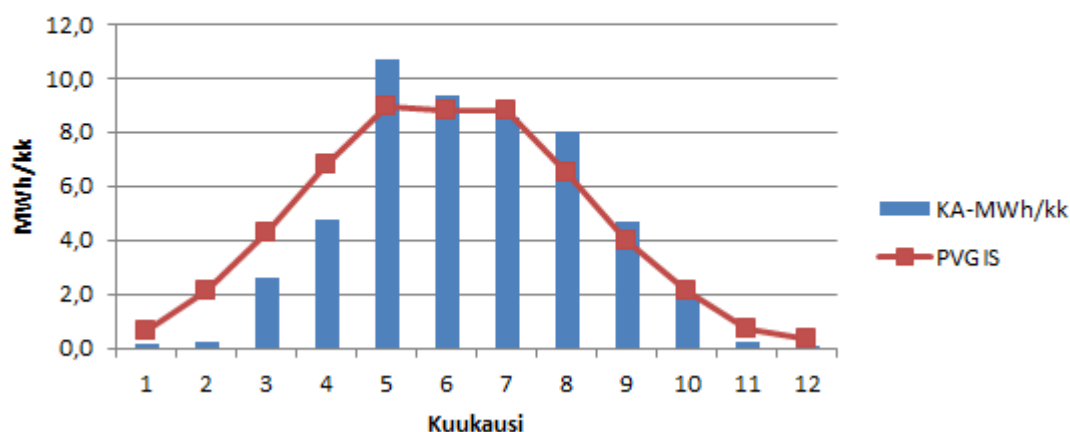
Vuoden 2017 aikana vuosituotto on ollut 33,8 MWh. Mikä on vuositason laskennallisesta tuotosta noin 63 %. Kohteen tuottodatan osalta huomattiin tarkastelun aikana, että kesä-, heinä- ja elokuun osalta data ei ole tallentunut Solaredgen palveluun toisen invertterin osalta. Tämän vian syyksi selvisi myöhemmin vioittunut tietoliikennekaapeli. Laskennallisesti noiden kuukausien osalta tarkasteltiin mittaushistoriasta kuukausien keskiarvotuottoa ja korjattiin vuoden 2017 kokonaistuottoa. Tällä tavoin päästään jonkintasoiseen teoreettiseen tarkasteluun toteumasta myös noilta kuukausilta. Tällä korjatulla laskennalla vuositason tuotto on ollut 48,1 MWh eli laskennallisesta tuotosta noin 89 %. Vuoden 2018 aikana tuotto oli 57,0 MWh eli noin 106 % laskennallisesta vuosituotosta.



Kuva 20. Itälahdenkatu 22a aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähköenergia (Wh) kuukausittain.

Kuvassa 20 on esitetty kuukausitasolla järjestelmän tuottama sähköenergia. Kuvasta voidaan vertailla selkeästi vuositasolla eri kuukausien tuottoja.

Järjestelmän keskimääräinen sähköenergian tuotto kuukausittain



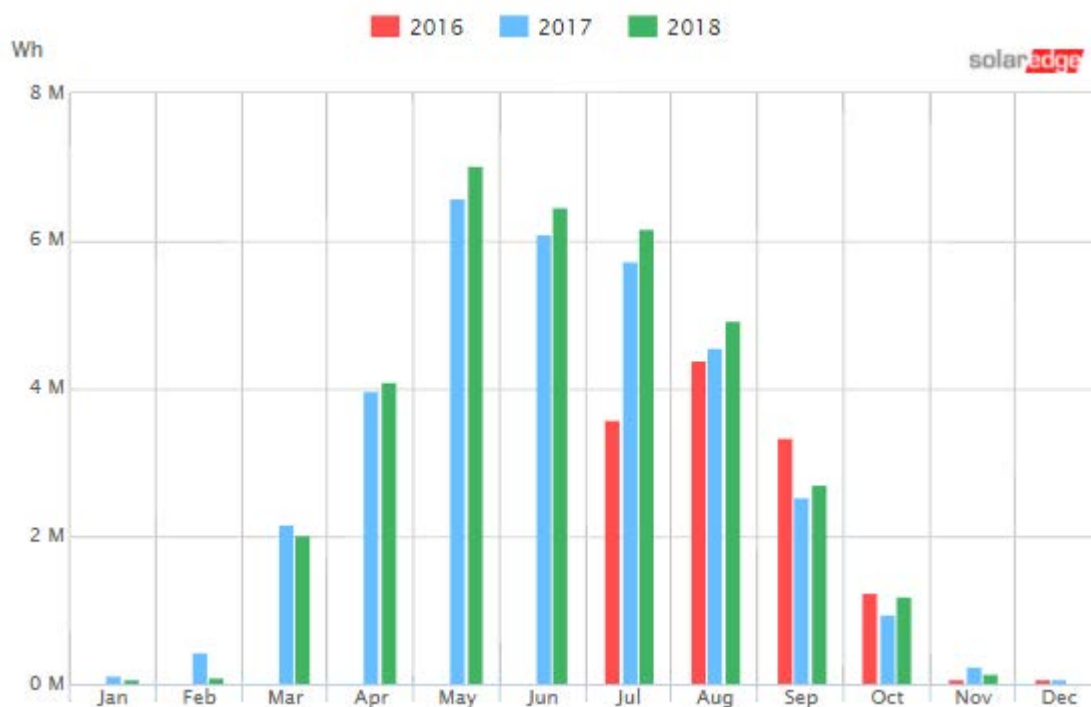
Kuva 21. Sähköenergian keskimääräinen tuotto kuukausittain verrattuna PVGIS:n tuottosimulointiin.

Kuvassa 21 verrataan järjestelmän keskimääräistä sähköenergian tuottoa kuukausittain PVGIS:n antamaan kuukausittaiseen tuottoon. Kuvaaajan perusteella voidaan arvioida, että alkuvuoden kuukausien aikana järjestelmä ei tuota niin hyvin kuin se voisi tuottaa. Tämän syynä voi olla esimerkiksi ympäröivien rakennusten aiheuttamat varjostukset aurinkopaneeleihin.

7.2 Itämerenkatu 11–13

Itämerenkatu 11–13:n aurinkosähköjärjestelmä on otettu käyttöön 12.7.2016. Järjestelmän nimelliskapasiteetti on 41 kWp, ja sen laskennallinen vuosituotto on 34,5 MWh.

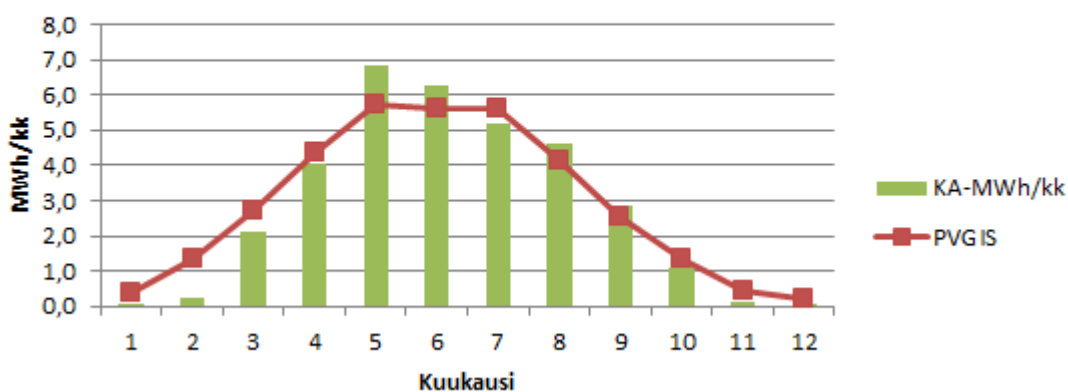
Vuoden 2017 aikana vuosituotto on ollut 33,5 MWh. Mikä on vuositason laskennallisesta tuotosta noin 97 %. Vuoden 2018 aikana tuotto oli 34,8 MWh eli noin 101% laskennallisesta vuosituotosta.



Kuva 22. Itämerenkatu 11–13:n aurinkosähkijärjestelmän tuottama sähköenergia (Wh) kuukausittain.

Kuvassa 22 on esitetty kuukausitasolla järjestelmän tuottama sähköenergia. Kuvasta voidaan vertailla selkeästi vuositason eri kuukausien tuottoja.

Järjestelmän keskimääräinen sähköenergian tuotto kuukausittain



Kuva 23. Sähköenergian keskimääräinen tuotto kuukausittain verrattuna PVGIS:n tuottosimulointiin

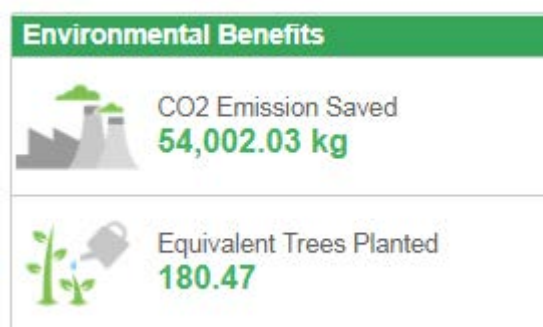
Kuvassa 23 verrataan järjestelmän keskimääräistä sähköenergian tuottoa kuukausittain PVGIS:n antamaan kuukausittaiseen tuottoon. Kuvaajan perusteella voidaan arvioida, että alkuvuoden kuukausien aikana järjestelmä ei tuota niin hyvin kuin se voisi tuottaa. Tämän syynä voi olla esimerkiksi ympäröivien rakennusten aiheuttamat varjostukset aurinkopaneeleihin.

8 Elinkaariarviointi

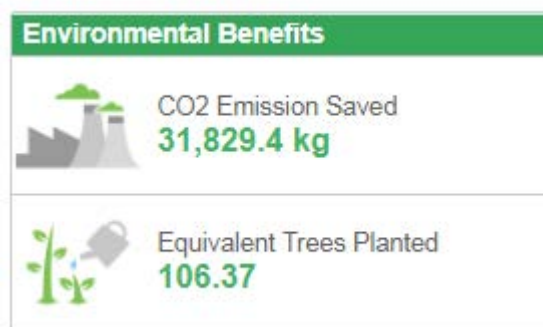
8.1 Hiilijalanjälki

Aurinkosähköjärjestelmä vähentää kiinteistön hiilijalanjälkeä kun kiinteistöön ei tarvitse ostaa sähköä verkosta siltä osin kun järjestelmä pystyy sitä tuottamaan ja kiinteistössä on sähkönkulutusta tuotettua energiaa vasten. Jos sähkönkulutusta ei ole, järjestelmän tuottama sähkö myydään sähköverkkoon. Joissain tapauksissa myös on mahdollista, että järjestelmä kytkeytyy pois päältä eikä tällöin tuota sähkö lainkaan. Tällainen tilanne voisi tulla kyseeseen esimerkiksi silloin kun kiinteistön pohjakuormakulutus, jota on käytetty järjestelmämitoituksessa, ei toteudukaan jostain syystä.

Työssä tarkasteltavat järjestelmät ovat elinkaariensa aikana säästäneet laskennallisesti CO₂-päästöjä kuvien 24 ja 25 mukaisesti, nämä tarkoittaa järjestelmien elinkaaren aikana Itälahdenkatu 22 osalta noin 540 tkg säästöä ja Itämerenkatu 11–13:n osalta 318 tkg.



Kuva 24. Itälahdenkatu 22a:n CO₂:n säästö elinkaaren aikana on ollut 54002 kg



Kuva 25. Itämerenkatu 11–13:n CO2 säästö elinkaaren aikana on ollut 31829 kg.

Aurinkosähköjärjestelmällä on kuitenkin hiilijalanjälkikokonaisuutena, joka alkaa jo ennen järjestelmän toiminnan alkamista, kun eri komponentteja valmistetaan, raaka-aineita näihin komponentteihin valmistetaan. Eri vaiheiden kuljetuksista aiheutuu niin ikään hiilidioksidipäästöjä. Lopuksi kun järjestelmän elinkaari tulee päähänsä, on purkamisella ja mahdollisella uusiokäytöllä oma vaikutuksensa ympäristöön päästöjen osalta.

Joiltain osin ympäristövaikutuksiin ottaa myös kantaa EU:n asettama sähkö- ja elektroniikkalaiteromun tuottajavastuu WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment)–direktiivin mukaisesti. Direktiivi tarkoittaa sitä, että aurinkopaneelin valmistajan tai maahantuovan yrityksen tulee huolehtia tuotteiden jätekustannuksista. (37.)

Järjestelmän ekologisuutta tarkasteltaessa myös kokonaiselinkaari puoli on hyvä ottaa huomioon eri energiamuotoja pohdittaessa.

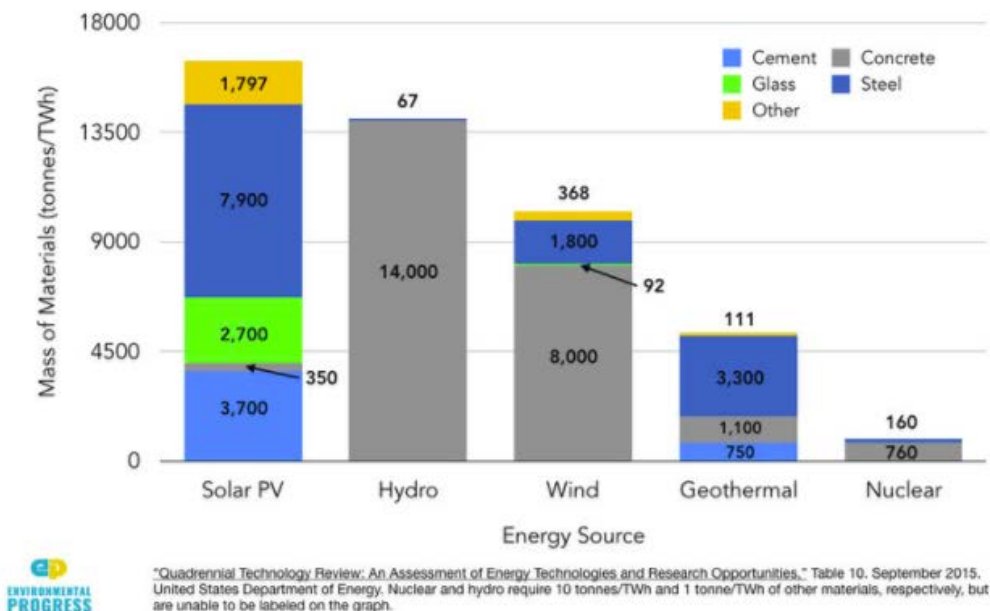
8.2 Aurinkoenergia suhteessa muihin sähköntuottomuotoihin

Aurinkoenergia on yksi tapa tuottaa sähköä mutta sitä voidaan kuitenkin vertailla muihin sähköntuottotapoihin ja tai energialähteisiin muun muassa hiilidioksidipäästöjen kautta sekä vaikkapa eri tuottomuotojen tarvitsemien voimaloiden materiaalmassojen kautta.

Kuvassa 26 on esitetty joidenkin eri energiantuottomuotojen tarvitsemia materiaalmassoja suhteessa tuotettuun sähköenergiaan. Kuvaajasta on havaittavissa, että aurinko-

paneelit vaativat huomattavan määrän erilaisia raaka-aineita suhteessa muihin vertailtuihin energiantuottolähteisiin.

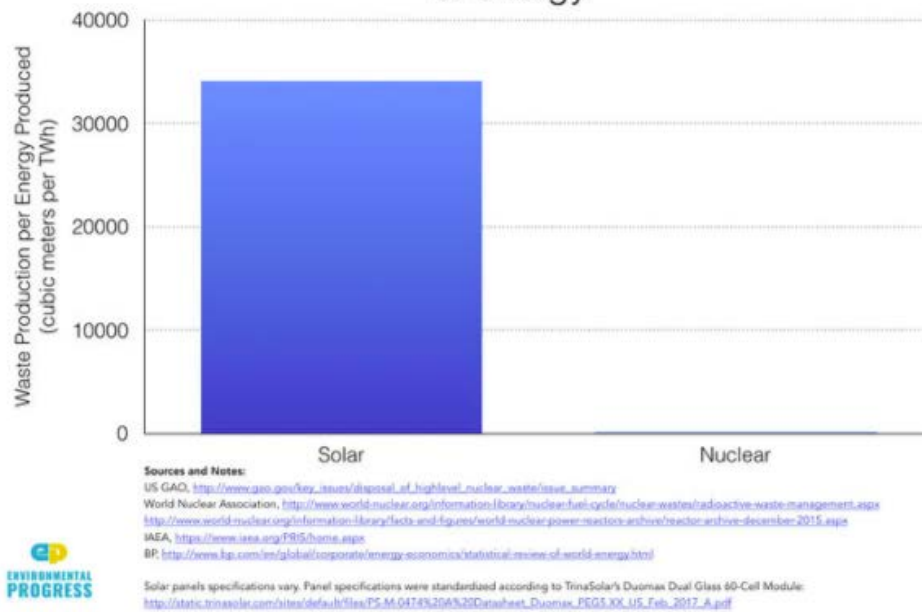
Materials throughput by type of energy source



Kuva 26. Eri energialähteiden materiaalimassat tonnia per TWh (25.)

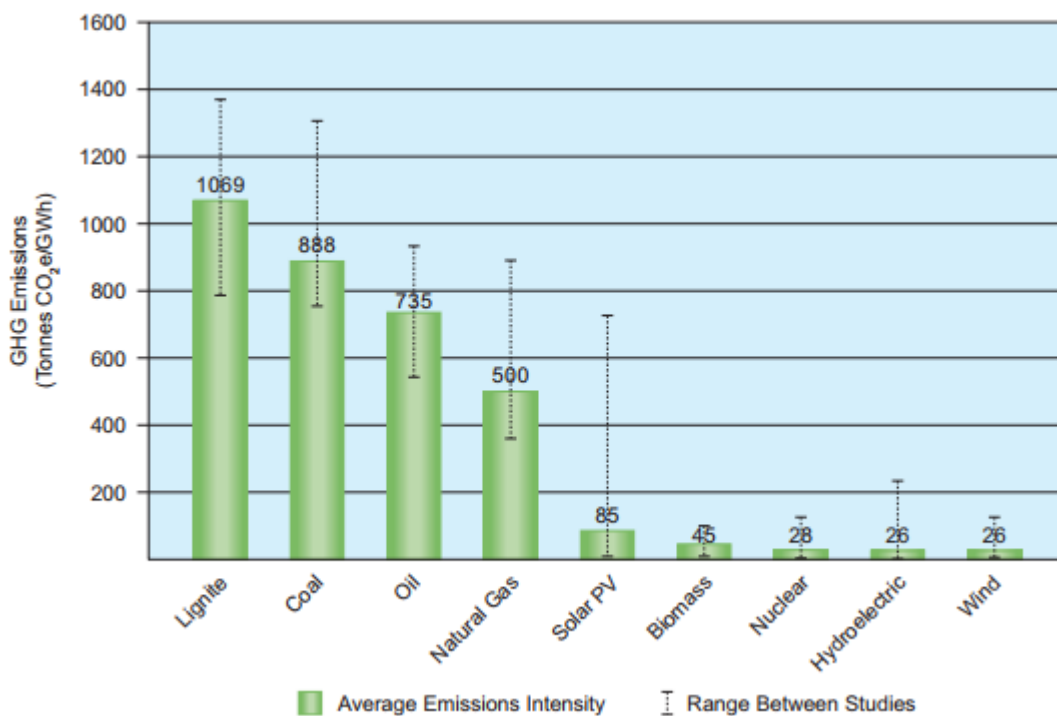
Kuvassa 27 on tarkasteltu vielä erikseen aurinkopaneelien ja ydinenergian suhdetta niiden tuottaman jätteen määrän osalta tonneissa. Tämän tarkastelun valossa aurinkoenergia näyttäisi toki olevan paljon vähemmän ympäristöystävällinen tapa tuottaa sähköä kuin ydinenergia, mutta kuva ei ota huomioon mm. ydinenergian tuottaman säteilyvaarallisen jätteen jatkokäsittelyä vaativia toimenpiteitä saati energiantuoton eli käytönaikaisia mahdollisia riskejä.

Solar panels produce ~300x more waste than nuclear reactors when providing the same amount of energy.



Kuva 27. Aurinkopaneelien ja ydinvoiman tuottama jäte suhteessa tuotettuun energiaan. (25.)

Kasvihuonekaasupäästöjä tarkasteltaessa uusiutuvat energialähteet sekä ydinvoima ovat selkeästi fossiilisia vähemmän ympäristöä kuormittavia.



Kuva 28. Joidenkin eri energia lähteiden kasvihuonekaasupäästövertailu (39.)

Kuvassa 28 on esitetty joiden eri energialähteiden kasvihuonekaasupäästöjä suhteessa tuotettuun sähköenergiaan.

8.3 Energian takaisinmaksuaika

Aurinkosähköpaneelit tuottavat elinkaarensa aikana laskennallisesti enemmän energiaa kuin niiden valmistamiseen kuluu. Suomen keskimääräisellä säteilymäärällä laskettuna paneelien energian takaisinmaksuaika on noin kuusi vuotta, ja ERF eli energian palautustekijä 4,7. Toisin sanoen jos paneelin valmistamiseen on kulunut 100 yksikköä sähköenergiaa, tuottaa se elinkaarensa aikana 470 yksikköä sähköä. (38.)

Koko aurinkosähköjärjestelmälle hankkeittain voitaisi laskea tarkemminkin sen koko elinkaaren aikaisen hiilijalanjäljen, jolloin voitaisiin vielä paremmin vertailla sen käytön aikaisen sähköntuoton kautta saadun hiilidioksidipäästöjen vähenemän riittävyttä kompensoimaan tätä kokonaisuutta. Tähän soveltuvia laskentatyökaluja on useita, tässä työssä ei kuitenkaan nyt syvennytä tähän osa-alueeseen tarkemmin.

9 Arvovaikutus

Kiinteistöjen arvonmäärittämiseen on olemassa eri standardisoituja lähestymistapoja, joiden ohjeistuksesta vastaa tuottoa tavoittelematon kansainvälinen arviointineuvosto IVSC (The International Valuation Standards Council). Standardisoituja menetelmiä on kolme, joita sovelletaan tapauskohtaisesti kiinteistöihin liittyen. Nämä menetelmät ovat kauppa-arvomenetelmä, tuottoarvomenetelmä ja kustannusarvomenetelmä.

Kauppa-arvomenetelmässä kiinteistön arvoa peilataan ominaisuuksiensa puolesta muihin vastaavankaltaisten kiinteistöiden toteutuneisiin kauppahintoihin.

Tuottoarvomenetelmässä kiinteistön arvoa määritellään sen tuottaman kassavirran kautta.

Kustannusarvomenetelmässä menetelmää käytetään pääasiassa hyvin erikoisissa kiinteistökohteissa, joille ei löydy vertailupohjaa. (31.)

Kiinteistösijoittamisessa yksittäinen merkittävin arvoon vaikuttava tekijä on kuitenkin usein kiinteistön sijainti. Sijainti ratkaisee paljon siitä, kuinka hyvin kiinteistö on vuokratavissa tai myytävissä. (27.)

Aurinkosähköjärjestelmän suoraa laskennallista vaikutusta kiinteistön käypään arvoon tai myyntihintaan on hankala määrittää yksiselitteisesti. Sen vaikutuksia voidaan kuitenkin arvioida laskennallisesti vaikkapa tuottoarvomenetelmällä kaavan mukaisesti. (26.)

$$\sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+r)^t}$$

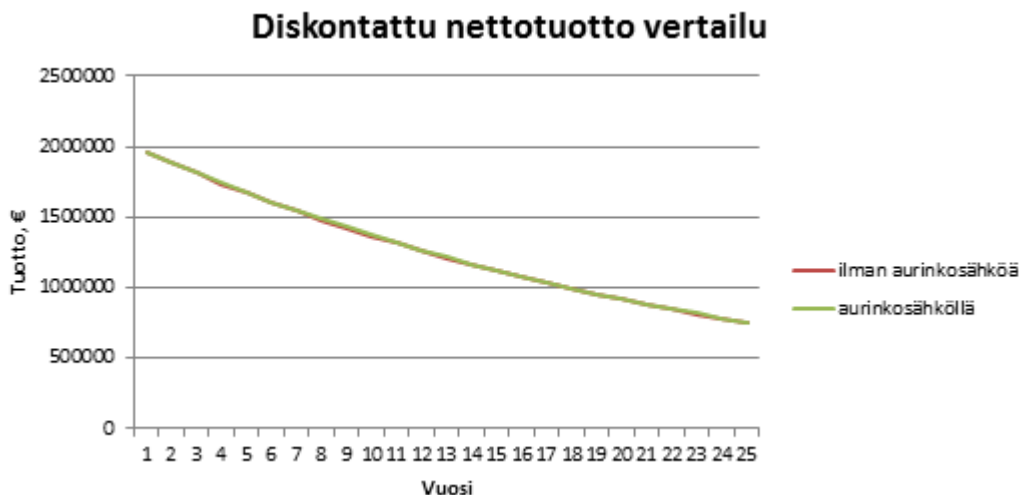
$\sum_{t=1}^n$ on kiinteistön nettotuotto

S_t on vuotuinen nettotuotto kiinteistön arviointiajan lopussa

r on valittu diskonttaus korkokanta

n on kiinteistön arviointiaika.

Aurinkovoimalan arvontuotanto erillisenä hyötynä voidaan mieltää tulevan säästyvän energian osalta, kun nettotuotto kasvaa, mutta tämä vaikutus arvoon tulee vasta, kun järjestelmäninvestoinnin takaisinmaksu aika on kuoletettu.



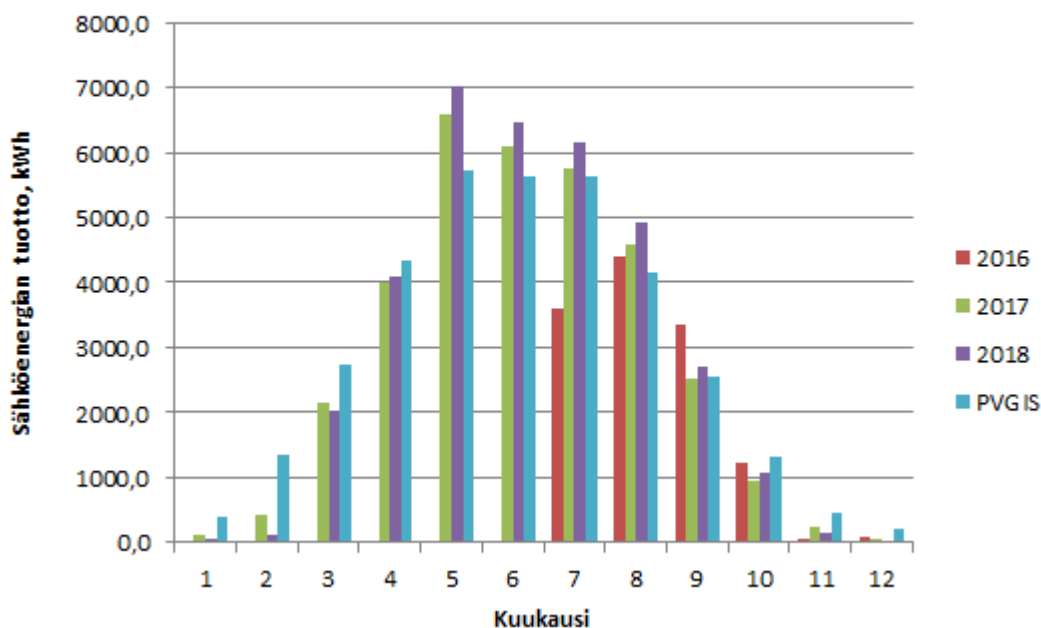
Kuva 29. Diskontattu nettotuotto vertailu aurinkosähkötuotolla ja ilman

Tuottoarvomenetelmän kautta laskennallisesti tarkasteltuna havainnollistettuna kuvassa 29. Kuten kuvasta voidaan havainnoida, on tässä laskentaesimerkissä aurinkosähkövoimalan tuoton vaikutus hyvin pieni nettotuottoarvon kautta määritettävään kiinteistön arvoon. Tarkemmin ottaen 25 vuoden pitoajalla nettotuottosummat olivat ilman aurinkosähköä 31,5 m€ ja aurinkosähkövoimalan kanssa 31,6 m€.

10 Johtopäätökset

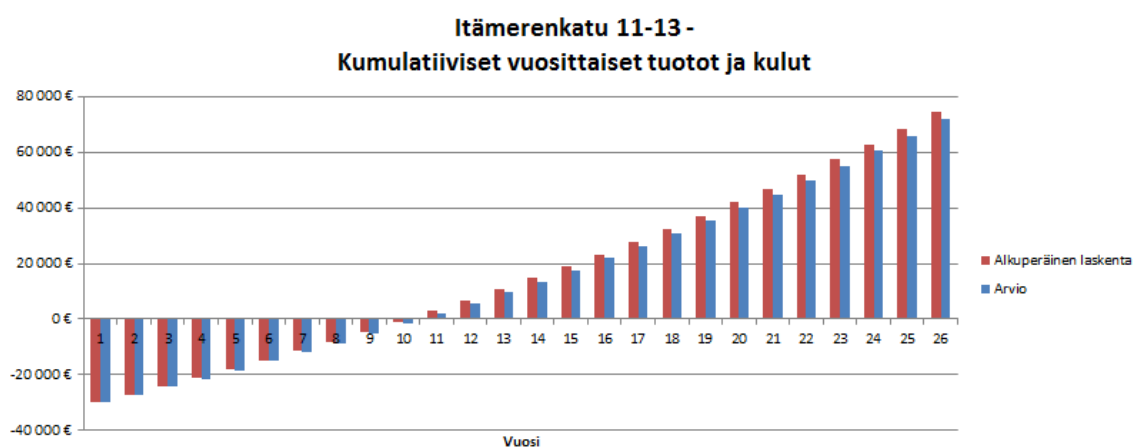
Järjestelmien alkuperäisen hankelaskennan voidaan todeta onnistuneen kohtalaisen hyvin tuottodataan perustuen erityisesti Itämerenkatu 11–13 hankkeen osalta. Kuvassa 30 järjestelmän tuottama energia suhteessa teoreettiseen tuottoon.

Järjestelmän tuotto vuosittain



Kuva 30. Itämerenkatu 11–13 aurinkosähkijärjestelmän tuottama sähköenergia vuosittain.

Kuvissa 31 ja 33 on tarkasteltu hankkeiden kumulaatiivisten vuosittaisten tuottojen ja kulujen kautta alkuperäisen investointilaskennan sekä toteutuneen sähköenergian tuoton kautta simuloituihin toteumiin.

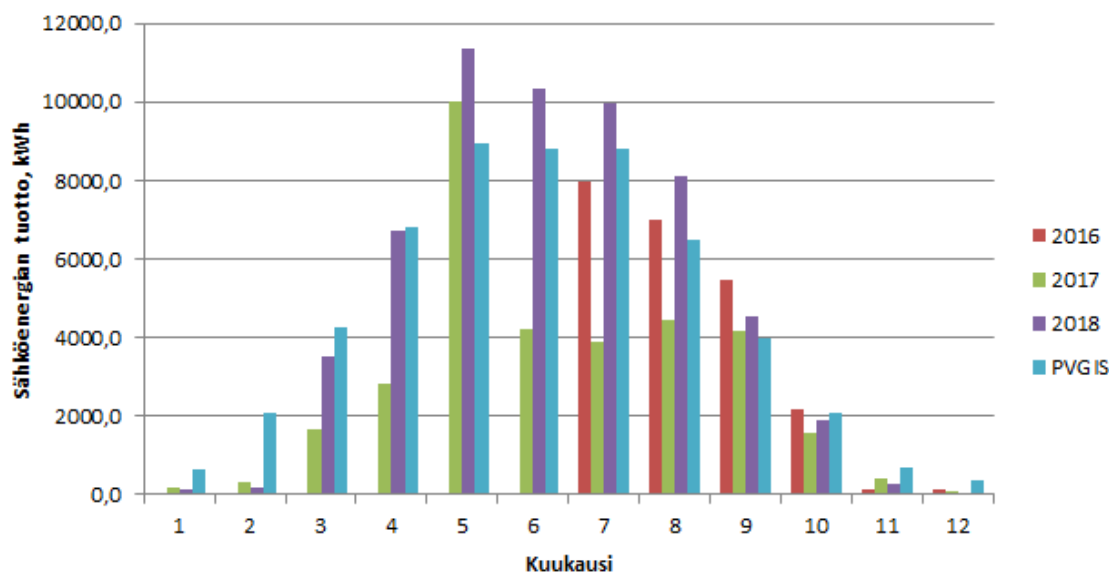


Kuva 31. Alkuperäisen laskennan vertailu nykyisen tuottodatan kautta simuloituun toteumaan.

Itälahdenkatu 22a:n järjestelmän tuottodatan osalta 2017 vuonna olleiden puutteiden takia on hankala vastaavaa ajanjaksoa verrata kuin Itämerenkadun hankkeesta. Kui-

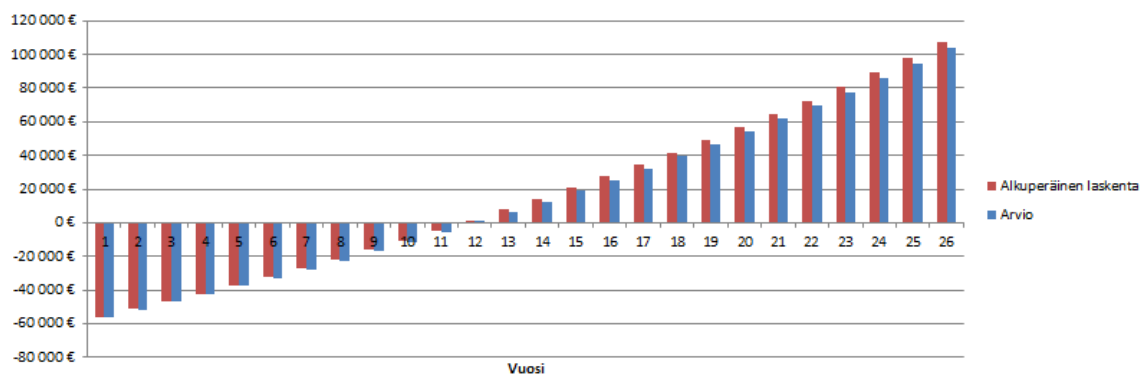
tenkin myös Itälahdenkatu 22a:n järjestelmän tuotto on ollut vuoden 2016 ja 2018 aikana erittäin hyvällä tasolla suhteessa hankelaskennan arvoihin (2016 tuotto 102 %, 2018 tuotto 106 %). Kuvassa 32 järjestelmän tuottama energia suhteessa teoreettiseen tuottoon.

Järjestelmän tuotto vuosittain



Kuva 32. Itälahdenkatu 22a:n aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähköenergia vuosittain.

Itälahdenkatu 22- Kumulatiiviset vuosittaiset tuotot ja kulut



Kuva 33. Alkuperäisen laskennan vertailu nykyisen tuottodatan kautta simuloituun toteumaan.

Tulosten luotettavuuden osalta tarkasteltiin saatuja vuosituottoja suhteessa teoreettisiin tuottoihin aikaisemmin tehtyyn tutkimukseen vastaavan kaltaisista aurinkovoimaloista.

Aikaisemmin tehdyssä tutkimuksessa kahden eri voimalan vuositoteumaksi suhteessa teoreettiseen oli päädytty arvoihin 86,9 % ja 84,5 %. Näihin verrattuna tässä tutkielmassa saadut järjestelmien vuosituotot ovat olleet melko korkeat. (41.)

Ympäristövaikutuksen osalta aurinkosähköjärjestelmä ovat erinomainen vaihtoehto, kun sähköä halutaan tuottaa uusiutuvalla energiamuodolla ja paikallisesti. Hiilijalanjälki kiinteistöjen osalta pienenee tuotetun sähkön suhteessa, kun vastaavaa energiamäärää ei tarvitse hankkia sähköyhtiöiltä. Aurinkosähköjärjestelmien voidaankin todeta tutkimuksen perusteella olevan melko ympäristöystävällisiä tapoja tuottaa sähköä paikallisesti

Järjestelmien vaikutusta kiinteistöjen arvonmäärittämiseen ei ole alalla vakiintunutta standardia, jolla se voitaisi yksiselitteisesti määrittää. Järjestelmien pitkäkö takaisinmaksuaika, joka on keskimäärin noin 13 vuoden luokkaa toteutetuilla hankkeilla, antaa oman haasteensa investoinnin arvovaikutukselle kiinteistöön nähden. Imagollinen arvo vastuullisen kiinteistön omistajan sekä vuokranantajan näkökannasta on ehkä vielä suurempi tekijä.

Kaupallisen materiaalin kehittämiseksi työssä huomattiin, että laskentaan voitaisiin tuoda voimakkaammin mukaan vertailua kiinteistön nettotuottovaateen kautta niin sanottuna herkkyytarkasteluna ja sähkönhinnan kehityksen osalta ennen kaikkea eri variaatioita kuinka takaisinmaksuaika ja tuotto prosentti kehittyi.

11 Pohdinta

Tutkimuksen ensisijaisena tavoitteena oli saada selville kuinka hyvin aurinkoenergia-voimalat ovat onnistuneet lunastamaan investointipäätöksiensä mukaiset energiantuotonsa sekä takaisinmaksuaikansa, ja näiden kautta mahdollisesti kehittää kaupallista materiaalia. Tämän lisäksi osatavoitteena haluttiin tutkia minkälainen ympäristövaikutus järjestelmillä on elinkaarensa aikana sekä sitä, vaikuttavatko investoidut järjestelmät kiinteistöjen arvoihin.

Työssä selvitettiin toteutettujen hankkeiden investointipäätöksiensä tukena olleiden lähtötietojen ja laskennan sekä tämän hetkisen tuottototeumadatan kautta saavutettua to-

dellista takaisinmaksuaikaa. Lisäksi tarkasteltiin aurinkosähköjärjestelmien vaikutusta kiinteistöjen arvoihin teoreettisella laskentamenettelyllä. Sekä myös järjestelmien ympäristövaikutuksia elinkaaren näkökulmasta.

Asennetut aurinkosähköjärjestelmät tuottivat melko hyvin alkuperäisen laskennan mukaiset sähköntuotto-odotukset, ja näin ollen työn ensisijainen tavoite voidaan katsoa saavutetuksi. Ympäristövaikutuksien osalta saatiin hyvää lisätarkastelua yleisellä tasolla aurinkosähköjärjestelmistä, mutta tästä osa-alueesta olisi vielä jalostettavissa todennäköisesti hyvää lisää kaupallisiin myyntimateriaaleihin. Järjestelmien vaikutus kiinteistöjen arvoihin oli niin ikään yksi tavoite tässä työssä, tämän osalta tässä tutkielmassa ei vielä päästy kovin hyvin lopputuloksiin ja tätä osa-aluetta tulisikin vielä tutkia lisää.

Tutkimuksen perusteella voi todeta, että kaupallisen materiaalin osalta voisi olla hyvä lähteä vielä kehittämään ympäristövaikutuksien osuutta ja korostaa tätä kautta aurinkosähköjärjestelmien vaikutusta ympäristöön.

Opinnäytetyön tekeminen oli mielenkiintoinen matka aurinkosähköjärjestelmien maailmaan hieman laajemmin kuin pelkästään järjestelmäteknisestä näkökulmasta. Erityisesti eri sähköntuottomuotojen vertailu oli hyvin kokonaiskuvaa avaava näkökanta, kuinka vaikkapa tarvittavien luonnon raaka-aineiden määrät vaihtelevat suuresti ydinenergian ja aurinkosähkön osalta, kun tuotetaan sama energiamäärä. Riittäisiköhän maailmassa edes järkevästi tarpeellista määrää aurinkosähköjärjestelmien vaatimia metalleja, jotta kaikki ydinvoimaloiden tuottama sähköenergia voitaisi tuottaa aurinkovoimalla.

Imagollisella vaikutuksella uusiutuvien energiatuottolähteiden, kuten aurinkosähköjärjestelmien, osalta on kuitenkin melko suuri positiivinen vaikutus, jota ei kuitenkaan pystytä yksiselitteisesti rahallisesti osoittamaan. Tämän vaikutusta voidaan esimerkiksi ajatella kiinteistön vuokrauksessa, jossa vastuulliset vuokralaiset saattavat puntaroida kahden eri vaihtoehdon välillä ja lopulta päätyä kiinteistöön, jossa osa sähköstä tuotetaan uusiutuvilla aurinkoenergialla. Toisaalta kiinteistöä myytäessä katolla olevalla aurinkovoimalalla voi olla se viimeinen tarvittava loppusilaus kauppaä käytäessä, positii-visessä mielessä.

Lähteet

- 1 Kansainvälisen ympäristönsuojelun menestystarinaksi kasvanut Montrealin pöytäkirja täyttää 30 vuotta 2017. Verkkoaineisto. <[http://www.ym.fi/fi-FI/Kansainvalisen_ymparistonsuojelun_menest\(44510\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Kansainvalisen_ymparistonsuojelun_menest(44510))> Päivitetty 15.9.2017. Luettu 25.6.2018
- 2 Otsonikerroksen suojelua koskeva Wienin Yleissopimus. Verkkoaineisto. <https://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/1988/19880051/19880051_2> Luettu 25.6.2018
- 3 Montrealin pöytäkirja. Verkkoaineisto. <http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmansuojelu_ja_otsonikerroksen_suojelu/Kansainvalinen_yhteisty_ja_EUasiat/Montrealin_poytakirja> Päivitetty 31.8.2017. Luettu 15.8.2018
- 4 Aurinkosähkö kasvaa rajusti lähivuodet – Suomi kirii, mutta Ruotsi menee vauhdilla edellä 2017. Verkkodokumentti. Verkkoaineisto. <<https://yle.fi/uutiset/3-9691921>> Päivitetty 11.7.2017. Luettu 25.6.2018.
- 5 SCI-C1000 SCI-projektikurssin liiketoimintasuunnitelma. Verkkoaineisto. <<https://elintasomuurarit.files.wordpress.com/2015/11/vc3a4lipalautus-elintasomuurarit.pdf>> Päivätty 22.11.2015. Luettu 1.10.2018.
- 6 Key world energy statistics – International Energy Agency 2018. Verkkoaineisto. <<http://data.iea.org/payment/products/118-world-energy-statistics-2018-edition.aspx>> Päivätty syyskuu 2018. Luettu 30.10.2018.
- 7 One simple chart shows why an energy revolution is coming <<https://www.businessinsider.com/solar-power-cost-decrease-2018-5?r=US&IR=T&IR=T>> Päivätty 8.5.2018. Luettu 15.8.2018.
- 8 Kasvihuonekaasupäästöjen seuranta ja raportointi. Verkkoaineisto. <http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Kasvihuonekaasupaastojen_raportointi_ja_seuranta> Päivätty 8.11.2016. Luettu 2.8.2018.
- 9 Pariisin ilmastosopimus. Verkkoaineisto. <<http://www.ym.fi/pariisi2015>> Päivätty 28.8.2017. Luettu 2.8.2018.
- 10 Ministeri Tiilikainen: USA:n vetäytyminen ei kaada Pariisin ilmastosopimusta. Verkkoaineisto. <[http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ministeri_Tiilikainen_USAn_vetaytyminen_\(43361\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ministeri_Tiilikainen_USAn_vetaytyminen_(43361))> Päivätty 1.6.2017. Luettu 4.8.2018.

- 11 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/28/EY. Verkkoaineisto. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=FI>> Päivätty 5.6.2009. Luettu 4.8.2018.
- 12 Kansainvälinen yhteistyö ja EU-asiat. Verkkoaineisto. <http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmansuojelu_ja_otsonikerroksen_suojelu/Kansainvalinen_yhteistyö_ja_EUasiat> Päivitetty 24.8.2017. Luettu 2.10.2018.
- 13 Sähköpien tuotanto kovassa kasvussa. Verkkoaineisto. <https://www.energiavirasto.fi/media/-/asset_publisher/ooKNxg1qkv7p/content/sahkonpien_tuotanto_kovassa_kasvussa_aurinkosahkon_tuotantokapasiteetti-2-5-kertaistui_vuodessa> Päivitetty 18.6.2018. Luettu 3.10.2018.
- 14 Sähköverkkoon kytketty aurinkosähkökapasiteetti. Verkkoaineisto. <https://www.energiavirasto.fi/-/sahkoverkkoon_kytetty_aurinkosahkokapasiteetti_yli_kolminkertaistui_vuodessa> Päivitetty 21.6.2017. Luettu 3.10.2018.
- 15 Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Verkkoaineisto. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa> Päivitetty 17.8.2018. Luettu 3.10.2018.
- 16 Maankäyttö- ja rakennuslain muutokset. Verkkoaineisto. <https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/21124509/Laitio_Varkaus30052017/82a99198-6e9a-400b-8a7a-a8d6e4fb031c> Päivitetty 1.5.2017. Luettu 3.10.2018.
- 17 Toimenpideluvat. Verkkoaineisto. <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian_hankintaohjeita/lait-ja-saadokset/toimenpideluvat/> Luettu 3.10.2018.
- 18 Helsingin kaupungin rakennusjärjestys . Verkkoaineisto. <<https://www.hel.fi/static/rakvv/Rakennusjarjestys.pdf>> Päivitetty 1.11.2010. Luettu 3.10.2018.
- 19 Sähkön hintatilastot. Verkkoaineisto. <https://www.energiavirasto.fi/sahkon_hintatilastot> Luettu 3.10.2018.
- 20 Varman sijoitusten ilmastopolitiikka. Verkkoaineisto. <<https://www.varma.fi/muut/yhtiotietoa/Tulostiedot-ja-sijoitukset/>> Luettu 3.10.2018.
- 21 Enregiatehokkuussopimukset 2008-2016. Verkkoaineisto. <<https://energiatehokkuussopimukset2008-2016.fi/mita-ovat-energiatehokkuussopimukset>> Luettu 3.10.2018.

- 22 Ympäristöluokitukset tekevät kiinteistöistä vertailukelpoisia. Verkkoaineisto. <<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Rakentaminen-ja-vaaralliset-aineet/Ymparistoluokitukset/>> Luettu 3.10.2018.
- 23 Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. Verkkoaineisto. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma> Päivitetty 15.11.2016. Luettu 3.10.2018.
- 24 European Commission Joint Research Centren Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps. Verkkoaineisto. <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>> Luettu 3.10.2018.
- 25 Are we headed for a solar waste crisis? Verkkoaineisto. <<http://environmentalprogress.org/big-news/2017/6/21/are-we-headed-for-a-solar-waste-crisis>> Päivitetty 21.6.2017. Luettu 3.10.2018.
- 26 How solar power can increase your commercial property value. Verkkoaineisto. <<http://businessfeed.sunpower.com/articles/how-solar-power-can-increase-your-commercial-property-value>> Päivitetty 29.8.2017. Luettu 22.10.2018.
- 27 Aurinkoenergia kiinteistön arvon määrittämisessä <<http://www.finsolar.net/aurinkoenergia-kiinteiston-arvon-maarityksessa/>> Päivitetty 27.5.2015. Luettu 22.10.2018.
- 28 Energiategokkuusdirektiivi. Verkkoaineisto. <<https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/energiategokkuusdirektiivi>> Päivitetty 31.8.2017. Luettu 24.10.2018.
- 29 Lähes nollaenergiarakentamisen lainsäädännön valmistelu. Verkkoaineisto. <http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Maankayton_ja_rakentamisen_valmisteilla_oleva_lainsaadanto/Lahes_nollaenergiarakentamisen_lainsaadanto> Päivitetty 17.10.2018. Luettu 24.10.2018.
- 30 Rakennusten energiategokkuusdirektiivi. Verkkoaineisto. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten_energiategokkuusdirektiivi> Päivitetty 16.11.2016. Luettu 24.10.2018.
- 31 Kansainväliset arviointistandardit 2013. Verkkoaineisto. <https://www.skayry.fi/wp-content/uploads/2018/02/ivs_2013-suomeksi.pdf> Luettu 31.10.2018.

- 32 Business Finland energiatuki. Verkkoaineisto.
<<https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/pk-ja-midcap-yritys/energiatuki/>> Luettu 19.12.2018.
- 33 Huolto ja kunnossapito. Verkkoaineisto.
<https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/huolto_ja_kunnossapito> Päivitetty 15.11.2016. Luettu 20.12.2018
- 34 Sähköntuotannon päästökerroin. Verkkoaineisto.
<<https://www.energiavirasto.fi/sahkontuotannon-paastokerroin>> Luettu 20.12.2018.
- 35 KTI Markkinakatsaus syksy 2018. Verkkoaineisto.
<<https://docplayer.fi/107624797-Kti-markkinakatsaus-syksy-2018.html>> Luettu 22.12.2018.
- 36 Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. Verkkoaineisto.
<https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/palvelut/ohjeet/hsv_tekninen_liite.pdf> Luettu 23.12.2018.
- 37 Sähkö- ja elektroniikkalaiteromu – SER, WEEE. Verkkoaineisto.
<<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkolaitteet/sahkolaitteiden-vaatimuksia/sahko-ja-elektroniikkalaiteromu-ser-weee>> Luettu 23.12.2018.
- 38 LCA of silicon PV panels. Verkkoaineisto.
<http://www.appropedia.org/LCA_of_silicon_PV_panels> Luettu 25.12.2018.
- 39 Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources. Verkkoaineisto. <http://www.world-nuclear.org/uploadedFiles/org/WNA/Publications/Working_Group_Reports/comparison_of_lifecycle.pdf> Luettu 25.12.2018.
- 40 Power Optimizer. Verkkoaineisto.
<<https://www.solaredge.com/us/products/power-optimizer#/>> Luettu 13.1.2019
- 41 Aurinkosähköjärjestelmän tuotannonanalyysi. Verkkoaineisto.
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/149919/Honkanen_Jarkko.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Luettu 12.2.2019
- 42 Helsingin seudun ympäristöpalveluiden karttapalvelu. Verkkoaineisto.
<<https://kartta.hsy.fi>> Luettu 25.12.2018
- 43 EnerKey. Verkkoaineisto. <<https://portal.enerkey.com/?guid=4a3e221c-8346-fa09-986e-e8ecc2fd7792>> Luettu 27.12.2018

- 44 SolarEdge Monitoring Platform. Verkkoaineisto.<<https://monitoring.solaredge.com/solaredge-web/p/home#/dashboard>> Luettu 4.1.2019
- 45 Kiinteistotalouden ja kiinteistöjohtamisen keskeiset käsitteet. Verkkoaineisto.<<https://kti.fi/wp-content/uploads/Kiinteist%C3%B6talouden-ja-kiinteist%C3%B6johtamisen-keskeiset-k%C3%A4sitteet.pdf>> Luettu 10.2.2019