



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Toni Perälä

AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN LAIHIAN KUNNAN KIINTEISTÖISSÄ

Tekniikka
2023

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Toni Perälä
Opinnäytetyön nimi	Aurinkoenergian hyödyntäminen Laihian kunnan kiinteistöissä
Vuosi	2023
Kieli	suomi
Sivumäärä	71 + 1 liite
Ohjaaja	Riitta Niemelä

Energian tuotannon menetelmät ja sen saatavuus asettavat tässä ajassa erityisiä haasteita niin julkiselle, kuin yksityiselle sektorille. Energian kulutuksen kasvuun vastaaminen kustannustehokkaasti sekä eettisesti tulee olemaan yksi lähitulevaisuutemme suurimmista haasteista.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään selvittämään aurinkoenergian käyttömahdollisuuksia Laihian kunnan kiinteistöissä. Työssä selvitetään aurinkoenergian käyttömahdollisuuksia kunnan omistamissa kiinteistöissä, ja lasketaan kannattavuutta ja takaisinmaksuaikaa investoinnille.

Kohteeksi valitun uimahallin osalta työssä selvitettiin QGIS-ohjelmistolla auringonsäteily hallin kattopinta-alalla ja ympäristön mahdolliset vaikutukset arvioituun sähköntuottoon simuloimalla kohteen varjostustekijöitä.

Mitoitukseen ja kannattavuuteen vaikuttavat tekijät selvitettiin yhdessä Laihian kunnan teknisen osaston avulla, ja niiden pohjalta arvioitiin järjestelmän koko, tuotto ja takaisinmaksuaika.

Työn tuloksena saatua arvioita voidaan käyttää osana hankintainvestoinnin vaatimaa budjettikäsittelyä.

ABSTRACT

Author	Toni Perälä
Title	Potential Use Cases for Solar Energy in the properties of the municipality of Laihia.
Year	2023
Language	Finnish
Pages	71 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Riitta Niemelä

The methods of energy production and their availability present specific challenges to both the public and private sectors in the present time. Responsively addressing the growth in energy consumption in a cost-effective and ethical manner will be one of the greatest challenges in the near future.

This thesis focuses on examining the possibilities of utilizing solar energy in the buildings owned by the municipality of Laihia. The study investigated the potential of solar energy usage in the municipality-owned properties, calculates profitability, and determines the payback period for the investment.

For the selected target, the swimming hall, the study employed the QGIS software to assess solar radiation on the roof surface and simulate the potential impact of environmental factors on electricity generation by considering shading effects.

Factors influencing sizing and profitability were determined in collaboration with the technical department of Laihia municipality, based on which the system size, output, and payback period were estimated.

The resulting estimates from this study can be utilized as part of the budgeting process required for procurement and investment decisions.

Keywords solar energy, renewables, QGIS, and profitability

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	9
2	AURINKOENERGIA OSANA UUSIUTUVAN ENERGIAN TUOTANTOA.....	10
	2.1 Aurinkoenergian osuus uusiutuvan energian tuotannosta maailmalla .	10
	2.2 Aurinkoenergian osuus uusiutuvan energian tuotannosta EU:n alueella	
	12	
	2.3 Aurinkoenergian osuus tuotannosta Suomessa	14
	2.3.1 Julkiset aurinkoenergiaprojektit Suomessa 2019–2022	16
3	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT	19
	3.1 Yleistä aurinkosähköjärjestelmistä	19
	3.2 Yleistä aurinkopaneeleista ja eri kennotyypit.....	21
	3.2.1 Piiaurinkokennot	22
	3.2.2 Ohutkalvokennot	23
	3.2.3 III-V-puolijohdeaurinkokennot.....	25
	3.2.4 Seuraavan sukupolven kennot.....	26
	3.3 Vaihtosuuntaaja eli invertteri	29
4	ASENNUKSEEN SOVELTUVIEN KIINTEISTÖJEN SELVITTÄMINEN	31
	4.1 Laihian uimahalli	31
	4.2 Uimahallin sähkönkulutus.....	32
	4.3 Asennukseen sopiva kattopinta-ala.....	33
5	AURINGONSÄTEILYN POTENTIAALIN ARVIONTI KOHTEESSA.....	36
	5.1 Yleistä aurinkoenergian kannattavuudesta Suomessa	36
	5.2 Auringon säteilyenergian potentiaali Laihialla	38
	5.3 Auringonsäteilyn arviointi uimahallin kattopinta-alalla	40
	5.4 Lämpökartta.....	42
6	KUSTANNUSARVIOON VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	44

6.1	Aurinkosähköjärjestelmän kustannuskehitys.....	44
6.1.1	Sähköenergian ostohinta ja sen kehitys	46
6.1.2	Sähkön siirtohintaa ja palvelumaksut	48
6.1.3	Energiavero ja huoltovarmuusmaksu	49
6.1.4	Arvio ostosähkön hinnan noususta.....	49
6.2	Mitoitus.....	51
6.2.1	Hankittavan järjestelmän koko ja vuosituotto.....	52
6.2.2	Voimalan arvioitu sähköntuotannon väheneminen	53
6.2.3	Ylijäämän osuus ja myynti.....	53
6.3	Investointikustannukset.....	54
6.3.1	Asennus	54
6.3.2	Lainan tai rahoituksen korot	55
6.3.3	Vuotuiset ylläpitokulut.....	55
6.4	Energiatuki 2023–2027	56
6.4.1	Kuntaliiton lausunto energiatuesta vuosille 2023–2027	57
6.4.2	Kunta-alan energiatehokkuussopimus (KETS)	57
6.4.3	Mainos ja brändiarvot.....	58
7	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN MITOITUS UIMAHALLILLE.....	59
7.1	Auringonsäteilyn arvionti.....	59
7.2	Hankinta, ylläpito ja rahoituskustannukset	60
8	TULOKSET	62
8.1	Hankinta ja asennus.....	62
8.2	Huomiota sähköverkkoon kytkemisestä.....	63
8.3	Järjestelmän mitoitus ja omakäyttöaste.....	63
8.4	Huomioita kannattavuudesta	64
8.5	Yhteenveto.....	65
	LÄHTEET	67
	LIITTEET	72

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Kennotekniikalla tuotetun energian suhde Net Zero -tavoitteeseen 2030	12
Kuva 2. Euroopan vihreän kehityksen ohjelma	13
Kuva 3. Kumulatiivinen ja asennettu aurinkokennokapasiteetti EU27 -alueella 2021 (MW:na).	14
Kuva 4. Aurinkosähkön tuotantokapasiteetin kehitys Suomessa vuosina 2015 – 2022 (MW).	16
Kuva 5. Verkkoon kytketty aurinkosähköljärjestelmä	21
Kuva 6. Uuden sukupolven perovskiiittikennojen hyötysuhde.	28
Kuva 7. Hallin kattopinta-ala.....	34
Kuva 8. Julkisivu luoteeseen.	35
Kuva 9. Julkisivu kaakkoon.....	35
Kuva 10. Euroopan aurinkosähköpotentiaali.	37
Kuva 11. Suomen aurinkosähköpotentiaali	39
Kuva 12. Digitaalinen korkeusmalli (DEM).	41
Kuva 13. Rakennuksen kattotasojen auringonsäteilyn lämpökartta.....	43
Kuva 14. Aurinkosähköljärjestelmän kustannuskehitys Q1 2021 – Q1 2022.....	45
Kuva 15. Sähkön hinnan kehitys 10.2021–10.2022.....	47
Kuva 16. Sähkön hinnan kehitys 10 vuoden aikana.....	48
Kuva 17. Sähkön siirtohinnan kehitys 2012–2022.....	49
Kuva 18. Sähköfutuuriennustetut hinnat 2023–2024.	51
Kuva 19. Järjestelmän vuosituottoarvio kWp kohden.....	52
Taulukko 1. Aurinkoenergiainvestoinnit rakennustyypeittäin	17
Taulukko 2. Aurinkoenergiainvestoinnit rakennustyypeittäin - trendi.	18
Taulukko 3. Uimahallin sähkönkulutus vuonna 2022.....	33
Taulukko 4. Auringon säteily kohteessa kuukausittain, viiden vuoden keskiarvo kWh/m ² /päivä.	60

Taulukko 5. Järjestelmän hinta.....	62
Taulukko 6. Järjestelmän omakäyttöaste.....	64
Taulukko 7. Järjestelmän kannattavuus.....	65

LIITELUETTELO

LIITE 1. Aurinkosähkön kustannus- ja tuottolaskelmat järjestelmän elinkaaren aikana.

1 JOHDANTO

Sähköenergian hinnan nopea nousu, sekä energian saatavuus Suomessa ja pohjoismaissa asettavat julkiselle, sekä yksityiselle sektorille suuria haasteita tulevana vuonna, sekä lähitulevaisuudessa. Vaihtoehtoisia energianlähteitä mietittäessä, on kustannusten lisäksi pidettävä myös mielessä sähköntuotannon eettisyys ja ympäristöystävällisyys.

Aurinkoenergia yksi uusiutuvista energian lähteistä, ja tällä hetkellä EU:n alueella nopeimmin kasvava uusiutuvan sähköenergian tuotantomuoto. Euroopan parlamentti onkin asettanut RED II -direktiivissä yleistavoitteeseen uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön lisäämisen vähintään 32 prosenttiin¹.

Suomessa aurinkoenergian tuotannolle asettavat rajoitteensa pitkä pimeä ajanjakso, sekä suurimman tuotannon jakson ajoittuminen kesäaikaan, jolloin sähkön tarve kokonaisuudessaan on selvästi talvikautta pienempi.

Tässä selvityksessä tarkastellaan aurinkoenergian tuotannon kehitystä Suomessa, sekä yleisesti käytössä olevia teknologioita ja palveluita. Työn tavoitteena on karottaa Laihian kunnan mahdollisuuksia lisätä aurinkoenergian käyttö sen omissa kiinteistöissään, ja täten vähentää omaa riippuvuuttaan fossiilisella polttoaineella tuotetusta sähköenergiasta.

Selvityksessä myös tutkitaan, onko hanke taloudellisesti kannattava ja minkälaisia tukia hankkeelle on mahdollista saada Suomen valtiolta ja EU:lta.

¹ TEM. EU:n uusiutuvan energian tavoitteet ja lainsäädäntö. Viitattu 19.12.2022. <https://tem.fi/eu-lainsaadanto>

2 AURINKOENERGIA OSANA UUSIUTUVAN ENERGIAN TUOTANTOA

Pyrkimykset uusiutuvan energian lisäämiselle globaalissa mittakaavassa juontuvat tavoitteesta rajoittaa maapallon lämpötilan nousua tämän vuosisadan aikana 2 asteeseen, tai parhaassa tapauksessa aina 1,5 asteeseen asti.

YK:n ilmastomuutosta käsittelevässä konferenssissa (COP21) Pariisissa saavutettiin sopimus, jossa maailman johtajat sitoutuivat tähän tavoitteeseen, ja sen pitkänajan suunnitelmaan vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä, sekä tarjota tukea kehittyville talouksille uusiutuvien energiamuotojen suosimisessa uuden kapasiteetin rakentamisessa.

Pariisin sopimuksen pitkäaikainen tavoite on pyrkimys ”Net Zero” -malliin, jossa kasvihuonekaasujen päästöt laskevat mahdollisimman lähelle nollaa, kun metsien ja merien kyky absorboida niitä hiilinieluinä otetaan huomioon.

Operationaalisen tason käytännön sovellutuksista, ja miten Pariisin sopimuksen täytäntöönpanoa voidaan toteuttaa, on sovittu joulukuussa 2018 COP24 -konferenssissa Puolan Katowicessa, sekä COP26 -konferenssissa Skotlannin Glasgow’ssa marraskuussa 2021².

2.1 Aurinkoenergian osuus uusiutuvan energian tuotannosta maailmalla

Kansainvälisen energiajärjestön IEA:n mukaan aurinkokennotekniikalla tuotetun energian määrä kasvoi 179 TWh vuonna 2021, ylittäen ensimmäistä kertaa 1 000

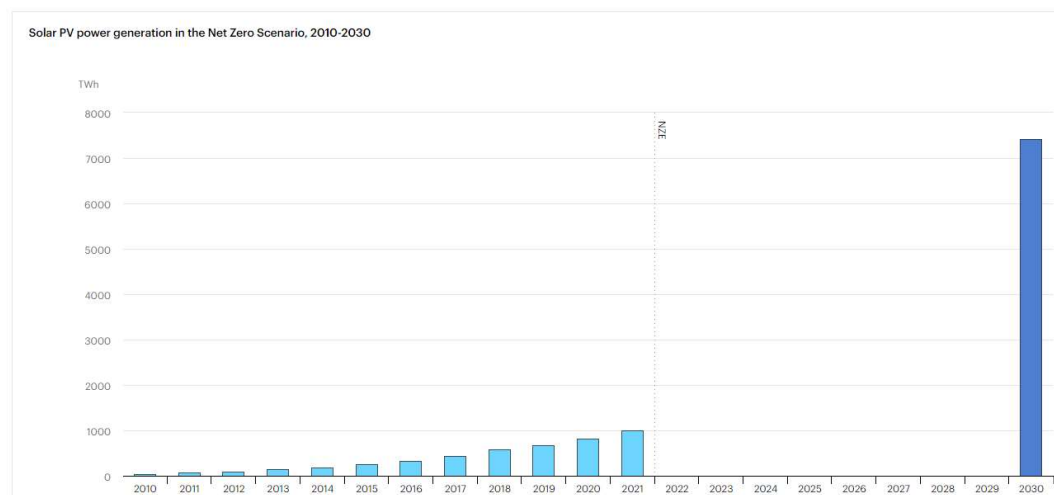
² United Nations. The Paris Agreement. Viitattu 19.12.2022. <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>

TWh:n rajan. Investointien odotetaan kasvavan tulevina vuosina kennon tekniikan kehittymisen ja halventumisen myötä.

Aurinkokennotekniikalla tuotetun energian määrä vastasi vuonna 2021 3,6 % maapallon kokonaissähkötuotannosta, ollen kolmantena uusiutuvien energiamuotojen tuotannosta heti vesi- ja tuulivoiman jälkeen. Kasvusta suurin osa oli Kiinan ansiota, jonka osuus 2020 ja 2021 vuosien suurien kapasiteetti lisäysten ansiosta oli 37 %

Kuvasta yksi nähdään, että 7 400 TWh "Net Zero" -tavoitteeseen pääseminen vaatii kuitenkin tällä tahdilla 25 % vuosittaista tuotannon kapasiteetin lisäystä 2022–2030 aikana³.

³ Bojek P. Solar PV. Viitattu 19.12.2022. <https://www.iea.org/reports/solar-pv>



Kuva 1. Kennotekniikalla tuotetun energian suhde Net Zero -tavoitteeseen 2030⁴.

2.2 Aurinkoenergian osuus uusiutuvan energian tuotannosta EU:n alueella

EU on asettanut tavoitteekseen olla maapallon ensimmäinen hiilineutraali maanosa vuoteen 2050 mennessä. Tähän kunnianhimoiseen tavoitteeseen pääsemiseksi on EU laatinut niin kutsutun ”European Green Deal” -paketin ohjaamaan ja mahdollistamaan siirtymistä kestävämpään energian tuotantoon. Energiasektorin kehityksessä uusiutuville energianlähteillä tuleekin olemaan keskeinen asema EU:ssa⁵. Kuvassa kaksi havainnollistetaan vihreän kehityksen eri osia.

⁴ Bojek P. Solar PV. Viitattu 19.12.2022. <https://www.iea.org/reports/solar-pv>

⁵ Euroopan Komission tiedonanto 2019. Viitattu 19.12.2022. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=EN>



Kuva 2. Euroopan vihreän kehityksen ohjelma ⁶.

EU:ssa Vuonna 2021 aurinkokennotekniikalla tuotetun energian määrä oli kokonaisuudessaan 158,9 TWh. Määrä kasvoi vuonna 2021 asennetun kapasiteetin osalta vähintään 22 766,5 MW, kun otetaan huomioon 51,1 MW:n verran vanhan kapasiteetin alasajoa⁷.

Kuvasta kolme selviää oranssilla värillä merkittynä Euroopan kumulatiivinen asennettu kapasiteetti, sekä sinisellä merkittynä vuonna 2021 asennettu kapasiteetti.

⁶ Euroopan Komission tiedonanto 2019. Viitattu 19.12.2022. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=EN>

⁷ Euroobserv'er. Photovoltaic Barometer 4.2022. Viitattu 19.12.2022. <https://www.euroobserver.org/photovoltaic-barometer-2022/>

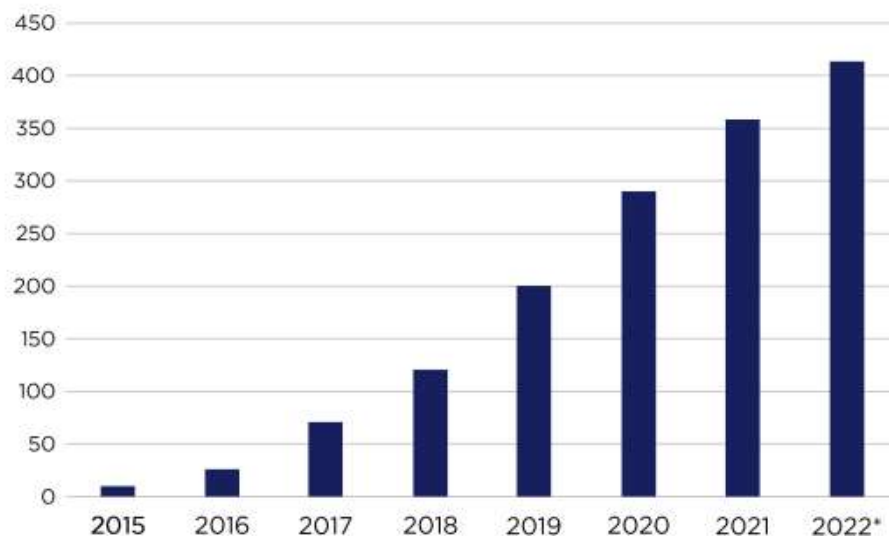
2021 lopussa jo yhteensä 395 MW. Kapasiteetin kasvu oli näin ollen vuoteen 2020 verrattuna yli 100 MW⁹.

Valtioneuvosto toteaa myös toimialakatsauksessaan kesäkuussa 2022 aurinkoenergian pientuotannon olleen viimevuosina voimakkaassa kasvussa ¹⁰. Katsauksessa todetaan, että vuoden 2016 jälkeen asennettu kapasiteetti on yli kymmenkertaistunut.

Kuvassa neljä on esitetty Aurinkosähkön tuotantokapasiteetin kehitys Suomessa vuosina 2015 – 2020.

⁹ Energiavirasto. Aurinkosähkön kapasiteetti kasvoi Suomessa yli 100 megawattia vuonna 2021. Viitattu 19.12.2022. <https://energiavirasto.fi/-/aurinkosahkon-kapasiteetti-kasvoi-suomessa-yli-100-megawattia-vuonna-2021>

¹⁰ Työ- ja Elinkeinoministeriö. Toimialojen näkymät, kevät 2022, Uusiutuva Energi 8.6.2022. Viitattu 19.12.2022. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164208/Uusiutuvan_energian_nakymat_kevat_2022_08062022.pdf



Kuva 4. Aurinkosähkön tuotantokapasiteetin kehitys Suomessa vuosina 2015 – 2022 (MW)¹¹.

Aurinkoenergiaan investoiminen houkuttaa edelleen niin kotitalouksia, yrityksiä kuin maatalojakin. Absoluuttiset tuotantomäärät ovat kuitenkin edelleen melko pieniä nopeasta kasvusta huolimatta.

2.3.1 Julkiset aurinkoenergiaprojektit Suomessa 2019–2022

Julkisten hankintojen HILMA-palvelusta voidaan selvittää kappalemääriä julkisen sektorin tulevista, käynnissä olevista ja päättyneistä kilpailutuksista.

Julkisilla hankinnoilla tarkoitetaan sellaisia tavara-, palvelu- ja rakennusurakkahankintoja, joita valtio, kunnat ja kuntayhtymät, valtion liikelaitokset sekä muut hankintalainsäädännössä määritellyt hankintayksiköt tekevät oman organisaationsa ulkopuolelta. Julkiset hankinnat tulee tehdä hankintalainsäädännössä säädettyjä

¹¹ Työ- ja Elinkeinoministeriö. Toimialojen näkymät, kevät 2022, Uusiutuva Energi 8.6.2022. Viitattu 19.12.2022. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164208/Uusiutuvan_energian_nakymat_kevät_2022_08062022.pdf

menettelytapoja noudattaen. Sääntelyn tavoitteena on tehostaa julkisten varojen käyttöä. Hankinnat on kilpailutettava avoimesti ja tehokkaasti, ja kilpailuun osallistuvia yrityksiä on kohdeltava tasapuolisesti ja syrjimättömästi ¹².

Hankintalain mukaan kertomus ja sen tausta-asiakirjat ja muu dokumentaatio on säilytettävä vähintään kolmen vuoden ajan hankintasopimuksen tekemisestä, joten tarkastelujakso ylettyi 2019 vuoteen asti. Aurinkoenergiaan liittyviä hankintailmoituksia tarkasteltaessa voidaan ilmoitetut kohteet luokitella rakennusluokitus 2018 mukaisesti ylätasolla taulukko yhden mukaisesti.

Taulukko 1. Aurinkoenergiahankeet rakennustyypeittäin¹³

Rakennusluokka	2019	2020	2021	2022	Kaikki yhteensä
Opetusrakennukset	9	8	4	13	34
Asuinrakennukset	4	3	10	7	24
Toimistorakennukset		3	6	7	16
Hoitoalan Rakennukset	1	3	7	2	13
Yhdyskuntatekniikan Rakennukset	5			4	9
Urheilu- ja liikuntarakennukset		2		5	7
Liikenteen rakennukset		1		2	3
Liikerakennukset	1		2		3
Kokoontumisrakennukset		1			1
Muut liikenteen rakennukset	1				1
Pelastustoimen rakennukset		1			1
Kaikki yhteensä	21	22	29	40	112

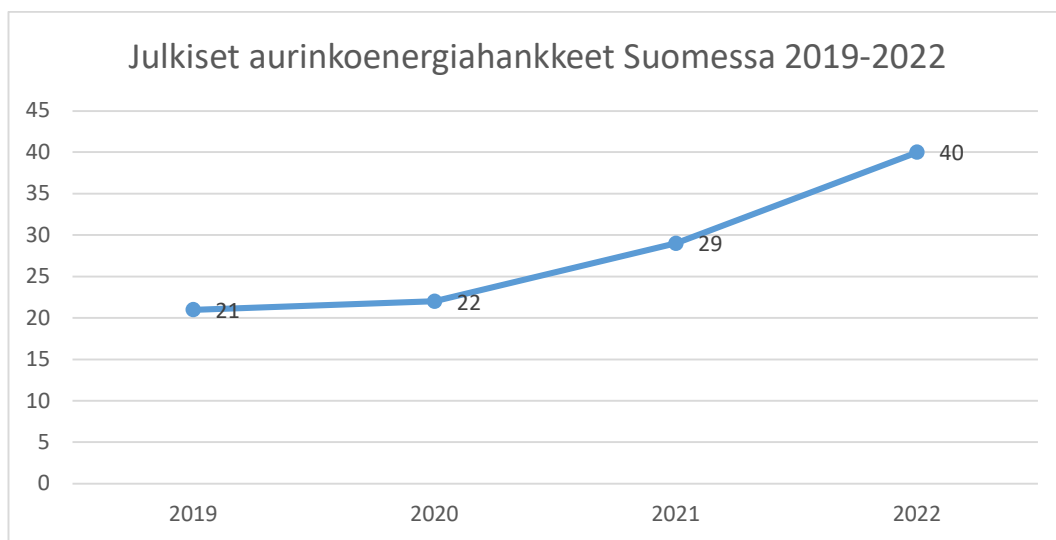
Hankkeita tutkiessa rakentaminen on selvästi vilkastunut viimevuosina, ja keskittyy erityisesti asunto-osakeyhtiöiden uudisrakentamiseen, sekä koulujen ja oppi-

¹² HILMA. Yleistä julkisista hankinnoista. Viitattu 20.12.2022. <https://www.hankintailmoitukset.fi/fi/info/yleista>

¹³ HILMA. Julkiset hankintailmoitukset 2019–2022. Viitattu 20.12.2022. <https://www.hankintailmoitukset.fi/fi/>

laitosten remontoinnin yhteydessä toteutettavaan uusiutuvaan energiaan siirtymisessä. Laajemmissa hankkeissa ei yksittäisiä kohteita ole hankintailmoituksessa erikseen lueteltu. Taulukosta kaksi nähdään hankkeiden nouseva trendi.

Taulukko 2. Aurinkoenergiaprojektit rakennustyypeittäin - trendi¹⁴.



¹⁴ HILMA. Julkiset hankintailmoitukset 2019–2022. Viitattu 20.12.2022. <https://www.hankintailmoitukset.fi/fi/>

3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT

3.1 Yleistä aurinkosähköjärjestelmistä

Aurinkosähköjärjestelmä koostuu useista osista, kuten aurinkopaneeleista, tasa-sähkö- ja vaihtosähkökaapeleista, vaihtosuuntaajasta, erotuskytkimistä, sähkökeskuksesta ja kaksisuuntaisesta sähkömittarista.

Aurinkopaneelit voidaan asentaa kiinteistön katolle, seiniin tai vaikkapa maahan asennettaville telineille. Tulevaisuudessa yhä suosittumaksi tulevat erilaiset sähkövarastoratkaisut, joissa voidaan varastoida voimalan tuottamaa ylimääräistä sähköenergiaa. Aurinkopaneelien tuottamaa energiaa voidaan käyttää myös kiinteistön lämminvesivaraajan lämmittämiseen ¹⁵.

Aurinkopaneelin tuottama sähkö on tasasähköä, joka eroaa yleisessä sähköverkossa käytetystä vaihtosähköstä. Tasasähköä voidaan käyttää käyttökohteessa kolmella eri tavalla:

1. Tasasähköä voidaan käyttää suoraan tasasähköä käyttävissä sähkölaitteissa, esimerkiksi kodinkoneissa.
2. Toinen vaihtoehto on muuttaa paneelin tuottama tasasähkö vaihtosähköksi invertterin avulla ja käyttää sitä vaihtosähköä käyttävissä laitteissa, kuten kodinkoneissa tai lämminvesivaraajassa.
3. Kolmanneksi, jos tasasähköä ei voida käyttää heti, se voidaan varastoida akkuihin, joista sitä voidaan myöhemmin purkaa käyttöön joko tasasähkönä tai vaihtosähkönä.

¹⁵ TUKES. Aurinkosähköjärjestelmät, Toimintaperiaate ja järjestelmätyypit. Viitattu 25.2.2023. <https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat>

Aurinkosähköjärjestelmät, jotka toimivat rinnakkain sähköverkon kanssa, liitetään kohteen 230/400 voltin sähköverkkoon. Tällaisia kohteita voivat olla esimerkiksi asuin- ja liikekiinteistöjen tai maatilojen järjestelmät.

Vaihtosuuntaaja muuntaa paneelien tuottaman tasasähkön vaihtosähköksi, jolloin aurinkosähköjärjestelmä voidaan kytkeä kiinteistön sähköverkkoon ja jakeluverkkoon.

Liittäminen tapahtuu mittaus- tai ryhmäkeskuksessa sulakkeiden kautta, johon kytketään vaihtosuuntaajalta tuleva kaapeli. Vaihtosuuntaajassa on turvallisuussyistä oltava automatiikka, jonka kuuluu estää aurinkosähköjärjestelmää syöttämästä sähköä verkkoon päin sähkökatkon aikana, esimerkiksi sähköverkon vikatilanteessa ¹⁶.

Kuvassa viisi esitetään yksinkertainen kaavio verkkoon kytketystä aurinkosähköjärjestelmästä ja sen kytkentäperiaatteesta.

¹⁶ Motiva. Auringosta sähköä. Viitattu 25.2.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa



Kuva 5. Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä ¹⁷.

3.2 Yleistä aurinkopaneeleista ja eri kennotyypit

Aurinkosähkön tuottaminen perustuu auringon säteilyenergian hyödyntämiseen. Aurinkosäteily koostuu fotoneista, jotka kuljettavat auringon säteilyenergiaa. Aurinkokennot hyödyntävät näitä fotoneita energian muuttamiseksi sähkövirraksi. Kun auringonsäteily osuu aurinkokennoon, fotonit luovuttavat energiansa kennojen materiaalin elektroneille. Tämä ilmiö johtaa elektronien liikkumiseen ja sähkövirran syntymiseen aurinkokennojen virtajohtimissa.

Aurinkopaneelit koostuvat usein sarjaan ja/tai rinnan kytketyistä aurinkokennoista, jotka ovat koteloituna paneelikehykseen. Tämän lisäksi aurinkopaneelin etupuolelle on sijoitettu aurinkosäteilyä läpäisevä suojalasi.

¹⁷ Motiva. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. Viitattu 18.5.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma

Aurinkosähköjärjestelmän tehokkuus riippuu useista tekijöistä, kuten aurinkosäteilyn määrästä, aurinkokennon materiaalista ja paneelin suuntauksesta¹⁸.

Aurinkokennojen yleisin valmistusmateriaali on yksi- tai monikiteinen pii. Teknologia on vakiintunutta, ja noin 90 prosenttia tarjolla olevista aurinkokennoista on piikidekennoja.

Ohutkalvokennot valmistetaan lisäämällä niiden nimen mukaisesti hyvin ohuita kerroksia valoherkkää ainetta edulliselle pohjamateriaalille, kuten lasille, ruostumattomalle teräkselle tai muoville.

3.2.1 Piiaurinkokennot

95 prosentissa tänä päivänä valmistetuista ja myydyistä paneeleista puolijohde-materiaalina on pii. Kiteiset piikennot koostuvat toisiinsa liittyneistä piiatomeista, jotka muodostavat kidehilan. Tämä hila tarjoaa rakenteen, joka tekee valon muuntamisesta sähköksi tehokkaampaa¹⁹.

Piikennojen suosion syyksi voidaan listata eri asioita, kuten:

- Teknologian kypsyys: tarjolla on huomattava määrä tietoa ratkaisun luotettavuuden ja kestävyvyn arvioimiseksi, mikä on erittäin tärkeää projektien rahoituksen hankkimisen kannalta.
- Suorituskyky: standardi teollisesti valmistettu piikkenno tarjoaa korkeamman hyötysuhteen kuin mikään muu massavalmistettu kenno. Korkeampi hyötysuhde vähentää investointikustannuksia, koska asennettujen kennojen määrä on pienempi

¹⁸ Motiva. Auringosta sähköä. Viitattu 30.2.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa

¹⁹ EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Solar Photovoltaic Cell Basics. Viitattu 21.12.2022. <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics>

- Luotettavuus: Piikentöiden käyttöikä on yli 25 vuotta, eikä niiden suorituskyvyssä tapahdu suurta heikkenemistä ajan kuluessa.
- Materiaalin saatavuus: Pii on maapallolla toiseksi yleisin esiintyvä alkuaine hapen jälkeen ²⁰.

Piistä valmistettujen aurinkosähköpaneelien hyötysuhde on tavallisissa kaupallisissa sovelluksissa yleensä 15–17 %²¹, mutta kalliimmilla ja kehittyneemmillä monikidepii-paneelilla voidaan päästä yli 20 % hyötysuhteeseen.

3.2.2 Ohutkalvokennot

Toinen usein käytetty teknologia on ohutkalvokenno. Ohutkalvokenno koostuu erittäin ohuista puolijohdekerroksista, jotka on valmistettu esimerkiksi kadmiumtelluridista (CdTe), tai kupari-indiumgallium-selenidistä (CIGS). Kerrosten paksuus on vai muutamia mikrometrejä.

Ohutkalvokennot voivat olla taipuisia kevyitä, mistä syystä ne ovatkin suosittuja kannettavissa reppuun mahtuvissa ratkaisuissa. Toinen esimerkki käyttökohteesta voisi olla ikkunat, jotka tuottavat sähköä auringon valosta ²².

CdTe on toiseksi yleisin kennoissa käytetty materiaalia piin jälkeen. CdTe -kennojen valmistus on halvempaa, mutta niiden hyötysuhde on piitä huonompi. CdTe -kennojen hyviin puoliin voidaan lukea:

²⁰ EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Crystalline Silicon Photovoltaics Research. Viitattu 21.12.2022. <https://www.energy.gov/eere/solar/crystalline-silicon-photovoltaics-research>

²¹ Motiva. Aurinkosähköteknologiat. Viitattu 18.5.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat

²² National Renewable Energy Laboratory (NREL). Solar Photovoltaic Technology Basics. Viitattu 21.12.2022. <https://www.nrel.gov/research/re-photovoltaics.html>

- Korkea absorptiokyky: kadmiutelluridi toimii energiavyömateriaalina, jonka energiaraoksi kutsuttua energiaväliä voidaan säätää 1,4 ja 1,5 (eV) välillä. Tämä väli on optimi auringonvalon muuntamisessa sähköksi yksiliitoskennoissa.
- Alhaiset tuotantokustannukset: kadmiumtelluridi kennojen valmistusmenetelmät tuottavat raaka-aineesta valmiin kennon vain tunneissa ²³.

CIGS-materiaalista valmistetut kennot ovat osoittaneet korkeita hyötysuhteita laboratorio oloissa, mutta valmistusmenetelmien monimutkaisuus on osoittanut siirtymisen laboratorio oloista tuotantoon olevan haastavaa.

- Korkea absorptiokyky: Tämä energiavyömateriaali absorboi valoa huomattavan suurella spektrillä, saavuttaen sen ansiosta suurimman hyötysuhteen kaikista ohutkalvo tekniikalla valmistetuista kennoista
- Tandem-malli: Säädettävä energiarako mahdollistaa tandem CIGS kennojen valmistamisen muista puolijohdemateriaaleista.
- Suojaava rakenne: Materiaalin rakenne muodostaa luonnollisen suojaavan kerroksen, joka estää pinnan rekombinaatiota, jolla taas on heikentävä vaikutus kennon hyötysuhteeseen ²⁴.

Verrattuna Piiaurinkokennoihin, jotkin ohutkalvokennotekniikalla valmistetut ratkaisut siis hyötyvät pienemmistä valmistuskustannuksista, sekä mahdollisuudesta skaalata niiden kokoa ylöspäin tarpeen mukaan. Ohutkalvokennot vaativat kuitenkin enemmän suojaavia rakenteita kestävään pitkäaikaista ulkokäyttöä ²⁵.

²³ EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Cadmium Telluride. Viitattu 21.12.2022. <https://www.energy.gov/eere/solar/cadmium-telluride>

²⁴ EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Copper Indium Gallium Diselenide. Viitattu 21.12.2022. <https://www.energy.gov/eere/solar/copper-indium-gallium-diselenide>

²⁵ EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Solar Photovoltaic Cell Basics. Viitattu 21.12.2022. <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics>

3.2.3 III-V-puolijohdeaurinkokennot

Kolmas aurinkokennoteknologia on nimetty niiden elementtien mukaisesti, joista se muodostuu. III-V-puolijohdekennot ovat valmistettu ryhmän III alkuaineista, esimerkiksi galliumista ja indiumista, sekä ryhmän V alkuaineista kuten arseenista ja antimonista.

Tällä tekniikalla toteutetut kennot ovat yleensä huomattavasti kalliimpia valmistaa kuin muut tekniikat, mutta ne muuntavat auringonvaloa sähköksi huomattavasti tehokkaammalla hyötysuhteella.

Tästä johtuen tällä tekniikalla toteutetut kennoja käytetään usein satelliiteissa, miehittämättömissä lennokeissa, ja muissa ratkaisuissa, jotka vaativat korkeaa tehoa ja painon suhdetta ²⁶.

III-V-paneelien hyödyiksi voidaan lukea:

- Spektrin yhteensopivuus: Tekniikalla voidaan valmistaa korkean hyötysuhteen kennoja (>45 %), sovittamalla eri auringonvalon spektrille sopivia ja niitä vastaavalla energiaralla varustettuja absorptiokerroksia.
- Kiderakenne: III-V-luokan alkuaineiden eri yhdistelmillä on yhtäläisiä kiderakenteita ja ihanteelliset ominaisuudet aurinkokennojen materiaalina, kuten pitkä diffuusiopituus, varauksenkuljettajan mobiliteetti ja yhteensopiva absorbointispektri ²⁷.

²⁶ National Renewable Energy Laboratory (NREL). Solar Photovoltaic Technology Basics. Viitattu 21.12.2022. <https://www.nrel.gov/research/re-photovoltaics.html>

²⁷ EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Multijunction III-V Photovoltaics Research. Viitattu 21.12.2022. <https://www.energy.gov/eere/solar/multijunction-iii-v-photovoltaics-research>

3.2.4 Seuraavan sukupolven kennot

Tutkijat kehittävät koko ajan uusia kennotekniikoita. Seuraavan sukupolven aurinkokennoteknologiat voivat tarjota esimerkiksi alhaisempia kustannuksia, helpompia valmistusmenetelmiä tai muita hyötyjä. Lisää tutkimuksia kuitenkin vaaditaan, pystyvätkö nämä lupaavat ratkaisut lunastamaan niihin kohdistettuja odotuksia. Tavallisiin kaupallisiin ratkaisuihin nämä uudet tekniikat ovat kuitenkin vielä kalliita ja käyttöiältään liian lyhyitä.

Esimerkkejä seuraavan sukupolven kennoteknologiasta:

- Orgaanisesta materiaalista tehdyt kennot
- Kvanttipistekenno (eng. quantum dot)
- Epäorgaanis-orgaaninen hybridikenno (tunnetaan myös perovskiittikenno).

Orgaaniset aurinkokennot tähtäävät ratkaisuun, jossa materiaalien saatavuus on hyvä, ja valmistuskustannukset ovat alhaiset. Koska absorbointiin voidaan käyttää erilaisia ja erivärisiä materiaaleja, tämä ratkaisu kiinnostaa rakennuksiin integroitavissa olevien paneelien markkinoita. Haasteena orgaanisissa kennoissa on niiden alhaisempi hyötysuhde, sekä pitkänajan luotettavuus²⁸.

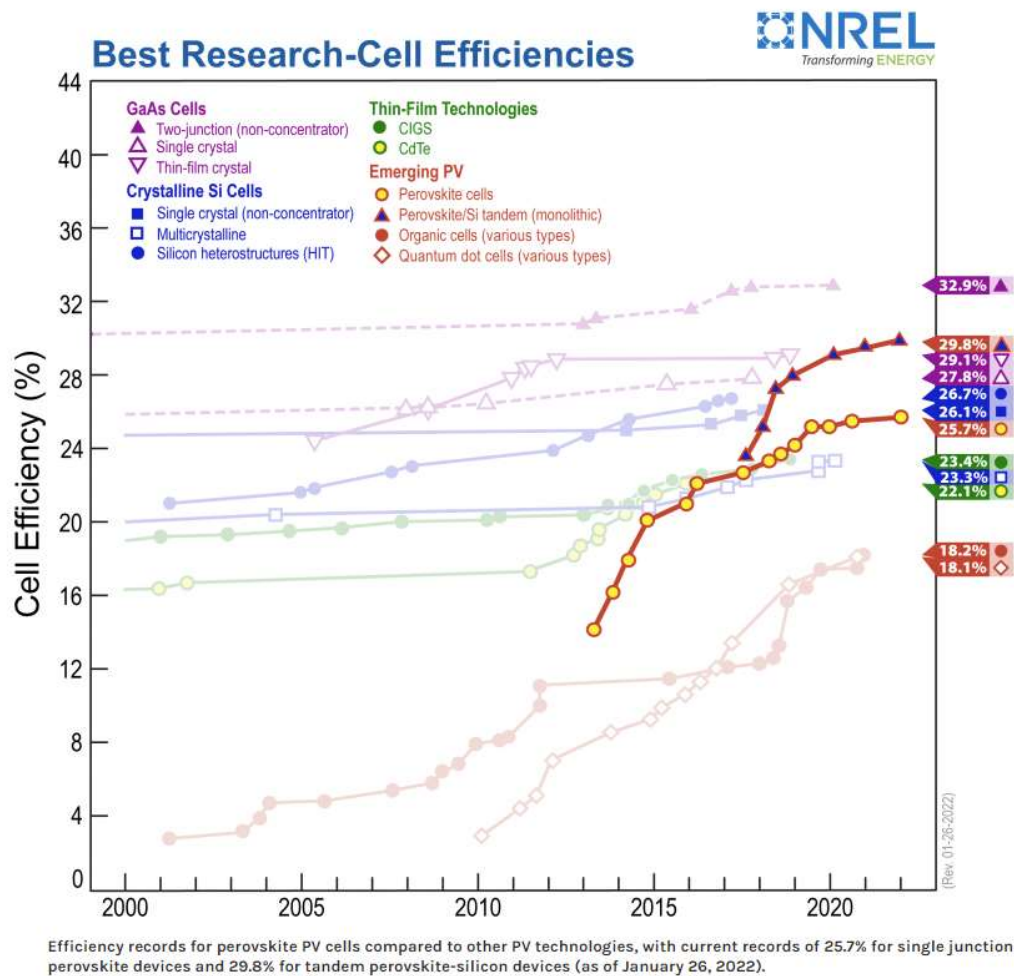
Perovskiittikenno saa nimensä materiaalin kristallimaisesta rakenteesta. Ne ovat osoittaneet nopeaa kehittymistä viime vuosina, ja ovat ylittäneet jo 25 % hyötysuhteen rajan. Haasteeksi on kuitenkin toistaiseksi osoittautunut niiden huono

²⁸ EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Organic Photovoltaics Research. Viitattu 18.5.2023. <https://www.energy.gov/eere/solar/organic-photovoltaics-research>

kestävyys valolle, kosteudelle, lämmölle ja pitkäaikaiselle jännitteellisyydelle. Kaupallisesti perovskiittikennon ei ole vielä vielä kannattava. Näistä syistä, kennon elinikä lasketaan vielä toistaiseksi kuukausissa ²⁹.

Kuvasta kuusi voidaan todeta, että perovskiittikentöjen hyötysuhde on jo ylittänyt perinteisellä tekniikalla valmistetut piikentö.

²⁹ EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Perovskite Solar Cells. Viitattu 18.5.2023.
<https://www.energy.gov/eere/solar/perovskite-solar-cells>



Kuva 6. Uuden sukupolven perovskittikennojen hyötysuhde³⁰.

Kvanttipistekeno johtaa sähköä erilaisten pienten puolijohdemateriaalien partikkeleiden kautta. Näitä vain muutaman nanometrin kokoisia partikkeleita kutsutaan kvanttipisteiksi. Kvanttipisteet tarjoavat uuden tavan käsitellä puolijohdeiden materiaaleja. Niiden väliset sähköyhteydet ovat kuitenkin vaikeita muodostaa, eivätkä tällä tekniikalla luodut kennot ole kovin tehokkaita³¹.

³⁰ EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Perovskite Solar Cells. Viitattu 18.5.2023. <https://www.energy.gov/eere/solar/perovskite-solar-cells>

³¹ EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Solar Photovoltaic Cell Basics. Viitattu 18.5.2023. <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics>

Niiden etuna on kuitenkin, että ne voidaan levittää pinnoille suihkuttamalla, tai käyttämällä sanomalehtien painamiseen tarkoitettujen telojen kaltaista menetelmää.

3.3 Vaihtosuuntaaja eli invertteri

Vaihtosuuntaaja, eli invertteri on yksi aurinkosähköjärjestelmän tärkeimpiä osia. Laite muuntaa aurinkopaneelien tuottaman tasasähkön (DC) sähköverkon käyttämäksi vaihtosähköksi (AC).

Pohjimmiltaan invertteri tekee muunnoksen tasasähköstä vaihtosähköksi katkolla sisään tulevaa tasasähköä hyvin nopeasti, jolloin lähdöksi saadaan vaihtosähköä. Suodattimia ja elektroniikkaa hyödyntäen jännitteestä tehdään puhdasta siniaaltoa, joka voidaan syöttää sähköverkkoon.

Aurinkosähköjärjestelmässä invertteri toimii vaihtosähkön muuntajan lisäksi myös järjestelmän monitoroijana, sekä tietoliikenneverkkoon kytkettynä myös järjestelmän hallinta- ja valvontapisteinä. Kehittyneemmät invertterit ohjaavat myös järjestelmän akustoa, esimerkiksi verkon häiriön tai sähkökatkon aikana.

Invertterin tyyppi riippuu käyttökohteesta ja tapauksesta. Aurinkosähkövoimassa, tai keskikokoisessa yhdyskuntaprojektissa jokainen paneeliryhmä on yleensä yhdistetty yksittäiseen ketjuinvertteriin. Tämä ratkaisu on kustannustehokas, mutta alentaa järjestelmän tehoa, jos jokin paneeleista ei toimi kunnolla, tai on varjossa.

Mikroinvertterit taas ovat pienempiä yksittäiseen paneeliin kiinnitettyjä invertteireitä. Niitä käytettäessä yksittäisen paneelin varjostus tai vaurio eivät vaikuta koko järjestelmän tehontuottoon. Tämä ratkaisu on kuitenkin kalliimpi toteuttaa ³².

³² EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Solar Integration: Inverters and Grid Services Basics. Viitattu 22.12.2022. <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-integration-inverters-and-grid-services-basics>

4 ASENNUKSEEN SOVELTUVIEN KIINTEISTÖJEN SELVITTÄMINEN

Laihian kunnan teknisen johtajan mukaan kunnanvaltuustosta on jo esitetty tekniselle osastolle ajatuksia uusituvan energian käytöstä myös Laihian kunnassa ³³.

Sopivia kohteita on pohdittu, ja niiden joukosta on erottunut energiankäyttömäärien mukaan selvästi muutama isompi kohde, joissa uusiutuvan energian käytöstä olisi enemmän hyötyä, kuin pienemmissä kohteissa. Tällaisia kohteita on tunnistettu kolme. Terveyskeskus, monitoimitalo sekä uimahalli.

Kohteissa yhteistä on, että niiden käyttö on ympärivuotista, eikä energiankulutus kuukausittain poikkea kovinkaan paljoa. Monitoimitalon soveltuvuutta aurinkojärjestelmän asentamiseksi on jo alustavasti selvitetty, joten työn kohteeksi valikoitui Uimahalli.

Muiden kohteiden energiankulutus, kuten koulujen, on pienempää eikä niistä saatavien energiatehokkuustoimien hyöty ole prioriteettilistan kärkipäässä.

4.1 Laihian uimahalli

Laihian uimahalli valmistui vuonna 1997. Hallissa on tehty remontti vuoden 2013 tulipalon jälkeen, sekä vuonna 2018 jolloin muun muassa allastekniikkaa on uusittu.

Uimahallirakennus on osa Laihian Vanhustenkotiyhdistys ry:n kiinteistökokonaisuutta, ja kunta ei omista itse hallikiinteistöä. Tästä syystä, muun muassa uimahallilla ei ole omaa sähköliittymää, vaan mittaus tapahtuu alamittarin kautta ja yhdistys veloittaa sähkönkäytöstä alamittarilta luetun kulutuksen mukaan. Alamittari

³³ Mansikka-aho, J. 2022. Tekninen Johtaja. Laihian kunta. Haastattelu 11.1.2023.

on vanhempaa laitekantaa, ja mittatuloksia luettaessa on käytettävä kerrointa 40 todellisen kulutuksen selvittämiseksi.

4.2 Uimahallin sähkönkulutus

Uimahallilla on kaksi saunaa, joissa kummassakin on 21 kilowatin kiukaat. Altaat lämpenevät kaukolämmöllä, mutta uimahallitekniikan kuten pumppujen käyttöön menee tasaisesti sähköä vuodenajasta riippumatta.

Koska joulukuun mittarilukema vuodelta 2021 ei ollut käytettävissä, tammikuun sähkönkulutuksen arviona käytetään vertailuarvona 2022 vuoden joulukuun kulu- tusta.

Alamittari ei ole etäluettava, ja kulutus kirjataan ja lasketaan vertaamalla edellis- kuukausien mittarilukemaa. Alamittarilla on myös kerroin, jonka on todettu olevan 40. Mittaustulos täytyy siis kertoa tällä lukemalla saadakseen siis todellisen kulu- tuksen. Mittaustulokset on esitetty taulukossa kolme.

Taulukko 3. Uimahallin sähkönkulutus vuonna 2022³⁴.

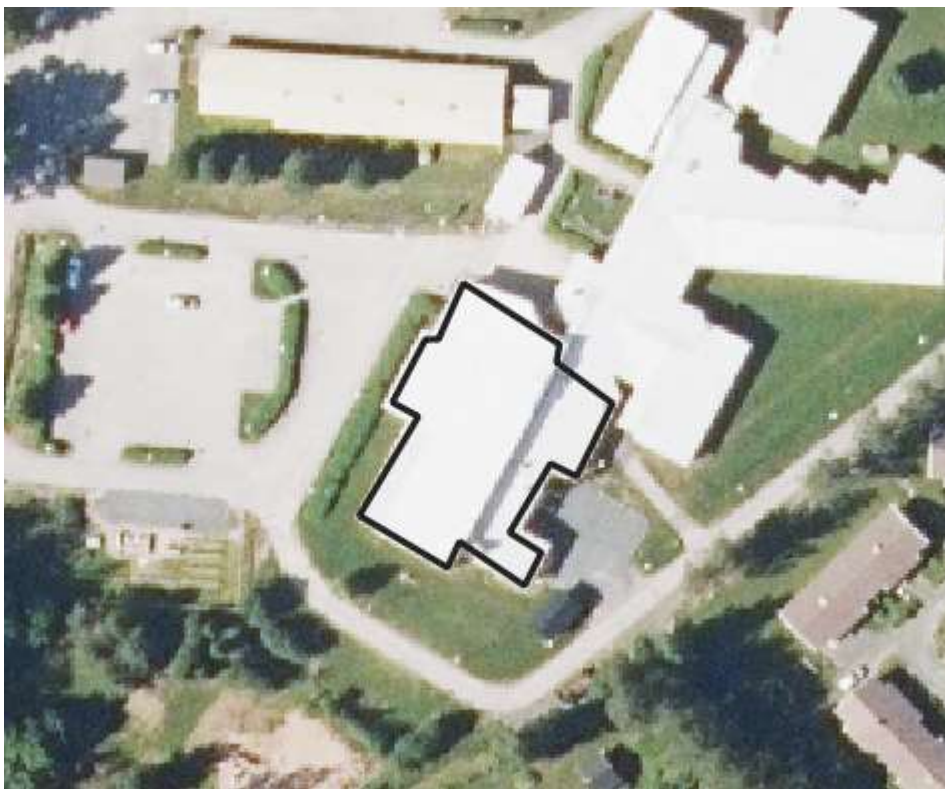
<u>Kuukausi</u>	<u>Päämittarin lukema</u>	<u>Jälkimittauslukema (*40)</u>	<u>Toteutunut kulutus kWh</u>
Tammikuu	35011	36665,6	23793
Helmikuu	32373	37221	22216
Maaliskuu	34903	37829,2	24328
Huhtikuu	31289	38377	21912
Toukokuu	31925	38905	21120
Kesäkuu	32305	39401,2	19848
Heinäkuu	26971	39764,1	14516
Elokuu	31844	40261,4	19892
Syyskuu	34951	40861,4	24000
Lokakuu	37042	41425,9	22580
Marraskuu	35932	42020,9	23800
Joulukuu	35298	42622,9	24080

Mitatusta kulutuksesta voidaan päätellä, että hallin ollessa kesällä kiinni huollon ja lomien takia, kulutus pienenee oleellisesti, mutta muuten kulutus on muina kuukausina verrattain tasaista.

4.3 Asennukseen sopiva kattopinta-ala

Koska kiinteistökokonaisuudesta vain osa on uimahallin ja kunnan käytössä, rajoittuu asennukseen sopiva kattopinta-ala kuvassa seitsemän esitetyn mukaisesti alustilaan, sekä pesu- ja pukuhuonetilojen yllä olevaan kattopinta-alaan.

³⁴ Mansikka-aho, J. 2022. Tekninen Johtaja. Laihian kunta. Haastattelu 11.1.2023.



Kuva 7. Hallin kattopinta-ala³⁵.

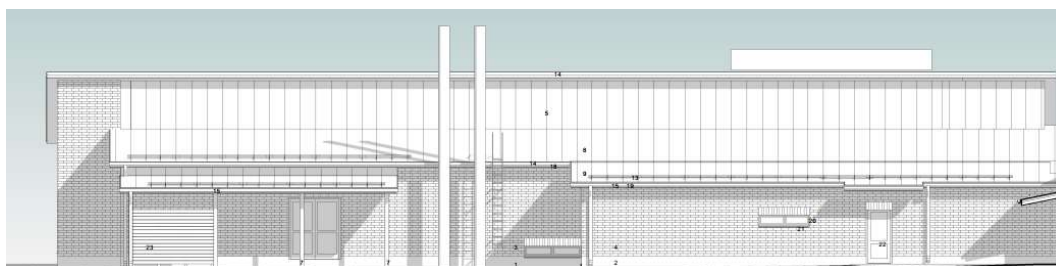
Kuvassa kahdeksan on rakennuksen luoteinen julkisivu. Suurin asennukseen so-
piva kattopinta-ala on tämän luoteisen julkisivun puolella. Katto-ala on myös va-
paa varjostusta aiheuttavista rakenteista.

³⁵ Mansikka-aho, J. 2022. Tekninen Johtaja. Laihian kunta. Haastattelu 11.1.2023.



Kuva 8. Julkisivu luoteeseen³⁶.

Kuvassa yhdeksän on rakennuksen kaakonpuoleinen julkisivu, jossa on myös asennukseen sopivaa pinta-alaa. Tämä puoli katosta on kuitenkin alempana luoteista julkisivua, sekä teknisen tilan yhteydessä olevat kaksi piippua aiheuttavat jonkin verran varjoa.



Kuva 9. Julkisivu kaakkoon³⁷.

Ihannetilanteessa paneelien suuntaus olisi Etelään, mutta rakennuksen sijoittelu ei anna tähän mahdollisuutta. Vaihtoehtoista luoteinen julkisivu on kuitenkin parempi vaihtoehto. Jos ottaa huomioon, että asennusta ei voi tehdä räystääsalueille, lumiesteiden vaatiman tilan, varjoiset alueet ja asennukseen kelpaamattomat alat kuten lipat kokonaisuudessaan sopivaa pinta alaa on suunnilleen:

- Luoteinen julkisivu: 500 m².
- Kaakon julkisivu: 250 m².

³⁶ Mansikka-aho, J. 2022. Laihian kunta. Viitattu 19.1.2023. Uimahallin luoteinen julkisivukuva.

³⁷ Mansikka-aho, J. 2022. Laihian kunta. Viitattu 19.1.2023. Uimahallin kaakon julkisivukuva.

5 AURINGONSÄTEILYN POTENTIALIN ARVIONTI KOHTEESSA

Suomessa suuri osa auringon säteilystä koostuu hajasäteilystä, joka heijastuu ilmakehästä, pilvistä ja maasta. Hajasäteilyn osuus Etelä-Suomessa on noin puolet koko vuoden säteilystä. Paneelien tuoton kannalta ei ole merkitystä, onko paneelille tuleva säteily suoraa vai hajasäteilyä, mutta hajasäteilyn suuresta määrästä aiheutuu se, että aurinkoa seuraavat järjestelmät eivät yleisen käsityksen mukaan ole taloudellisesti järkeviä³⁸.

5.1 Yleistä aurinkoenergian kannattavuudesta Suomessa

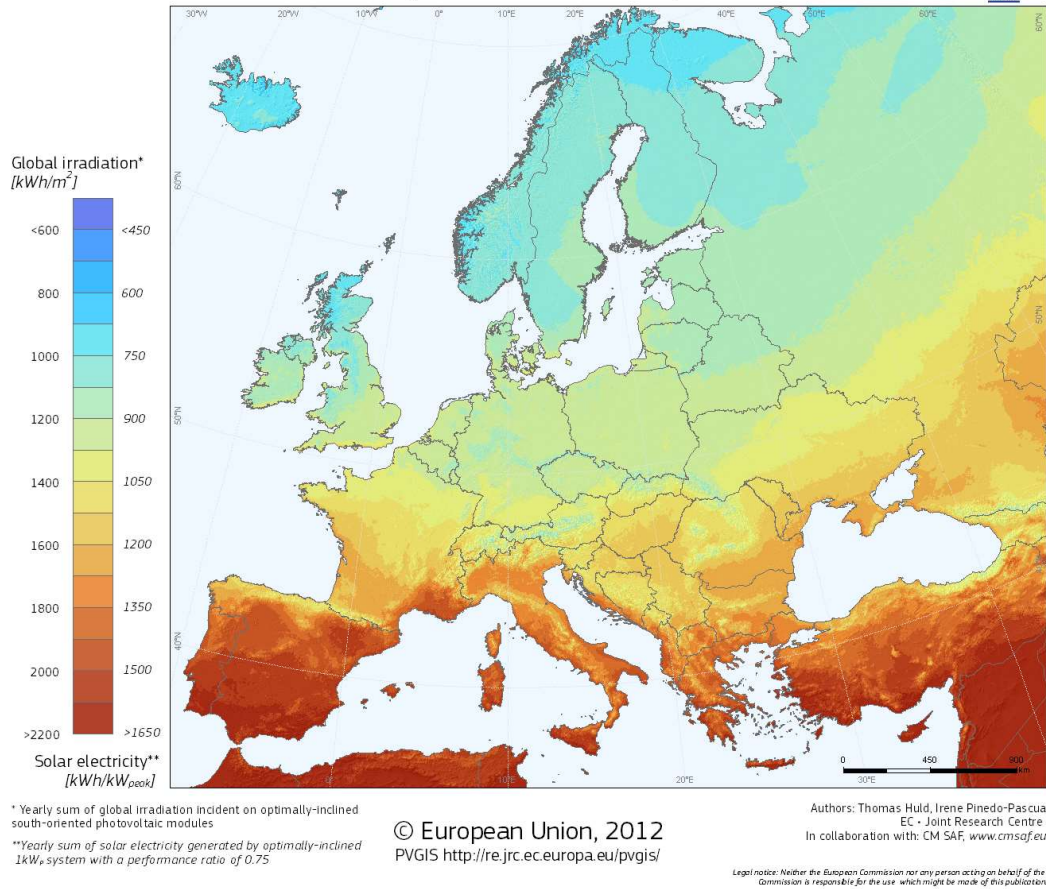
Yleisesti aurinkoenergian tuotantopotentiaali on Etelä-Suomessa Keski-Euroopan maiden tasolla. Pitkää talvea kompensoi valoisa kesä, ja matala ympäristön lämpötila parantaa kennojen hyötysuhdetta³⁹.

Kuvasta 10 selviää, että vuotuinen auringon säteilypotentiaali Suomen eteläisellä ja läntisellä rannikkoalueella vastaa pitkälti Pohjois-Saksan tasoa.

³⁸ Motiva. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Viitattu 27.12.2022. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa

³⁹ LUT University. Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa. Viitattu 27.12.2022. <https://www.lut.fi/fi/artikkelit/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa>

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



Kuva 10. Euroopan aurinkosähköpotentialiaali⁴⁰.

⁴⁰ European Commission. Photovoltaic Electricity Potential in European Countries. Viitattu 27.12.2022. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_pdfs/PVGIS_EU_2012_presentation.png

5.2 Auringon säteilyenergian potentiaali Laihialla

Auringon säteilyenergian potentiaalia arvioidessa voidaan käyttää avoimesti saatavilla olevaa dataa. Tarkempi arvio voisi perustua mitattuun säteilyhavaintotietoon, jota ilmatieteenlaitoksen mittausasemilla kerätään, mutta Laihiaan nähden lähin tällainen asema, jolla kyseistä tietoa kerätään, on Siikajoen Ruukissa.

EU:n PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) tarjoaman materiaalin avulla voidaan arvioida aurinkosähköjärjestelmän tuottoa eri teknologioilla ja laitteiston asennusarvoilla. Dataa on kerätty vuodesta 2010 lähtien, ja viimeisin versio kattaa tiedot vuoteen 2020 asti.

Tieto palvelussa perustuu geostaattisten säähavainto satelliittien (METEOSAT) tuottamaan satelliittidataan, josta arvioidaan auringonsäteilyn määrä, joka saavuttaa maan pinnan. Tiedosta saadaan tällä menetelmällä kattava, mutta sitä joudutaan täydentämään matemaattisilla algoritmeilla, jotka ottavat huomioon erilaisten muuttujien vaikutukset, kuten vesihöyry, aerosolit (pöly, partikkelit) ja otsoni ⁴¹.

Kuvassa 11 esitetään auringonsäteilyn potentiaali tarkemmin Suomen osalta. Kuvasta käy ilmi, että rannikkoalue on auringonsäteilyn kannalta otollisempaa kuin sisämaa.

⁴¹ European Commission. PVGIS data sources & calculation methods. Viitattu 27.12.2022. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system/getting-started-pvgis/pvgis-data-sources-calculation-methods_en



Kuva 11. Suomen aurinkosähköpotentiaali ⁴².

⁴² European Commission. Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries. Viitattu 27.12.2022. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_pdfs/PVGIS_EU_2012_solar_A1.png

5.3 Auringonsäteilyn arviointi uimahallin kattopinta-alalla

Arvioitaessa auringonsäteilyä kohteessa, täytyy ottaa huomioon ympäröivät tekijät, kuten onko katolle asennettavalle järjestelmälle varjostavia puita, tai viereisiä rakennuksia. Asian selvittämiseksi tässä työssä käytetään apuna QGIS-ohjelmistoa.

Varjostuksen selvittämiseksi työssä käytetään maanmittauslaitoksen Karttapalvelu-portaalin tarjoamia aineistoja. Tässä työssä käytetyt CC 4.0 -lisenssin alaiset maanmittauslaitoksen aineistot on ladattu joulukuussa 2022.

- Laserkeilausaineisto 0,5 p (2020-)⁴³
- Korkeusmalli 10 m⁴⁴

Koska Laihian kunnan alueelta ei löytynyt avoimista lähteistä valmista digitaalista korkeusmallia (DEM, digital elevation model) tai pintamallia (DSM, digital surface model), oli sellainen tehtävä maanmittauslaitoksen tarjoamasta aineistosta.

QGIS-sovelluksen asennettavista lisäosista työssä käytettiin avoimenlähdekoodin LasTools-pluginia⁴⁵, jolla luotiin laserkeilausaineistosta digitaalinen korkeusmalli (DEM).

Korkeusmallista nähdään, että korkeuserot tulevat selvästi esiin kuvassa 12. Mitä vaaleampi väri on, sitä korkeampi on kuvassa näkyvä kohde.

⁴³ Maanmittauslaitos. Laserkeilausaineisto 0,5 p 2020. Viitattu 12.1.2023. <https://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata-lisenssi-cc40>

⁴⁴ Maanmittauslaitos. Korkeusmalli 10 m. Viitattu 12.1.2023. <https://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata-lisenssi-cc40>

⁴⁵ Rapidlasso GmbH. LAsTools. Viitattu 12.1.2023, <https://lastools.github.io/LICENSE.txt>



Kuva 12. Digitaalinen korkeusmalli (DEM).

Luotua korkeusmallia hyödyntäen voidaan simuloida puiden ja rakennusten aiheuttamaa varjostusta käyttämällä QGIS-ohjelmiston UMEP lisäosaa (Urban Multi-scale Environmental Predictor).

Yhdistämällä digitaalinen korkeus- ja varjostusmalli kohteen meteorologisiin tietoihin SEBE lisäosalla (Solar Energy on Building Envelopes), voidaan materiaalista arvioida säteilypotentiaali kohteen kattotasoilla. Tämän tiedon pohjalta voidaan valita optimaalisin sijoituspaikka aurinkosähköjärjestelmän paneeleille.

Lindberg ym. (2015) kehittämä aurinkosäteilymalli SEBE (Solar Energy on Building Envelopes) mahdollistaa aurinkoenergian arvioinnin maanpinnalla, rakennusten katoilla ja seinillä. Se käyttää varjostuslaskenta-algoritmia digitaalisen pinnan mallin (DSM) ja aurinkopaikan avulla tuottaakseen pikselitasoista tietoa varjostetusta

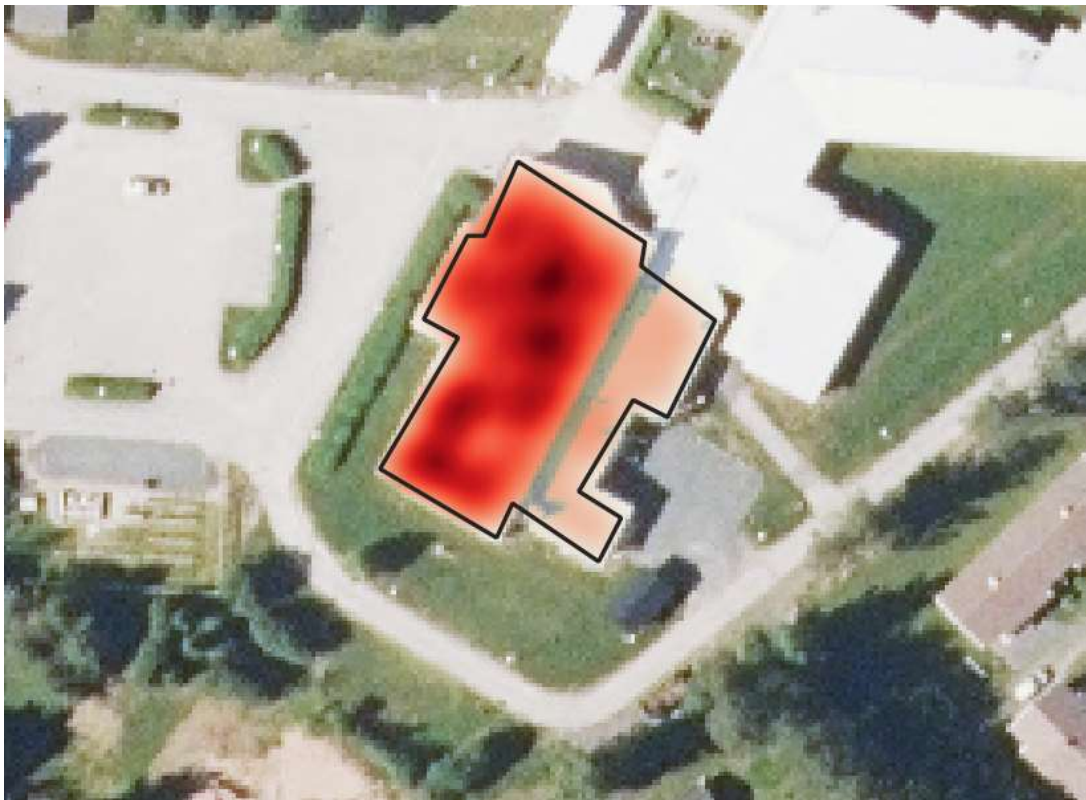
tai auringonvalaisemasta alueesta. Varjostuslaskenta-algoritmi (Ratti ja Richens 1999) on kehitetty sisällyttämään seinät (Lindberg ym. 2015) ⁴⁶.

5.4 Lämpökartta

Kun tieto varjostuksenlaskennasta on valmis, tieto yhdistetään pikselitasolla karttapaikalle. Pikseleiden auringonsäteilyarvoista voidaan luoda lämpökartta, josta kohteen eniten auringonsäteilyä saavat osat voidaan visuaalisesti arvioida.

Kuvassa 13 on esitetty lämpökartta pikselitasolla karttapaikalle yhdistetystä simuloidusta auringonsäteilytiedosta. Kuvasta voidaan todeta, että luoteisen puolen julkisivun katto on asennukseen soveltuvampi, kuin kaakonpuoleinen julkisivu.

⁴⁶ Lindberg F, Grimmond S (2015, 2016). Solar Energy - Introduction to SEBE. Viitattu 18.5.2023. <https://umep-docs.readthedocs.io/projects/tutorial/en/latest/Tutorials/SEBE.html>



Kuva 13. Rakennuksen kattotasojen auringonsäteilyn lämpökartta.

6 KUSTANNUSARVIOON VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

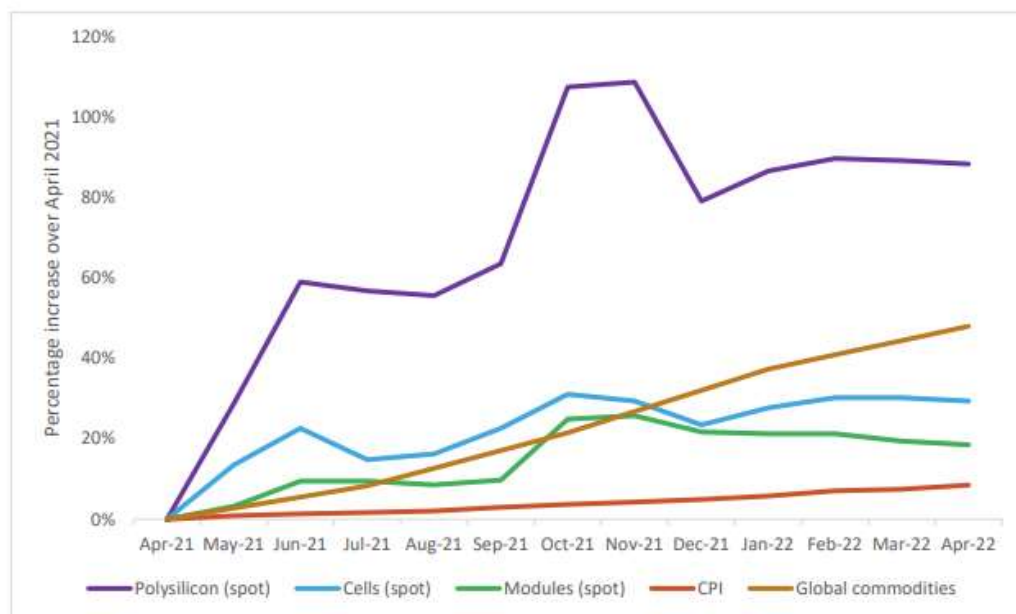
Työssä laskennan apuna käytetään Aalto yliopiston yhdessä Suomen ympäristökeskuksen kanssa kehittämää CC 4.0-lisenssin alaista kiinteistön aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskuria (versio 4/2020). Laskurin kannalta oleellisia lähtötietoja kuitenkin on päivitettävä ja arvioitava niiden oikeellisuutta.

6.1 Aurinkosähköjärjestelmän kustannuskehitys

COVID-19-epidemian ja Venäjän Ukrainassa aloittamien sotatoimien alkamisen jälkeen markkinahinnat ovat olleet viimevuodet muutoksessa pitkään jatkuneen laskevan trendin jälkeen. Maailmanlaajuinen komponenttipula ja saatavuusongelmat ovat vaikuttaneet koko toimialaan aina valmistajista laitteistoja asentaviin ja myyviin tahoihin asti.

Hintatasojen kehityksen ennustaminen nykyisessä maailmantilanteessa onkin ollut tavallista haastavampaa. The National Renewable Energy Laboratory (NREL) viimeisimmän hintatasoja kuvaavan raportin mukaan hintojen nousu Q1 2021–Q1 2022 välisenä aikana on ollut asennetun kapasiteetin osalta kokonaisuudessaan 8–13 % luokkaa ⁴⁷. Kuva 14 esittää aurinkosähköjärjestelmien hinnankehitystä mainittuna aikana.

⁴⁷ V Ramasamy, J Zuboy, E O’Shaughnessy, D Feldman, J Desai, M Woodhouse, P Basore, R Margolis. U.S. Solar Photovoltaic System and Energy Storage Cost Benchmarks, With Minimum Sustainable Price Analysis: Q1 2022. Viitattu 17.1.2023. <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/83586.pdf>



Kuva 14. Aurinkosähköjärjestelmän kustannuskehitys Q1 2021 – Q1 2022⁴⁸.

Aurinkosähköjärjestelmän huipputeho sähköntuotannossa ilmoitetaan yleensä wattipiikki (eng. watt-peak) tehon yksikköä käyttäen. Wattipiikki kuvaa aurinkopaneelin tuottamaa huipputehoa standardiolosuhteissa mitattuna. Standardiolosuhteet ovat +25 celsiusastetta, kun paneelille kohdistuva säteily määrä on 1 000 W/m².

NREL-raportti antaa kaupallisen kokoluokan aurinkosähköjärjestelmän hintaluokaksi asennettua wattipiikkiä kohden 1,84 dollaria kattoasennuksella, ja 1,94 dollaria maa-asennukselle. Muunnettuna euron kurssiin tammikuussa 2023 hinnat ovat vastaavasti 1,70 € / Wp ja 1,79 € /Wp.⁴⁹

⁴⁸ V Ramasamy, J Zuboy, E O’Shaughnessy, D Feldman, J Desai, M Woodhouse, P Basore, R Margolis. U.S. Solar Photovoltaic System and Energy Storage Cost Benchmarks, With Minimum Sustainable Price Analysis: Q1 2022. Viitattu 17.1.2023. <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/83586.pdf>

⁴⁹ V Ramasamy, J Zuboy, E O’Shaughnessy, D Feldman, J Desai, M Woodhouse, P Basore, R Margolis. U.S. Solar Photovoltaic System and Energy Storage Cost Benchmarks, With Minimum Sustainable Price Analysis: Q1 2022. Viitattu 17.1.2023. <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/83586.pdf>

6.1.1 Sähköenergian ostohinta ja sen kehitys

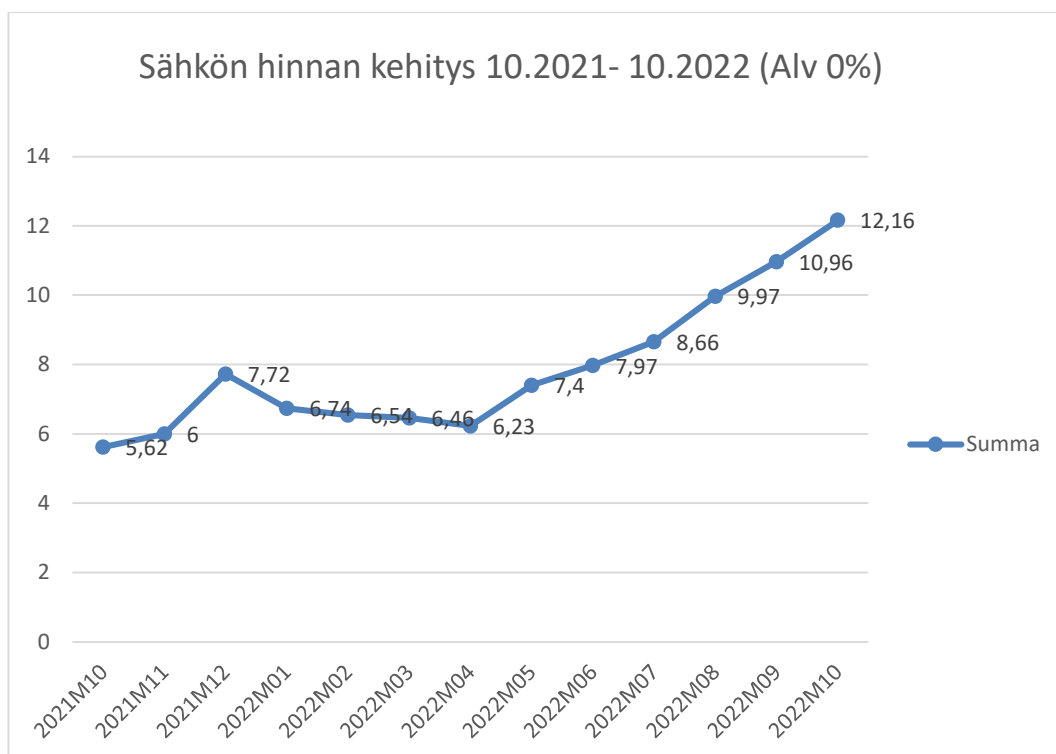
Tilastokeskuksen mukaan pandemiasta toipuminen ja Venäjän hyökkäys Ukrainaan johtivat energiahyödykkeiden hintojen jyrkkään nousuun 2022 Q3 aikana. Sähköenergia maksoi vuoden 2022 kolmannella neljänneksellä keskimäärin 40–60 % enemmän kuin vuosi sitten. Eniten hinnat nousivat Tilastokeskuksen mukaan vähän sähköä kuluttavilla kotitalouksilla ja vähiten sähkölämmitteisen talon asukkailla⁵⁰.

Vähittäismarkkinoilta sähköä hankkivien yritys- ja yhteisöasiakkaiden sähkön hinta nousi ripeästi pörssihintojen vanavedessä. Vuoden 2022 kolmannella neljänneksellä sähkön kokonaishinta oli kulutusluokan mukaan 34–140 % korkeampi kuin vuotta aiemmin. Pienimmissä käyttäjäluokissa hinnat nousivat edelleen lokakuussa 8–13 % syyskuun hintaan verrattuna. Suurimmissa käyttöluokissa hinnat laskivat 30 %, mikä johtui siitä, että sähkön tukkuhinta lähes puolittui syyskuun tasosta.

Sähkön markkinahintaa kuvaa parhaiten Nord Pool-sähköpörssin Suomen aluehinta. Noin 75 % Suomessa käytetystä sähköstä kulkee Nord Poolin päivämarginnan kautta⁵¹. Kuvassa 15 esitetään sähkön hintakehitys vuoden 2021 lokakuusta 2022 vuoden lokakuuhun.

⁵⁰ Tilastokeskus. Pandemiasta toipuminen ja Venäjän hyökkäys Ukrainaan johtivat energiahyödykkeiden hinnat jyrkkään nousuun. Viitattu 17.1.2023. <https://www.stat.fi/julkaisu/cktyeqofs24270c529ia6x4i1>

⁵¹ Tilastokeskus. Energian hinnat: tilaston dokumentaatio. Viitattu 17.1.2023. <https://www.stat.fi/tilasto/dokumentaatio/ehi/2022-12-08#Tilaston%20perustiedot>



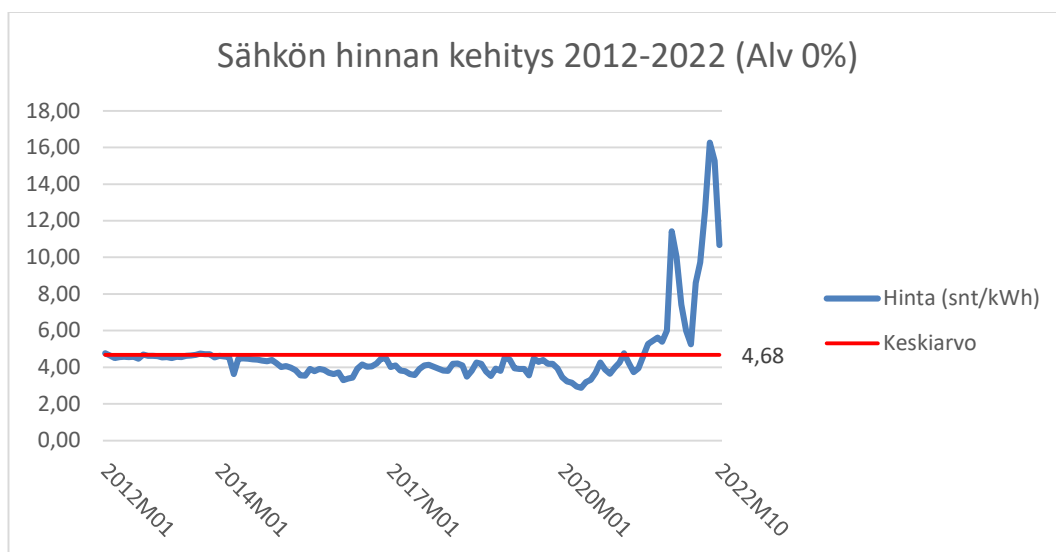
Kuva 15. Sähkön hinnan kehitys 10.2021–10.2022⁵².

Koska sähkönhinnan kehitys viime aikoina on ollut poikkeuksellista pitkän ajan kehitykseen nähden, on laskelman pohjana parempi käyttää pidemmän keskiajan arvoja.

10 viimevuoden ajalta Tilastokeskuksen yritys ja yhteisöasiakkaiden hintatilasto näyttää, että hintakehitys on vasta viimeisen vuoden aikana muuttunut epävaakaaksi. Kuvasta 16 nähdään, että 10 vuoden keskiarvoksi saadaan arvonlisäveroton keskihinta on 4,68 snt/kWh⁵³

⁵² Tilastokeskus. Energian hinnat: tilaston dokumentaatio. Viitattu 17.1.2023. <https://www.stat.fi/tilasto/dokumentaatio/ehi/2022-12-08#Tilaston%20perustiedot>

⁵³ Tilastokeskus, Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin, 2008M01-2023M01, Viitattu 19.1.2023, https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehi/statfin_ehi_pxt_13rb.px/table/tableViewLayout1/



Kuva 16. Sähkön hinnan kehitys 10 vuoden aikana⁵⁴.

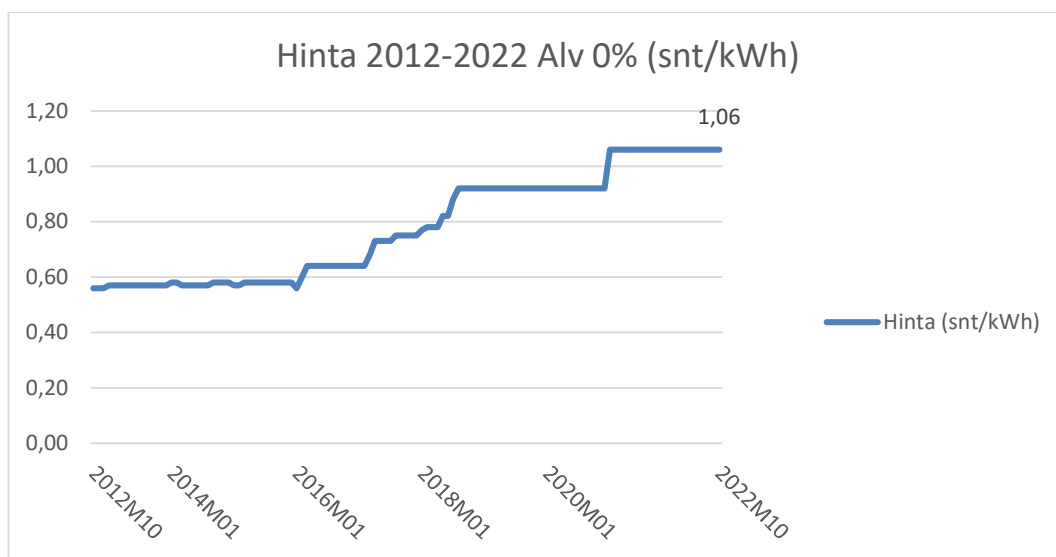
6.1.2 Sähkön siirtohinta ja palvelumaksut

Sähkön siirtohinta muodostuu kulutukseen perustuvasta sähköenergian siirtomaksusta (snt/kWh), sekä kiinteästä kuukausittaisesta perusmaksusta. Vaasan sähköverkkojen alueella hinta on veroluokassa I tällä hetkellä 2,79372 snt/kWh arvonlisävero mukaan luettuna⁵⁵.

Tilastokeskuksen 10 vuoden tilaston mukaan sähkön veroton siirtohinta on tasaisesti noussut, eikä tilastojen valossa ole oletettavaa, että siirtohinta tulisi tulevaisuudessa laskemaan. Kuvan 17 kaaviossa havainnollistetaan tämä kehitys.

⁵⁴ Tilastokeskus, Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin, 2008M01-2023M01, Viitattu 19.1.2023, https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehi/statfin_ehi_pxt_13rb.px/table/tableViewLayout1/

⁵⁵ Tilastokeskus, Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin, 2008M01-2023M01, Viitattu 19.1.2023, https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehi/statfin_ehi_pxt_13rb.px/table/tableViewLayout1/



Kuva 17. Sähkön siirtohinnan kehitys 2012–2022⁵⁶.

6.1.3 Energiaverot ja huoltovarmuusmaksu

Sähköveroluokan I piiriin kuuluvat muun muassa kotitaloudet, palvelusektori ja muut sellaiset käyttökohteet, jotka eivät ole teollista toimintaa. Sähköveron määrä veroluokassa I on vuonna 2022 yhteensä 2,253 senttiä kilowattitunnilta. Vero koostuu energiaverosta (2,24 senttiä kilowattitunnilta) ja huoltovarmuusmaksusta (0,013 senttiä kilowattitunnilta).⁵⁷

6.1.4 Arvio ostosähkön hinnan noususta

Tilastokeskuksen laskema kuluttajahintojen vuosimuutos oli joulukuussa 9,1 %. Marraskuussa inflaatio oli myös 9,1 %. Vuoden 2022 keskimääräinen inflaatio oli

⁵⁶ Tilastokeskus, Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin, 2008M01-2023M01, Viitattu 19.1.2023, https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehi/statfin_ehi_pxt_13rb.px/table/tableViewLayout1/

⁵⁷ Verovirasto. Sähkön veroluokat ja verotuksen korjaaminen. Viitattu 18.1.2023. <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/107822/s%C3%A4hk%C3%B6n-veroluokat-ja-verotuksen-korjaaminen/>

7,1 %. Joulukuussa kuluttajahintoja nosti vuoden takaiseen verrattuna eniten muun muassa sähkön hinnan nousu⁵⁸.

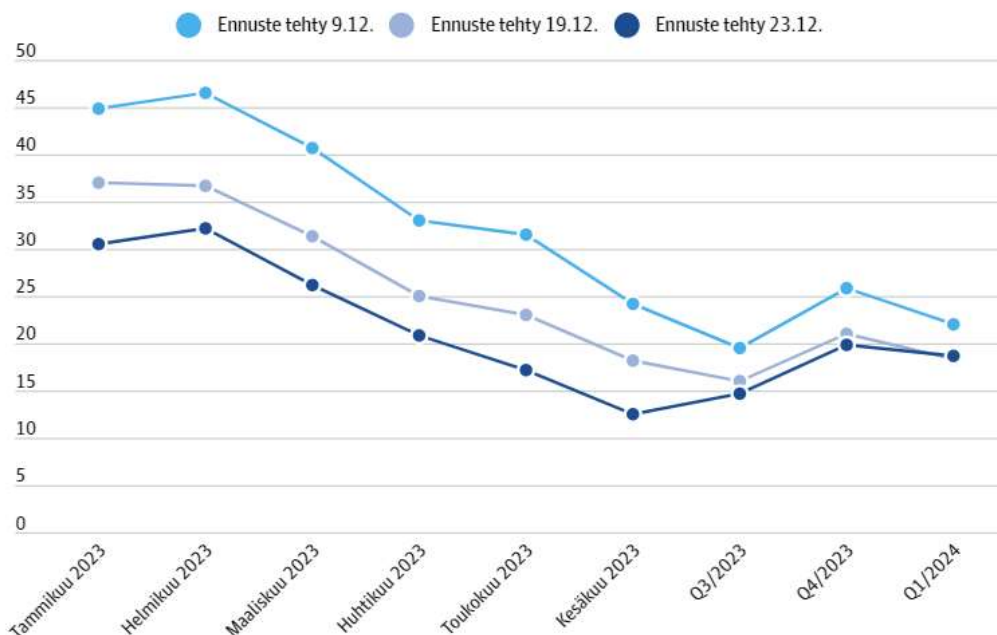
Sähkön hinnan kehitykseen vaikuttavat monet tekijät, joista iso osa on vaikeasti ennustettavissa. Sähköfutuurit antavat viitekehyksen markkinoiden ennakoimasta hintakehityksestä.

Kuvassa 18 esitetyn tuoreimman sähköfutuureihin perustuvan ennusteen mukaan sähkön kuluttajahinnat laskisivat kesäkuuhun asti, jolloin hinta kävisi vajaassa 15 sentissä kilowattitunnilta. Vuoden 2023 toisella puoliskolla hinta lähtisi talven lähestyessä jälleen nousuun, joskin loivempaan nousuun kuin tänä vuonna on nähty⁵⁹.

⁵⁸ Tilastokeskus. Inflaatio 9,1 % joulukuussa 2022. Viitattu 18.1.2023. <https://www.stat.fi/julkaisu/cl8bkshgb6g8z0bw0h415hbnu>

⁵⁹ Talouselämä Rehn S. Sähköfutuurit ennustavat: Näin paljon maksat sähköstäsi ensi vuonna. Viitattu 18.1.2023. <https://www.talouselama.fi/uutiset/sahkofutuurit-ennustavat-nain-paljon-maksat-sahkostasi-ensi-vuonna-katso-kuvaaja/8c5d3a91-e96a-430c-bca3-446c95ec01ab>

Senttiä / kilowattitunti, alv. 10% 30.4. asti ja 24% 1.5.2023-> huomioitu hinnoissa



Kuva 18. Sähkötutuurien ennustetut hinnat 2023–2024⁶⁰.

Sähkön vuotuinen hintakehitys vuotta 2021 edeltävänä kahdeksana vuotena pysyi hyvin vakaana 4 snt/kWh tuntumassa, eikä radikaaleja muutoksia sähkön hinnassa nähty. Pitkänajan hintakehityksen huomioon ottaen, arvioidaan tässä työssä, että sähkönhinta myös tulevaisuudessa pysyy kuitenkin vakaana.

6.2 Mitoitus

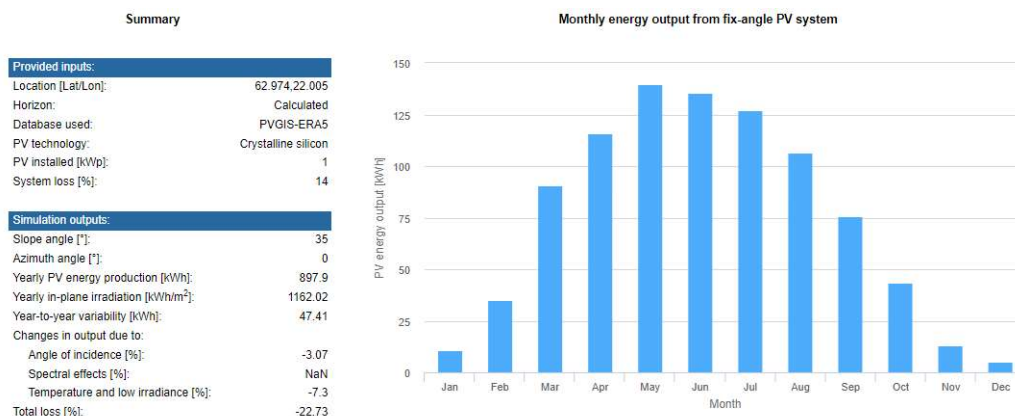
Aurinkosähkön kannattavuuteen vaikuttaa keskeisesti järjestelmän oikea mitoit-
tus. On tärkeää määritellä järjestelmän koko niin, että sen tuottama energia saa-
daan hyödynnettyä käyttöpaikassa mahdollisimman tehokkaasti.

⁶⁰ Talouselämä Rehn S. Sähkötutuurit ennustavat: Näin paljon maksat sähköstäsi ensi vuonna. Viitattu 18.1.2023. <https://www.talouselama.fi/uutiset/sahkofutuurit-ennustavat-nain-paljon-mak-sat-sahkostasi-ensi-vuonna-katso-kuvaaja/8c5d3a91-e96a-430c-bca3-446c95ec01ab>

6.2.1 Hankittavan järjestelmän koko ja vuosituotto

Kun puhutaan hankittavan järjestelmän koosta, on mitoittavana tekijänä järjestelmän teho piikkiwatteina, sekä itse järjestelmän pinta-ala neliömetreinä. Järjestelmän optimaalinen mitoitus riippuu kohteen lämmitysjärjestelmästä ja kulutusprofiilista.

Apuna vuosituoton arvioinnissa tässä työssä käytetään Euroopan komission säteilykarttaa ja sieltä saatavaa kWh/kWp arviota uimahallin sijainnille. Optimoimatta paneelin kulmaa auringonsuhteen, ja valitsemalla kattoasennetun järjestelmän saadaan vuosittaiseksi tuottoarvioksi asennettua kWp kohden 897,9 kWh. Kuvassa 19 esitetään uimahallin koordinaattien mukaiset auringonsäteilytiedot, sekä arvio tuotannosta kuukausien mukaan.



Kuva 19. Järjestelmän vuosituottoarvio kWp kohden⁶¹.

Optimoimalla kulmaa on mahdollista, että tämä luku todellisuudessa vaihtelee, siksi tässä työssä käytetään säteilytietoa 5 vuoden ajalta, ja käytetään niiden kuukausittaista keskiarvoa.

⁶¹ European Commission. Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries. Viitattu 27.12.2022. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

6.2.2 Voimalan arvioitu sähköntuotannon väheneminen

Paneelien käyttöikäen vaikuttaa erilaiset muuttujat, kuten ilmasto, paneelin tyyppi ja asennustapa muiden muissa. Paneelien vuosituotto heikentyy näistä syistä joka vuosi.

Tutkimusten mukaan mediaani tuoton väheneminen on 0,5 % luokkaa, joten 20 vuoden aikana paneelien tuotto on 90 % verrattuna asennusta seuranneeseen ensimmäiseen vuoteen ⁶².

6.2.3 Ylijäämän osuus ja myynti

Aurinkopaneelien tuottamaa ylijäämäsähköä voi myydä, jos aurinkosähköjärjestelmä on liitetty sähköverkkoon ja aurinkosähkön tuottaja on sopinut sähkön myyjän kanssa ylijäämäsähkön myymisestä. Sähkön syöttäminen verkkoon on kielletty, ellei sähkölle ole ostajaa. Verkkoon syötetty sähkö mitataan tunneittain verkkoyhtiön sähkömittareilla. Mittaus ei aiheuta lisäkustannuksia tuottajalle.

Sähkönmyyjät hinnoittelevat ostosähkön yleensä markkinahinnan perusteella. Hyvin yleisesti hinnoittelussa käytetään sähköpörssissä noteerattavaa tunneittain muuttuvaa Spot-hintaa ⁶³.

Tästä summasta yleensä sähköä ostava sähköyhtiö vähentää vielä välityspalkkion, esimerkiksi Vaasan sähkö 20 snt/kWh ⁶⁴. Myös jakeluverkkoyhtiö laskuttaa oman tariffinsa mukaan siirtomaksua.

⁶² D Jordan, S Kurtz. NREL Overview of Field Experience - Degradation Rates & Lifetimes. Viitattu 19.1.2023. <https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/65040.pdf>

⁶³ Motiva. Ylijäämäsähkön myynti. Viitattu 19.1.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti

⁶⁴ Vaasan Sähkö. Hyödynnä pientuotantosi ja myy aurinkosähkösi meille. Viitattu 19.1.2023. <https://www.vaasansahko.fi/sahkosopimus/pientuotanto-ja-aurinkosahko/>

6.3 Investointikustannukset

Aurinkosähköjärjestelmän hinta koostuu asennuksesta, suunnittelutyöstä ja järjestelmän laitteista (aurinkopaneelit ja niiden kiinnitysjärjestelmä, invertteri ja muut sähkölaitteet). Asennustyö sisältää kiinteitä kustannuksia, joten pienemmissä järjestelmissä asennuksen suhteellinen osuus hinnasta on korkeampi.

6.3.1 Asennus

Rakennuksen katemateriaalilla on merkitystä paneelien kiinnityksen kannalta, eikä esimerkiksi räystääsalveita saa käyttää asennukseen. Lumiesteiden kiinnityspaikat on huomioitava niin, että paneelien asennus aivan alalappeeseen ei tule kyseeseen.

Paneelit suunnataan mahdollisuuksien mukaan etelään ja optimikulmaksi on 35–45 asteen välillä. Poikkeama optimikulmasta vähentää vuosituotantoa. Tärkeää on myös varmistaa, ettei ympärillä ole varjostavia tekijöitä kuten puita tai toisia rakennuksia.

Paneelien tausta on jätettävä tuulettuvaksi jättämällä ilmarako takana olevien kattorakenteiden väliin. Jos rakenne jätetään tuulettamattomaksi, nostaa se paneelin lämpötilaa ja huonontaa hyötysuhdetta ⁶⁵.

Jos sopivaa kattorakennetta asennukselle ei ole, voi harkita paneelien asennusta maahan tai seinälle. Tällöin suuntaus ja kallistuskulmat ovat samoja, kuin katolle asennettaessa. Maa-asennuksessa varjostuksia syntyy kuitenkin herkemmin.

⁶⁵ Motiva. Aurinkopaneelien asentaminen. Viitattu 19.1.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen

6.3.2 Lainan tai rahoituksen korot

Kannattavuuslaskennan kannalta on arviossa oltava lainan tai rahoituksen määrä, jonka korkokertymä lasketaan mukaan kokonaisinvestoinnin kustannukseen.

Suomen pankin mukaan uusien yrityslainojen keskiporko viime elokuussa 12 kuukauden ajalta 1,42 %. Tämän työn kannattavuuslaskennassa käytämme pyöristettyä korkoprosenttia 1,50 %⁶⁶.

6.3.3 Vuotuiset ylläpitokulut

Kaikki sähköjärjestelmät vaativat huoltoa ja ylläpitoa. Koska järjestelmän odotettu käyttöikä on 30 vuotta, on sille hyvä laatia huolto- ja kunnossapitosuunnitelma, ja järjestelmä pitää tarkistaa tasaisin väliajoin⁶⁷.

Aurinkosähköjärjestelmän vuotuisiin ylläpitokustannuksiin täytyykin siksi laskea koko sen käyttöiän ajalle jonkin verran kuluja. Ylläpitokulut muodostuvat lähinnä säännöllisistä huoltotarkastuksista, noin 15 vuoden välein vaihdettavasta invertteristä ja vakuutuksista⁶⁸.

Invertterin vaihdon kustannus voidaan arvioida prosentteina alkuinvestoinnista, ja ylläpito- ja vakuutuskuluille voidaan arvioida kiinteä vuotuinen summa.

⁶⁶ Suomen Pankki. Yrityslainoja on nostettu poikkeuksellisen paljon. Viitattu 19.1.2023. <https://www.suomenpankki.fi/fi/Tilastot/rahalaitosten-tase-lainat-ja-talletukset-ja-korot/tiedotehistoria/2022/yrityslainoja-on-nostettu-poikkeuksellisen-paljon/>

⁶⁷ Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. Oikein suunniteltu, asennettu ja huollettu aurinkosähköjärjestelmä on turvallinen ja pitkäaikainen tapa tuottaa puhdasta energiaa. Viitattu 19.1.2023, <https://www.stul.fi/hyvin-suunniteltu-asennettu-ja-huollettu-aurinkosahkojarjestelma-tuottaa-turvallisesti-puhdasta-energiaa/>

⁶⁸ Auvinen K DI. Jalas M KTT. Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Viitattu 5.2.2023. <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>

6.4 Energiatuki 2023–2027

Energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista vuosina 2018–2022 annetun valtioneuvoston asetuksen (1098/2017) voimassaolo päättyi 31.12.2022. Valtioneuvosto on pyytänyt lausuntoa luonnoksesta valtioneuvoston asetukseksi energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista vuosina 2023–2027.

Luonnoksen mukaan Energiatukea voitaisiin myöntää sellaisiin Suomessa toteutettaviin investointi- tai selvityshankkeisiin, jotka edistävät:

- Uusiutuvan energian tuotantoa
- Energiansäästöä tai energian tuotannon tai käytön tehostamista;
- Hukkalämmön hyödyntämistä; taikka
- Muutoin energiajärjestelmän muuttumista vähähiiliseksi.

Energiatukea voidaan kuitenkin myöntää 1 momentin 1 kohdan mukaisen tavoitteen perusteella ainoastaan sellaiseen investointihankkeeseen, jossa investoidaan uuteen laitokseen.

Lisäksi energiatukea voidaan myöntää sellaisiin investointihankkeisiin, joiden hyväksyttävät kustannukset ovat vähintään 50 000 euroa ⁶⁹.

Hankekohtaisen harkinnan perusteella myönnettävän energiatuen osuus hyväksyttävistä kustannuksista voi investointihankkeessa olla enintään 30 prosenttia ja selvityshankkeessa enintään 40 prosenttia.

⁶⁹ Lausuntopalvelu. Luonnos valtioneuvoston asetukseksi energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista vuosina 2023–2027. Viitattu 5.2.2023. <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=2354ed62-bed5-4cb7-a47a-1b5a1bd4070c>

6.4.1 Kuntaliiton lausunto energiatuesta vuosille 2023–2027

Kuntaliitto on antanut oman lausuntonsa vastauksena Valtioneuvoston asetuseronluonnokseen energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista vuosina 2023–2027.

Lausunnossaan Kuntaliitto toteaa muun muassa:

Hyväksyttävien kustannusten nykyinen raja (10 000 euroa) on kohtuullinen ja syytä säilyttää. Rajan nostaminen 50 000 euroon (5 §, 3 momentti) kuitenkin vaikeuttaisi energiatehokkuussopimusten toimeenpanoa, sillä alle 50 000 euron hankkeita on runsaasti myös kuntasektorin kiinteistöillä. Se jättäisi esimerkiksi suuren osan palvelurakennusten aurinkosähköjärjestelmistä tuen ulkopuolelle.

Kuntaliitto esittää, että energiatehokkuussopimukseen liittyneiden yritysten, kuntien ja muiden yhteisöjen osalta investointien hyväksyttävien kustannusten raja säilytetään nykyisellä 10 000 euron tasolla.

Lisäksi rahoitettavien hankkeiden etusijajärjestystä olisi Kuntaliiton mielestä muutettava kohtuullisemmaksi siten, että uuden teknologian hankkeiden rahoitus ei vaaranna tavanomaista tekniikkaa edustavien mutta vaikuttavien hankkeiden rahoitusta ⁷⁰.

6.4.2 Kunta-alan energiatehokkuussopimus (KETS)

Laihia ei ole kunta-alan energiatehokkuussopimustasopimukseen liittyneiden kuntien joukossa ⁷¹.

Kunta-alan energiatehokkuussopimus on vapaaehtoinen järjestelmä, joka tarjoaa viitekehysten kunnan tehokkaan ja vaikuttavan energiatehokkuustyön toteuttamiseen. Tavoitteena liittää energiatehokkuus sekä pyrkimys uusiutuvan energian

⁷⁰ Kuntaliitto. Luonnos valtioneuvoston asetukseksi energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista vuosina 2023–2027. Viitattu 5.2.2023. <https://www.kuntaliitto.fi/lausunnot/2023/luonnos-valtioneuvoston-asetukseksi-energiatuen-myontamisen-yleisista-ehdoista>

⁷¹ Energiatehokkuussopimukset. Sopimukseen liittyneet. Viitattu 5.2.2023. <https://energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/sopimukseen-liittyneet/#>

osuuden lisäämiseen osaksi kunnan toimintaa ja sen käytössä olevia tai käyttöön otettavia johtamisjärjestelmiä

Sopimukseen liittyminen mahdollistaa valtion tarjoaman tuen energiakatselmuksiin ja energiatehokkuusinvestointeihin. Sopimus antaa mahdollisuuden investointitukeen myös tavanomaisen tekniikan energiatehokkuustoimenpiteille.

6.4.3 Mainos ja brändiarvot

Kustannussäästöjen lisäksi uusiutuvan energian käytöllä on myös aineettomia mainos ja brändiarvoja, joita voi hyödyntää kunnan markkinoinnissa. Vastuullinen kunta rakentaa ja vahvistaa samalla omaa myönteistä julkisuuskuvaansa ja näytetään kiinnostavana paikkana kodille tai yritykselle.

Tämmöisten arvojen rahallinen määrittäminen on hankalaa, mutta imago ympäristöystävällisenä kuntana voi vaikuttaa monen ihmisen muuttopäätökseen.

7 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN MITOITUS UIMAHALLILLE

Tässä työssä mitoituksessa pyritään siihen, että kaikki kohteessa tuotettu sähkö myös käytetään kohteessa. Tuotannon ylijäämänsähkön myynti sähköyhtiölle on kuitenkin myös mahdollista, koska järjestelmän tuottama sähkö heinäkuun huoltokatkon osalta kannattaa joko myydä, tai varastoida mahdollisesti akustoon.

Tässä työssä käytämme arviona uimahallin luoteisen julkisivun 500 m² kattopinta-alaa. Tämä mahdollistaa noin suurimmillaan 73 kWp:n (kilowattiipiikki) tehoisen aurinkosähköjärjestelmän asentamisen. Arvio tehdään myös mitoittamalla järjestelmä 40-, 50- ja 60 kWp:n kokoiselle järjestelmälle.

7.1 Auringonsäteilyn arvionti

PvGIS (Photovoltaic Geographical Information System)-tietokannasta voidaan kerätä mitattua tietoa auringonsäteilyn arvoista uimahallin koordinaateissa. Koska vuodet eivät ole keskenään samanlaisia, on hyvä ottaa arvioksi pitemmän aikavälin keskiarvo (kWh/m²/päivä).

Työssä käytetty avoin lähdemateriaali on ladattu PVGIS-tietokannasta⁷².

- Monthly irradiation data 2015–2020

Auringonsäteily uimahallin koordinaateissa, ja sen viidenvuoden keskiarvo on esitetty taulukossa neljä.

⁷² European Commission. Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries. Viitattu 27.12.2022. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

Taulukko 4. Auringon säteily kohteessa kuukausittain, viiden vuoden keskiarvo kWh/m²/päivä.

Kuukausi	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Keskiarvo (Wh/pv/m ²)
Tammikuu	12,97	14,07	18,28	11,06	15,09	16,7	0,35
Helmikuu	40,85	37,43	45,55	52,24	44,5	58,46	1,12
Maaliskuu	107,25	108,85	120,62	124,88	98,6	108,03	2,67
Huhtikuu	132,21	127,7	120,34	152,36	177,86	167,38	3,51
Toukokuu	143,16	153,64	201,39	220,67	161,67	201,38	4,33
Kesäkuu	156,7	169,72	167,89	186,85	179,73	198,51	4,24
Heinäkuu	157,25	148,63	147,83	193,39	179,49	155,94	3,93
Elokuu	181,44	119,81	121,23	157,01	142,94	167,27	3,56
Syyskuu	104,11	105,25	88,51	96,82	102,32	102,23	2,40
Lokakuu	88,38	61,47	43,72	80,36	49,25	45,19	1,47
Marraskuu	16,72	21,09	20,07	23,67	16,13	20,86	0,47
Joulukuu	11,93	12,71	7,33	7,56	7,17	3,12	0,20

Koska järjestelmä tuottaa sähköä ainoastaan valoisaan aikaan, on laskelmassa arvioitava, kuinka monta prosenttia kiinteistön vuorokausikohtaisesta sähkönkulutuksesta on järjestelmällä mahdollista kattaa. Tässä työssä arvioksi annetaan 40 %, mutta todellisuudessa tämä riippuu siitä, miten paljon sähkönkäytön määrä valoisana aikana poikkeaa pimeänä aikana käytetystä sähköstä.

7.2 Hankinta, ylläpito ja rahoituskustannukset

Kappaleessa 4.2 esitetyn mukaisesti aurinkosähköjärjestelmän avaimet käteen hankintahinta alkuvuodesta 2022 oli 1,7 €/Wp.

Rahoituksesta 30 % on mahdollista kattaa energiatuella, ja suunnittelutyön osalta 40 %. Energiatuen edellytykseksi on kuitenkin ehdotettu ja kuntaliiton puoltamana osallistuminen kunta-alan energiatehokkuussopimukseen (KETS).

Lainarahoituksen koroksi tässä työssä käytetään kappaleessa 4.4.2 esitettyä arviota 1,50 %, joka perustuu Suomen pankin 12 kk yrityslainojen keskiporkoon, ja lainan pituudeksi arvioidaan 10 vuotta.

Järjestelmän elinajan aikana oletetaan, että invertterin vaihto on tehtävä. Vaihdon kustannusarvioksi annetaan 8 % alkuinvestoinnista, sekä järjestelmän vuotuisiksi ylläpitokustannuksiksi 100 euroa.

8 TULOKSET

Tässä kappaleessa koostetaan laskennan tulokset ja tarkastellaan huomioita, jotka liittyvät aurinkosähköjärjestelmän asennukseen, investoinnin kannattavuuteen ja takaisinmaksuaikaan.

8.1 Hankinta ja asennus

Sijaintinsa puolesta uimahalli kohteena soveltuu aurinkosähkön tuotantoon. Rakennuksen välittömässä läheisyydessä ei ole varjostavia puita, tai muita korkeita rakennelmia. Asennukseen soveltuvaa kattopinta-alaa on reilusti, eikä lounaan puoleisella julkisivulla ole asennusta merkittävästi haittaavia esteitä.

Aurinkopaneeleja voidaan asennusvaiheessa suunnata etelään kallistamalla niitä, mutta tämä ei ole välttämätöntä. Kuitenkin paneelien asentaminen lappeen suuntaisesti lounaaseen todennäköisesti heikentää niiden hyötysuhdetta.

Lisäksi kaakonpuoleisella julkisivulla on sopivaa asennustilaa, mutta auringon säteily on parempi luoteen suunnalla. Tämä johtuu siitä, että lounaanpuoleinen katto-taso aiheuttaa varjostusta kaakonpuolelle. Lisäksi kaakonpuoleisella julkisivulla on kaksi piippua, jotka luovat varjoa kattopinta-alalle.

Oheisessa taulukossa viisi on arvioitu järjestelmän avaimet käteen asennushintaa, sekä rahoitettavaksi jäävä hinta mahdollisen investointituen jälkeen.

Taulukko 5. Järjestelmän hinta.

Järjestelmän koko	Hinta ilman tukia	Hinta tukien kanssa 30% investointituki
40 kWp järjestelmä	68 000 €	47 600 €
50 kWp järjestelmä	85 000 €	59 500 €
60 kWp järjestelmä	102 000 €	71 400 €
73 kWp järjestelmä	124 100 €	86 870 €

Energiatuen ehtona on, että investoitava summa ylittää 50 000 €. Kuulumalla kunta-alan energiatehokkuussopimukseen tämä raja on kuitenkin alempi, 30 000 €.

8.2 Huomiota sähköverkkoon kytkemisestä

Hankittavan järjestelmän mitoitus yleensä tehdään siten, että järjestelmän sähköntuotto käytetään kokonaisuudessaan kohteessa. Tällöin säästetään sähkösiirosta ja energiaverosta maksettava osuus sähköhinnan lisäksi.

Sähköverkkoon kytketyllä järjestelmällä ylituotannon voi kuitenkin myydä sähköyhtiölle, joka maksaa siitä spot-hinnan mukaisen korvauksen. Sähköyhtiö perii tällöin palvelumaksua tuotetusta sähköstä kilowattituntia kohden.

Uimahallilla sähkömittaus tapahtuu alamittarilla. Päämittari on Laihian Vanhustenkotiyhdistys ry:n tiloissa ja vastuulla. Koska verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän mittaus ja mahdollisen ylituotannon myynti tapahtuu päämittarin kautta, täytyy tämä ottaa huomioon aurinkosähköjärjestelmän tarjouspyynnössä.

Joko uimahallille on hankittava oma sähköliittymä ja päämittari, tai Vanhustenkotiyhdistyksen kanssa on tehtävä sopimus aurinkosähköjärjestelmän tuottaman sähköön hyvityksestä kunnalle.

Työssä ei arvioitu hintaa oman sähköliittymän hankkimisesta aiheutuvista kustannuksista.

8.3 Järjestelmän mitoitus ja omakäyttöaste

Uimahallin vuotuinen sähkönkulutus on verrattain tasaista. Kesäaikana ja lomakaudella kulutus on vähäisempää, kun taas kylmimpänä ja pimeimpänä vuodenaikana taas vain hieman korkeampaa. Aurinkosähköjärjestelmän tuoton kannalta huonoin aika ajoittuu marras-tammikuuhun, kun taas paras tuotto saadaan toukoheinäkuun aikana.

Jos asennusalaksi otetaan melkein koko siihen soveltuva kattopinta-ala, järjestelmä tuottaa tällöin ylituotantoa huhti-elokuun välisen ajan. Järjestelmän voi mitoittaa pienemmäksi, jolloin investointikustannukset pienenevät ja ylituotantoa ei synny.

Oheisessa taulukossa kuusi on arvioitu erikokoisten järjestelmien omakäyttöaste, eli montako prosenttia järjestelmän tuottamasta sähköstä menee omaan käyttöön.

Taulukko 6. Järjestelmän omakäyttöaste.

Järjestelmän koko	Pinta-ala m ²	Omakäyttöaste
40 kWp järjestelmä	272	100 %
50 kWp järjestelmä	340	98 %
60 kWp järjestelmä	408	95 %
73 kWp järjestelmä	496	87 %

8.4 Huomioita kannattavuudesta

Arvioitaessa kannattavuutta suurimpia tekijöitä ovat paneelien hyötysuhde ja sähkön markkinahinta. Sähkön markkinahintojen muutokset vaikuttavat suoraan järjestelmän tuottaman sähkön arvoon. Tehokkaamman hyötysuhteen paneelit myös saavat energiasta enemmän talteen, ja siten tuottavat enemmän sähköä. Tässä arvioissa paneelien hyötysuhteeksi arvioitiin 16 %.

Lainan pituudella on merkitystä lähinnä maksettavien korkojen määrään, joka taas vaikuttaa takaisinmaksuvuosien määrään, sekä kumulatiiviseen tuottoon. Mahdollisuus energiatukeen määrittää myös kuinka paljon lainaa järjestelmän laitehankintoihin ja asennukseen on otettava.

Taulukossa seitsemän on esitetty erikokoisten järjestelmien kannattavuutta.

Taulukko 7. Järjestelmän kannattavuus.

Järjestelmän koko	Laina aika	Takaisinmaksu- vuodet	Takaisinmaksu- aika	Nettonykyarvo 30 vuoden käyt- töillä
40 kWp	10 v	11 vuotta	15 vuotta	44 404 €
50 kWp	10 v	11 vuotta	16 vuotta	54 857 €
60 kWp	10 v	11 vuotta	16 vuotta	63 986 €
73 kWp	10 v	11 vuotta	16 vuotta	70 709 €

8.5 Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa arvioitiin aurinkopaneelijärjestelmän asennusta ja kokoa, ottaen huomioon näiden seikkojen vaikutukset hyötysuhteeseen, energian tuotantoon, ja takaisinmaksuaikaan.

Tutkimuksen tulosten perusteella suositellaan järjestelmän paneelien asennusta luoteiseen julkisivuun, mutta asennuskulmaa etelänsuuntaiseksi tulee harkita paremman hyötysuhteen takaamiseksi.

Optimaalinen järjestelmän koko on noin 60 kWp, mikä mahdollistaa sähkön tuotannon ja kulutuksen tasapainon ilman merkittävää ylituotantoa. Tällöin järjestelmän vaadittava pinta-ala on noin 408 m².

Järjestelmän koko ei vaikuta takaisinmaksuvuosiin, joita on noin 11 vuotta. Takaisinmaksuvuodet tarkoittavat niitä vuosia, joina järjestelmän tuottaman sähkön arvo alittaa investoinnista vuosittain aiheutuvat kustannukset.

Kumulatiivinen takaisinmaksuaika on noin 16 vuotta. Tämä tarkoittaa sitä aikaa, jonka jälkeen järjestelmä on maksanut takaisin siihen investoidun rahamäärän.

Järjestelmän nettoarvoksi 30 vuoden käyttöiällä muodostuu 63 986 €. On kuitenkin syytä huomata, että järjestelmän koko vaikuttaa investoinnin lopulliseen nettoarvoon. Nämä tulokset tarjoavat hyödyllistä tietoa aurinkopaneelijärjestelmien suunnittelussa ja kannattavuuden arvioinnissa.

LÄHTEET

Auvinen K DI, Jalas M KTT. Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Viitattu 5.2.2023. <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>

Bojek P. Solar PV. Viitattu 19.12.2022. <https://www.iea.org/reports/solar-pv>

D Jordan, S Kurtz. NREL Overview of Field Experience - Degradation Rates & Lifetimes. Viitattu 19.1.2023. <https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/65040.pdf>

EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Multijunction III-V Photovoltaics Research. Viitattu 21.12.2022. <https://www.energy.gov/eere/solar/multijunction-iii-v-photovoltaics-research>

EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Cadmium Telluride. Viitattu 21.12.2022. <https://www.energy.gov/eere/solar/cadmium-telluride>

EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Copper Indium Gallium Diselenide. Viitattu 21.12.2022. <https://www.energy.gov/eere/solar/copper-indium-gallium-diselenide>

EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Crystalline Silicon Photovoltaics Research. Viitattu 21.12.2022. <https://www.energy.gov/eere/solar/crystalline-silicon-photovoltaics-research>

EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Organic Photovoltaics Research. Viitattu 18.5.2023. <https://www.energy.gov/eere/solar/organic-photovoltaics-research>

EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Perovskite Solar Cells. Viitattu 18.5.2023. <https://www.energy.gov/eere/solar/perovskite-solar-cells>

EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Solar Integration: Inverters and Grid Services Basics. Viitattu 22.12.2022. <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-integration-inverters-and-grid-services-basics>

EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Solar Photovoltaic Cell Basics. Viitattu 18.5.2023. <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics>

EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Solar Photovoltaic Cell Basics. Viitattu 21.12.2022. <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics>

EERE, Office of energy efficiency & renewable energy. Solar Photovoltaic Cell Basics. Viitattu 21.12.2022. <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics>

Energiatohokkuussopimukset. Sopimukseen liittyneet. Viitattu 5.2.2023. <https://energiatohokkuussopimukset2017-2025.fi/sopimukseen-liittyneet/#>

Energiavirasto. Aurinkosähkön kapasiteetti kasvoi Suomessa yli 100 megawattia vuonna 2021. Viitattu 19.12.2022. <https://energiavirasto.fi/-/aurinkosahkon-kapasiteetti-kasvoi-suomessa-yli-100-megawattia-vuonna-2021>

Euroobserv'er. Photovoltaic Barometer 4.2022. Viitattu 19.12.2022. <https://www.euroobserv-er.org/photovoltaic-barometer-2022/>

Euroopan Komission tiedonanto 2019. Viitattu 19.12.2022. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=EN>

European Commission. Photovoltaic Electricity Potential in European Countries. Viitattu 27.12.2022. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_pdfs/PVGIS_EU_2012_presentation.png

European Commission. Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries. Viitattu 27.12.2022. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_pdfs/PVGIS_EU_2012_solar_A1.png

European Commission. Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries. Viitattu 27.12.2022. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

European Commission. PVGIS data sources & calculation methods. Viitattu 27.12.2022. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system/getting-started-pvgis/pvgis-data-sources-calculation-methods_en

HILMA. Yleistä julkisista hankinnoista. Viitattu 20.12.2022. <https://www.hankintailmoitukset.fi/fi/info/yleista>

HILMA. Julkiset hankintailmoitukset 2019–2022. Viitattu 20.12.2022. <https://www.hankintailmoitukset.fi/fi/>

Kuntaliitto. Luonnos valtioneuvoston asetukseksi energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista vuosina 2023–2027. Viitattu 5.2.2023. <https://www.kuntaliitto.fi/lausunnot/2023/luonnos-valtioneuvoston-asetukseksi-energiatuen-myontamisen-yleisista-ehdoista>

Lausuntopalvelu. Luonnos valtioneuvoston asetukseksi energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista vuosina 2023–2027. Viitattu 5.2.2023. <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=2354ed62-bed5-4cb7-a47a-1b5a1bd4070c>

Lindberg F, Grimmond S (2015, 2016). Solar Energy - Introduction to SEBE. Viitattu 18.5.2023. <https://umep-docs.readthedocs.io/projects/tutorial/en/latest/Tutorials/SEBE.html>

LUT University. Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa. Viitattu 27.12.2022. <https://www.lut.fi/fi/artikkelit/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa>

Maanmittauslaitos. Korkeusmalli 10 m. Viitattu 12.1.2023. <https://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata-lisenssi-cc40>

Maanmittauslaitos. Laserkeilausaineisto 0,5 p 2020. Viitattu 12.1.2023. <https://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata-lisenssi-cc40>

Mansikka-aho, J. 2022. Tekninen Johtaja. Laihian kunta. Haastattelu 11.1.2023.

Mansikka-aho, J. 2022. Laihian kunta. Viitattu 19.1.2023. Uimahallin luoteinen julkisivukuva.

Mansikka-aho, J. 2022. Laihian kunta. Viitattu 19.1.2023. Uimahallin kaakon julkisivukuva.

Motiva. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Viitattu 27.12.2022. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa

Motiva. Auringosta sähköä. Viitattu 25.2.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa

Motiva. Auringosta sähköä. Viitattu 30.2.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa

Motiva. Aurinkopaneelien asentaminen. Viitattu 19.1.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen

Motiva. Aurinkosähköteknologiat. Viitattu 18.5.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat

Motiva. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. Viitattu 18.5.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma

Motiva. Ylijäämä sähköön myynti. Viitattu 19.1.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/yljäämasahkon_myynti

National Renewable Energy Laboratory (NREL). Solar Photovoltaic Technology Basics. Viitattu 21.12.2022. <https://www.nrel.gov/research/re-photovoltaics.html>

National Renewable Energy Laboratory (NREL). Solar Photovoltaic Technology Basics. Viitattu 21.12.2022. <https://www.nrel.gov/research/re-photovoltaics.html>

Rapidlasso GmbH. LAStools. Viitattu 12.1.2023, <https://lastools.github.io/LICENSE.txt>

Suomen Pankki. Yrityslainoja on nostettu poikkeuksellisen paljon. Viitattu 19.1.2023. <https://www.suomenpankki.fi/fi/Tilastot/rahalaitosten-tase-lainat-ja-talletukset-ja-korot/tiedotehistoria/2022/yrityslainoja-on-nostettu-poikkeuksellisen-paljon/>

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. Oikein suunniteltu, asennettu ja huollettu aurinkosähköjärjestelmä on turvallinen ja pitkäaikainen tapa tuottaa puhdasta energiaa. Viitattu 19.1.2023, <https://www.stul.fi/hyvin-suunniteltu-asennettu-ja-huollettu-aurinkosahkojarjestelma-tuottaa-turvallisesti-puhdasta-energiaa/>

Talouselämä Rehn S. Sähköfutuurit ennustavat: Näin paljon maksat sähköstäsi ensi vuonna. Viitattu 18.1.2023. <https://www.talouselama.fi/uutiset/sahkofutuirit-ennustavat-nain-paljon-maksat-sahkostasi-ensi-vuonna-katso-kuvaaja/8c5d3a91-e96a-430c-bca3-446c95ec01ab>

TEM. EU:n uusiutuvan energian tavoitteet ja lainsäädäntö. Viitattu 19.12.2022. <https://tem.fi/eu-lainsaadanto>

Tilastokeskus, Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin, 2008M01-2023M01, Viitattu 19.1.2023, https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehi/statfin_ehi_pxt_13rb.px/table/tableViewLayout1/

Tilastokeskus. Energian hinnat: tilaston dokumentaatio. Viitattu 17.1.2023. <https://www.stat.fi/tilasto/dokumentaatio/ehi/2022-12-08#Tilaston%20perustiedot>

Tilastokeskus. Inflaatio 9,1 % joulukuussa 2022. Viitattu 18.1.2023. <https://www.stat.fi/julkaisu/cl8bkshgb6g8z0bw0h415hbnu>

Tilastokeskus. Pandemiasta toipuminen ja Venäjän hyökkäys Ukrainaan johtivat energiahyödykkeiden hinnat jyrkkään nousuun. Viitattu 17.1.2023. <https://www.stat.fi/julkaisu/cktyeqofs24270c529ia6x4i1>

TUKES. Aurinkosähköjärjestelmät, Toimintaperiaate ja järjestelmätyypit. Viitattu 25.2.2023. <https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat>

Työ- ja Elinkeinoministeriö. Toimialojen näkymät, kevät 2022, Uusiutuva Energi 8.6.2022. Viitattu 19.12.2022. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164208/Uusiutuvan_energian_nakymat_kevät_2022_08062022.pdf

United Nations. The Paris Agreement. Viitattu 19.12.2022. <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>

V Ramasamy,J Zuboy,E O'Shaughnessy,D Feldman,J Desai,M Woodhouse,P Basore,3 R Margolis, U.S. Solar Photovoltaic System and Energy Storage Cost Benchmarks, With Minimum Sustainable Price Analysis: Q1 2022, Viitattu 17.1.2023, <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/83586.pdf>

Vaasan Sähkö. Hyödynnä pientuotantosi ja myy aurinkosähkösi meille. Viitattu 19.1.2023. <https://www.vaasansahko.fi/sahkosopimus/pientuotanto-ja-aurinkosahko/>

Verovirasto Sähkön veroluokat ja verotuksen korjaaminen Viitattu 18.1.2023 <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/107822/s%C3%A4hk%C3%B6n-veroluokat-ja-verotuksen-korjaaminen/>

LIITTEET

LIITE 1. Aurinkosähkön kustannus- ja tuottolaskelmat järjestelmän elinkaaren aikana.

Järjestelmän koko	Laina aika	Hinta ilman tukia	Hinta tukien kanssa 30% investointituki	Aurinkosähkijärjestelmän vuosituotto alussa	Takaisinmaksuvuodet	Takaisinmaksuaika	Nettonykyarvo 30 vuoden käyttöiällä	Omakäyttöaste
40 kWp järjestelmä	10 v	68 000 €	47 600 €	37506 kWh	11 vuotta	15 vuotta	44 404 €	100 %
50 kWp järjestelmä	10 v	85 000 €	59 500 €	46883 kWh	11 vuotta	16 vuotta	54 857 €	98 %
60 kWp järjestelmä	10 v	102 000 €	71 400 €	56259 kWh	11 vuotta	16 vuotta	63 986 €	95 %
73 kWp järjestelmä	10 v	124 100 €	86 870 €	68449 kWh	11 vuotta	16 vuotta	70 709 €	87 %