

Eero Ojala

AURINKOVOIMA OSANA TOIMISTOKIINTEISTÖN SÄHKÖENERGIAJÄRJESTELMÄÄ

Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Kandidaattitutkielma
Toukokuu 2021

TIIVISTELMÄ

Eero Ojala: Aurinkovoima osana toimistokiinteistön sähköenergiajärjestelmää
Kandidaattitutkielma
Tampereen yliopisto
Tieto- ja sähkötekniikan tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2021

Tässä työssä selvitetään, mitä asioita tulee ottaa huomioon, jos halutaan liittää aurinkovoimala toimistokiinteistön sähköenergiajärjestelmään. Työn aihe on valittu sen perusteella, että tulevaisuudessa uusiutuvalla energiantuotantotavalla tuotettu sähkö tulee olemaan yhä suuremmassa roolissa. Uusiutuvien energiantuotantotapojen suosiminen johtuu lisääntyneestä ympäristöystävällisestä ajattelutavasta. Nimenomaan aurinkoenergia valittiin uusiutuvista energiantuotantotavoista, koska sillä on eniten hyödyntämätöntä potentiaalia.

Tämä työ voidaan jakaa kolmeen osaan. Ensimmäisessä osassa selvitetään, mitä komponentteja aurinkosähköjärjestelmään kuuluu ja mitkä asiat vaikuttavat tuotetun tehon määrään. Lisäksi ensimmäisessä osassa tarkastellaan aurinkoenergian hyödyntämisen mahdollisuuksia Suomessa. Auringosta vapautuu säteilyenergiaa, jota vastaanotetaan maassa aurinkopaneelien avulla. Invertterit muuttavat aurinkopaneelien tuottaman tasavirran hyödynnettävään muotoon vaihtovirraksi. Selvityksen perusteella Suomessa on järkevää hyödyntää aurinkoenergiaa.

Toisessa osassa selvitetään, mitä asioita tulee ottaa huomioon ennen aurinkosähköjärjestelmän hankkimista ja miten aurinkosähköjärjestelmä tulee mitoittaa. Saatiin selville, että järjestelmän mitoittamisella on keskeinen rooli järjestelmän taloudellisen kannattavuuden suhteen. Järjestelmä kannattaa mitoittaa siten, että se ei tuota ylijäämäsähköä. Sen sijaan kaikki tuotettu sähkö on taloudellisinta käyttää itse. Lisäksi järjestelmä kannattaa olla verkkoon kytketty verkkoon kytkemättömän sijaan. Tämä johtuu siitä, että verkkoon kytkemättömät järjestelmät vaatisivat akkuja, jotta voitaisiin taata jatkuva energian saanti. Akut eivät ole tällä hetkellä kovin teknologisesti kehittyneitä ja niiden hinnat ovat kohtuuttoman suuria.

Kolmannessa osassa tarkastellaan eri kokoisten järjestelmien taloudellista kannattavuutta. Kannattavuutta lasketaan takaisinmaksumenetelmällä. Tarkasteltavina ovat 1 kW:n, 10 kW:n ja 50 kW:n järjestelmät. Jokaiselle järjestelmälle laskettiin takaisinmaksuajat erilaisten sähkön hintojen muutokseen liittyvien skenaarioiden avulla. Laskuissa otettiin lisäksi huomioon se, että asennetaanko järjestelmä jo olemassa olevaan rakennukseen vai uudisrakennukseen. Tulokseksi saatiin, että jo uudisrakennukseen asennettavat järjestelmät maksavat itsensä nopeammin takaisin, koska niiden hintaan ei sisälly erillisenä asennushintaa. Takaisinmaksuajoista huomattiin lisäksi, että järjestelmän koon kasvaessa takaisinmaksuajat lyhenevät. Eri sähkön hintojen muutokseen liittyvien skenaarioiden vaikutus takaisinmaksuajoihin pieneni sitä enemmän, mitä lyhyempi takaisinmaksuaika on. Tämä johtuu siitä, että hinnat eivät ehdi lyhyessä ajassa muuttamaan yhtä paljon kuin pidemmällä aikavälillä.

Avainsanat: Aurinkovoimala, aurinkopaneeli, toimistokiinteistö, mitoittaminen, kannattavuus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. AURINKOENERGIAN TUOTANTO.....	3
2.1 Aurinkovoimalan osat.....	3
2.2 Aurinkovoimalan toimintaperiaate	6
2.3 Tuotanto Suomessa	9
3. AURINKOVOIMALA TOIMISTOKIIINTEISTÖSSÄ	13
3.1 Lupa-asiat sekä lainsäädäntö ja muu ohjaus.....	13
3.2 Mitoittaminen kulutuksen perusteella	15
4. AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUS	23
4.1 Kannattavuuden laskentamenetelmät	23
4.1.2 Takaisinmaksuaikamenetelmä	24
4.1.3 Laskennassa käytettävät skenaariot ja lähtöarvot	24
4.2 Takaisinmaksuaika 1 kW järjestelmälle	26
4.3 Takaisinmaksuaika 10 kW järjestelmälle	29
4.4 Takaisinmaksuaika 50 kW järjestelmälle	31
5. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	34
LÄHTEET	37

1. JOHDANTO

Uusiutuvat energian tuotantotavat ovat korostuneet ja tulevat tulevaisuudessa korostumaan vielä entisestään. Tulevaisuuteen tähtäävässä toiminnassa kannattaa pyrkiä valitsemaan vaihtoehto, jossa käytetään jotain uusiutuvan energian tuotantokeinoja. Aurinkoenergia on yksi suurimmista uusiutuvan energian muodoista tuuli- ja vesivoiman kanssa. Aurinkoenergia erottuu kaikista muista uusiutuvan energian lähteistä kuitenkin siksi, koska sillä on erittäin suuri potentiaali. Voidaan sanoa, että auringosta saatavaa energiaa on loputtomasti käytössä, koska aurinko tulee säteilemään energiaa vielä peräti noin 5 miljardin vuoden ajan [1]. Tämän lisäksi aurinkoenergiaa on mahdollista tuottaa niin paljon kuin aurinkopaneeleja maan pinnalle mahtuu. Aurinkovoimalla tuotettu sähkö ei myöskään tuota päästöjä, jos ajatellaan hetkestä, jolloin aurinkopaneelit ovat jo valmistettuina ja asennettuina. Nämä ovat perusteina tälle tutkielmalle. Tutkielmassa halutaankin tuoda esille nimenomaan aurinkoenergialla tuotettu sähkö, koska sillä on suurin vuosittainen kasvu uusiutuvalla energialla tuovista energiatuotantotavoista. [2]

Vaikka aurinkoenergiaan liittyy paljon potentiaalia, siihen liittyy myös joitakin ongelmia. Kuten edellisessä kappaleessa mainittiin, aurinkovoimalla tuotettua energiaa voidaan tuottaa niin paljon kuin aurinkopaneeleita vain asennetaan sähköä tuottamaan. Ongelma tässä tulee siinä, että aurinkopaneelit eivät ole kovin kauniin näköisiä, joten ne eivät sovi asennettavaksi mihin tahansa. Tähän kuitenkin ratkaisuksi on kehitetty muutamia keinoja. Aurinkopaneeleita on jo pitkään rakennettu rakennusten katoille, jolloin ne eivät ole näkyvissä esimerkiksi katukuvassa. Katoille rakentamisen lisäksi aurinkopaneeleita voidaan integroida kattoihin ja jopa rakennusten julkisivuihin.

Tässä kandidaatintyössä käsitellään aurinkoenergian hyödyntämistä toimistokiinteistöissä. Työssä aiheiden järjestys on mietitty sen mukaan, miten energia kulkee alusta loppuun. Lopussa mietitään vielä johtopäätöksiä. Ensimmäiseksi siis selvitetään, miten auringosta tulevaa säteilyenergiaa saadaan hyötykäyttöön mahdollisimman hyvin ja mahdollisuudet siihen Suomessa niin fyysisten kuin lainsäädännöllisten rajoitteiden puitteissa. Tämän jälkeen selvitetään, miten aurinkovoimala saadaan liitettyä toimistokiinteistön sähköenergiajärjestelmään. Tätä varten täytyy aurinkovoimala mitoittaa oikean kokoiseksi. Pohditaan, minkä verran sähköä tarvitaan ja onko esimerkiksi mahdollista

tuottaa ylimääräistä sähköä ja jopa myydä sitä energiayhtiöille vai halutaanko sitä varastoida akkuihin. Näihin kysymyksiin haetaan vastauksia verkosta. Lisäksi tehdään laskentoja aurinkosähköjärjestelmän kannattavuudesta.

Lopullinen tarkoitus työllä on antaa vastaus siihen, että kannattaako aurinkovoimaa liittää toimistokiinteistöön. Huomioitavaa kuitenkin on, että kyseiseen vastaukseen vaikuttavat työssä tehdyt oletukset. Oletukset johtuvat työn rajauksesta. Tärkein lukijan kannalta tiedettävä raja on se, että sähkön tuotannon oletetaan olevan suunniteltu olemaan maksimaalista ja tuotettu sähkö käytetään kokonaan itse. Työssä tarkasteltavat toimistokiinteistöt ovat siis sellaisia, joiden kulutus painottuu keskipäivälle. Tästä johtuen työssä ei erityisesti huomioida esimerkiksi sähkön myyntiin liittyviä asioita tai kulutuksen erilaista jakautumista eri päivinä.

2. AURINKOENERGIAN TUOTANTO

Aurinkoenergia on yksi tärkeimmistä energiantuotantotavoista tulevaisuudessa. Oikeastaan aurinkoa pidetään todennäköisenä ykkösenä pitkällä aikavälillä, koska aurinko on käytännössä loputon energianlähde ja siitä lähtevä energia on säteilyenergiaa, joka voidaan muuttaa oikeilla välineillä sähköksi ja siten kuluttajille käytettäväksi jokapäiväisessä elämässä. [3] Auringosta on mahdollista saada enemmän energiaa käyttöön, kuin tällä hetkellä olisi edes tarpeellista. Aurinkoenergia on siis uusiutuvaa päästötöntä eli sen avulla tuotetusta sähköstä ei vapaudu kasvihuonekaasuja ilmakehään ja sillä on alhaiset käyttökustannukset. Alhaisilla käyttökustannuksilla tarkoitetaan, että auringon valon muuntamista energiaksi ei vaadi muuttuvia kustannuksia enää sen jälkeen, kun tarvittavat osat ovat asennettuina. [4] Tuottamista varten tarvitaan aurinkovoimala, jossa energia muutetaan säteilyn kautta sähköksi. Voimaloiden koot vaihtelevat hyvinkin pienistä erittäin suuriin niiden käyttötarpeista riippuen.

2.1 Aurinkovoimalan osat

Aurinkovoimalat käyttävät aurinkokennoalueita vastaanottamaan säteilyä. Aurinkokennot ovat osa moduulia. Moduulit koostuvat eri kerroksista. Näitä kerroksia ovat päältä alle: runko, lasi, kaksi koteloijaa, joiden väliin itse aurinkokenno jää ja takalevy. [5] Moduulit kytketään sarjaan, millä saadaan luotua aurinkokennoalueita, ja niitä kutsutaan aurinkopaneeleiksi.

Yleisimmin kennojen valmistusmateriaalina käytetään piitä. Kennoja valmistetaan pääasiassa yksi- tai monikiteisestä piistä. Yksi- ja monikiteisellä piillä on erilaiset ominaisuudet, joista tärkeimpinä ovat hyötysuhde ja hinta. Yksikiteisestä piistä valmistetut kennot ovat parempia ja saatavilla olevista kennoista parhaita hyötysuhteeltaan, mutta kalliimpia valmistaa kuin monikiteisestä piistä valmistetut kennot. Hyötysuhde yksikiteisillä on 17 % ja monikiteisellä on 11–13 %. Tämä perustuu siihen, että yksikiteiset aurinkokennot tuottavat suurempaa huipputehoa, koska niiden suuret kidekoot vastaanottavat paremmin säteilyä. Kuitenkin useimmin valmistukseen valitaan yksikiteinen pii, koska tuotteen laatua pidetään tärkeämpänä kuin sen ostohintaa. Tämä perustuu siihen, että aurinkopaneelien asennuksia tehdään pitkän tähtäimen investointeina. Parempi hyötysuhde tarkoittaa, että ajan kuluessa myös rahalliset hyödyt kasvavat. [6]

Piikkenoja halvempi ratkaisu on ohutkalvokenno. Niiden hyötysuhde on kuitenkin selvästi heikompi kuin piillä. Ohutkalvokennoilla hyötysuhde on vain 5–12 %. Ohutkalvokennojen erityisenä hyötynä on se, että ne ovat läpinäkyviä ja hyvin taipuisia, joten niillä on enemmän käyttökohteita. Taipuisuuden ja läpinäkyvyyden takia ne voidaan asentaa vaikka kokonaan lasitetun rakennuksen päälle. Niiden valmistukseen käytetään amorfista piitä, kadmium telluuria ja kupari-indium-diselenidiä. [7]

Mahdollista on myös hankkia lasi/lasi-aurinkopaneelit tai kaksipuoleiset paneelit. Lasi/lasi paneelien hyötynä on se, että niiden ennustettu käyttöikä on lähes kaksinkertainen verrattuna perinteisiin paneeleihin. Lasi/lasi-aurinkopaneelien elinkaaren pituus johtuu siitä, että ne eivät laajene lämpölaajentumisen seurauksena niin paljoa kuin perinteisten paneelien muoviset taustakelmut. Suurempi lämpölaajenemien aiheuttaa sisäisen jännitteen nousun paneelien komponenttien välille ja täten suurentaa riskiä kennojen irtoamiselle. [8]

Kaksipuoleiset paneelit eroavat muista siten, että niillä ei ole lainkaan takalevyä. Takalevyn puuttuminen mahdollistaa säteilyenergian keräämisen tehokkaasti myös hajasäteilystä. Tällöin kokonaistuotanto kasvaa ja hyötysuhde paranee. [9]

Aurinkokennojen asennustelineet ovat telineitä, joihin edellä mainitut aurinkomodulit kytketään. Suurin osa telineistä on valmistettu alumiinista. Alumiini on kevyen painonsa lisäksi hyödyllinen ratkaisu myös korroosionkestävyytensä takia. [10] Asennustelineiden ansiosta paneelit voidaan asentaa katoille seiniin tai maanpinnalle. Telineet tulee asentaa niin, että niiden kulma tulevaan säteilyyn nähden on mahdollisimman hyvä. Katoille asennetaan usein telineitä, joiden kulma määräytyy katon kulman mukaan. Tämä ei välttämättä ole optimaalisin ratkaisu, koska kattoja ei useimmiten ole suunniteltu aurinkopaneelien asennusta varten. Katon mukaan asennettavia asennustelineitä kuitenkin tehdään niiden esteettisyyden takia. Aurinkopaneelit eivät erotu vaan sulautuvat tällä tavoin melko hyvin kattoon. Jos kuitenkin halutaan optimaalinen säteilyn vastaanottokulma, löytyy ratkaisu säädettävistä asennustelineistä.

Verkon tasavirtakatkaisija toimii aurinkopaneelien yhteydessä nimensä mukaisesti tasavirran katkaisijana. Aurinkopaneelit tuottavat tasavirtaa. Kyseisiä katkaisijoita käytetään laitteiston suojaamiseen ja turvallisuussyistä. Auringosta tuleva säteily ei ole tasaista vaan sen voimakkuus vaihtelee vuorokauden- ja vuoden ajasta riippuen. Vaihtelu voi aiheuttaa liiallista jännitteen ja virran nousua, mikä voi edelleen vahingoittaa kiinteistön muita laitteita. [11]

Invertteri on osa, jolla muunnetaan tasavirtaa vaihtovirraksi. Aurinkopaneelit tuottavat tasavirtaa, mutta useimmat kiinteistöjen laitteet tarvitsevat vaihtovirtaa. Vaihtoehtoina on viisi erilaista invertteriä, joista jokaisella on oma käyttötarkoituksensa. Tämän työn kannalta tärkeimmät ovat mikroinvertteri ja merkkijänniteinvertteri. Hyötynä mikroinvertteireillä on se, että ne optimoivat jokaisen aurinkopaneelin toiminnan varsinkin varjoisissa olosuhteissa. Mikroinvertterejä ja aurinkopaneeleja on asennettuina 1:1. Merkkijänniteinvertteri on yleisin invertteri, jota kiinteistöissä käytetään. [12]

Akusto on myös tärkeä osa aurinkovoimalaa, jos voimalalla on tarkoitus tuottaa tarvittu energia ympäri vuorokauden. Säteilyn voimakkuus on korkeimmillaan päiväsaikaan ja kirrkaalla säällä, kun taas yöllä tai pilvisellä säällä säteily ei olekaan niin suurta. Tällöin aurinkovoimalat eivät välttämättä tuota tarpeeksi sähköä sähkötarpeisiin. Myös päiväkohtainen sähkönkulutus vaihtelee suuresti. Tätä varten aurinkovoimaloihin voidaan liittää akusto, joka takaa sähkön saatavuuden.

Mittarilla saadaan hyödyllistä informaatiota omasta sähkön tuotannosta ja jakeluverkosta tulevasta sähköstä. Sellaisissa järjestelmissä, joissa osa tehosta otetaan jakeluverkosta, tehomittarit mittaavat jakeluverkosta otetun tehon määrän. Tehomittareita voidaan käyttää myös mittaamaan verkkoon lähetetyn tehon määrä. Näin toimitaan, kun aurinkovoimalalla tuotetaan tehoa enemmän kuin systeemiin liitetyssä kiinteistössä tarvitaan. Käyttötarkoituksesta ja investointistrategiasta riippuen ylimääräinen sähkö voidaan varastoida akkuihin tai myydä verkkoyhtiöille. [13]

Varageneraattori on myös mahdollinen ratkaisu, jos tarkoituksena on olla täysin omavarainen sähkön tuotannon suhteen. Niiden tarkoituksena on tuottaa sähköä silloin, kun aurinkovoimala itsessään ei pysty tuottamaan tarvittavaa määrää energiaa. Tällaisia tilanteita voi esiintyä silloin, kun sääolosuhteet ovat poikkeuksellisen huonoja paneeleihin kohdistuvan säteilyn suhteen tai kiinteistön sähkön tarpeen lisääntyessä. Generaattoreita voidaan käyttää joko ilman akkuja tai akkujen kanssa. Ongelmana generaattoreissa on kuitenkin niiden ilmastonäkökulma. Generaattorit nimittäin käyttävät ilmastoa saastuttavia polttoaineita kuten maakaasua, propaania tai dieseliä. Dieselgeneraattorit ovat näistä polttoainetehokkaimpia ja pisimpään kestäviä, mutta niiden hankintahinnat ovat maakaasua ja propaania käyttäviin generaattoreihin verrattuna jopa 2-3 kertaa kalliimpia. [14]

Lataussäädin on komponentti, joka ylläpitää akkujen oikeaa latausjännitettä. Se on liitoksissa aurinkopaneelien ja akkujen kanssa. Akut voivat tulla yliladatuiksi ilman niitä, jos niitä ladataan jatkuvalla syötöllä. Lataussäätimien tehtävä on säädellä jännitettä niin,

että se estää akkujen ylikuormituksen ja mahdollistaa akkujen latauksen tarvittaessa. Lataussäädin on täten hyödyllinen ajatellen akkujen terveyttä ja ikää. [15] On olemassa kahdenlaisia lataussäätimiä: Pulse Width Modulation (PWM) säätimiä ja Maximum Power Point Tracking (MPPT) säätimiä. PWM-säätimien toiminta perustuu siihen, että ne säätelevät energian virtausta akkuihin asteittain. Akkujen tultua täyteen ne jatkavat pienen energiamäärän tuottamista akkuihin, jotta akut pysyvät koko ajan täysin ladattuina. Tällaiset sopivat parhaiten pieniin järjestelmiin, joissa aurinkopaneeleilla ja akuilla on oltava vastaavat jännitteet. MPPT-säätimet ovat parhaimmillaan, kun käytetään aurinkopaneelien maksimitehoa akkujen lataamiseen. Ne rajoittavat tehoaan varmistaakseen, etteivät akut lataudu liikaa. MPPT-ohjaimet tarkkailevat ja säätävät niiden tuloa, säädeläkseen systeemin virtaa. Suurimpina eroina näillä kahdella on niiden hinta, elinikä, hyötysuhde ja systeemin koko. PWM-säätimet ovat halvempia ja niiden elinikä on yleisesti pidempi, koska PWM-säätimillä on vähemmän hajoavia osia. MPPT-säätimet ovat parempia hyötysuhteeltaan. Nykyään MPPT-ohjaimet ovat yleisempiä perustuen juuri tuotteen laadun arvostukseen ja pidemmän tähtäimen ajattelumalliin. [16]

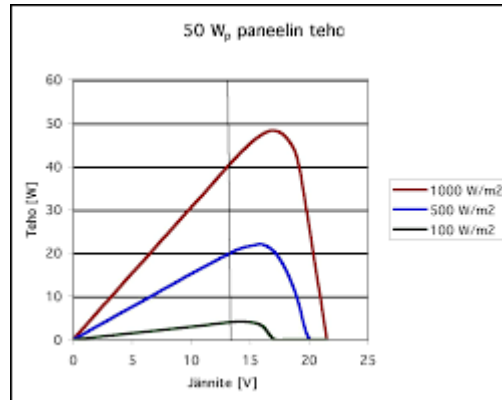
2.2 Aurinkovoimalan toimintaperiaate

Aurinkovoimala on kokonaisuus, jonka tarkoituksena on tuottaa sähköä. Tehontuottoon vaikuttavat eniten aurinkopaneelit ja siksi tässä kappaleessa selvitetään, mikä mahdollistaa sähkön tuoton painottuen aurinkopaneeleihin.

Aurinkopaneelien tuottama teho riippuu monesta tekijästä. Säteilyn voimakkuuden ja kennon pinta-alan lisäksi näitä tekijöitä ovat auringon säteilyn tulokulma, auringon korkeus, ilmakehän absorptio ja lämpötila.

Auringonsäteilyn voimakkuus voidaan ilmaista jonain määränä tehoa jollekin pinta alalle eli W/m^2 . Tätä säteilyä tulee ilmakehän yläosiin keskimäärin $1368 W/m^2$. Kyseistä arvoa kutsutaan aurinkovakioksi. Maan kiertorata on kuitenkin ellipsin muotoinen eikä täysin ympyrän muotoinen. Tämän takia säteilyn voimakkuuden määrä vaihtelee vuoden ajasta riippuen. Lähimpänä aurinkoa maa on tammikuun alussa, jolloin etäisyys on 147,1 miljoonaa kilometriä ja kauimmillaan heinäkuun alussa, jolloin etäisyys on 152,1 miljoonaa kilometriä. [17] Säteilyjen voimakkuus vaihtelee siis välillä $1410 W/m^2$ - $1320 W/m^2$. Vaikka säteilyn voimakkuus ilmakehän yläosissa onkin suurta, kaikki tämä säteily ei saavu maanpinnalle saakka. Ilmakehä heijastaa osan säteilystä takasin avaruuteen ja osan se absorboi. Absorbointi aiheuttaa ilman lämpenemisen. Heijastuksen ja absorption jälkeen kirkkaalla säällä maanpinnalle saapuvan säteilyn voimakkuus on noin

60% alkuperäisestä eli noin 800-1000 W/m². Pilvisellä säällä säteilyn voimakkuus on huomattavasti pienempi.



Kuva 1: Aurinkopaneelin tehon riippuvuus jännitteestä ja säteilyn voimakkuudesta [18].

Kuvassa 1 on esitetty 50W_p aurinkopaneelin tehon riippuvuus jännitteestä ja säteilyn voimakkuudesta. Kuvasta nähdään, jos käyttöjännite on 13 V niin, miten eri säteilyn voimakkuuksilla tehon tuotto vaihtelee. Kirkkaalla säällä säteilyn voimakkuuden ollessa 1000 W/m² ja 13 V jännitteellä saadaan noin 40 W tehoa, mutta pilvisellä säällä säteilyn voimakkuuden ollessa 100 W/m² ja 13 V jännitteellä saadaan vain 4 W tehoa. Kuvasta voidaan tulkita myös, ettei pilvisellä säällä voida yli 17 V vaativille laitteille tuottaa tarvittavaa tehoa ollenkaan.

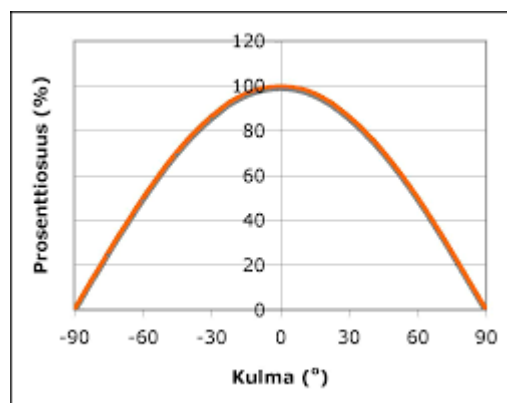
Aurinkopaneelit vastaanottavat valoa, joka tulee taivaalta maanpintaan nähden jossain kulmassa, riippuen missä päin maailmaa ilmiötä tarkastellaan. Aurinkopaneelit tästä johdettua täytyy asentaa sellaiseen kulmaan, että ne vastaanottavat mahdollisimman paljon valoa, jotta sähkön tuotanto saadaan maksimoitua. Optimaalisin tulokulma on, kun auringon valo tulee kohtisuorasti aurinkopaneelin pinnalle. Tarkasteltava kulma on se kulma, joka muodostuu auringon korkeudesta horisonttiin nähden. Haastavaa aurinkopaneelien kulman säätämisestä tekee se, että aurinko ei pysy koko ajan samassa kohdassa vaan kulma vaihtuu vuorokauden ja vuoden ajasta riippuen. Esimerkiksi voidaan ottaa tapaus Suomen Kolarista. Auringon korkeus vaihtelee 50 asteen kulmasta kesäkuussa 5 asteen kulmaan joulukuussa. Näiden keskiarvo on 27,5 astetta. Tämän lisäksi aurinko nousee päivittäin 0 kulmasta maksimikorkeuteen, jonka aikana ilmakehä absorboi yli 50 prosenttia säteilystä, kun aurinko on alle 15 asteen kulmassa. Optimikulma tulee asettaa kyseisestä syystä jonkin verran yli keskiarvon, joka on 27,5 astetta. Suomessa kiinteästi sijoitettujen aurinkopaneelien optimikulma on noin 30 ja 40 astetta.

Mahdollista on myös asentaa aurinkopaneeleita, jotka seuraavat aurinkoa. Seuraavat aurinkopaneelit tuottavat noin 30 % enemmän energiaa kuin kiinteät paneelit. Hyötyä seuraavista paneeleista on ainoastaan kirkkaina päivinä, jolloin aurinko paistaa suoraan paneeleita kohti ilman esteitä. Pilvisinä päivinä aurinkopaneeleihin osuva säteily on hajasäteilyä, jolla ei ole erillistä tiettyä tulokulmaa vaan säteily osuu paneeleihin joka puolelta.

Vinosti paneelien pinnalle tulevan auringon säteilyn teho voidaan myös laskea. Teho saadaan yhtälöstä

$$P = SA \cos \alpha, \quad (1)$$

missä P on teho (W), S on säteilyn voimakkuus (W/m^2), A on paneelien pinta-ala (m^2) ja α on paneelin normaalin ja auringon säteiden välinen kulma. Kuvassa 2 havainnollistetaan, miten tulokulma α vaikuttaa paneelien tuottamaan tehoon.



Kuva 2: Tulokulman vaikutus tehontuottoon [19].

Kuvasta 2 nähdään, että auringon paistaessa kohtisuoraan paneelia kohti tuotetun tehon prosenttiosuus on 100 %. Tämän jälkeen kohtisuorasta noin 45 asteen poikkeavuuteen asti prosenttiosuus pienenee nopeammin. 45 asteesta 90 asteeseen prosenttiosuus pienenee tasaisesti.

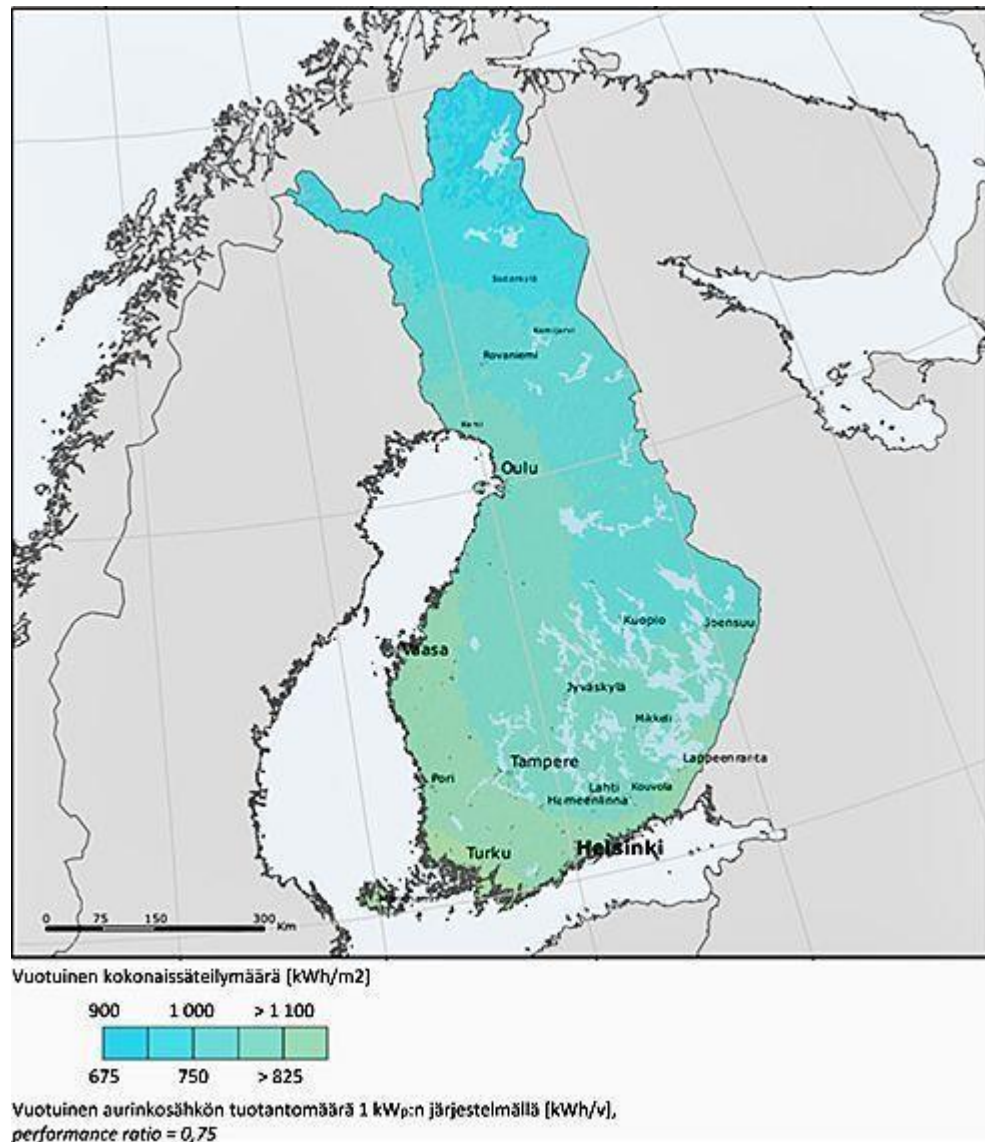
Lämpötila vaikuttaa aurinkopaneelien toimintaan niin, että lämpötilan noustessa paneelien virta kasvaa minimaalisen verran ja paneelien tyhjäkäyntijännite laskee voimakkaasti. Virran pieni nousu johtuu siitä, että lämpötilan nousu lisää varaustenkuljettajien määrää. Tämä saa aikaan tehon tuoton heikentymisen, koska tuotettu teho lasketaan virran ja jännitteen tulosta. Jännite laskee enemmän kuin virta kasvaa lämpötilan noustessa, joten teho pienenee. Paneelit tulee sijoittaa niin, että ilma ja tuuli voivat jääh-

dyttää niitä tehokkaasti. Paneeleita ei myöskään kannata asentaa sellaisten pintojen lähelle, jotka absorboivat paljon energiaa ja lämpiävät. Tällaisia pintoja ovat esimerkiksi mustat katot ja nurkat, joissa ilma ei kierrä. [20]

2.3 Tuotanto Suomessa

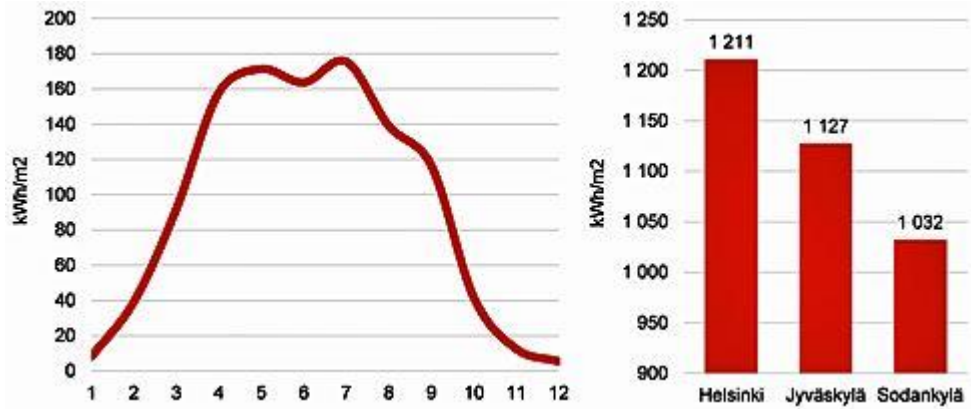
Aurinkopaneeleilla tuotettuun energiaan vaikuttaa pitkälti se, kuinka paljon aurinko paistaa. Suomessa auringonpaiste ei missään nimessä ole tasaista vuoden ympäri vaan se vaihtelee runsaasti. Pohjois-Suomessa kesän ja talven välillä vaihtelu on erittäin runsasta. Keskikesällä kesäpäivänseisauksen aikaan pohjoisella pallonpuoliskolla päivä on pisimmillään ja valoisa-aikaa napapiirin korkeudesta pohjoisemmaksi on vuorokauden ympäri. Talvella talvipäivänseisauksen aikaan päivä on pohjoisella pallonpuoliskolla lyhimmillään, jolloin aurinko ei juurikaan nouse horisontin yläpuolelle. Myös vuosien välillä voi olla kymmenien prosenttien vaihtelua.

Vaikka Suomi sijaitsee maantieteellisesti hyvin pohjoisessa, on Suomessa hyvät edellytykset aurinkovoimalla tuotettuun sähköön verrattuna muihin Euroopan maihin. Kuten aikaisemmin kappaleessa 2.2 mainittiin, ympäristön lämpötila vaikuttaa paljon aurinkokennojen hyötysuhteeseen. Suomessa on verrattain kylmempi ympäristön lämpötila, mikä parantaa aurinkokennojen toimintaa, vaikka säteilyn määrä ei olekaan samaa tasoa kuin esimerkiksi Keski-Euroopan maissa. Suomen etuna on myös se, että kesäisin valoisa-aikaa on lähes vuorokauden ympäri, joten on mahdollista asettaa paneelit myös eri ilmansuuntaan kuin etelään. Paneeleita ei nimittäin ole erilaisten esteiden takia aina mahdollista asentaa osoittamaan etelään. Tämä kompensoi hyvin talven pimeitä aikoja. Hajasäteily on Suomessa varsinkin kevättalvisin runsasta, koska aurinkopaneeleihin kohdistuu suoran säteilyn lisäksi tehokkaasti myös lumihangista. Kuvasta 3 näkyy, millaiset ovat säteilymäärät optimaalisesti kallistetuille pinnoille Suomessa.



Kuva 3: Vuotuinen kokonaissäteily määrä Suomessa [20].

Kuvasta 3 voidaan tulkita, että säteilyn määrä on huomattavasti suurempaa Etelä-Suomessa. Vuosittainen säteilysumma on noin 900 kWh/m². Tämä kokonaissäteilysumma koostuu koko Suomen pinta-alasta. Etelä-Suomessa kokonaissäteilyenergian määrä on noin 980 kWh/m², Keski-Suomessa määrä on noin 890 kWh/m² ja Pohjois-Suomessa määrä on noin 790 kWh/m². [20] Alla olevasta kuvasta näkyvät keskimääräiset kuukausittaiset säteilymäärät pinnoille, jotka ovat suunnattuina 45 asteen kulmassa etelään päin. Kuvasta 4 näkyy myös erot vuotuisissa säteilymäärissä eri kaupungeissa.



Kuva 4: Kokonaissäteily energian summa eräälle pinnalle Suomessa sekä vuotuisen säteilymäärien erot eri kaupungeissa [20].

Aurinkovoimalla tuotettu sähkö on pääosin pientuotantoa, joka on suomen kokonaistuotanto kapasiteetista vain hieman alle kahden prosentin luokkaa. Aurinkosähkön osuus pientuotannosta on kuitenkin noin 71 % ja aurinkovoimalla tuotettu sähkö on Suomessa kiihtyvässä kasvussa, mikä kertoo hyvin siitä, että aurinkovoimaan on alettu panostaa. Joka vuosi kasvu on ollut prosentuaalisesti erittäin suurta. Sähköverkkoon liitettyä aurinkosähkön kapasiteettia oli noin 198 MW vuoden 2019 lopussa. Vuoden aikana oli sähköverkkoon liitetty kapasiteettia noin 77 MW verran, mikä tarkoittaa noin 64 % nousua. Kuvasta 5 on esitetty, miten verkkoon liitetty aurinkosähkön pientuotantokapasiteetti on noussut vuosittain.



Kuva 5: Aurinkosähkön pientuotantokapasiteetti eri vuosina [21].

Aurinkovoiman tuotannon kasvulle Suomeen on tehty ennusteita. Ennusteita on tehty Base-skenaarion ja RES-skenaarion avulla. Base-skenaario tarkoittaa, että ennuste tehdään todennäköisimmän ja neutraaleimman tulevaisuudennäkymän perusteella. RES-skenaario tarkoittaa, että teknologian kehitys oletetaan olevan perusskenaariota nopeampaa. Alla olevassa kuvassa esitetään, näiden kahden eri skenaarion avulla tehdyt ennusteet.

Taulukko 2.1: Aurinkovoiman tuotannon ennusteet Base- ja RES-skenaarioiden avulla [22].

Base	2017	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Aurinkovoiman tuotanto								
Suomi, TWh	0.1	0.1	0.3	1.1	2.1	3.2	4.5	6.0
RES-skenaario								
Aurinkovoiman tuotanto								
Suomi, TWh		0.1	0.5	1.7	2.8	4.4	6.1	7.7

Taulukosta 2.1 näkyy, että molempien skenaarioiden mukaan aurinkovoiman tuotanto tulee moninkertaistumaan. RES-skenaariolla hieman nopeammin kuin Base-skenaariolla. Näiden perusteella voidaan päätellä, että joka tapauksessa huolimatta siitä, millä tavalla ennusteita tehdään, aurinkovoiman tuotanto tulee tulevaisuudessa olemaan huomattavasti suurempaa.

3. AURINKOVOIMALA TOIMISTOKIINTEISTÖSSÄ

Aurinkovoimala voidaan hankkia uuteen rakennukseen tai jo olemassa olevaan rakennukseen. Kun suunnitellaan aurinkosähköjärjestelmän hankkimista, pitää ottaa useita asioita huomioon. Ensimmäisenä aletaan selvittämään kannattavuuteen liittyviä tekijöitä. Jos todetaan hankinnan olevan kannattava ennen järjestelmän hankkimista huomioon otettavia asioita ovat muun muassa erilaiset lupa-asiat sekä rakentamiseen, turvallisuuteen ja verkkoon liittämiseen liittyvät lainsäädännöt. Myös se, että halutaanko järjestelmän olevan verkkoon liitetty vai verkkoon liittymätön, tulee ottaa huomioon. Toimistokiinteistöissä sähkönkulutus on ympärivuotista, mutta sähköä käytetään pääasiassa vain päivisin. Öisin sähköä tarvitaan vain kiinteistön lämpötilan ylläpitämiseen ja mahdollisten kylmälaitteiden päällä pitämiseen. Tämä sopii aurinkovoimalan liittämisen toimistokiinteistöön lähes täydellisesti, koska aurinkoenergiaa on saatavilla ainoastaan päivisin. Kun aurinkovoimalaa aletaan mitoittamaan, lähtökohtaisesti kannattavinta on, että tuotettu sähkö saadaan hyödynnettyä itse ja sähköverkkoon myydyin sähkön määrä jää mahdollisimman pieneksi. Työssä on oletuksena, että näin on. Tässä kappaleessa kuitenkin kerrotaan lyhyesti siitä, mitä tulee tietää, jos ylijäämä sähköä syntyy.[23]

3.1 Lupa-asiat sekä lainsäädäntö ja muu ohjaus

Aurinkopaneelien asentamisiin liittyvät lupa-asiat voivat vaihdella sen mukaan, mikä on kiinteistön sijainti sekä mihin ja minkälaiseen kiinteistöön paneelit asennetaan. Maankäyttö- ja rakennuslain muutoksen mukaan vain merkittävästi kaupunkikuvaan tai ympäristöön vaikuttavan aurinkopaneelin asennus vaatii toimenpideluvan. Suojellut rakennukset ovat poikkeuksena, ja ne voivat vaatia lisäksi myös rakennusluvan. Näiden mahdollisten lupien hankinta tarkistetaan kuntien rakennusvalvonnasta.

Aurinkopaneelien mekaaniset asennustyöt saa tehdä itse, mutta verkkoon kytkettyjen vaihtojännitteisten aurinkosähköjärjestelmien sähkötyöt saa tehdä vain yritys, jolla on sähköasennusoikeudet. Sähköturvallisuuslaissa säädetään, että sähkölaitteet ja laitteistot, johon aurinkosähköjärjestelmät kuuluvat, eivät saa aiheuttaa kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa. Tästä syystä verkkoon kytketyille laitteistoille on tehtävä myös käyttöönottotarkastus. Sähkömarkkinalain mukaan sähköverkkohaltijan on liitettävä sähköverkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävät sähkönkäyttöpaikat ja voimalaitokset toiminta-alueellaan kohtuullista korvausta vastaan, jos liityntää pyydetään (FIN-

LEX 588/2013). [24] Suomessa sähköverkko toiminnassa on monopoli, jota valvoo Energiavirasto. Tästä monopoli asemasta johtuen verkkoyhtiöllä on vastuu verkon kehittämisestä, sähkönkäyttöpaikkojen ja voimalaitosten liittämistä sekä sähkön siirrosta. Ilman lupaa sähkön tuotantolaitteistoja ei kuitenkaan saa kytkeä verkkoon. Verkkoyhtiöltä saa ohjeet verkkoon kytkemiseen ja varsinaisen verkkoon kytkennän saa suorittaa vain pätevä sähköurakoitsija.

Kun verkkoon kytkennät on mahdollisesti tehty, tulee tietää, että verkkoyhtiö ei saa kuitenkaan itse osallistua sähkökauppaan, eikä siten voi ostaa verkkoon syötettyä aurinkosähköä. Jos aurinkosähköä halutaan myydä, siitä tulee sopia valitun sähkönmyyjän kanssa. Lähtökohtaisesti tuotettu aurinkosähkö on kannattavinta käyttää itse. Tästä syystä verkkoon syötettävän sähkön määrä voi jäädä erittäin pieneksi ja tässä työssä oletetaan puuttuvan. Jos pieniä määriä syötetään verkkoon, verkkoyhtiön kanssa voidaan mahdollisesti sopia pienestä korvauksesta sähkön hintaan, jonka toimistokiinteistön omistaja ostaa verkkoyhtiöltä.

Turvallisuuteen liittyvät myös pientuotantolaitteiden verkkoon liittämisen suojauksien standardit ja suositukset. Vaikka suositukset ovat Suomessa yleispäteviä, asia tulee aina tarkastaa verkkoyhtiöltä. Energiateollisuus ry:llä on heidän verkkosivustollaan yleistietolomake, jonka avulla tekniset tiedot voidaan helposti toimittaa verkkoyhtiölle. Yleistietolomakkeen voi täydentää joko itse tai sen voi antaa täytettäväksi laitteiston toimittajalle ja/tai laitteiston sähkötyöt tekeväälle sähköurakoitsijalle. [25]

Lisäksi aurinkosähköjärjestelmään tulee liittää ali- ja ylijännite sekä ali- ja ylitaajuus suojaukset. Tilanteet, joissa ali- tai ylijännitettä tai ali- tai ylitaajuutta ilmenee, ovat viallisuuden lisäksi myös suuri turvallisuusriski. Tämä johtuu siitä, että verkon jännitteen kadotessa helposti voidaan luulla, että laitteistosta on jännite poissa kokonaan, kun siihen tehdään korjaustöitä. Suojaus onnistuu jännitteen pudotessa jännite- ja taajuusreileillä. [26]

Sähköturvallisuusstandardit määräävät myös, että sähköntuotantolaitoksen tulee olla irrotettavissa verkosta. Erotuslaitteen erottimen tulee olla selkeästi merkitty ja käyttömekanismi tulee olla lukittuna auki asentoon. Itse erotuslaitteessa pitää olla nähtävä ilmaväli ja selkeä asennusosoitus. Tälle erottimelle verkonhaltijalla tulee olla esteetön pääsy. Verkonhaltijalla pitää olla myös mahdollisuus kaukokytkeänsä. [27]

3.2 Mitoittaminen kulutuksen perusteella

Tärkein asia, kun aurinkoenergiajärjestelmää suunnitellaan rakennettavaksi, on miettiä investoinnin kannattavuutta. Toki myös motiivi saasteettomasta energiasta voi olla investoinnin taustalla. Kannattavuuteen liittyen tärkeimpiä asioita ovat järjestelmän mitoit- tus ja hinta, kulutuspaikan sähkönhinta, auringon säteily määrä ja paneelien asennuk- sista aiheutuneet kustannukset. Kannattavuuteen liittyviä laskelmia tehdään seuraava- vassa kappaleessa.

Mitoittaminen tulee suunnitella niin, että tuotanto vastaa kulutusta mahdollisimman hy- vin. Liian pieni tuotanto johtaa siihen, että sähköä joudutaan ostamaan. Liian suuri tuo- tanto tarkoittaa sitä, että laitteiden investointiin on kulunut enemmän rahaa kuin tarpeel- lista. Nämä molemmat skenaariot kasvattavat aurinkovoimaloiden takaisinmaksuaikaa, jos ajatellaan kokonaiskuluja. Jokaista kohdetta suunniteltaessa tulee arvioida tuotannon tarve erikseen. Yhtenäistä taulukkomallia ei siis tule soveltaa. Kappaleessa 2.1.2 maini- tut asiat kuten alueellinen säteilyn voimakkuus, kennon pinta-ala, alueellinen auringon säteilyn tulokulma, auringon korkeus, ilmakehän absorptio ja alueellinen lämpötila tulee ottaa huomioon. Taloudellisesta näkökulmasta myös oman ja vieraan pääoman korot, pääoman takaisinmaksuaika ja inflaatio tulee ottaa huomioon. Näiden perusteella voi- daan arvioida kannattaako kyseiseen rakennukseen asentaa aurinkopaneelit. Haas- teena voi esimerkiksi olla varjostuminen ympäröivistä rakennuksista tai puista. Puut voi- daan mahdollisesti kaataa.

Aurinkosähköjärjestelmän voidaan valita olevan verkkoon kytketty tai verkkoon kytkemä- tön. Verkkoon liitetyn järjestelmän etuna on, että siinä ei tule sähkökatkoksia enempää kuin sähköverkossakaan eli ei poikkeaa normaalista verkkoliittymästä katkoksien suhteen mitenkään. Verkkoon kytkemättömällä järjestelmällä ei ole sähköverkkoa tukemassa sähköntuotantoa, joten sähkökatkoksiin tulee varautua muilla keinoin. Toimistokiinteis- töjen tapauksessa tähän työhön liittyen, valitaan liittyminen.

Toimistokiinteistöissä sähkönkulutus sijoittuu lähinnä päiville, joten aurinkosähköjärjes- telmä kannattaa parhaan hyödyn saamiseksi sijoittaa osaksi niin sanottuja älykkäitä säh- köverkkoja. Älykäs sähköverkko liittää hallitusti yhteen ohjattavia sähkökuormia ja tuo- tantoa sekä hetkellisiä kuormia ja vaihteleva tuotantoa. Tämä edellyttää, että automaatio on suunniteltu ja toteutettu oikein. Sen sijaan, että tuotantoa rajoitettaisiin, merkittävästi liiallinen aurinkosähkön tuotanto voidaan varastoida esimerkiksi lämmitykseen tai jääh- dytykseen. Älykäs sähköverkko toimii asiakkaan ja verkkoyhtiön kanssa kaksisuuntais- tisesti. Kaksisuuntaista ovat hajautetun tuotannon myötä energian virtaus ja tiedonsiirto.

Akustoihin ei ole hajautetussa sähköntuotannossa kannattavaa investoida. Akut ovat suhteellisesti melko kalliita, ja lisäävät täten järjestelmän hankintakustannuksia. Tulevaisuudessa sähköautojen määrän kasvaessa akut voivat olla suureksikin hyödyksi. Tällöin kiinteistöjen kulutuksesta ylimääräisellä energialla voidaan mahdollisesti ladata sähköautojen akkuja. Sähköautojen akut voivat tällöin toimia hajautettuna sähkövarastona ja ne voivat tasapainottaa verkon kuormitusta.

Suomessa pitkän ja pimeän talven takia ei ole kannattavaa mitoittaa verkkoon kytkettyä aurinkosähköjärjestelmää omavaraiseksi, jos tarkoitus on palvella ympärivuotista sähkönkulutusta. Talvisin säteilyä ei ole tarpeeksi käytettävissä. Jos aurinkosähköjärjestelmä olisi mitoitettu myös talven ajaksi omavaraiseksi, voimala tuottaisi kesäisin moninkertaisesti yli tarpeen. Tosin toimistokiinteistöjen kattopinta-aloja ajatellen skenaario on mahdoton. Sähkön varastointikaan ei ole kannattavaa, koska sähkön varastointi akkujen suuren hinnan takia on kallista. Sähkökäyttöä voidaan kuitenkin optimoida tuotannon mukaan, jolloin kannattavuus paranee. Kannattavuus paranee, kun omakäyttöosuus kasvaa. Tämä onnistuu tässä kappaleessa aiemmin mainitun älykkään sähköverkon avulla.

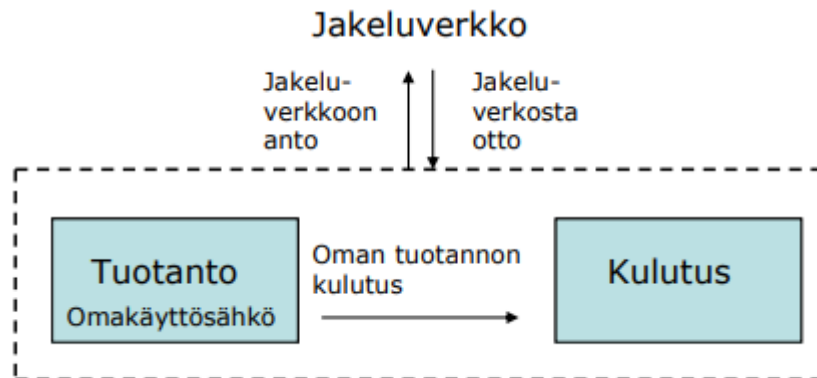
Kun aurinkosähköjärjestelmää mitoitetetaan verkkoon kytkettyihin kohteisiin, voidaan se perustaa erilaisiin lähtökohtiin. Lähtökohtia ovat pohjakulutukseen perustuva mitoitus, keskimääräinen tai enimmäiskulutus kesällä, nettonollaenergiamitoitus, energiaomavaraisuus sähkön osalta, käytettävissä oleva katto- ja seinäpinta-ala tai maapinta-ala ja järjestelmään käytettävä rahamäärä. Tässä työssä oletetaan, että käytettävää rahaa ja tarvittavaa asennuspinta-alaa on tarpeeksi. Edellisistä mitoitukseen liittyviä käsitteitä ovat kolme ensin mainittua.

Seuraavana valitaan toimistokiinteistöön järkevin mitoitusmenetelmä. Edellä mainituista kolmesta vaihtoehdoista järkevin on pohjakulutukseen perustuva mitoitus, jos oletetaan että kulutus tulee pysymään samanlaisena myös tulevaisuudessa. Kyseinen mitoitus-tapa tukee myös tämän työn periaatetta eli kaikki tuotettu sähkö käytetään itse. Keskimääräisen tai enimmäiskulutuksen kesällä mukaan ei ole hyvä vaihtoehto, koska silloin aurinkovoimala tuottaa ylijäämä sähköä, jota syötettäisiin sähköverkkoon. Tämä heikentää kannattavuutta, koska omaan käyttöön tuotettu sähkö on arvokkaampaa verrattuna sähköverkkoon syötettyyn sähkön pörssihintaan. Nollaenergiamitoitus periaate ei myöskään ole kannattavin vaihtoehto toimistokiinteistölle. Nollaenergiamitoituksen mukaan aurinkopaneelit mitoitetetaan siten, että ne tuottavat vuodessa saman verran kuin kohteessa vuodessa kulutetaan. Suomessa tämä tarkoittaisi sitä, että kesällä tuotettaisiin paljon yli omien tarpeiden ja talvella tuotanto jää vajaaksi. Pohjakulutukseen perustuva

mitoitus voidaan tehdä eri tavoilla riippuen siitä, mihin pyritään. Pohjakulutus voidaan laskea pienimmästä jatkuvasta tehontarpeesta päiväsaikaan tai yöaikaan. Näistä parempi vaihtoehto, jos halutaan mahdollisimman lyhyt takaisinmaksuaika, on mitoittaa järjestelmä päiväsaikaisen pienimmän jatkuvan tehon tarpeen mukaan. Automaation avulla yönaikaista kulutusta voidaan tavallaan siirtää päiväajalle, jolloin energiaa on enemmän saatavilla. Tämä mahdollistaa, sen että tuotettua sähköä voidaan välittömästi kuluttaa mahdollisimman paljon. Mitä enemmän saadaan tuotettua sähköä jatkuvaan käyttöön, sitä enemmän säästetään energiakuluissa. Jos aurinkosähkön mahdollinen ylijäämä-sähkö voidaan syöttää automaattisesti esimerkiksi lämminvesivaraajien vastuksiin, välttään myös akkuihin investoinnin kustannuksilta. Eriyisen hyvin pohjakulutukseen perustuva mitoitus sopii toimistokiinteistöön, koska tehon kulutus sijoittuu päiville. Tosin kyseinen oletus on vain yleispätevä toteamus, koska toimistokiinteistöjä paljon erilaisia. Tämä tarkoittaa, että kaikki yöt ja viikonloput ovat sellaisia aikoja, jolloin tehon kulutus on juuri pohjakulutuksen mukaista.

Suomessa sähköenergian kulutusta mitataan lähes aina kaikkialla tunti tasolla. Jo vuoden mittaisilla kulutustiedoilla voidaan melko hyvällä tarkkuudella selvittää tehon pohjakulutus. Kaikki alle 100 kVA nimellistehoiset tuotantolaitokset lasketaan mikrotuotantolaitoksiksi. Mittausta voidaan luotettavimmin tehdä jatkuvatoimisella tehomittarilla, joka selvittää tehon ottoa verkosta ja siihen syötetyn tehon. Käyttöpaikkaan liitetty sähkötuotantolaitos, joka on varustettu enintään 3*63 A pääsuuruusilla sulakkeilla, ei tarvitse kuin yhden tällaisen mittarin. Yli 3*63 A käyttöpaikkaan liitettyssä tuotantolaitoksessa, jossa on verkosta ottoa ja verkkoon syöttöä, sähköntuottajan tulee varustaa tuotantolaitos erillisellä mittarilla, jonka avulla määritellään oman tuotannon kulutus. Jos mitoituksesi riittää karkeampi arvio tai kiinteistössä ei ole paljoa sähköä kuluttavia laitteita, voidaan kulutus mitata laitekohtaisesti kulutusmittareilla. Karkean arvion voi tehdä myös laitteiden energiankulutus- ja tehotietojen avulla. Kun suunnitellaan uudisrakennusta, mittaustietoja ei luonnollisestikaan ole. Tällöin uudisrakennuksen kulutusta tulee verrata vastaavaan tyyppiseen rakennukseen. Vastaavuutta sitten sovelletaan ja verrataan riippuen uudisrakennuksen varustelutason energiankulutuksesta. Mittaamisesta on vastuussa verkkoon antoon ja ottoon liittyen verkonhaltija. Tämä mittari, joka mittaa verkon antoa ja ottoa kuuluu verkon haltijan omistukseen. Verkonhaltija huolehtii myös sen luennasta. Omaan kulutuksen mittaamiseen liittyen vastuu on sähkön tuottajalla. Kuvassa 7 on havainnollistettu kuvan muodossa kyseistä asiaa. Kun tuotantolaitoksen nimellisteho ylittää 50 kVA, tuotantolaitoksilla tuotetusta itse kulutetusta sähköstä tulee maksaa sähköve-

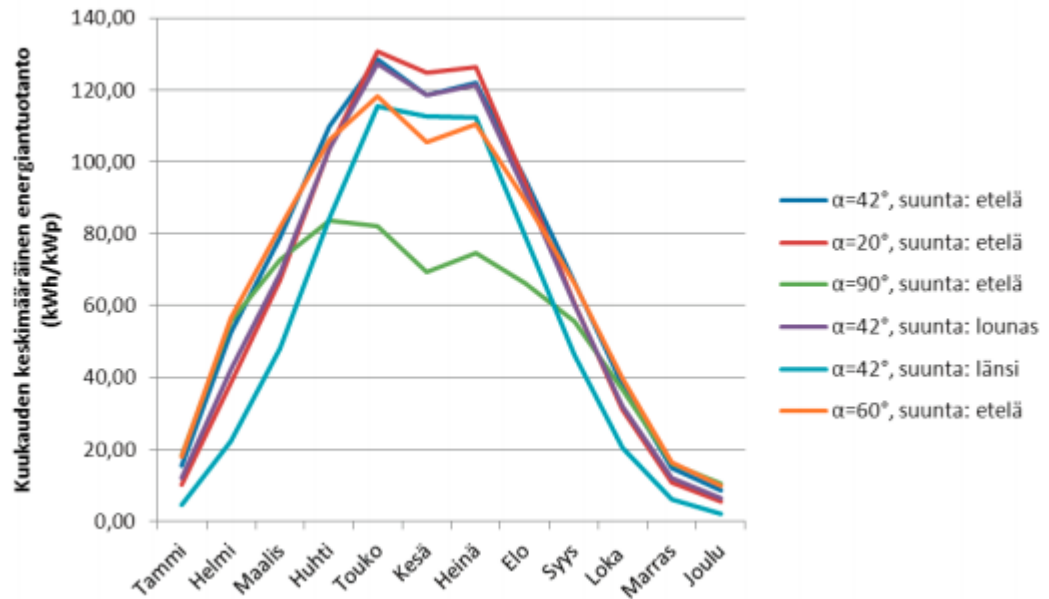
roa. Ylijäämästä, jota myydään rahaa vastaan, voidaan joutua maksamaan arvonlisäveroa. Se, että joudutaanko arvonlisäveroa maksamaan, riippuu ylijäämä sähkön määrästä. [28]



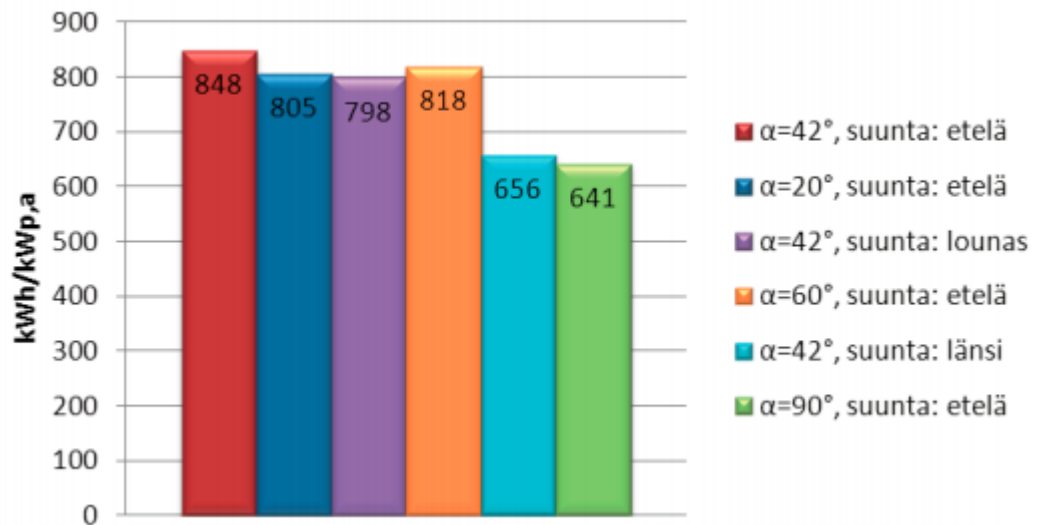
Kuva 6: Mittaamisen periaate [28].

Kuvassa 6 katkoviivoilla rajatun alueen mittaukset kuuluvat sähkön tuottajan vastuulle ja katkoviivojen ulkopuoliset verkon haltijan vastuulle. Nuolet kuvaavat energian kulku-suuntaa.

Kappaleessa 2.2 mainittiin auringon säteilyn tulokulman vaikutuksesta tehontuottoon. Tämä täytyy ottaa huomioon aurinkovoimalaa mitoitettaessa. Yleensä katoille asennettävien paneelien kulma on 20-25 astetta [29]. Vuosittainen tuotanto muuttuu asennuskulman mukaan. Samalla voidaan myös vaikuttaa tuotannon jakautumista eri kuukausille. Ei välttämättä siis ole käytännöllisintä asentaa paneeleita optimikulmaan, koska tällöin tuotanto painottuu kesälle. Tämä ei ole paras vaihtoehto, jos sähkönkulutus jakautuu vuoden mittaan eri tavalla. Myös päiväkohtaisella kulutuksella on eroja toimistokiinteistöillä. Kuvassa 8 on havainnollistettu, miten eri asennuskulmat ja valittu ilmansuunta vaikuttaa vuotuisen energiantuottoon nimellisteholtaan 1 kWp:n järjestelmällä.



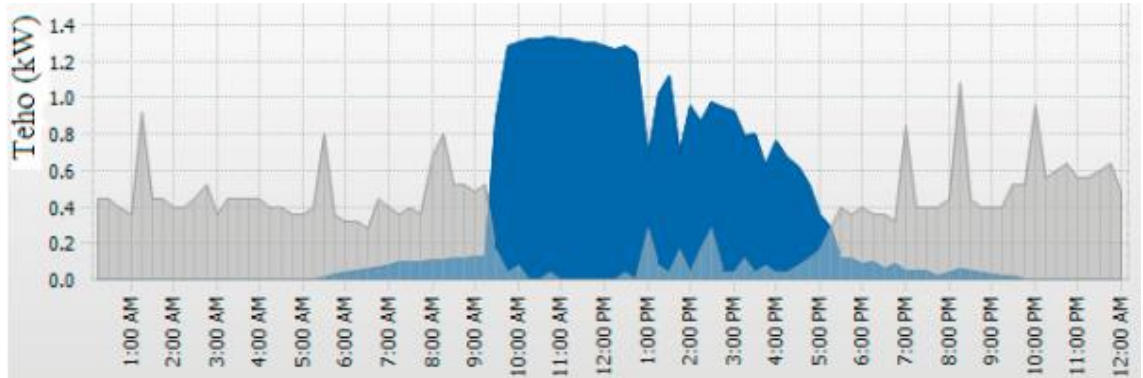
Kuva 7: Tuotannon jakaantuminen kuukausille eri asennuskulmilla ja ilmansuunnilla [29].



Kuva 8: Vuotuinen kokonaisenergiatuotanto nimellistehoa (kWp) kohden Tampe-reella [29].

Kuvista 7 ja 8 huomataan, että kulmalla on prosentuaalisesti melko suurikin vaikutus kokonaistuotantoon. Pystysuuntaan asennetut paneelit hyödyntävät säteilyä paremmin talvisin, mutta heikommin kesällä. Kaikki alle 42 asennuskulmassa olevat paneelit painottavat tuotantonsa kesälle, ja aiheuttavat siten mahdollisesti runsaasti ylijäämäsähköä tai antavat mahdollisuuden hyödyntää sitä jäähdityksessä. Tämän takia yksinään edel-

listen kuvien avulla ei voida kuitenkaan kertoa, miten järjestelmä tulee mitoittaa. Tarvi-
taan vielä dataa, joka ilmoittaa päivittäisen tuotannon. Kuvassa 9 on esitetty erään kiin-
teistön sähkön tuotto ja verkosta otto vuorokauden aikana.



Kuva 9: 2kW järjestelmän tuotanto ja verkosta ottama teho kesäkuussa [30].

Alla vielä taulukko 3.1, jossa on esitetty kolmen erikokoisen järjestelmän (1 kW, 1,5 kW ja 2 kW) keskimääräiset tehontuotannot valoisana aikana eri kuukausina. Järjestelmät ovat asennettu optimaalisesti eli maksimaalisen tehon tuoton mukaan. Kiinteistön pohjakuorman ollessa tiedossa, taulukosta voi katsoa paljonko siitä keskimäärin saadaan vastaamaan kulutusta kunakin kuukautena. Edellisellä sivulla mainittu asennuskulma tulee ottaa tässä kohtaa erityisesti huomioon, koska muuten pieniin kulmiin asennetuilla järjestelmillä tuotanto painottuu suuresti kesälle ja aiheuttaa ylijäämä sähköä. Kun tulkitaan edellisellä sivulla olleita kahta kuvaa ja verrataan niitä alla olevaan taulukkoon 3.1, voidaan tulkita, että esimerkiksi 500 W pohjakuormaisessa kiinteistössä 2 kW järjestelmä asennettuna optimikulmasta pienempään saattaa tuottaa ylijäämä sähköä kesäisin. Tämä johtuu siitä, että pienessä kulmassa olevien järjestelmien tuotanto painottuu kesäajalle.

Taulukko 3.1: Optimaalisesti asennetun järjestelmän valoisien aikojen keskimääräinen tehontuotto perustuen pitkän aikavälin säteilytietoihin [30].

<i>Kuukausi</i>	<i>Päivän valoisan ajan pituus (h)</i>	<i>Tuotantoteho valoisaan aikaan (W)</i>		
		<i>1 kW:n järj.</i>	<i>1,5 kW:n järj.</i>	<i>2 kW:n järj.</i>
<i>Tammikuu</i>	6,25	80	120	160
<i>Helmikuu</i>	9	194	291	390
<i>Maaliskuu</i>	11,75	217	326	435
<i>Huhtikuu</i>	14,75	248	372	496
<i>Toukokuu</i>	17,5	237	356	475
<i>Kesäkuu</i>	19,5	203	305	405
<i>Heinäkuu</i>	18,5	212	318	425
<i>Elokuu</i>	15,75	195	294	390
<i>Syyskuu</i>	13	171	257	342
<i>Lokakuu</i>	10	122	183	242
<i>Marraskuu</i>	7,25	68	102	135
<i>Joulukuu</i>	5,5	51	77	100

Tulkitaan kuvaa 9 ja taulukkoa 3.1. Kuvasta 9 huomataan, että tehontuotto vaihtelee runsaasti tuntikohtaisesti. Taulukosta 3.1 huomataan, että keskimääräinen tehontuotto vaihtelee runsaasti kuukausittain ja erikokoisten järjestelmien välillä. Taulukosta 3.1 näkyy, että 2 kW järjestelmän tuotantoteho on keskimäärin kesäkuussa 405 W, mutta kuvasta 9 näkyy, että tehontuotto on ollut päivällä puoli kymmenen ja neljän välillä suurin piirtein koko ajan yli tuplat verrattuna keskimääräiseen tehontuottoon. Huipputuotanto on ollut jopa yli kolminkertainen (1300 W) useamman tunnin. Toimistokiinteistöjen tapauksessa kannattaa hyödyntää tietysti molempia eli taulukkoa ja kuvaa. Toimistokiinteistöjen tehonkulutuksen painottuessa päiväajalle, kannattaa päiväkohtaista tietoa hyödyntää aurinkosähköjärjestelmän koon mitoituksessa ja asennuskulman määrittämisessä. Optimaalista toimistokiinteistöjen suhteesta aurinkosähköjärjestelmään tekee se, että suurin osa kulutuksesta liittyy lämmitykseen ja ilmastointiin. Näistä kahdesta enemmän energiaa kuluttavaa on ilmastointi tai huoneilman viilennys. Viilennystä tarvitaan enimmäkseen kesäisin, jolloin myös tehontuotanto on huipussaan. Kulutuksen määräkin on yleensä sen verran suurta, että ylijäämäsähköä ei synny, eikä sitä siksi tarvitse syöttää verkkoon. Tämän takia aurinkosähköjärjestelmällä toimistokiinteistöissä mitoittamalla se oikein, voidaan tehdä suuriakin säästöjä sähkölaskuissa.

Paneelit voidaan kytkeä kiinteistön sähköverkkoon yksi- tai kolmivaiheisesti. Valinta riippuu järjestelmän nimellistehosta. Yksivaiheiselle kytkennälle maksitehoraja on 3,68 kVA ja suurin sallittu etusulake on 16 A. Yleensä aurinkosähköjärjestelmän maksimiteho yksivaiheiselle, joka on kytketty 16 A sulakkeisiin, saa olla noin 3 kW. Kolmivaiheiselle

vastaavalla maksimiteho saa olla noin 11 kW. Kun mietitään valintaa, kustannusten kautta saadaan siihen vastaus. Pienimmät kolmivaiheinvertterit ovat yleensä noin 5 kW, ja jos halutaan kytkeä paneelit kolmivaiheisesti, jokaiselle vaiheelle tarvitaan oma invertteri. Tämä aiheuttaa runsaasti lisäkustannuksia. On ilmiselvää, että mitä pienempi invertterikoko on ja mitä vähemmän inverttereitä on lukumäärällisesti, sitä vähemmän kustannuksia syntyy. Toimistokiinteistöjen tapauksessa valinta riippuu kiinteistön koosta ja sitä kautta tietysti myös nimellistehosta. Kun sähköasentaja kytkee paneeleita verkkoon, voidaan vaiheistus järjestellä niin, että samalla vaiheella on mahdollisimman paljon pohjakuormaa. Tämä johtuu siitä, että mittauksia tehdään yksi vaihe kerrallaan ja tällöin voidaan joutua tilanteeseen, jossa yksivaihe syöttää ylijäämää verkkoon ja kaksi muuta ottavat sähköä verkosta. Kolmen vaiheen kuormien ero ei saa kuitenkaan olla liian suuri, koska vaiheiden välinen epäsymmetria aiheuttaa sähköön laadun heikkenemistä.[31]

4. AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUS

Aurinkosähkön kannattavuudessa suurimpia huolenaiheita ja esteitä ovat epävarmuus tuotannon riittävydestä ja suurista investointikustannuksista. Ajan kuluessa ja mitä lähemmäs nykypäivää ollaan tultu, sitä enemmän investointikustannukset laskevat ja sähkön ostohinnat kasvavat. Myös valtiollisia ohjauskeinot ovat vaikuttaneet kannattavuuteen. Yksi hyvä esimerkki on tuotanto- ja investointituet. Markkinapuolen lisäksi teknologia puolellakin päästään jatkuvasti eteenpäin. Tässä työssä taloudellisen tarkastelun on tarkoitus keskittyä sähkön hintojen vaihteluun viime vuosikymmenellä ja kannattavuuteen kannattavuuslaskelmien muodossa.

Aurinkosähköjärjestelmästä kuluja tulee enimmäkseen kiinteistä pohjakuluista. Kiinteitä pohjakuluja tulee esimerkiksi kaikista tarvittavista laitteista, asennukseen liittyvistä töistä ja pääomakuluista. Jos aurinkovoimala asennetaan uuteen rakennukseen, voidaan asennuskuluissa säästää jonkin verran suhteessa jo olemassa olevan rakennukseen asennuksessa. Muita kuluja aurinkovoimaloihin tulee melko vähän. Muita kuluja tulee ainoastaan ylläpitokustannuksista ja sähkön kuluttajahinnasta eli sähköenergian ja sähkön siirron ostohinnasta veroineen. Ylläpitokustannuksia tulee vain n. 15 vuoden välein vaihdettavasta invertteristä ja huoltotarkastuksista. Paneelit sen sijaan ovat melko pitkäikäisiä. Niiden komponentit kestävät noin 30-40 vuotta, kunhan esimerkiksi paneelit muistetaan välillä puhdistaa lumesta ja liasta. [32]

4.1 Kannattavuuden laskentamenetelmät

Investointilaskelmien tarkoituksena on selvittää, kuinka tuotot ja kustannukset ajallisesti sijoittuvat sekä kauanko pääoma on sidottuna investointiin. Erilaisia yleisimpiä investointilaskentamenetelmiä on viisi. Niitä ovat takaisinmaksuaikamenetelmä, nykyarvomenetelmä, sisäisen korkokannan menetelmä, annuiteettimenetelmä ja pääoman tuottoaste menetelmä. Tässä työssä tarkastellaan kannattavuutta ensimmäisen menetelmän avulla eli takaisinmaksuaikamenetelmän avulla, koska se on yksinkertainen ja helposti ymmärrettävä. [33]

4.1.2 Takaisinmaksuaikamenetelmä

Takaisinmaksuajan menetelmän avulla lasketaan, kuinka kauan kestää, että investoinnin yhteenlasketut nettotuotot maksavat investoinnin takaisin eli ylittävät perushankintakustannukset. Takaisinmaksuajan laskentakaava on yksinkertainen. Se lasketaan niin, että hankintakustannukset jaetaan vuotuisella nettotuotolla. Vastaukseksi saadaan, kuinka monta vuotta kuluu, että nettotuotot saavuttavat perushankintakustannukset. Menetelmä ei ota huomioon takaisinmaksuajan jälkeisiä tuottoja eli se ei kerro kuitenkaan investoinnin kokonaistuottoja. Takaisinmaksumenetelmä ei myöskään ota huomioon rahan aika-arvoa, korkoa eikä tuottovaatimusta. Tässä työssä menetelmän negatiiviset puolet eivät kuitenkaan haittaa, koska investoinnilla ei ole erityistä tuottovaatimusta ja rahoituksesta ei synny kustannuksia enää investoinnin jälkeen, koska lähtökohtana on, ettei käytetä ulkopuolista rahoitusta. Aurinkovoimalaan investointi ja takaisinmaksuaikamenetelmä eivät sovi kovin hyvin yhteen, koska takaisinmaksuaikamenetelmä pitää edullisina sellaisia investointeja, jotka kerryttävät pääoman nopeasti takaisin. Aurinkovoimaloilla takaisinmaksuajat ovat nimittäin usein jopa yli kymmenen vuotta. Menetelmää kuitenkin käytetään tässä työssä, koska se on hyvin yksinkertainen tapa laskea kannattavuutta. [34]

4.1.3 Laskennassa käytettävät skenaariot ja lähtöarvot

Tässä kappaleessa esitellään erilaisia skenaarioita sähkön hinnan noususta ja mihin käytettävät hinnat perustuvat. Näiden lisäksi oletetaan investointien pitoaikojen ja aurinkosähköjärjestelmän käyttöiän olevan 30 vuotta. Tämä oletetaan menevän siten, että ensimmäiset 5 vuotta järjestelmä toimii nimellistehollaan, vuosien 6-10 välillä 90 %, vuosien 11-25 välillä 80 % ja viimeiset 5 vuotta 70 % nimellistehostaan. Kannattavuuteen liittyy myös ohjeellinen tukitaso, jonka yritys/yhteisö voi saada investoinnilleen. Kyseinen tuki on ollut 1.5.2019 lähtien 20 % investoinnista. [35]

Työssä käytettävät hinnat perustuvat kotimaisten yritysten tarjoamiin hintoihin. Hinnat esitetään kahdella eri tavalla, joita ovat järjestelmien hinta asennuksen kanssa ja ilman. Hinta asennuksen kanssa on tarkoitus kuvata skenaariota, jossa aurinkovoimala asennetaan jo olemassa olevaan rakennukseen. Ilman asennusta kuvaavan hinnan on tarkoitus kuvata skenaarioita, jossa rakennetaan uutta rakennusta. Oletus tehdään sen perusteella, että ajatellaan aurinkovoimalan asennuksen kuuluvan uuden rakennuksen rakennushintaan eikä itse aurinkovoimalaan. Jokaisessa laskussa on oletettu, että kaikki tuotettu sähkö käytetään itse. Taulukossa 4.1 on esitetty erilaisia hintoja eri kokoisille

aurinkosähköjärjestelmille. Toimistokiinteistöjen koot voivat vaihdella runsaasti, joten tarkastellaan kokoluokkia 1-50 kW.

Taulukko 4.1: Aurinkosähköjärjestelmän hankintahinta asennettuna ja ilman [36].

Järjestelmän koko	Järjestelmän hinta asennettuna	Järjestelmän hinta asentamattomana
1 kW	1,9 €/W	1,6 €/W
3 kW	1,6 €/W	1,4 €/W
6 kW	1,4 €/W	1,2 €/W
10 kW	1,3 €/W	1,1 €/W
20 kW	1,2 €/W	1 €/W
50 kW	1,0 €/W	0,9 €/W

Tarkasteltavia skenaarioita on viisi erilaista. Eri skenaarioiden on tarkoitus havainnollistaa, miten sähkön hinnan muutokset vaikuttavat kannattavuuteen. Sähkön hinnat nousivat noin 4 % vuodessa 2010-luvulla. [37] Tätä kasvuprosenttia sovelletaan yhdessä skenaarioista. Taulukossa 4.2 esitetty erilaiset skenaariot sähkön hintoja tarkastellessa.

Taulukko 4.2: Sähkön hinnan kehittymisen skenaariot.

skenaario 1	sähkön hinta pysyy samana
skenaario 2	sähkön hinta kasvaa 1 % vuodessa
skenaario 3	sähkön hinta kasvaa 2 % vuodessa
skenaario 4	sähkön hinta kasvaa normaalissa tahdissa eli 4 % vuodessa
skenaario 5	sähkön hinta laskee 2 % vuodessa

Skenaariossa 1 oletetaan, että sähkön hinta pysyisi nykyisellään. Tämä on epätodennäköinen vaihtoehto, mutta kuitenkin hyvä vertaus toisiin skenaarioihin. Skenaariot 2 ja 3 ovat myös hyviä vertauksia siihen, miten paljon prosentinkin vaihtelu sähkön hinnoissa vaikuttaa kannattavuuteen. Skenaario 4 kuvaa tämänhetkistä normaalia vuosittaista kasvua, joka on viimeisen kymmenen vuoden ajan ollut noin 4 %. Viides skenaario kuvaa tilannetta, jossa sähkön hinnat laskevat.

Seuraavaksi tehdään kannattavuuslaskelmia kolmeen erikokoiseen toimistokiinteistöön. Mihinkään kohteista ei asenneta akustoja, koska tässäkin työssä tultiin siihen johtopäätökseen, että ne eivät ole kannattavia suhteellisesti korkean hintansa takia. Kaikkien kohteiden järjestelmät ovat myös mitoitettu niin, etteivät ne tuota lainkaan ylijäämäsähköä ja

ne ovat verkkoon kytkettyjä. Tämä johtuu siitä, että aikaisemminkin tässä työssä todettiin vain omaan käyttöön tuotetun sähkön olevan järkevin vaihtoehto. Jokaisen kohteen kohdalla oletetaan, että sähkön hinta on 0,14 €/kWh. Sähkön hinta kasvaa tämän jälkeen aikaisemmin mainittujen erilaisten skenaarioiden mukaan. Taulukossa 4.3 on esitettyinä kyseiset hintojen kehitykset.

Taulukko 4.3: Sähkön hintojen kehitys eri skenaarioilla.

vuosi	senttiä / kWh							
	1	2	5	10	15	20	25	30
skenaa- rio 1	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
skenaa- rio 2	14,0	14,1	14,6	15,3	16,1	16,9	17,8	18,7
skenaa- rio 3	14,0	14,3	15,2	16,7	18,5	20,4	22,5	24,9
skenaa- rio 4	14,0	14,6	16,4	19,9	24,2	29,5	35,9	43,7
skenaa- rio 5	14,0	13,7	12,9	11,7	10,6	9,5	8,6	7,8

Skenaarioiden välillä on eroja melko runsaasti, mitä pidemmälle ajassa mennään. Esimerkiksi sähkön hinta 30 vuoden kuluttua 4 %:n vuosikasvulla verrattuna 0 %:n vuosikasvuun on jopa kolminkertainen. Näin suuri kasvu tosin on hyvin epätodennäköistä. Kahden prosentin vuosittaisella sähkön hinnan laskulla, hinta lähes puolittuu nykytilanteeseen nähden.

4.2 Takaisinmaksuaika 1 kW järjestelmälle

Ensimmäisenä tehdään laskelmat pienen 1 kW järjestelmän kannattavuudesta. Jokaisessa laskelmassa oletetaan, että 30 vuoden aikana invertteri joudutaan vaihtamaan kerran. Invertterin vaihdosta syntyy kustannuksia hankinta- ja asennushinnan lisäksi eri määrä, riippuen järjestelmän koosta. Taulukossa 4.4 on esitetty laskentoihin tarvittavat arvot.

Taulukko 4.4: 1 kW järjestelmän tiedot.

järjestelmän koko	1 kW	1 kW
asennus mukana	kyllä	ei
järjestelmän hinta	1900 €	1600 €
invertterin hinta	500 €	500 €
Nykykustannukset elinkaaren ajalta	2400 €	2100 €

Aurinkovoimalan hyötysuhteella on alenemaa. Tämän takia järjestelmän vuosittainen teho tuotto vähenee järjestelmän ikääntyessä. Hyötysuhde alenee kappaleessa 4.1.3 tehdyn oletuksen mukaisesti. Taulukossa 4.5 on esitetty hyötysuhteen alenemat oletetuilla väleillä.

Taulukko 4.5: Hyötysuhteen alenemat järjestelmän ikääntyessä.

järjestelmän ikä	hyötysuhteen alenema	järjestelmän teho tuotto vuodessa
1-5 vuotta	0 %	850 kWh
6-10 vuotta	10 %	765 kWh
11-25 vuotta	20 %	680 kWh
25-30 vuotta	30 %	595 kWh

Keskimäärin tuotanto laskee vuosittain 1,22238108 prosentilla. Näiden vuosittaisten teho tuottojen avulla voidaan laskea järjestelmän tuottamalle sähkölle tuotetun sähkön hinta kilowattituntia kohden. Taulukkoon 4.6 on laskettu järjestelmän kokonaishinta, joka jaetaan 30 vuoden aikana tuotetulla kokonaisteholla.

Taulukko 4.6: Sähkön hinta kilowattiatuntia kohden.

järjestelmän koko	1 kW	1 kW
asennus mukana	kyllä	ei
tuotetun sähkön hinta	0,113 €/kWh	0,099 €/kWh

Taulukosta 4.6 huomataan, että 1 kW järjestelmällä tuotetun sähkön hinta on useita sentejä halvempi kuin sähkön hinta ostettuna verkosta.

Nyt tiedetään, kuinka paljon tuotanto laskee vuosittain ja miten sähkön hinta muuttuu. Seuraavaksi voidaan laskea, kuinka paljon vuosittain saadaan säästöä. Vuosittainen

säästö on esitettyinä taulukossa 4.7. Taulukon tarkoituksena on antaa kuva siitä, miten paljon eri skenaarioilla ansaitaan säästöä.

Taulukko 4.7: Vuosittainen ansaittu säästö aurinkosähköjärjestelmällä.

	vuosittainen säästö							
vuosi	1	2	5	10	15	20	25	30
Järjestelmän vuotuinen teho tuotto (kWh)	850	840	809	761	716	673	633	595
skenaario 1	119 €	117,6 €	113,3 €	106,5 €	100,2 €	94,2 €	88,6 €	83,3 €
skenaario 2	119 €	118,8 €	117,9 €	116,5 €	115,2 €	113,8 €	112,5 €	111,2 €
skenaario 3	119 €	120 €	122,6 €	127,3 €	132,3 €	137,3 €	142,5 €	147,9 €
skenaario 4	119 €	122,3 €	132,5 €	151,6 €	173,6 €	198,5 €	227,2 €	259,8 €
skenaario 5	119 €	115,1 €	104,4 €	89,0 €	75,9 €	63,9 €	54,4 €	46,4 €

Nyt on tiedossa, minkä verran eri vuosina saadaan tuotetusta sähköstä. Näiden avulla voidaan laskea järjestelmälle takaisinmaksuajat eri skenaarioilla. Taulukkoon 4.8 on laskettu takaisinmaksuajat. Laskut on suoritettu niin, että vähennetään nettokustannuksista järjestelmän koko elinkaaren ajalta vuosittaiset säästöt. Investointi on ansaittu takaisin sinä vuonna, kun säästöt saavuttavat nettokustannukset.

Taulukko 4.8: Takaisinmaksuajat 1 kW järjestelmälle taulukoituna.

skenaario	takaisinmaksuaika
1 (asennettu)	24 vuotta (+81 €)
2 (asennettu)	21 vuotta (+41 €)
3 (asennettu)	19 vuotta (+21 €)
4 (asennettu)	17 vuotta (+131 €)
5 (asennettu)	(yli 30 vuotta)
1 (asentamaton)	20 vuotta (+23 €)
2 (asentamaton)	19 vuotta (+114 €)
3 (asentamaton)	17 vuotta (+ 50 €)
4 (asentamaton)	15 vuotta (+70 €)
5 (asentamaton)	26 vuotta (+23 €)

Takaisinmaksuajan sarakkeessa suluissa olevat rahamäärät kertovat, kuinka paljon kyseisenä vuonna säästöt ylittävät investoinnin.

4.3 Takaisinmaksuaika 10 kW järjestelmälle

10 kW järjestelmälle tarvitaan suurempi invertteri, joka maksaa enemmän kuin edelliselle 1 kW järjestelmälle. Invertterien hinnat laskevat suhteessa järjestelmän hintaan. Otetaan tässä laskuesimerkissä kuitenkin skenaario, jossa inverttereitä ei ole saatavilla normaalisti ja invertteristä joudutaan maksamaan normaalia suurempi hinta. Laskennat suoritetaan samalla tavalla kuin 1 kW järjestelmällä.

Taulukko 4.9: 10 kW aurinkosähköjärjestelmän taulukoidut tiedot.

järjestelmän koko	10 kW	10 kW
asennus mukana	kyllä	ei
järjestelmän hinta	13000 €	11000 €
invertterin hinta	7745 €	7745 €
Nykykustannukset elinkaaren ajalta	20745 €	18745 €

Taulukko 4.10: Hyötysuhteen alenemat järjestelmän ikääntyessä.

järjestelmän ikä	hyötysuhteen alenema	järjestelmän tehontuotto vuodessa
1-5 vuotta	0 %	8500 kWh
6-10 vuotta	10 %	7650 kWh
11-25 vuotta	20 %	6800 kWh
25-30 vuotta	30 %	5950 kWh

Taulukko 4.11: Tuotetun sähkön hinta kilowattiatuntia kohden.

järjestelmän koko	10 kW	10 kW
asennus mukana	kyllä	ei
tuotetun sähkön hinta	0,098 €/kWh	0,088 €/kWh

Tuotetun sähkön hinta on vielä halvempaa kuin 1 kW järjestelmällä. Järjestelmän koko vaikuttaa hankintahintaan sen verran, että suhteessa kalliimman invertterin vaihdosta aiheutuvasta kustannuksesta huolimatta tuotetun sähkön hinta halpenee entisestään.

Taulukko 4.12: Vuosittainen ansaittu säästö aurinkosähköjärjestelmällä.

vuosi	vuosittainen säästö							
	1	2	5	10	15	20	25	30
Järjestelmän vuosittainen tehontuotto (kWh)	8500	8400	8090	7610	7160	6730	6330	5950
skenaario 1	1190 €	1176 €	1132 €	1065 €	1002 €	942,2 €	886,2 €	833,0 €
skenaario 2	1190 €	1188 €	1179 €	1165 €	1152 €	1138 €	1125 €	1112 €
skenaario 3	1190 €	1200 €	1226 €	1273 €	1323 €	1373 €	1425 €	1479 €
skenaario 4	1190 €	1223 €	1325 €	1516 €	1736 €	1985 €	2272 €	2598 €
skenaario 5	1190 €	1151 €	1044 €	890 €	759 €	639 €	544 €	464 €

Taulukko 4.13: Takaisinmaksuajat 10 kW järjestelmälle taulukoituna.

skenaario	takaisinmaksuaika
1 (asennettu)	20 vuotta (+484 €)
2 (asennettu)	18 vuotta (+253 €)
3 (asennettu)	17 vuotta (+751 €)
4 (asennettu)	15 vuotta (+953 €)
5 (asennettu)	26 vuotta (+483 €)
1 (asentamaton)	18 vuotta (+588 €)
2 (asentamaton)	17 vuotta (+1110 €)
3 (asentamaton)	15 vuotta (+78 €)
4 (asentamaton)	14 vuotta (+1218 €)
5 (asentamaton)	22 vuotta (+264 €)

Suluissa olevat rahamäärät kertovat paljonko säästöä tulee lisäksi sinä vuonna, kun järjestelmä on maksanut itsensä takaisin.

4.4 Takaisinmaksuaika 50 kW järjestelmälle

Lasketaan 50 kW järjestelmälle optimaalinen skenaario. Samanlainen kuin ensimmäisessä esimerkissä ja saadaan ostettua suhteessa järjestelmän kokoon halvempi invertteri. 50 kW järjestelmälle tarvitaan invertteri, joka maksaa netistä löytyvän verkkokaupan mukaan 5990 €. [38] Laskennat suoritetaan jälleen samalla tavalla, kuin aikaisemmissa kahdessa esimerkissä.

Taulukko 4.14: 50 kW järjestelmän tiedot.

järjestelmän koko	50 kW	50 kW
asennus mukana	kyllä	ei
järjestelmän hinta	50000 €	45000 €
invertterin hinta	5990 €	5990 €
Nykykustannukset elinkaaren ajalta	55990 €	50990 €

Taulukko 4.15: Hyötysuhteen alenemat järjestelmän ikääntyessä.

järjestelmän ikä	hyötysuhteen alenema	järjestelmän tehontuotto vuodessa
1-5 vuotta	0 %	42500 kWh
6-10 vuotta	10 %	38250 kWh
11-25 vuotta	20 %	34000 kWh
25-30 vuotta	30 %	29750 kWh

Taulukko 4.16: Sähkön hinta tuotettua kilowattiatuntia kohden.

järjestelmän koko	50 kW	50 kW
asennus mukana	kyllä	ei
tuotetun sähkön hinta	0,053 €/kWh	0,048 €/kWh

Näin isolla järjestelmällä tuotetun sähkön hinta on enää puolet verrattuna 1 kW järjestelmään.

Taulukko 4.17: Vuosittainen ansaittu säästö aurinkosähköjärjestelmällä.

vuosi	vuosittainen säästö							
	1	2	5	10	15	20	25	30
Järjestelmän vuosittainen tehontuotto (kWh)	42500	41980	40460	38047	35777	33644	31637	29750
skenaario 1	5950 €	5877 €	5664 €	5327 €	5009 €	4710 €	4429 €	4165 €
skenaario 2	5950 €	5936 €	5894 €	5826 €	5757 €	5690 €	5624 €	5558 €
skenaario 3	5950 €	5995 €	6131 €	6366 €	6609 €	6862 €	7124 €	7396 €
skenaario 4	5950 €	6112 €	6627 €	7581 €	8674 €	9924 €	11353 €	12989 €
skenaario 5	5950 €	5751 €	5219 €	4451 €	3792 €	3196 €	2721 €	2321 €

Taulukko 4.18: Takaisinmaksuajat 50 kW järjestelmälle taulukoituna.

skenaario	takaisinmaksuaika
1 (asennettu)	10 vuotta (+342 €)
2 (asennettu)	10 vuotta (+2886 €)
3 (asennettu)	10 vuotta (+5568 €)
4 (asennettu)	9 vuotta (+3793 €)
5 (asennettu)	12 vuotta (+4099 €)
1 (asentamaton)	9 vuotta (+15 €)
2 (asentamaton)	9 vuotta (+2060 €)
3 (asentamaton)	9 vuotta (+4202 €)
4 (asentamaton)	8 vuotta (+1413 €)
5 (asentamaton)	10 vuotta (+638 €)

Suluissa olevat rahamäärät kertovat paljonko säästöä tulee lisäksi sinä vuonna, kun järjestelmä on maksanut itsensä takaisin. Taulukosta 4.18 huomataan, että takaisinmaksuajat ovat lähes samat riippumatta siitä, minkä skenaarion mukaan sähkön hinnat muuttuvat. Uudisrakennukseen asennettava järjestelmä on hieman halvempi kuin jo olemassa olevaan rakennukseen. Noin kymmenen vuoden takaisinmaksuaika on suhteellisen lyhyt aurinkosähköjärjestelmien tapauksissa, joten oletettavasti näin suuri optimaalisesti mitoitettu järjestelmä tuottaa huomattavia säästöjä toimistokiinteistön sähkölas-kuissa.

5. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulevaisuudessa uusiutuvat energiantuotantotavat ovat suuressa osassa. Aurinkovoima on yksi eniten kasvavista tällaisista energiantuotantotavoista ja sillä on suurin potentiaali kasvuun, koska aurinkoa voidaan pitää ehtymättömänä energialähteenä. Aurinkovoimalan hankkimisen esteenä on aikaisemmin ollut sen kannattavuus, koska hankintahinnat ovat olleet kalliita. Mitä pidemmälle tulevaisuuteen on menty, sitä halvemmaksi aurinkovoimalan hankinta on tullut. Tällä on tietysti suuri vaikutus takaisinmaksu-aikaan ja sitä kautta myös kiinnostus aurinkovoimalan hankintaa kohtaan on kasvanut. Myös yhä enemmissä määrin trendiksi tulevalla ympäristöystävällisyydellä on suuri merkitys aurinkovoimaloiden hankintaan. Toinen suuri kannattavuuteen vaikuttava tekijä on verkosta ostetun sähkön hinta. Sähkön hinta on jo pitkään ollut noin 4 %:n vuosittaisessa nousussa. Kuitenkin tulevaisuuden sähkön hintoja voi olla vaikea ennustaa.

Työn alussa perehdyttiin aurinkojärjestelmän osiin ja niiden toimintaan. Aurinkokennot muodostavat aurinkopaneeleita, jotka vastaanottavat auringosta tulevan säteilyn ja muuttavat energian hyödynnettävään muotoon. Tämän perään käsiteltiin asioita, jotka vaikuttavat tuotetun energian määrään. Todettiin, että säteilynvoimakkuus, lämpötila ja säteilyn tulokulma vaikuttavat merkittävästi tuotettuun tehoon. Teoriaosuuden ja tuottamisen perusteiden jälkeen selvitettiin, minkälaiset mahdollisuudet Suomessa on hyödyntää säteilyenergiaa. Suomessa säteilynvoimakkuus ja tulokulma eivät ole yhtä hyviä kuin Keski-Euroopassa, mutta alhaisen ympäristön lämpötilan takia paneelit eivät pääse lämpiämään ja hyötysuhde pysyy verrattain korkeana. Tärkeä huomio on myös se, että säteilyä ei Suomessa tule ainoastaan suoraan taivaalta vaan suuri osa paneelien vastaanottamasta säteilystä on hajasäteilyä. Hajasäteilyllä on merkittävä osuus vastaanotetusta kokonaissäteilystä. Samassa kappaleessa esiteltiin myös ennusteita aurinkovoiman tuotantokapasiteetista. Kapasiteetin ennustetaan nousevan monin kertaiseksi seuraavan 30 vuoden aikana.

Kappaleen 3 alussa käsiteltiin ensin lainsäädäntöä, lupa-asioita ja muita ohjeistuksia aurinkosähköjärjestelmälle. Näistä selviää, mitä asioita on hyödyllistä tietää ennen järjestelmän hankkimista. Seuraavana käsiteltiin järjestelmän mitoittamiseen liittyviä asioita. Nämä asiat ovat tässä työssä keskeisimpinä tarkasteltavina asioina. Todettiin, että onärkevintä mitoittaa järjestelmä siten, että kaikki tuotettu teho käytetään itse ilman varastointia. Tämä johtuu siitä, että tuotetusta ja verkkoon myydystä sähköstä ei saada tar-

peeksi korvausta. Suurempi järjestelmä on kalliimpi ja ylimitoitettun järjestelmän ja optimaalisesti mitoitettun järjestelmän hintaero on suurempi kuin verkkoon myydyllä sähköllä voitaisiin saavuttaa. Mitoittamiseen liittyy selvitys siitä, miten mitoittaminen tapahtuu ja millä periaatteella mitoitus halutaan tehdä. Toimistokiinteistöissä sähkön käyttö on ympäri vuotista, mutta käyttö painottuu selkeästi päiville. Mitoitustavaksi valittiin pohjakulutukseen perustuva mitoitus juuri aikaisemmin mainitun asian takia eli ei haluta järjestelmän tuottavan ylijäämäsähköä.

Työn lopussa laskettiin takaisinmaksuajat kolmelle eri kokoiselle aurinkovoimalalle. Takaisinmaksuaikoja vertaillaessa huomataan, että järjestelmän koolla on suuri vaikutus takaisinmaksuajalle. Mitä suurempi järjestelmä hankitaan, sitä nopeammin se maksaa itsenä takaisin. Uuteen kohteen asennettavat järjestelmät ovat halvempia kuin valmiiseen rakennukseen asennettavat järjestelmät. Tämä on ilmeistä, koska työssä tehtiin oletus, että uudisrakennukseen tehtävällä asennuksella ei oteta asennushintaa mukaan. Sähköjen hinnan muutoksen vaikutukset eri skenaarioilla tekevät myös suuria vaikutuksia takaisinmaksu aikaan. Hintojen muutoksen vaikutus takaisinmaksu aikaan kuitenkin heikenee sitä enemmän, mitä lyhyempi on takaisinmaksu aika. Tämä johtuu siitä, että sähkön hinnat eivät ehdi muuttumaan niin, että eri skenaarioiden välillä tulisi huomattavasti vaikuttavia eroja. Huomattiin myös, että jos sähkön hinnat laskevat, takaisinmaksu aika pitenee huomattavasti. Taulukossa 5.1 vertaillaan takaisinmaksu aikoja eri kokoisilla järjestelmillä ja eri skenaarioilla. Taulukon on tarkoitus havainnollistaa edellä käsiteltyjä pointteja.

Taulukko 5.1: Takaisinmaksuajat eri kokoisilla aurinkosähköjärjestelmillä.

skenaario	järjestelmän koko (kW)/takaisinmaksuajat (vuotta)		
	1 kW	10 kW	50 kW
1 (asennettu)	24	20	10
1 (asentamaton)	20	18	9
2 (asennettu)	21	17	10
2 (asentamaton)	19	15	9
3 (asennettu)	19	14	10
3 (asentamaton)	17	18	9
4 (asennettu)	17	17	9
4 (asentamaton)	15	15	8
5 (asennettu)	-	26	12
5 (asentamaton)	26	22	10

Järjestelmien takaisinmaksuajat ovat laskettu ilman, että mahdollista energiatukea on otettu huomioon. Jos energiatuki myönnetään yrityksen investoinnille, takaisinmaksuajat lyhenevät entisestään melko runsaasti, koska energiatuki on jopa 20 % investoinnista. Jokaisen lasketun esimerkin kohdalla ilmeni selkeästi, että tulevaisuudessa aurinkosähköjärjestelmän hankinta on järkevä investointikohde. Järjestelmien hankintahinnat laskevat jatkuvasti ja verkosta ostetun sähkön hinta kasvaa.

LÄHTEET

- [1] SpacePlace. (22.4.2020). *How long will the sun shine?* Haettu 9.2.2021 osoitteesta SpacePlace: <https://spaceplace.nasa.gov/sun-age/en/>
- [2] Ilmasto-opas. [Verkkosivu]. *Suomessa käytetään paljon uusiutuvaa energiaa.* Haettu 9.2.2021 osoitteesta Ilmasto-opas: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/0bd05ecc-8c68-4fb6-a6e9-2c4ad90d577d/suomessa-kaytetaan-paljon-uusiutuvaa-energiaa.html>
- [3] LUT University. (27.2.2019). *Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa.* Haettu 10.2.2021 osoitteesta LUT University: https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa
- [4] Fortum. [Verkkosivu]. *Aurinkoenergia-ehytymätön energianlähde.* Haettu 10.2.2021 osoitteesta: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/energiantuotantomme/aurinkoenergia-ehytymaton-energianlahde>
- [5] Svarc, J. (20.3.2020). *Solar panel Construction.* Haettu 11.2.2021 osoitteesta Clean Energy Rewievs: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>
- [6] Gemenergy. [Verkkosivusto]. *What are the main components of a solar energy system?* Haettu 11.2.2021 osoitteesta Gemenergy: <https://gemenergy.com.au/what-are-the-main-components-of-a-solar-energy-system/>
- [7] Aalam, H. (28.4.2016). *Maatilansähköomavaraisuuden kehittäminen.* Haettu 26.2.2021 osoitteesta Theseus: <https://docplayer.fi/54956310-Mautilan-sahkoomavaraisuuden-kehittaminen.html>
- [8] Aurinkorakennus. (25.4.2020). *Aurinkokennot ja moduulit.* Haettu 26.2.2021 osoitteesta Aurinkorakennus: https://www.aurinkorakennus.fi/wp-content/uploads/Product_presentation_FIN.pdf
- [9] Wiles-Purdue, K. (19.11.2019). *'Two-Faced' Solar cells generate a lot more power.* Haettu 26.2.2021 osoitteesta Futurity: <https://www.futurity.org/bifacial-solar-cells-panels-power-2237612/>

- [10] Weimar, N. (19.7.2011). *A guide to mounting racks for solar panels*. Haettu 12.2.2021 osoitteesta Sinovoltaics: <https://sinovoltaics.com/solar-basics/a-guide-to-mounting-structures-for-solar-panels-pv/>
- [11] ABB. (30.11.2012). *The role of DC switch disconnectors in solar PV systems*. Haettu 12.2.2021 osoitteesta: <https://www.ee.co.za/wp-content/uploads/legacy/Vector%202012/the%20role%20of%20dc.pdf>
- [12] Fallon Solutions. [Verkkosivusto]. *What is a solar inverter and how does it work?* Haettu 13.2.2021 osoitteesta Fallon Solutions: <https://www.fallonsolutions.com.au/solar-power/information/what-is-a-solar-inverter-and-how-does-it-work>
- [13] Durrenberger, M. (15.2.2021). *Different Types of Utility Meters for Solar*. Haettu 14.2.2021 osoitteesta New England Clean Energy: <https://newenglandcleanenergy.com/energymiser/2017/02/15/different-types-of-utility-meters-for-solar/>
- [14] Unbound Solar. (22.3.2021). *Generator Sizing Guide for Off-Grid Solar systems*. Haettu 16.2.2021 osoitteesta Unbound Solar: <https://unboundsolar.com/blog/generator-sizing-guide>
- [15] Svarc, J. (10.3.2020). *MPPT Solar Charge Controllers Explained*. Haettu 11.2.2021 osoitteesta Clean Energy Rewievs: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/mppt-solar-charge-controllers>
- [16] Renogy. (23.12.2019). *What is the difference between MPPT and PWM Charge Controllers?* Haettu 12.2.2021 osoitteesta Renogy: <https://www.renogy.com/blog/what-is-the-difference-between-mppt-and-pwm-charge-controllers/>
- [17] Karttunen, H. [Verkkosivusto]. *Maan rata*. Haettu 12.2.2021 osoitteesta Astro Utu: <http://www.astro.utu.fi/zubi/earth/orbit.htm>
- [18] Suntekno Oy, [Verkkosivusto]. *Paneelit*. 6 s. Haettu 13.2.2021 osoitteesta Suntekno: <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>
- [19] Suntekno Oy, [Verkkosivusto]. *Paneelit*. 8 s. Haettu 13.2.2021 osoitteesta Suntekno: <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>
- [20] Motiva. (5.8.2020). *Auringonsäteilyn määrä Suomessa*. Haettu 18.2.2021 osoitteesta Motiva: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa

- [21] Energiavirasto. (18.6.2020). *Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti jatkoi kasvuaan vuonna 2019 - vuosikasvua 64 prosenttia*. Haettu 18.2.2021 osoitteesta Energiavirasto: <https://energiavirasto.fi/-/aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-jatkoi-kasvuaan-vuonna-2019-vuosikasvua-64-prosenttia>
- [22] TEM. (22.2.2019). *Sähköntuotannon skenaariolaskelmat vuoteen 2050*. 9 s. Haettu 18.2.2021 osoitteesta TEM: <https://tem.fi/documents/1410877/2132100/S%C3%A4hk%C3%B6ntuotannon+skenaariolaskelmat+vuoteen+2050+%E2%80%93selvitys+22.2.2019/8d83651e-9f66-07e5-4755-a2cb70585262/S%C3%A4hk%C3%B6ntuotannon+skenaariolaskelmat+vuoteen+2050+%E2%80%93selvitys+22.2.2019.pdf>
- [23] Motiva. (5.8.2020). *Ennen järjestelmän hankintaa*. Haettu 19.2.2021 osoitteesta Motiva: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa
- [24] L 9.8.2013/588. Sähkömarkkinalaki.
- [25] Motiva. (5.8.2020). *Turvallisuus*. Haettu 20.2.2021 osoitteesta Motiva: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/lainsaadanto_ja_muu_ohjaus/turvallisuus
- [26] Paavola, M. (5.12.2012). [Diplomityö]. 57 s. Haettu 27.2.2021 osoitteesta Motiva: https://www.motiva.fi/files/10884/Verkkoon_kytettyjen_aurinkosahkojarjestelmien_potentiaali_Tampereella_Minna_Paavola_Diplomityo.pdf
- [27] Lännenomavoima. [Verkkodokumentti]. *Aurinkosähköopas*. 11 s. Haettu 27.2.2021 osoitteesta Lännenomavoima: <https://lannenomavoima.fi/files/sites/2154/aurinkos-hk-opas-lov.pdf>
- [28] Lehto, I. (28.2.2013). *Tekninen liite enintään 50 kVa tuotantolaitoksia koskevat tekniset vaatimukset*. 3 s. Haettu 27.2.2021 osoitteesta Energiateollisuus: https://flocker.com/files/sites/1780/tekninen_liite_enintaan_50_kva_tuotanto.pdf
- [29] Lännenomavoima. [Verkkodokumentti]. *Aurinkosähköopas*. 6 s. Haettu 27.2.2021 osoitteesta Lännenomavoima: <https://lannenomavoima.fi/files/sites/2154/aurinkos-hk-opas-lov.pdf>

[30] Lännomavoima. [Verkkodokumentti]. *Aurinkosähköopas*. 9 s. Haettu 27.2.2021 osoitteesta Lännomavoima: <https://lannomavoima.fi/files/sites/2154/aurinkos-hk-opas-lov.pdf>

[31] Lännomavoima. [Verkkodokumentti]. *Aurinkosähköopas*. 10 s. Haettu 27.2.2021 osoitteesta Lännomavoima: <https://lannomavoima.fi/files/sites/2154/aurinkos-hk-opas-lov.pdf>

[32] Motiva, (5.8.2020). *Aurinkopaneelien tekninen elinikä*. Haettu 1.3.2021 osoitteesta Motiva: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho

[33] Neilimo, K., & Uusi-Rauva, E. Johdon laskentatoimi. 6. painos. Helsinki 2005. Edita Prima Oy. 366 s.

[34] Yritystulkki. [Verkkosivusto]. *Takaisinmaksuajan menetelmä*. Haettu 1.3.2021 osoitteesta Yritystulkki: <https://www.yritystulkki.fi/fi/alue/joe/aloittava-yrittaja/suunnittelu/talousuunnitelmat/investoinninkannattavuus/>

[35] Motiva. (5.8.2020). *Sähköverkkoon kytketty toimistorakennus – vaihtosähkö*. Haettu 9.3.2021 osoitteesta Motiva: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/jarjestelman_kannattavuus/sahkoverkkoon_kytetty_toimistorakennus_vaihtosahko

[36] Auvinen, K, & Rummukainen M. (12.5.2020). *Aurinkosähköjärjestelmien hinnat laskussa – kannattavuutta arvioitava käyttöajan puitteissa*. Haettu 26.4.2021 osoitteesta Hiilineutraalisuomi: [https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliblogi/Aurinkosahkojarjestelmien_hinnat_laskuss\(56958\)](https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliblogi/Aurinkosahkojarjestelmien_hinnat_laskuss(56958))

[37] Energiavirasto. [Verkkosivusto]. *Sähkönhintatilastot*. Haettu 1.3.2021 osoitteesta Energiavirasto: <https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot;jsessionid=1A3C2A7703040C371272191AB4710A15>

[38] FRG. [Verkkokauppa]. Haettu 8.3.2021 osoitteesta FRG: <https://frg.fi/verkkokauppa/aurinkovoima/invertterit/aurinkovoima-invertteri-50-kw/>