



Melinda Mikkonen

Sähköistetyille vapaa-ajan asunnolle soveltuvien energianlähteiden vertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

3.6.2021

Tiivistelmä

Tekijä:	Melinda Mikkonen
Otsikko:	Sähköistetyille vapaa-ajan asunnolle soveltuvien energianlähteiden vertailu
Sivumäärä:	38 sivua + 1 liitettä
Aika:	3.6.2021
Tutkinto:	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	talotekniikka
Ammatillinen pääaine:	sähköinen talotekniikka
Ohjaajat:	lehtori Osmo Massinen

Tämä insinöörityö tehtiin yksityishenkilölle, ja sen tarkoituksena oli tutkia mahdollisia tuottaa sähköenergiaa vapaa-ajan asunnolle oman pienvoimalan avulla sekä pienentää muilla keinoin lämmityksestä aiheutuvaa sähkönkulutusta. Tavoitteena oli selvittää, mitä asioita eri järjestelmien hankinnan yhteydessä tulisi ottaa huomioon, ja olisiko muutosten tekeminen taloudellisesti kannattavaa.

Sähkömarkkinalain pientuotantoa koskevien uusien muutosten myötä sähkön pientuotanto tulee olemaan entistä kannattavampaa myös sähköverkkoon liitetyissä kohteissa. Työssä tutkittiin, minkälaiset pienvoimalat voisivat soveltua vapaa-ajan asunnolle, jonka vuotuinen sähkönkulutus on vain tuhannen kilowattitunnin suuruusluokkaa.

Työssä vertailtiin aurinkopaneelien ja pienten tuulivoimaloiden sekä ilmalämpöpumpun ominaisuuksia ja soveltuvuutta kohteeseen. Työn tuloksena saatiin monipuolinen tietopaketti erilaisista järjestelmistä, niiden toiminnasta ja ympäristötekijöistä, sekä siitä, millaiset muutokset olisivat käytännössä kannattavia sähkö- ja lämmitysenergiään käytettyjen kustannusten pienentämiseksi.

Avainsanat: aurinkosähköjärjestelmä, tuulisähköjärjestelmä, aurinkoenergia, pientuulivoima, sähkön pientuotanto, ilmalämpöpumppu

Abstract

Author: Melinda Mikkonen
Title: Comparison of Energy Sources Suitable for Electrified Leisure Home
Number of Pages: 38 pages +1 appendices
Date: 3 June 2021

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: Electrical Building Services
Instructors: Osmo Massinen, Senior Lecturer

The purpose of this final year project was to study the possibilities of generating electrical energy for a holiday home with the help of its own small power plant and to reduce the electricity consumption caused by heating by other means. The aim was to find out what issues should be taken into consideration when purchasing various systems and whether it would be economically viable to make the required changes.

Since small-scale electricity production is to become more profitable even at sites connected to the electricity grid with the new amendments to the Electricity Market Act concerning small-scale production, the thesis investigated what kind of small power plants could be suitable for leisure housing, whose annual electricity consumption is only in the order of a thousand kilowatt-hours.

The final year project compared the properties of solar panels, small wind turbines and air source heat pumps and their suitability for the site. The project resulted in a comprehensive information package on the systems, their operation and environmental factors, as well as what changes would in practice be cost-effective to reduce the costs of electricity and heating energy.

Keywords: photovoltaic system, wind power, solar energy, small scale electricity production

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Jakeluverkkoyhtiöt ja lainsäädäntö	2
3	Energiantarpeen mitoitus	3
3.1	Vuoden 2020 sähkönkulutus	3
4	Lämmitysjärjestelmä	6
4.1	Nykytila	6
4.2	Puun polttaminen	7
4.3	Ilmalämpöpumput	8
4.3.1	Ilmalämpöpumpun toiminta	8
4.3.2	Ilmalämpöpumppujen ominaisuudet	9
4.3.3	Ilmalämpöpumpun hankinta	10
4.4	Suunnitellut muutostoimenpiteet	11
5	Aurinkosähkö	11
5.1	Aurinkopaneelin toimintaperiaate	11
5.2	Aurinkopaneelityypit	12
5.3	Auringon säteily Suomessa	15
5.4	Aurinkosähköjärjestelmä	16
5.4.1	Verkkoinvertteri	16
5.4.2	Mitoitus	17
5.4.3	Aurinkopaneelien sijoitus	18
5.4.4	Asennus	22
5.4.5	Hankintakustannukset ja takaisinmaksuaika	22
6	Tuulivoima	24
6.1	Tuulivoimalan toimintaperiaate	24
6.2	Pientuulivoimala	25
6.2.1	Vaaka-akselinen tuulivoimala (HAWT)	27
6.2.2	Pystyakselinen tuulivoimala (VAWT)	28
6.2.3	Tuuliolosuhteet	29

6.2.4	Mitoitus	29
6.2.5	Asennus	31
6.2.6	Tuulivoimalan valinta	31
7	Aurinko- ja tuulienergian optimaalinen hyödyntäminen	31
8	Sähköenergian varastointi	32
9	Yhteenveto	33
	Lähteet	35
	Liitteet	
	Liite 1: Aurinkosähkön kannattavuuslaskuri	

Lyhenteet

HAWT: *Horizontal Axis Wind Turbine*. Vaaka-akselinen tuulivoimala.

VAWT: *Vertical Axis Wind Turbine*. Pystyakselinen tuulivoimala.

SCOP: *Seasonal Coefficient of Performance*. Vuosihyötysuhde.

1 Johdanto

Sekä pienet yksittäisten kuluttajien että suuremmat pienten yhteisöjen tai kaupunkien aurinkosähköjärjestelmät ovat yleistyneet 2000-luvun alusta jatkuvasti halpenevan hintakehityksen myötä. Muusta Euroopasta jäljessä myös tuulienergiaa on alettu hyödyntämään Suomen energiantuotannossa viime vuosina aiempaa enemmän, ja vaikka tuulienergian osuus on vielä prosentuaalisesti pieni, on Suomeen suunnitteilla ja rakenteilla yli 18 000 megawatin edestä uutta tuulivoimaa. [1; 2.]

Kuluttajat ovat nyt entistä valveutuneempia ilmastonmuutoksen vaikutuksista, mikä on osaltaan kannustanut sekä yksityishenkilöitä että taloyhtiöitä ja yrityksiä rakennuttamaan omia uusiutuvan energian pienvoimaloita. Myös Suomen valtion on kansainvälisten sopimusten velvoittamana pystyttävä lähivuosina kasvattamaan merkittävästi uusiutuvan energian osuutta tuotannosta vähentääkseen kasvihuonekaasupäästöjä, ja osana tavoitetta on energian pientuotannon edistäminen, josta on säädetty EU:n sähkömarkkinadirektiivissä. Vuoden 2021 alusta voimaan tullut lakimuutos tulee kahden vuoden siirtymäajan puitteissa helpottamaan huomattavasti sekä yksityishenkilöiden että energiayhteisöjen itse tuotetun sähkön hyödyntämistä tehden siitä taloudellisesti kannattavampaa. [3; 4.]

Tässä työssä selvitetään mahdollisuuksia hyödyntää uusiutuvaa energiaa sähköverkkoon liitetyllä kesämökillä oman pienvoimalan avulla sekä vertaillaan vaihtoehtoja mahdollisimman taloudellisen ja ekologisen lämmitysenergian tuottamiseksi. Kohteena on Etelä-Suomessa Raaseporin kunnassa sijaitseva vuonna 1970 valmistunut kesämökki, joka on vuotta myöhemmin liitetty sähköverkkoon. Pääasiallisena lämmityslähteenä mökillä on käytetty puutakkaa ja irrallisia pistorasiaan liitettäviä öljypattereita. Mökki on ollut käytössä pääsääntöisesti kesäkaudella, mutta satunnaisesti siellä on oleskeltu myös talvella. Työssä vertaillaan erilaisten vaihtoehtojen soveltuvuutta kohteeseen ja pohditaan, mihin

muutoksiin kannattaisi investoida huomioiden uudet sähkömarkkinalain pientuotantoon kannustavat muutokset.

2 Jakeluverkkoyhtiöt ja lainsäädäntö

Sähkömarkkinalaki on muuttumassa, ja nyt on aiempaa kannattavampaa rakentaa oma pienvoimala myös jo sähköverkkoon liitettyyn rakennukseen, sillä sähkölaskulla huomioidaan aiempaa kannattavammin omalla pienvoimalalla tuotetun sähkön osuus. Valtioneuvosto on hyväksynyt asetuksen sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta, ja se tuli voimaan 1.1.2021. Muutosten tarkoituksena on helpottaa energian pientuotannon hyödyntämistä kaikille osapuolille, mukaan lukien taloyhtiöt, pientalot ja maatilat. [5; 4.]

Aurinko- ja tuulivoimaloiden sähköntuotto saattaa vaihdella hetkittäin paljonkin sääolosuhteiden mukaan, mutta sähkölaitteet vaativat sähköä tasaisesti, jolloin osa sähköstä joudutaan usein ottamaan verkosta, vaikka pidemmällä ajanjaksolla tarkasteltuna omavaraisen energian määrä olisikin riittävä. Aiemmin sähkön pientuotannon ylijäämän myyminen sähköverkkoon ei ole ollut pientuottajille kovin kannattavaa, sillä lainsäädännössä ei ollut määritelty yhdenvertaisia perusteita ostetun ja myydyin sähkön mittaamiselle tai niiden välisen suhteen tarkastelujaksoille. Toisin sanoen verkosta otettua sähköä ja verkkoon tuotettua sähköä on mitattu eri pientuottajilla erityyppisillä mittareilla, ja mittaustietojen laskentatapa oston ja myynnin suhteen on ollut erilainen eri paikoissa. Heikoimassa tilanteessa pientuottajat ovat joutuneet maksamaan siirtomaksun kaikesta käyttämästään sähköstä riippumatta oman tuotannon osuudesta. [4.]

Lakimuutoksen myötä tulee käyttöön taseselvitysjakso eli mittausjakso, jonka aikana verkosta otettu sähkö ja sinne takaisin tuotettu sähkö vähennetään toisistaan eikä pientuottajan tarvitse maksaa siirtomaksuja muusta kuin oman tuotannon osuuden ylittävästä tarkastelujakson aikana käyttämästään sähköstä. Voimaan tuleva tunnin sisäinen netotus tarkoittaa, että taseselvitysjaksona on yksi tunti. Jos esimerkiksi klo 13–14 pientuottajan tuuliturbiini tuottaa

sähköenergiaa 4 kWh ja samalla aikavälillä pientuottaja käyttää itse vain 2,5 kWh, ei hänen tarvitse maksaa sähköstä mitään, vaan hän saa sähköyhtiöltään sopimuksen mukaisen korvauksen verkkoon tuottamastaan 1,5 kWh:n ylijäämästä. Jos hän käyttäisikin samalla aikavälillä 5 kWh sähköä, joutuisi hän maksamaan energia- ja siirtomaksut ainoastaan oman tuotannon ylittävältä 1 kWh:n osuudelta. [5; 4; 6.]

Fingridin Datahub-palvelun käyttöönoton siirtymisaika on 1.1.2023 mennessä, minkä jälkeen muutoksen tuomat edut ovat tarjolla kaikille suomalaisille. Kuitenkin esimerkiksi Caruna, joka on kohteena olevan kesämökin sähkönsiirtoyhtiö, tarjoaa netotuspalvelua jo nyt. [5; 4.]

Ennen sähkön pientuotannon aloittamista on tehtävä sopimukset ylijäämä-sähkön siirrosta ja myynnistä sähköverkkoyhtiön kanssa sekä sen sähköyhtiön kanssa, jolle tuotantoa aikoo myydä. Yleensä ylijäämä-sähkö myydään samalle yhtiölle, jolta ostetaan sähköä. Ylijäämä-sähkön myyntiehdossa on suuria eroja, joten sähköyhtiö kannattaa kilpailuttaa niiden pohjalta uudelleen. [7.]

3 Energiantarpeen mitoitus

3.1 Vuoden 2020 sähkönkulutus

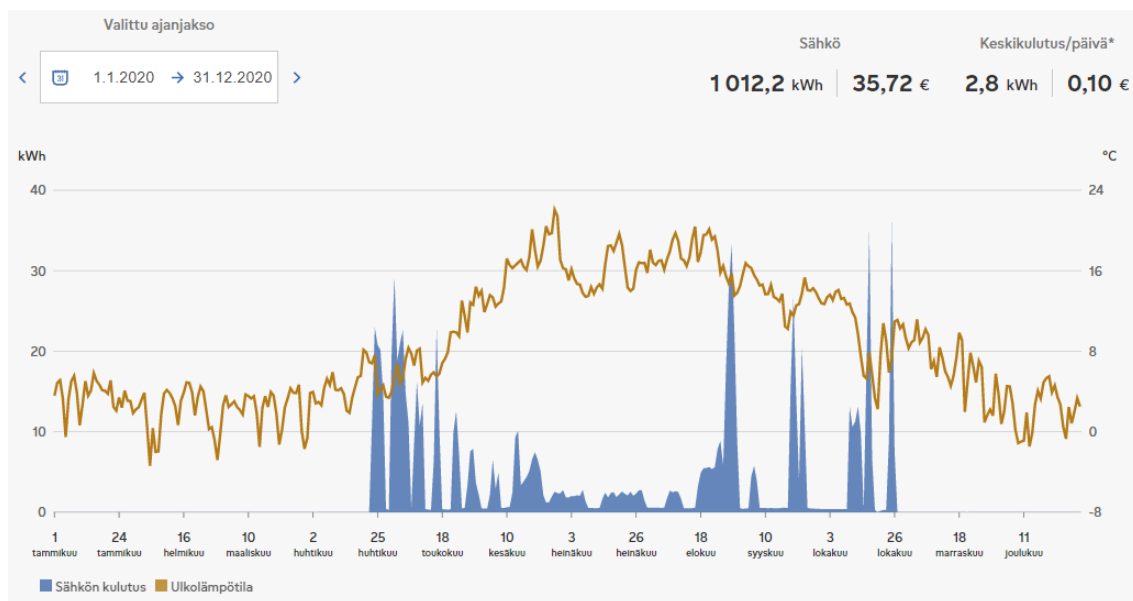
Sähköenergian tarpeen mitoituksessa voidaan hyödyntää todellista tietoa aiemmasta kulutuksesta. Edellisen vuoden toteutunut sähkönkulutus saatiin sähkönmyyjän nettipalvelusta. Taulukon 1 lukemista nähdään, että tammi-maaliskuussa ja marras-joulukuussa mökillä ei ole käyty. Tyhjillään oloajan kuukausittainen 0,4 kWh:n sähkönkulutus johtuu hiirenkarkottimesta, sillä kaikki muut laitteet ovat olleet pois päältä. [8.]

Taulukko 1. Vuoden 2020 sähkön kulutus [8].

Ajankohta	Kulutus (kWh)
tammikuu	0,4
helmikuu	0,4

Ajankohta	Kulutus (kWh)
maaliskuu	0,4
huhtikuu	110,5
toukokuu	264,5
kesäkuu	101,2
heinäkuu	55,4
elokuu	187,2
syyskuu	116,2
lokakuu	175,3
marraskuu	0,4
joulukuu	0,4

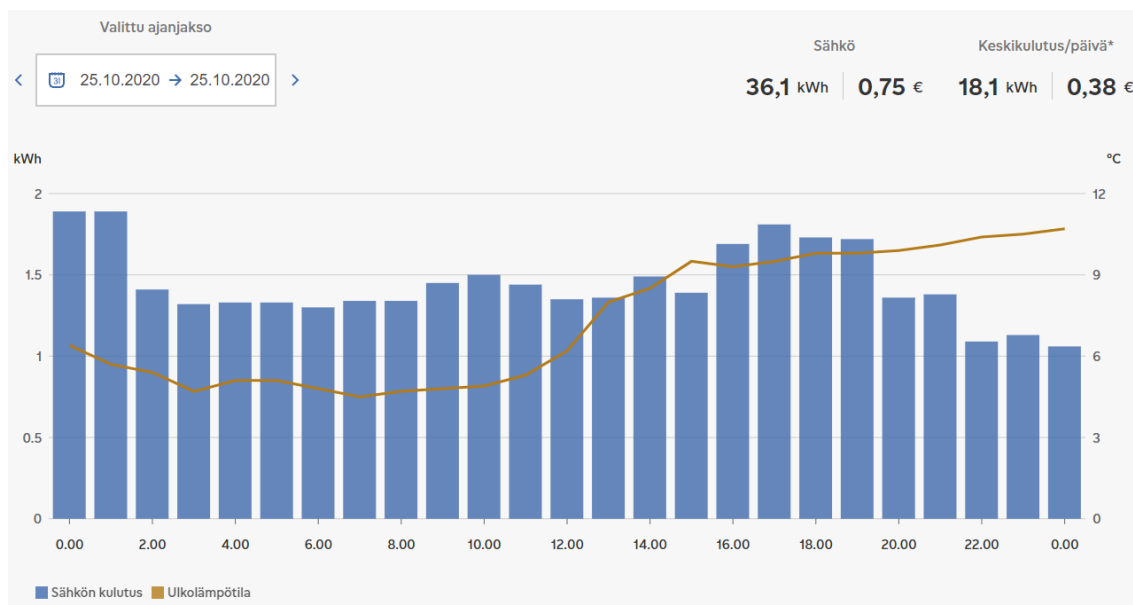
Tiedot sähkönkulutuksesta on saatavilla päiväkohtaisesti. Kuvan 1 diagrammissa on esitetty sekä sähkönkulutus että ulkolämpötila vuonna 2020. Käyrästä nähdään, että korkeimmat piikit sijoittuvat kevääseen ja syksyyn, jolloin ulkolämpötila on ollut +8°C:een alapuolella, eli lämmityksen tarve on ollut suuri. Elokuun lopussa näkyvää 33,3 kWh:n suuruista piikkiä ei tarkastelussa oteta huomioon, sillä sen ovat aiheuttaneet tontilla järjestetyt juhlat, joissa oli käytössä ylimääräisiä sähkölaitteita, jotka eivät kuulu vakiovarusteluun.



Kuva 1. Vuoden 2020 päiväkohtainen sähkön kulutus ja ulkolämpötila [8].

Vuoden 2020 korkein kulutus on mitattu 25.10. Kuvassa 2 on esitetty kyseisen päivän kulutus tunneittain, ja siitä nähdään kulutuksen olleen 1,1–1,9 kWh tunnissa. Jos tarkasteltavan tunnin aikana tapahtuvaa vaihtelua ei oteta huomioon, on maksimitehontarve vuonna 2020 ollut

$$\frac{1,9 \text{ kWh}}{1 \text{ h}} = 1,9 \text{ kW}$$



Kuva 2. Sähkön kulutus 25.10.2020 [8].

Aiempien vuosien kulutusta tarkasteltaessa on maksimikulutus ollut samaa 1,9 kWh:n luokkaa, joten tätä voidaan käyttää mitoitusarvona oman pienvoimalan suunnittelussa.

4 Lämmitysjärjestelmä

4.1 Nykytila

Päämökissä oli alun perin avotakka, joka on myöhemmin muutettu paremmin varaavaksi asentamalla takkasydän. Takka ei kuitenkaan varaa lämpöä riittävän paljon, jotta mökissä tarkenisi kylmemmillä säillä ilman tasaista puun polttamista. Keväällä ja myöhään syksyllä mökille tultaessa sisälämpötila on yleensä ulkoilmaa kylmempi, ja mökin lämmittäminen miellyttävälle tasolle pelkän takan avulla kestää tuntikausia. Lisälämmittiminä mökissä on jouduttu käyttämään pistorasiaan liitettäviä pattereita eli öljylämmittimiä. Tuvassa on yksi iso patteri ja molemmissa makuusopissa pienet patterit. Lisäksi saunamökin huoneessa on ainoana lämmönlähteenä yksi patteri.

Päämökin patterien yhteenlaskettu teho on 2 400 W, eli jos kaikki patterit olisivat päällä samaan aikaan täydellä teholla, kuluttaisivat ne yhden tunnin aikana sähköä

$$2400 \text{ W} \cdot 1 \text{ h} = 2,4 \text{ kWh}$$

Niin suurta kulutusta ei kuitenkaan Oma Fortum -palvelun kulutustietojen mukaan ole saavutettu, vaan tunnin aikana tapahtunut sähkön kokonaiskulutus on ollut maksimissaan 1,9 kWh, josta muiden kuin lämmityslaitteiden osuus on kesäajan kulutustietojen perusteella alle yhden kilowattitunnin. Öljylämmittimien maksimiteho on näin ollen ollut noin 1,8 kW.

Koska öljylämmittimet vievät suurimman osan kohteessa käytetystä sähköenergiasta, olisi tavoitteena tilanne, jossa niistä voitaisiin kokonaan luopua. Kohteen kaltaisen pienen kulutuksen kesämökin lämmitykseen soveltuvia ja hankintakustannuksiltaan kohtuullisia vaihtoehtoja ei ole kovin montaa niistä saatavaan hyötyyn suhteutettuna, joten vertailuun valittiin vaihtoehtoiksi takan muutostöiden piteet ja ilmalämpöpumppu.

4.2 Puun polttaminen

Puun polttaminen sinänsä ei ole ilmastonmuutosta kiihdyttävä teko, sillä puun kasvattaminen sitoo yhtä paljon hiilidioksidia ilmakehästä, kuin sinne puuta poltettaessa vapautuu. Puu on kotimainen uusiutuva polttoaine, ja jos puuta on vielä omalla tontilla riittävästi saatavilla, eivät sen kuljettaminen tai prosessointi aiheuta käytännössä lainkaan päästöjä. Puutakkaa tai -kiuasta käytettäessä on kuitenkin syytä kiinnittää huomiota siihen, mitä niissä polttaa ja millä tavalla. Käytetty puulaji, puun kosteus ja säilytysolosuhteet sekä puun sytytystapa ja kerralla poltettu määrä vaikuttavat siihen, kuinka puhdasta ja tehokasta palaminen on. Piipusta tulevan savun värin perusteella voidaan arvioida palamisen puhtautta. Valkoinen savu on merkki tehokkaasta palamisesta ja musta taas huonosta palamisesta ja liiasta terveydelle haitallisten pienhiukkasten määrästä.

Takassa ei saisi myöskään polttaa jätteitä niistä palaessa vapautuvien päästöjen vuoksi. [9; 10.]

Oikea varaava tulisija olisi hyötysuhteeltaan erittäin hyvä (80–85 %) ja riittäisi yksinään kattamaan koko päämökkin lämmöntarpeen [6]. Näin ollen sähkönkulutus tippuisi murto-osaan nykyisestä. Takan vaihtaminen vaatisi kuitenkin nykyisten takkarakenteiden purkua ja uusien asennusta. Hinnat riippuvat paljon kohteesta, takan tyypistä ja saadusta tarjouksesta. Takan vaihto asennuksineen tulisi joka tapauksessa maksamaan tuhansia euroja, ja investoinnin takaisinmaksuaika olisi pitkä, sillä lämmitystarve ei ole ympärivuotista.

4.3 Ilmalämpöpumput

Vaikka ilmalämpöpumppu toimii sähköllä, on se paljon ekologisempi vaihtoehto sähkölämmitykseen verrattuna, sillä tyypillisesti noin puolet sen tuottamasta lämmöstä on uusiutuvaa energiaa, jonka se kerää ulkoilmasta. Silloin puolet sen tuottamasta energiasta on myös ilmaista. Ilmalämpöpumpun hyötysuhdetta kuvataan lämpökertoimella eli SCOP-arvolla. Lämpökertoimen 2 pumppu kykenee siis tuottamaan yhden kilowatin sähköteholla kaksi kilowattia lämpötehoa. [11; 12.]

4.3.1 Ilmalämpöpumpun toiminta

Ilmalämpöpumpusta puhuttaessa tarkoitetaan useimmiten ilma-ilmalämpöpumppua, joka siirtää lämpöä ulkoilmasta suoraan huoneilmaan. Ilma-vesilämpöpumppu puolestaan siirtää lämpöä ulkoilmasta vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään ja lämmittää myös lämpimän käyttöveden. Poistoilmalämpöpumppu taas siirtää talosta poistettavan lämpimän sisäilman lämpöä vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään lämmittäen myös lämpimän käyttöveden. Kaksi viimeistä soveltuvatkin päälämmityslaitteiksi esimerkiksi pientaloihin tai suurempiin kohteisiin, joissa on vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä, ja niiden hankinta on kannattavaa vasta, jos vuotuinen kokonaisenergiankulutus ylittää

25 000 kWh. Kohteena olevalle kesämökille lisälämmittimeksi sopii ilma-ilma-lämpöpumppu. [11; 13.]

Ilma-ilmalämpöpumppu eli ulkoilmalämpöpumppu kostuu ulkoyksiköstä ja yhdestä tai useammasta sisäyksiköstä. Ulkoyksikössä on höyrystin, joka höyrystää pumpussa kiertävän nestemäisen kylmäaineen kaasuksi, johon sitoutuu samalla lämpöenergiaa. Ulkoyksikön kompressori imee noin nolla-asteisen kaasuuntuneen kylmäaineen ja puristaa sen pienempään tilaan. Tällöin kylmäaineen paine kasvaa ja lämpötila nousee noin sata-asteiseksi. Kuuma kylmäainekaasu johdetaan sisäyksikön lauhduttimeen, joka vapauttaa lämpöenergian puhaltimen kierrättämään sisäilmaan. Kylmäaineen lämpötila laskee, jolloin se muuttuu jälleen nestemäiseksi. Kylmäaine kulkee edelleen paineenalennusventtiiliin, jossa sen lämpötila laskee noin $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$:een ennen paluuta takaisin höyrystimeen. [11].

4.3.2 Ilmalämpöpumppujen ominaisuudet

Ilma-ilmalämpöpumppu on täydentävä lämmitysjärjestelmä ja vaatii yleensä rinnalleen päälämmitysjärjestelmän, sillä sen suorituskyky laskee ulkoilman lämpötilan laskiessa. Ilma-ilmalämpöpumpun lämpökerroin on yleensä huono ulkoilman lämpötilan laskiessa $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$:n alapuolelle. Ominaisuuksissa on kuitenkin paljon eroja, ja tehokkaimmat uudet pumput voivat toimia kovillakin pakkasilla jopa ainoana lämmönlähteenä. Sellaisiin kohteisiin, joissa tarvitaan ilmalämpöpumppua toimimaan myös alle $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$:n pakkasilla, kannattaa valita Suomen olosuhteissa testatun ja korkeamman SCOP-arvon omaava ilmalämpöpumppu. Ilmalämpöpumpun asetuksia täytyy myös osata käyttää oikein, jotta pakkasella pumpusta saadaan paras hyötysuhde. Pakkasella ei kannata käyttää automaattitiloja, vaan lämpötila tulisi asettaa manuaalisesti halutulle tasolle, sillä automaattitilassa ilmalämpöpumppu saattaa takan lämmityksestä johtuvan lämpötilan nousun aistiessaan alkaa viilentää ilmaa. Osassa ilmalämpöpumppuja on erillinen takkatoiminto, jota käytettäessä ilmalämpöpumpun sisäyksikkö vain kierrättää takan tuottamaa lämpöä ympäri sisätilaa ja ulkoyksikkö lakkaa toimimasta. [11; 13; 14; 15].

Ilmalämpöpumppu sopii erityisesti asuntoihin, joissa on avoin pohjaratkaisu, sillä väliseinät ja muut ilman vapaaseen kiertoon vaikuttavat rakenteet rajoittavat lämmön siirtymistä merkittävästi. Yksi sisäyksikkö voi tilan rakenteellisista seikoista riippuen levittää lämpöä noin 30–100 neliömetrin alueelle. Sisäyksikön asennuspaikka kannattaa valita huolellisesti siten, että lämpö saadaan levitettyä hyvin koko asuntoon. [12.]

Ilmalämpöpumpun etuihin kuuluu myös mahdollisuus viilentää huoneilmaa kuumimpina hellepäivinä. Jäähdytystä varten pumpun koneisto toimii päinvastaiseen suuntaan siten, että sisäyksikkö viilentää sisäilmaa ja ulkoyksikkö siirtää lämmön ulos. Ilmalämpöpumpun käyttämisestä myös ilman viilennykseen aiheutuisi kylläkin lisäystä sähkön kulutukseen, mutta se voitaisiin mahdollisesti kattaa omalla aurinkoenergian tuotannolla. Jäähdytystoimintoa ei kannata käyttää muulloin kuin todella kuumilla kesähelteillä, eikä sitä tulisi silloinkaan pitää päällä vuorokauden ympäri tai silloin kun asunto on tyhjänä. Liiallinen jäähdytys voi aiheuttaa turhan sähkönkulutuksen lisäksi kosteusongelmia, sillä jos talon sisäpinnat jäähtyvät liikaa, tiivistyy lämpimän ulkoilman kosteus pinnoille. [M]

Useimmissa ilmalämpöpumpuissa on ilmanlaatua parantavia lisäominaisuuksia, jotka vaihtelevat pumpun mukaan. Tällaisia ovat esimerkiksi ilmanpuhdistustoiminnot. [14].

4.3.3 Ilmalämpöpumpun hankinta

Ilmalämpöpumpun asentaminen on helppoa, eikä vaadi suuria muutoksia rakenteisiin. Asennustyöt on kuitenkin aina teetettävä kylmäainepätevyys omaavalla asentajalla, ainakin kylmäainekytken ja -käsittelyn osalta, sillä kylmäaineena käytetyt HFC-yhdisteet eli fluorihilivedyt ovat kasvihuonekaasuja, joita ei saa päästä ympäristöön. Koska asennustyö vaatii auktorisoidun kylmäasennusliikkeen, kannattaa ilmalämpöpumppu ja sen asennus tehdä kokonaishankintana, sillä kylmäasennusliikkeet eivät yleensä asenna muualta hankittuja laitteita epämääräisten takuuvastuiden rajojen vuoksi. [12; 11.]

Laadukkaiden ilmalämpöpumppujen hinnat asennettuna ovat n. 1 500–3 000 euroa. Halvempiakin vaihtoehtoja on tarjolla, mutta valinnassa on oltava tarkkana, jotta pumpun ominaisuudet soveltuvat käyttökohteeseen ja sen teho on oikein mitoitettu. [12; 11.]

4.4 Suunnitellut muutostoimenpiteet

Voidaan todeta, että nykyisen takan käyttäminen myös jatkossa ja sähkölämmittimien korvaaminen ilma-ilmalämpöpumpulla olisi kannattava ratkaisu. Ilmalämpöpumppu soveltuu kohteeseen hyvin, sillä lämmitettävä pinta-ala on pieni ja huonetila avoin. Lämpökertoimen 2 ilmalämpöpumpulla voitaisiin säästää noin puolet lämmitykseen käytetystä sähköenergiasta. Tarkkoja lukemia on kuitenkin mahdotonta arvioida etukäteen ennen ilmalämpöpumpun valintaa ja käytännön tietoa sen toimintakyvystä ja käyttöasteesta kohteessa. Liian hyvää pumppua ei kannata hankkia, sillä kohteessa harvoin oleskellaan lämpötilan ollessa pakkasen puolella.

5 Aurinkosähkö

5.1 Aurinkopaneelin toimintaperiaate

Aurinkokennot on valmistettu saostetuista puolijohdemateriaaleista. N-tyyppin puolijohteisiin on saostettu alkuainetta, jolla on enemmän elektroneja kuin puolijohteen muilla atomeilla, ja P-tyyppin puolijohteisiin taas alkuainetta, jolla on elektroneja vähemmän kuin muilla sen atomeilla. Aurinkokennon päällyskerros on N-tyyppin puolijohdetta, ja sen alla on P-tyyppin puolijohdetta. [1.]

Auringon säteilyenergian valjastaminen sähköksi perustuu valosähköiseen ilmiöön, jossa auringonsäteilyn fotonit vapauttavat N-tyyppin puolijohdemateriaaliin osuessaan elektroneja ja ylimääräiset elektronit kulkeutuvat P-tyyppin puolijohteen aukkoihin. Elektronien siirtyminen saa aikaan N-tyyppin puolijohteeseen positiivisen varauksen ja P-tyyppin puolijohteeseen negatiivisen varauksen. Negatiivista varausta kuljettavien vapaiden elektronien ja niiden jälkeensä jättämien

positiivisen varauksen omaavien aukkojen liike muodostavat kennon sisälle sähkökentän. P-puolelta N-puolelle kulkeutuvat elektronit johdetaan takaisin P-puolelle ulkoisen virtapiirin kautta, ja virtapiirissä kulkeva sähkövirta muunnetaan aurinkosähköjärjestelmän elektroniikalla sopivanmuotoiseksi virraksi. Itsenäisissä mikroverkoissa, joissa on tasavirralla toimivat sähkölaitteet, voidaan aurinkopaneelien virta ohjata suoraan lataussäätimelle, joka lataa laitteita syötäviä akkuja. Valtakunnalliseen sähköverkkoon liitetyissä aurinkovoimaloissa aurinkopaneelien tuottama virta muunnetaan verkkoinvertterillä vaihtovirraksi. [1; 16.]

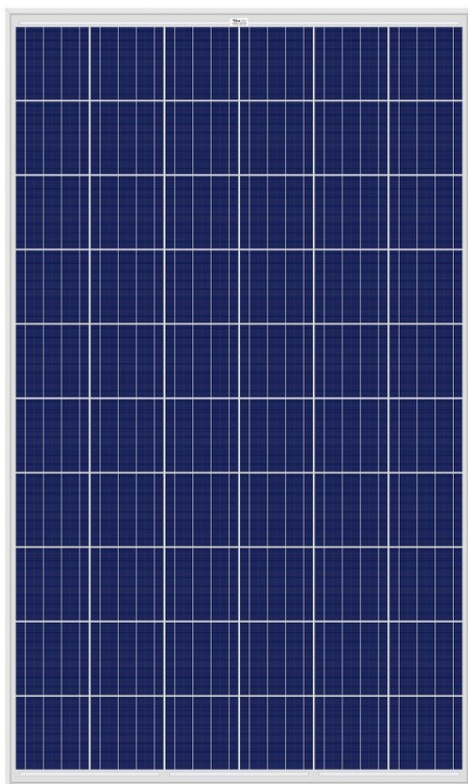
5.2 Aurinkopaneelityypit

Ensimmäisen sukupolven aurinkokennoja ovat yksi- ja monikiteiset piikennot, joista noin 90 prosenttia tällä hetkellä kaupallisessa käytössä olevista aurinkopaneeleista muodostuu. Toisen sukupolven aurinkokennoja ovat ohutkalvoaurinkokennot, jotka pystyvät keräämään hajasäteilyä kiteistä piitä tehokkaammin mutta päästävät enemmän valoa lävitseen, minkä vuoksi ne eivät sovellu sähköntuotantoon yhtä hyvin. Kolmannen sukupolven aurinkokennot ovat vielä tutkimusasteella, joten tässä perehdytään tarkemmin vain ensimmäisen sukupolven teknologiaan. [1.]

Piikennopaneeli muodostuu piikennomatriisista, eli vierekkäin ladotuista yksi- tai monikidepiikenneista, jotka on liitetty toisiinsa useimmiten sarjaan kytkennällä. Piikennomatriisi on suljettu polymeerikalvoon, ja sen alla on kerros komposiittimuovia sekä jakorasia johtoineen. Jakorasiassa paneelin kaapelit on yhdistetty piikenneista takakalvon läpi tuleviin johtimiin ja ohitusdiodeihin. Paneelin päällä on karkaistu lasi, ja paneeli on kehystetty alumiiniprofiililla, joka pitää kaikki kerrokset paikallaan ja jäykistää rakennetta sekä estää kosteuden pääsyn kerrosten väliin. [17.]

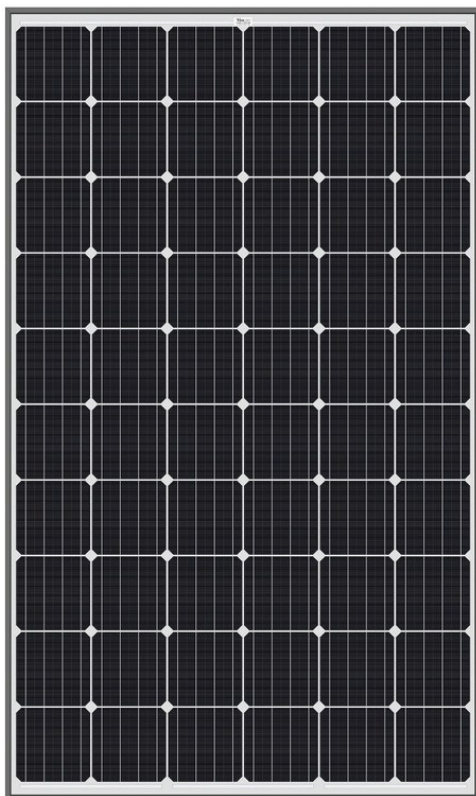
Perinteiset siniset aurinkopaneelit ovat monikidepaneeleja, jotka valmistetaan sulattamalla piikide ja valamalla siitä neliskulmaisia kennoja. Monikidekennojen muodostama ristikkokuvio näkyy kuvan 3 monikidepaneelissa. Monikiteiset

paneelit pystyvät hyödyntämään hajasäteilyä hieman paremmin kuin yksikiteiset, mutta monikidepaneelin tehontuottokyky on hieman pienempi. [18; 19.]



Kuva 3. Monikidepaneeli [20].

Yksikidepaneelit valmistetaan kokonaisesta pyöreäksi kasvatetusta piikiteestä sahaamalla siitä kiekkoja. Kiekkojen reunoista leikataan siivut pois, jotta kennot saadaan ladottua tiiviimmäksi matriisiksi. Yksikidepaneelin kennot ovat nähtävissä kuvassa 4. Yksikidepaneelien hieman parempi tehontuottokyky korostuu erityisesti kuumalla säällä, jolloin monikidepaneelien tuotto laskee yksikiteisiä enemmän. [18; 19.]



Kuva 4. Yksikidepaneeli [20].

Yksikidepaneelista kehitetyssä half-cut-paneelissa yksikideaurinkokennot on leikattu laserilla kahtia, mikä parantaa paneelin hyötysuhdetta, suorituskykyä ja kestävyyttä. Yksikidepaneeleissa on yleensä 60 tai 72 kennoa, ja näin ollen half-cut-paneelissa kennoja on 120 tai 144. Kennojen puolittaminen puolittaa myös yksittäisen kennon virran, mikä johtaa hyötysuhteen paranemiseen, sillä resistiiviset häviöt pienenevät ja hukkalämpöä syntyy vähemmän. Puolitetut kennot on ketjutettu siten, että kennon kaksi puoliskoa ovat riippumattomia toisistaan, jolloin pienet varjostumat esimerkiksi puista tai kennon päälle eksyvät roskat vaikuttavat ainoastaan varjostetun puoliskon toimintaan. Puolittamisen ansiosta myös paneelin mekaaninen kestävyys paranee, sillä pienempiin kennoihin ei tule yhtä helposti mikrohalkeamia, ja sitä kautta paneelin käyttöikä pitenee. [19; 21.]

Perinteisestä paneelista on kehitetty myös lasi-lasi paneeli, jossa kennojen päällä olevan lasin lisäksi niiden alla oleva materiaali on muovin sijaan lasia.

Lasitausta tekee paneeleista kestävämpiä ja paloteknisesti turvallisempia. Monet valmistajat lupaavat lasi-lasipaneeleille 30 vuoden takuun. [21.]

5.3 Auringon säteily Suomessa

Auringon kokonaissäteilyyn kuuluu suoraan auringosta tuleva säteily sekä hajasäteily, joka tarkoittaa ilmakehän, pilvien tai maan heijastamaa säteilyä. Suomessa merkittävä osa auringon kokonaissäteilystä on hajasäteilyä; Etelä-Suomessa sitä on noin puolet koko vuoden säteilystä. Aurinkopaneelien toiminnan kannalta ei kuitenkaan ole merkitystä, onko säteily suoraa vai hajasäteilyä.

Etelä-Suomen kokonaissäteilyn määrä vuodessa on samaa luokkaa kuin Pohjois-Saksassa, mutta Suomessa suurin osa siitä saadaan kesällä, kun taas talvella säteilyn määrä on vähäistä ja kestää vain muutaman tunnin päivässä. [1; 18.]

Ilmatieteen laitokselta on saatavissa energialaskentaa varten ilmastollisten testivuosien mittaustietoa Suomen neljälle lämpötilavyöhykkeelle. Kuvan 3 taulukossa on esitetty auringon kokonaissäteilyenergia kuukausittain Etelä-Suomessa kaikkiin pää- ja väli-ilmansuuntiin 45 astetta kallistetulle pinnalle. Tarkasteltaessa aurinkopaneelien optimisuuntaa etelää, on koko vuoden yhteenlaskettu säteilyn määrä $1\,210,9 \text{ kWh/m}^2$. Jos säteilyn määrä jakaantuisi tasaisesti kaikille kuukausille, olisi kuukausittainen keskiarvo

$$\frac{1210,9 \text{ kWh/m}^2}{12 \text{ kk}} = 101 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2, \text{kk}}$$

Heinäkuussa säteilyn määrä on kuitenkin $189,9 \text{ kWh/m}^2$ eli melkein tuplasti keskiarvon, kun taas joulukuussa se on ainoastaan $11,2 \text{ kWh/m}^2$ eli vain kymmenesosan keskiarvosta. Ainoastaan maaliskuu-syyskuun aikana saavutetaan yli 101 kWh/m^2 kuukausittainen kokonaissäteilyenergian määrä, mutta päivän pituuden laskiessa ja auringon paistaessa matalalta säteilyn määrä romahtaa. [22.]

Kuvan 5 taulukosta nähdään myös hyvin eri ilmansuuntien soveltuvuus aurinkopaneeleille. Jos paneelit asennetaan 45 asteen kulmaan kohti kaakkoa tai lounasta, päästään ympäri vuoden melko lähelle eteläsuunnan lukemia. Itään tai länteen päin kallistettuna säteilyenergian määrä on vielä kohtalaisen hyvää, ja esimerkiksi itä-länsisuuntaisille harjakatoille paneeleja voidaan asentaa molemmille puolille, jolloin päästään paljon parempaan hyötysuhteeseen.

Auringon kokonaissäteilyenergia 45 astetta kallistetulle pinnalle eri ilmansuuntiin suunnattuna vyöhykkeillä I ja II (Vantaa), kWh/m ²								
Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu
Tammikuu	5,2	5,2	6,2	10,7	13,1	10,7	6,3	5,2
Helmikuu	15,4	15,8	23,5	37,3	44,3	36,8	22,6	15,6
Maaliskuu	38,1	44,4	66,3	94,9	106,7	90,3	63,1	42,5
Huhtikuu	51,5	73,7	108,8	143,4	154,9	142,7	114,3	72,8
Toukokuu	71,8	106,9	148,9	178,3	183,0	171,8	147,3	100,3
Kesäkuu	91,9	115,2	148,0	163,6	167,6	168,4	156,1	120,2
Heinäkuu	83,0	117,4	156,1	183,6	189,8	187,5	169,1	117,6
Elokuu	60,0	87,2	123,5	150,5	152,1	136,9	113,7	78,7
Syyskuu	34,8	47,1	76,2	110,8	126,9	112,3	81,3	46,9
Lokakuu	17,1	18,1	25,6	37,2	44,3	38,7	26,9	18,5
Marraskuu	6,2	6,2	8,0	14,0	17,0	13,9	8,1	6,2
Joulukuu	3,6	3,6	4,2	8,8	11,2	9,1	4,6	3,6
Koko vuosi	478,5	640,8	895,4	1133,2	1210,9	1119,1	913,3	628,1

Kuva 5. Auringon kokonaissäteilyenergia 45 astetta kallistetulle pinnalle vyöhykkeillä I ja II [22].

5.4 Aurinkosähköjärjestelmä

Aurinkopaneelin lisäksi aurinkosähköjärjestelmään kuuluvat tasasähkö- ja vaihtosähkökaapeloinnit, vaihtosuuntaaja eli invertteri, erotuskytkimet, sähkökeskus johon järjestelmä liitetään sekä kaksisuuntaiseen mittaukseen kykenevä sähkömittari [18].

5.4.1 Verkkoinvertteri

Aurinkovoimalan liittämiseksi sähköverkkoon tarvitaan aina invertteri, joka muuttaa aurinkovoimalan tuottaman tasasähkön sopivan muotoiseksi vaihtosähköksi ja syöttää sen sähkökeskukseen. Vaihtosuuntauksen lisäksi invertteri optimoi paneelien napajännitettä niin, että paneelien tuottama teho on mahdollisimman

korkea. Yksivaiheinvertteri tuottaa 230-voltista yksivaihesähköä ja kolmivaiheinvertteri 400 voltista kolmivaihesähköä. Kohteeseen, jonka sähkökeskukseen tulee kolmivaihesyöttö sähköverkosta, kannattaa aina hankkia kolmivaiheinvertteri, sillä yksivaiheinvertteri tuottaa sähköä vain yhdelle vaiheelle kytkettyihin kulutuspisteisiin liitetyille laitteille, jolloin muihin vaiheisiin liitetyt laitteet eivät voi hyödyntää aurinkopaneelien tuottamaa sähköä. [1; 18.]

Invertterin valinnassa tärkein kriteeri on riittävä teho, jotta se pystyy hyödyntämään kaiken aurinkopaneelien tuottaman energian. Suomen aurinko-olosuhteissa invertterin tehon tulisi olla vähintään 85 prosenttia aurinkopaneelien nimellistehosta, mutta mitoituksessa kannattaa huomioida myös mahdollinen laajennusvara. [18.]

5.4.2 Mitoitus

Aurinkopaneelien tehoa kuvataan yleensä yksiköllä wattipiikki eli W_p , joka tarkoittaa paneelin tuottamaa huipputehoa standardiolosuhteissa mitattuna. Standardiolosuhteina pidetään tilannetta, jossa $+25^{\circ}\text{C}$: n ulkolämpötilassa paneelille kohdistuva säteily määrä on $1\,000\text{ W/m}^2$. Paneelien todellista vuosituotantoa tarkasteltaessa on kuitenkin huomioitava todelliset säteilymäärät eri vuodenaikoina ja paneelin toiminta erilaisissa lämpötiloissa sekä paneelin muut ominaisuudet. Ominaisuuksiltaan erilaiset aurinkopaneelit, joille on ilmoitettu sama W_p -teho, eivät siis todellisissa olosuhteissa tuota keskenään yhtä paljon sähköä. Auringsäteilyn määrä ei myöskään yllä Suomessa tasolle $1\,000\text{ W/m}^2$, ja säteilyn määrä vaihtelee sääolosuhteiden ja säteilykulmien mukaan, joten minkään paneelin todellista hetkellistä tai vuosittaista tuotantokykyä ei voida tarkkaan arvioida. [18; 23.]

Aurinkopaneelit toimivat parhaiten alhaisemmissa lämpötiloissa, ja kesällä lämpötilan noustessa korkeaksi tuotantokyky heikkenee. Joidenkin paneelien tuotantokyky saattaa romahtaa merkittävästikin paneelin lämpötilan noustessa tiettyyn pisteeseen. Yksikidepaneelit sietävät kuumaa ilmaa hieman paremmin kuin

monikiteiset. Paneelien tuotantokyvystä eri lämpötiloissa on saatavissa mittaus-tietoa, jonka perusteella niitä voidaan vertailla keskenään. [23.]

Aurinkopaneelien valmistajista on erilaisia kansainvälisiä listoja ja tilastoja, jotka perustuvat luotettavuuteen ja kykyyn taata esimerkiksi 20–30 vuoden tehontuot-totakuu valmistamilleen tuotteille [24].

5.4.3 Aurinkopaneelien sijoitus

Aurinkopaneelien yleisimmät sijoituspaikat ovat kiinteistön katto tai seinä ja maahan asennettavat telineet [25].

Kohde sijaitsee rinnetontilla. Päämökki on kallion rinteessä ja alamökki meren rannassa. Aurinkopaneelien sijoitusta mietittäessä pohdittiin, olisiko paneelit pa-rempi sijoittaa pää- vai alamökin katolle. Kuvan 6 satelliittikuvassa näkyy pää-mökki punaisella ympyrällä merkattuna, ja alamökki sijaitsee keltaisen ympyrän kohdalla. Päämökin kannalta haasteellista on mökin takana oleva metsikkö, joka varjostaa katon lounaaseen olevaa lapetta. Koilliseen oleva lape olisi oival-linen, jos ilmansuunnat kääntäisi toisin päin, sillä meren puolella ei varjostavia esteitä ole, mutta koillisuuntaan ei aurinkopaneeleja kannata asentaa. Alamö-kin katon lapheet ovat itään ja länteen, ja yksi tapa sijoittaa paneeleja onkin asentaa puolet itäsuuntaan ja puolet länsisuuntaan. Alamökin pitkä etäisyys päämökin sähkökeskukseen saattaisi kuitenkin muodostua ongelmaksi, sillä sähkökeskukselle olisi vedettävä sieltä noin 50 metriä pitkä maakaapeli.



Kuva 6. Satelliittikuva kohdetontista vuodelta 2020 [26].

Useamman aurinkopaneeleja myyvän yrityksen tai sähköyhtiön sivuilla voi tehdä laskelman oman rakennuksensa soveltuvuudesta aurinkopaneeleille ja mitoittaa paneelien määrän valitsemalla oman katonsa satelliittikuvasta ja

ilmoittamalla omat sähkönkulutustietonsa. Esimerkiksi Sun Energian sivustolla on tällainen palvelu, jonka mukaan yli neljälle miljoonalle katolle on tehty valmiiksi 3D-malli ja laskettu niiden soveltuvuus aurinkopaneeleille huomioiden suuntauksat, kallistuskulmat varjostustekijät, paikalliset sääolosuhteet ym. soveltuvuuteen vaikuttavat tekijät. Kokeiltaessa kohteen soveltuvuutta palvelussa saatiin tulokseksi, ettei kummankaan mökin katolla olisi yhtään neliometriä tilaa, joka soveltuisi aurinkoenergian tuotantoon. Tämä vaikuttaa osittain paikkansapitävältä, sillä kattoa varjostavia puita olisi joka tapauksessa kaadettava ainakin katon välittömästä läheisyydestä. Palvelun käyttämä satelliittikuva ei kuitenkaan ole kovin tuore, eikä alamökkiä erota kuvasta puiden alta, mutta todellisuudessa puita on harvennettu molempien mökkien läheisyydestä kuvan ottamisen jälkeen. Helenin vastaavalla laskurilla saatiin tulokseksi, ettei laskurilla ole riittävästi aineistoa kiinteistön aurinkopotentiaalin määrittämiseksi, sillä aurinkosähkön potentiaalia ei ole pystytty laskemaan kartta-aineiston epätarkkuuksien vuoksi tai koska arvio kiinteistöä varjostavista tekijöistä saattaa olla vanhentunut. [27; 28].

Kohteessa on helppo havaita myös silmämääräisesti katoille puista lankeavat varjot, jotka voivat romahduttaa aurinkopaneelien tuotantokyvyn. Kuvien 7 ja 8 ottohetkellä varjot näkyvät selvästi molempien mökkien katoilla.



Kuva 7. Päämökin lounaissivu.



Kuva 8. Alamökin länsisivu.

Aurinkopaneeleja voi sijoittaa muihinkin paikkoihin kuin kattopinnoille. Tässä kohteessa ei kuitenkaan ole riittävän laajaa tai tasaista kalliota, tai muuta sopivaa sijoituspaikkaa, jonne aurinko paistaisi esteettä. Yksi vaihtoehto olisi myös korkeampi masto mökin takana olevaan metsään, jonne voisi asentaa sekä tuuliturbiinin että aurinkopaneeleja.

5.4.4 Asennus

Omalle kesämökille voi aurinkopaneelit hankkia vapaasti ilman lupakäsittelyä, sillä 1.5.2017 voimaan tulleen maankäyttö- ja rakennuslain muutoksen mukaan aurinkopaneelien ja -keräinten asentaminen ei vaadi rakennus- tai toimenpide-lupaa, kun ne eivät merkittävästi vaikuta kaupunkikuvaan tai ympäristöön [29].

Verkkoon liitettävän aurinkosähköjärjestelmän asennus vaatii oikeuden sähkö-töihin, mikäli tasasähköosan kokonaisjännite ylittää 120 voltia. Sähköturvalli-suuslain 56 §:n mukaan pienemmät, 120 voltin jänniterajan alittavat, käytän-nössä yleensä 1–2 tai maksimissaan kolmen paneelin järjestelmät, saa asentaa myös asennusoikeudella S3, jos sähkökeskuksen rakennetta ei tarvitse muut-taa, mutta myös näiden järjestelmien asennuksessa on huolehdittava turvalli-suudesta ja oikeasta asennustavasta. Sähköasennuksen suorittavan urakoitsi-
jan tulee tehdä sähköturvallisuuslain vaatima käyttöönottotarkastus ja luovuttaa käyttöönottotarkastuspöytäkirja asennuksen haltijalle. Standardissa SFS-EN 62446-1 Aurinkosähköjärjestelmät on käyttöönottotarkastukselle vaatimuksia, jotka poikkeavat joiltain osin perinteisestä käyttöönottotarkastuksesta. Asennus-työn tilaajan kannatta tarkistaa asennuksen suorittavan toimijan oikeuden säh-kötöiden tekoon Tukesin toiminnanharjoittajarekisteristä. [25.]

5.4.5 Hankintakustannukset ja takaisinmaksuaika

Pohdittaessa aurinkosähköjärjestelmän hankinnan kannattavuutta sähköverk-koon liitettyyn kiinteistöön on syytä ottaa huomioon hankintahinnan lisäksi myös ostoenergian hinta sekä sähköyhtiön tarjoaman sopimuksen mukaiset ehdot

tunnin netotuksesta ja ylijäämäsihkon myyntihinnasta. Verkkoakkupalvelut, joista kerrotaan luvussa 8, ovat myös mielenkiintoinen vaihtoehto.

Aurinkosähkijärjestelmän hankintahintaan vaikuttavat järjestelmän koon lisäksi asennuskohde, toimittaja ja toimitustapa. Yksikidepaneelien hinnat ovat laskeutuneet lähelle perinteisten monikidepaneelien hintatasoa, ja ne ovat alkaneet vallata markkinoita. Kumpikin paneelityyppi soveltuu Suomen sääolosuhteisiin, ja asennuskohteen olosuhteet ovat ratkaiseva tekijä paneelityypin valinnassa. Eri valmistajien aurinkopaneelien vertailussa kannattaa käyttää €/W_p-lukua, jolloin paneelien tehontuotto on vertailukelpoinen keskenään. Asennetun järjestelmän hinnat keväällä 2019 Suomessa olivat noin 1,3–3,0 €/W_p. [1; 24.]

Aalto-yliopiston Finsolar-hankkeen sivulla on valmis aurinkosähkijärjestelmän kannattavuuslaskuri. Esimerkkinä tehtiin laskelma erään valmiita asennuspaketteja myyvän firman 2,88 kWp:n suuruisen järjestelmän soveltuvuudesta kohteeseen. Järjestelmä on reilusti ylimitoitettu kohteeseen, mutta se pienin valmiista paketeista. Laskelman mukaan kyseisen järjestelmän takaisinmaksuaika olisi 25 vuotta, jos investointi tehtäisiin velkarahalla. Laskurissa ei kuitenkaan ole huomioitu sähkönn tunnin sisäisen netotuksen vaikutusta. [30.] Laskelma on esitetty liitteessä 1.

Takaisinmaksuajan laskennassa yksityishenkilön kannattaa ottaa huomioon myös kotitalousvähennyksen vaikutus asennustyön osalta. Kotitalousvähennyksen saa vain asennustyön osuudesta, ja jos työn on ostanut yritykseltä, saa työn kustannuksista vähentää 40 prosenttia. Vuonna 2021 kotitalousvähennyksen omavastuu on 100 euroa, ja vähennystä voi saada korkeintaan 2 250 euroa. Maksimirajan ylittyessä myös puoliso voi saada vähennystä korkeintaan saman verran. Esimerkiksi 2 000 euroa maksaneesta asennustyön osuudesta saatava kotitalousvähennys olisi

$$2000 \text{ €} * 40 \% - 100 \text{ €} = 700 \text{ €}$$

[31.]

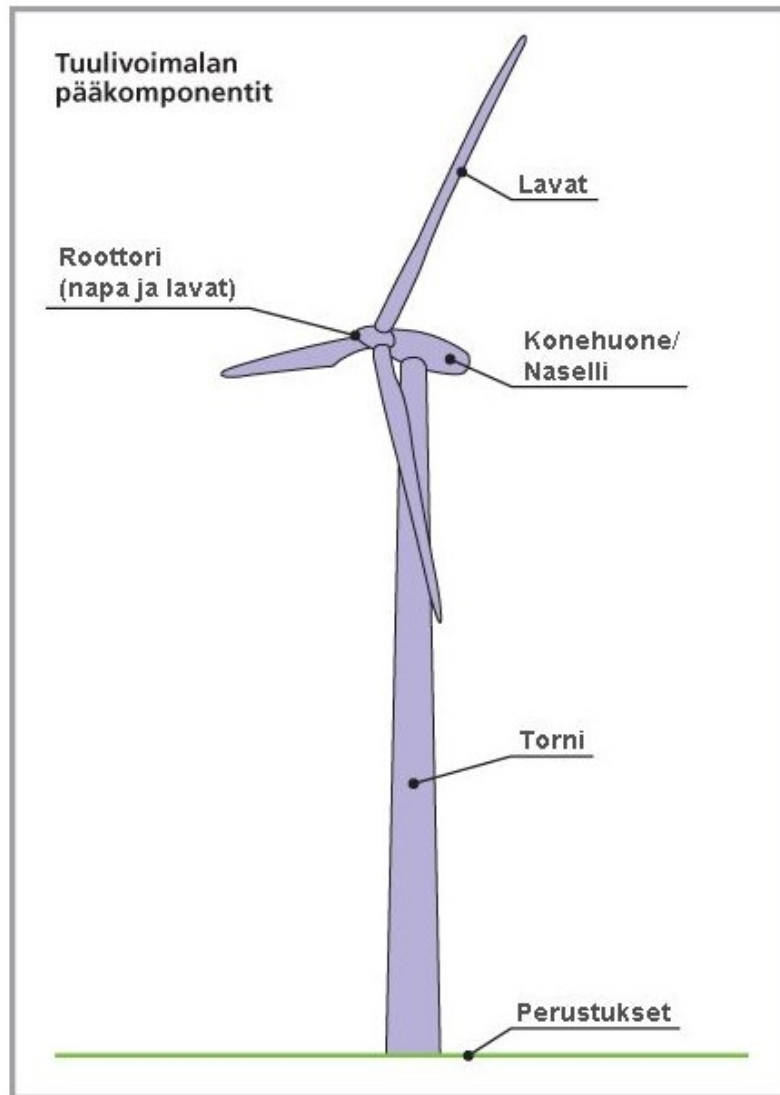
6 Tuulivoima

Tuulivoima on lähes päästötöntä uusiutuvaa energiaa, sillä ainoastaan laitteiston valmistaminen, rakentaminen ja purku kuluttavat energiaa ja voivat sitä kautta aiheuttaa päästöjä. Tuulivoiman tuotanto on täysin päästötöntä, ja siihen soveltuvia alueita on joka puolella Suomea rannikoilla, merialueilla, tuntureilla ja sisämaassa. [32; 33.]

6.1 Tuulivoimalan toimintaperiaate

Tuuli on ilmassojen lämpötila- ja paine-erojen aikaansaamaa ilman liikettä, joka voidaan tuuliturbiinin avulla muuttaa mekaaniseksi pyörimisenergiaksi. Samaa perustekniikkaa on hyödynnetty tiedettävästi ainakin jo tuhansia vuosia eri tavoin esimerkiksi tuulimyllyissä, joissa pyörimisliike ohjataan jauhinkivien pyörytykseen. Tuulivoimalassa mekaaninen pyörimisliike pyörittää jauhinkivien sijaan akselin kautta generaattoria, joka tuottaa sähköä. Ensimmäiset tunnetut tuulivoimalakokeilut tehtiin jo 1880-luvulla, jolloin sähkönjakelujärjestelmien kehitys oli vasta alkuvaiheessa. [32; 33; 34; 35.]

Nykyaikaisen tuulivoimalan perusrakenne on esitetty kuvassa 9. Tuulen liikeenergian vaikutuksesta pyörivä osa on roottori, ja siihen kuuluvat lavat sekä niiden keskellä oleva napa. Navan takana olevassa konehuoneessa on vaihteisto, generaattori, muuntaja sekä säätö- ja ohjausjärjestelmät. Teollisen kokoluokan tuulivoimalaan kuuluu lisäksi putkimainen yleensä teräksestä valmistettu torni ja sen perustukset. Tuulivoimaloiden korkeudesta puhuttaessa käytetään usein termiä napakorkeus, joka tarkoittaa roottorin navan korkeutta maan pinnasta. [32; 33.]

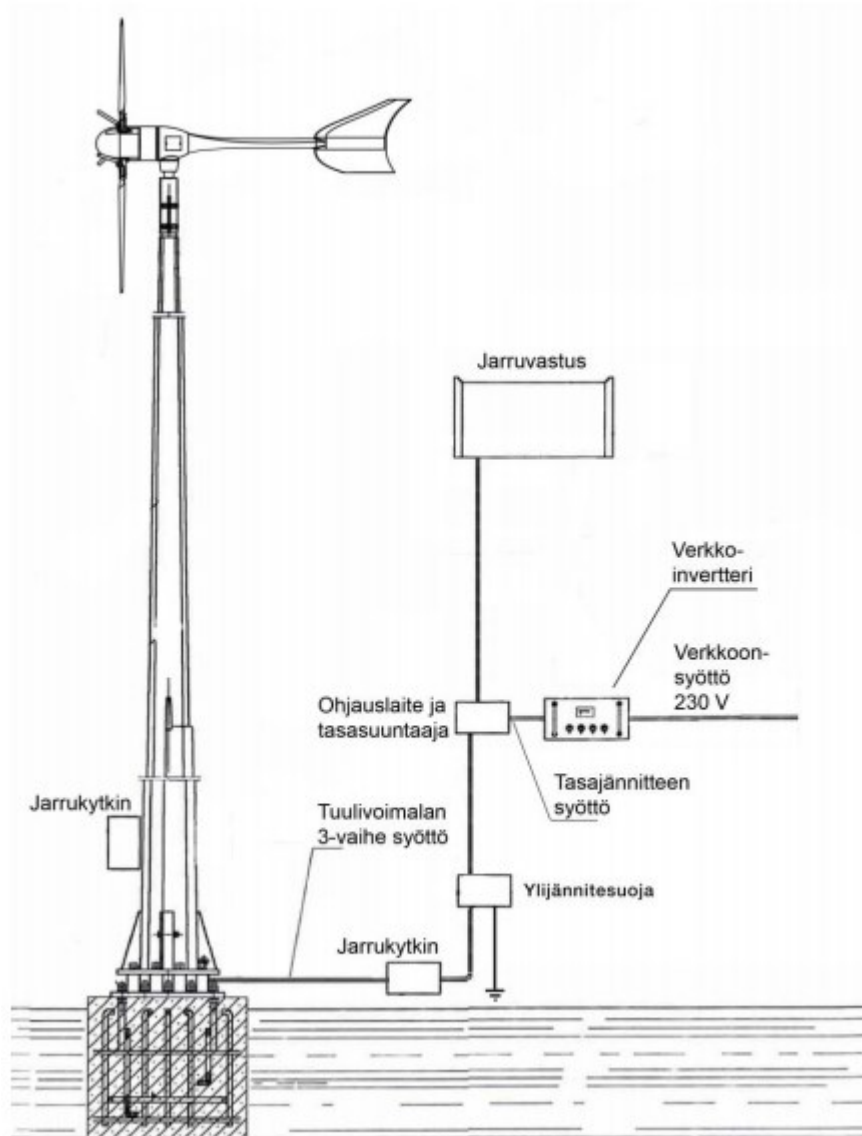


Kuva 9. Tuulivoimalan rakenne [32].

6.2 Pientuulivoimala

Pientuulivoimalat ovat hyvin samankaltaisia laitteita kuin suurtuulivoimalat, mutta pienemmässä koossa. Pientuulivoimalaksi voidaan kutsua voimalaa, jonka potkurin pyyhkäisyypinta-ala on alle 200 neliömetriä ja jonka nimellisteho on alle 50 kW. Pientuulivoimaloissa on korkean tornin sijaan masto, jonka korkeus on tyypillisesti 5–30 metriä. Pientuulivoimalan mastoina käytetään itsestään seisovia putki- tai ristikkomastoja, joilla on vahvat perustukset, tai vaihtoehtoisesti harusvaihjereilla pystyyn tuettuja eli harustettuja putki- tai ristikkomastoja.

Mökkikäytössä pientuulivoimaloita on enimmäkseen sellaisissa kohteissa, joita ei ole liitetty sähköverkkoon. Tällaisissa nimellisteholtaan yleensä alle yhden kilowatin voimaloissa on tyypillisesti 6–12 metriä korkea masto, johon on asennettu halkaisijaltaan 2–3 metrinen roottori. Pientuulivoimala voidaan kuitenkin rakentaa myös sähköverkkoon liitetyille kesämökille. Tällöin tuulivoimalajärjestelmään liitetään kuvassa 10 esitetyt osat. Tuulivoimalan sähkö ei ole tasamuo- toista, sillä roottorin pyörimisnopeus vaihtelee tuulen mukaan, joten generaattorin syöttämä virta on tasasuunnattava tuulivoimalan ohjauslaitteella. Ohjauslaite syöttää tasasähkön invertterille, joka muuntaa sen 230- tai 400-volttiseksi vaihtosähköksi, joka voidaan syöttää edelleen sähköverkkoon. [34; 33.]



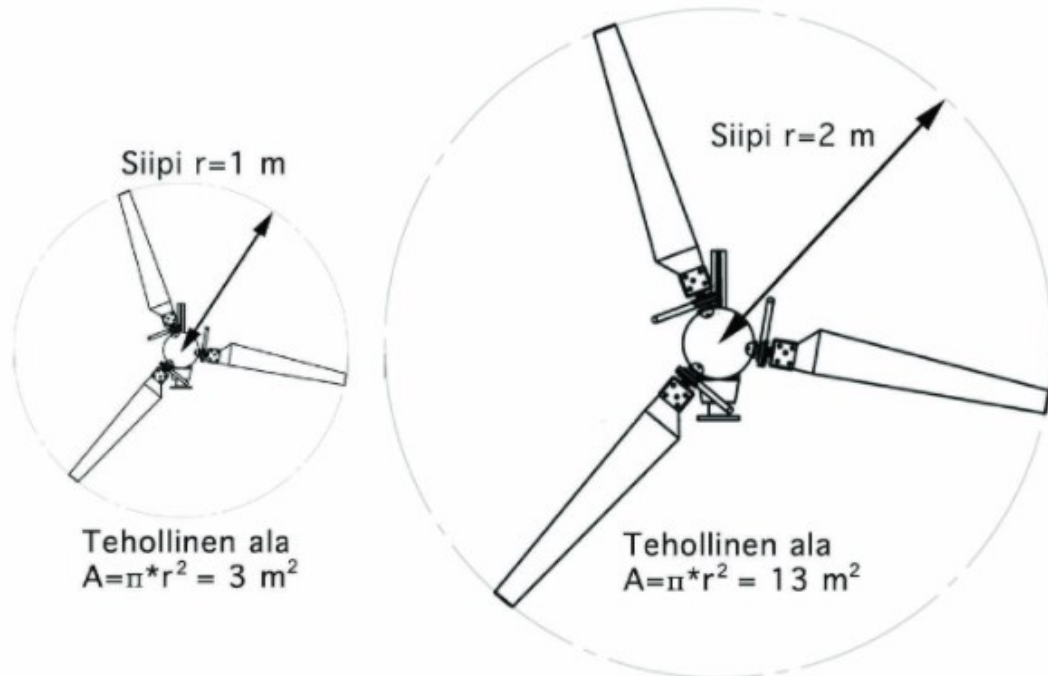
Kuva 10. Sähköverkkoon liitettävän tuulivoimalajärjestelmän osat [34].

6.2.1 Vaaka-akselinen tuulivoimala (HAWT)

Potkurimallisten eli vaaka-akselisten tuulivoimaloiden toiminta perustuu samaan aerodynaamiseen voimaan, jolla lentokoneet nousevat ilmaan [34].

Tuulivoimaloiden tuottama teho määräytyy potkurin pyyhkäisy-pinta-alan ja tuulennopeuden mukaan, ja kuten kuvasta 11 nähdään, vaaka-akselisen tuulivoimalan pyyhkäisy-pinta-ala tarkoittaa roottorin lapojen piirtämän ympyrän pinta-alaa. Vaaka-akseliset tuulivoimalat ovat hyötysuhteeltaan parempia kuin

pysty akseliset koska niiden suurilla potkureilla saavutetaan suurempi pyyhkäisy-pinta-ala. Vaaka-akseliset voimat toimivat parhaiten sillä tuulen nopeusalueella, jolle ne on suunniteltu. [32; 33.]



Kuva 11. Tuulivoimalan potkurin pyyhkäisy-pinta-ala [33].

6.2.2 Pysty akselinen tuulivoimala (VAWT)

Pysty akseliset tuulivoimalat pyörivät nimensä mukaisesti pystyssä olevan akselin ympäri, eikä niissä ole samanlaisia pitkiä, suoria lapoja kuin vaaka-akselisissa. Pysty akselisista tuulivoimaloista on olemassa erilaisia variaatioita, joissa on erimallisia lapoja, ja niiden toiminta voi perustua joko tuulen työntävään vaikutukseen, aerodynaamiseen voimaan tai molempien yhdistelmään. [34.]

Pysty akseliset tuulivoimalat toimivat pyörteisissä tuuliolosuhteissa vaaka-akselisia paremmin, mutta niillä saavutetaan pienempi pyyhkäisy-pinta-ala [33].

6.2.3 Tuuliolosuhteet

Tuulitilastoja voi hakea esimerkiksi kaupungilta tai Suomen Tuuliatlas-palvelusta. Tuuliatlakseen on koottu koko Suomen tuulienergiakartasto, ja sieltä voi etsiä haluamaltaan alueelta karttoja esimerkiksi tuulen keskinopeuksista. Tiedot kuitenkin soveltuvat paremmin suurille tuulivoimaloille, sillä tuulimittaukset on tehty 50, 100 ja 200 metrin korkeudella. Kun halutaan selvittää todellisia tuulenopeuksia pienvoimalan mahdollisella asennuskorkeudella, voidaan vuokrata tuulenmittauslaitteisto esimerkiksi tuulivoimalan myyjältä. [36]

Tuulivoimakkuus rannikolla meren rannassa sijaitsevassa kohteessa on havaintoihin perustuen riittävän suuri tuulivoiman tuotantoon. Tuuliatlaksen kartan mukaan vuoden keskimääräinen tuulen nopeus kohteessa 50 metrin korkeudella mitattuna on noin 5–6 m/s. [36; 34; 33.]

Ympäröivät esteet, kuten puut ja rakennukset, voivat aiheuttaa turbulentsuutta, joka vaikuttaa pienenkin tuulivoimalan toimintaan tuotantoa heikentävästi ja laitteistoa kuluttavasti. Tuulivoimalan sijoituspaikkaa suunniteltaessa on syytä huomioida esteiden läheisyys ja mitoittaa masto riittävän korkeaksi, jotta tuuliolosuhteet ovat mahdollisimman hyvät. [33.]

6.2.4 Mitoitus

Tuulivoimalan potkurin pyyhkäisyypinta-ala on suoraan verrannollinen tuulivoimalan tuottoon, eli mitä suuremmalla pinta-alalla tuulen energiaa voidaan kaapata, sitä enemmän energiaa siitä saadaan talteen.

Tuulivoimaloiden maksimiteho määritellään seuraavan kaavan mukaan:

$$P_{max} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_p \cdot A \cdot V^3$$

jossa ρ on ilman tiheys (kg/m^3), C_p on tehokerroin, A on pyyhkäisyypinta-ala (m^2) ja V on tuulen nopeus (m/s).

Pyyhkäisyypinta-ala on

$$A = \pi \cdot R^2$$

jossa R on lavan pituus metreinä.

Pyyhkäisyypinta-alan lisäksi tuulivoimalan maksimitehoon siis vaikuttavat tuulen nopeus sekä laitekohtainen tehokerroin. Tuulennopeuden vaikutus voimalan tehoon on merkittävä, sillä teho on verrannollinen tuulennopeuden kolmanteen potenssiin. Eri tuulivoimaloita vertaillessa onkin varmistettava, että niille ilmoitettu nimellisteho vastaa samaa tuulennopeutta. [34; 37.]

Tuulivoimalan hyötysuhteen teoreettinen maksimi on 59 prosenttia, sillä voimala ei fysikaalisesti pysty valjastamaan kaikkea tuulen energiaa. Näin ollen tehokerroimen teoreettinen maksimiarvo on 0,59. Käytännössä voimaloiden hyötysuhteet ovat luokkaa 30–40 %. Tuulivoimalan hyötysuhteeseen vaikuttaa myös siipien suunnittelu, joka tehdään yleensä sen mukaan, millä tuulennopeuksilla nimellisteho halutaan saavuttaa. Sisämaahan tarkoitetuissa voimaloissa nimellisteho on pienempi kuin niissä, jotka on suunniteltu toimimaan rannikon tai saariston voimakkaammilla tuulilla. [34.]

Aurinkosähköjärjestelmään verrattuna pientuulivoimalan haittapuolena on lyhyempi tekninen käyttöikä ja suurempi huollontarve, sekä maston maisemallinen vaikutus. Myös tuulivoimalan mahdolliset meluhaitat kannattaa huomioida vertailussa. Yleisesti, mitä pienempi voimalanpotkuri on, sitä enemmän siitä lähtee ääntä. Laadukkaampien tuulivoimaloiden ääni on kuitenkin yleensä niin hiljainen, että sitä tuskin havaitsee. [34.]

Tuulenvoimakkuudet ovat suurimpia talviakaan, mutta kohteeseen kannattaisi valita sellainen tuulivoimala, joka tuottaa sähköä eniten silloin kun sen kulutus on suurin, eli esimerkiksi huhti-/toukokuun tai syys-/lokakuun tuulennopeuksien perusteella. Tuulivoimalan etuna olisi se, että kesämökillä kaikki talviaikaan tuotettu tuulienergia voitaisiin myydä verkkoon. Ylijäämätuotannon myynnistä ei

tienaa suuria summia rahaa, mutta kuitenkin sen verran, että investoinnin takaisinmaksuaika lyhenee jonkin verran.

6.2.5 Asennus

Pientuulivoimalan rakentamiseen saatetaan tarvita lupa, joka määräytyy kunnan rakennusjärjestyksen mukaan. Kaava-alueen ulkopuolella se on yleensä toimenpidelupa. Lupaa haettaessa tarvitaan liitteeksi karttaote tai asemapiirustus, josta ilmenee voimalalle suunniteltu sijoituspaikka, sekä tuulivoimalan julkisivupiirustus, jonka saa voimalan myyjältä. [37].

6.2.6 Tuulivoimalan valinta

Pystyakselinen tuulivoimala voisi olla kohteeseen sopiva, sillä se sietää paremmin rannikolla ympäröivien saarten ja niemien sekä maaston ja puuston korkeusvaihteluiden aiheuttamaa tuulen turbulentsuutta. Rannikolla tuulisuus on niin runsasta, ettei pystyakselisen tuulivoimalan pienempi pyyhkäisyala vaikuttaa tuotantokykyyn.

7 Aurinko- ja tuulienergian optimaalinen hyödyntäminen

Etelä-Suomen rannikolla vallitsevat sääolosuhteet, joissa useimmiten on tarjolla joko tuulta, auringonsäteilyä tai molempia, joten jos halutaan taata mahdollisimman suuri omavarainen energiantuotanto, on järkevää hyödyntää sekä tuulesta että auringosta saatavaa energiaa. Sääolosuhteiden perusteella kohteeseen kannattaisikin rakentaa sekä tuuliturbiinilla että aurinkopaneeleilla varustettu hybridivoimala. Hybridivoimaloita on valmiina paketteina tarjolla enimmäkseen sähköverkon ulkopuolisiin kohteisiin, mutta joitain on tarjolla myös sähköverkkoon. Hybridijärjestelmän voisi kuitenkin rakentaa liittämällä invertteriin sekä tuulivoimalan että aurinkopaneelit. Hybridijärjestelmän hankintakustannukset saattavat kuitenkin nousta liian korkeiksi, sillä sähkön kulutus kohteessa on pientä. Myös huoltokustannukset on huomioitava.

8 Sähköenergian varastointi

Vain akuston avulla on teoriassa mahdollista taata täysin omavarainen energiantuotanto, sillä auringosta tai tuulesta hetkittäin vaihtelevasti saatava energia on pystyttävä varastoimaan käyttöä varten. Ilman akustoa toimiva järjestelmä siirtää ylimääräisen energian verkkoon, josta joudutaan käyttöhetkellä ostamaan puuttuva energia takaisin. Akustot ovat kuitenkin kalliita, joten jo sähköverkkoon liitettyyn näin pienen kulutuksen kohteeseen sellaisen hankinta ei taloudellisesti ole kannattavaa. Verkon ulkopuolisissa kohteissa on akusto puolestaan huomattavasti edullisempi vaihtoehto kuin sähköverkkoon liittyminen.

Luvussa 2 esitellyn tunnin sisäisen netotuksen myötä voidaan sähköverkkoon liitetystä kulutuskohteesta kuitenkin ajatella sähköverkkoa eräänlaisena akustona aina yhden netotustunnin kerrallaan, eli tunnin aikana itse tuotettu sähkö varastoidaan verkkoon saman tunnin aikana tapahtuvaa kulutusta varten. Tämä ei kuitenkaan tee aurinkopaneelien käyttäjästä omavaraista, sillä esimerkiksi pimeään ilta- ja yöaikaan kaikki sähkö on ostettava verkosta.

Osa sähköyhtiöistä tarjoaa esimerkiksi aurinkopaneelien ostajille virtuaaliakku-nimikkeellä palveluja, joiden sisältö vaihtelee sähköyhtiöittäin. Esimerkiksi Helenin sivuilla luvataan seuraavaa:

”Virtuaaliakun avulla kaikki aurinkosähkö, mitä et kuluta suoraan, varastoidaan myöhempää käyttöä varten. Lisäksi voit yhdistää virtuaaliakkuun vaikkapa kesämökkisi sähkösopimuksen ja näin virtuaaliakkuun varastoitunut ylituotantosi hyödyttää sinua kuukausittain juuri siellä, missä aurinkosähkölläsi on eniten käyttöä.”

Virtuaaliakku on siis sopimus sähköyhtiön kanssa siitä, että kun aurinkopaneelit ja sähkösopimus hankitaan samasta paikasta, voidaan verkosta ottaa sähköä käyttöön itse tuotetun ja verkkoon siirretyn ylijäämän verran vasta sitten, kun sille on käyttöä. Virtuaaliakkusopimukseen kannattaa perehtyä huolellisesti ottaen huomioon aurinkopaneelien hinnan kilpailukyky, sähkön hintojen kilpailukyky, sopimuksen määräajat sekä tarjousjakson jälkeiset hinnat. [38; 39.]

9 Yhteenveto

Lakimuutoksen myötä investoinnit oman sähköntuotannon järjestelmiin ovat kannattavia myös sähköverkkoon liitetyissä kohteissa. Muutokset näkyvät sähkölaskulla välittömästi, ja takaisinmaksuajan jälkeen pientuottaja voi hyvällä omallatunnolla tehdä voittoa, kun saa tuottamastaan ylijäämästä rahaa ja ympäristökin kiittää. Verkkoon myydystä ylijäämästä saatava korvaus on kuitenkin sen verran pieni, ettei pienen sähkönkulutuksen kohteeseen kannata edelleenkään suuresti ylimitoittaa pienvoimalaa, jotta sijoitettu raha saadaan takaisin kohtuullisen ajan sisällä.

Eri laitteistojen vertailussa havaittiin, että markkinoilla on valtava määrä eri hintaluokan aurinkopaneeleja ja tuulivoimaloita, joille valmistajat ilmoittavat erilaisia ja erilaisissa olosuhteissa mitattuja arvoja, joiden vertailukelpoisuus ja luotettavuus vaihtelee suuresti. Näin ollen etenkin tavallisen kuluttajan on hyvin vaikea vertailla laitteiden tuotantokykyä, luotettavuutta ja muita soveltuvuuteen vaikuttavia ominaisuuksia keskenään. Sähkön pientuotannon koko ajan yleistyessä olisi syytä asettaa laatuvelvoitteet siihen tarvittavan laitteiston myymiselle sekä yhdenmukaiset Suomen olosuhteisiin sopivat säädökset nimellis- ja testausarvojen ilmoittamiselle.

Työn tuloksena saatiin kattavasti tietoa siitä, millaisia muutoksia kesämökin omistajan olisi käytännössä kannattavaa tehdä voidakseen säästää sekä ympäristöä että sähkö- ja lämmitysenergiaan käyttämiään kustannuksia. Työhön koottua tietoa ja tuloksia voidaan hyödyntää tarkasteltavan kohteen lisäksi muihin kesämökkeihin, joissa halutaan tehdä uudistuksia energiantuotannon suhteen. Kohteeseen suunniteltuja muutoksia ei vielä ole toteutettu, mutta suunnitelmien perusteella sinne tullaan asentamaan ilmalämpöpumppu. Ilmalämpöpumppu tulee vähentämään jo ennestään pientä sähkönkulutusta niin paljon, että pienen aurinko-, tuuli- tai hybridivoimalan asentaminen samaan aikaan ei ole järkevää. Aurinko- tai tuulivoimalan mahdollista hankintaa pohditaan uudelleen sen jälkeen, kun ilmalämpöpumpun todellista vaikutusta

sähkönkulutukseen on seurattu. Tehontarve on sen jälkeen laskettava uudelleen, jotta pienvoimalaa ei mitoiteta liian suureksi.

Lähteet

- 1 Aurinkosähkö. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko>. Luettu 25.4.2021.
- 2 Suunnittelussa olevat hankkeet. Verkkoaineisto. Suomen tuulivoimayhdistys. <<https://tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoima-suomessa/suunnittelussa-olevat-hankkeet>>. Luettu 27.4.2021.
- 3 Energiavirasto esittää merkittäviä muutoksia sähkönsiirtomaksujen laskentamenetelmään. Verkkoaineisto. Valtioneuvosto. <<https://valtioneuvosto.fi/1410877/energiavirasto-esittaa-merkittavia-muutoksia-sahkonsiirtomaksujen-laskentamenetelmaan>>. Luettu 27.4.2021.
- 4 Vihdoinkin: tunnin sisäinen netotus toteutuu ja asunto-osakeyhtiöt pääsevät nauttimaan aurinkosähkön hedelmistä. Verkkoaineisto. Lähienergia. <<https://lahienergia.org/lahienergialiiton-pitkajanteinen-ja-maaratietyo-hajautetun-pientuotannon-edistamiseksi-kantaa-hedelmaa/>>. Luettu 13.4.2021.
- 5 Valtioneuvoston asetus TEM/2020/208. 2020. Verkkoaineisto. Valtioneuvosto. <<https://valtioneuvosto.fi/paatokset/paatos?decisionId=0900908f806f9675>>. Luettu 13.4.2021.
- 6 Caruna on valmiina pientuotannon netotukseen. Verkkoaineisto. Caruna. <<https://www.caruna.fi/ajankohtaista/caruna-valmiina-pientuotannon-netotukseen>>. Luettu 13.4.2021
- 7 Sähkön pientuotannon myyttejä murrettuna. Verkkoaineisto. Lähienergia. <<https://lahienergia.org/sahkon-pientuotannon-perusteet/>>. Luettu 13.4.2021.
- 8 Fortumin sähköasiakkaille tuotettu palvelu omien kulutustietojen tarkasteluun. Verkkoaineisto. Oma Fortum. <<https://web.fortum.fi/dashboard>>. Luettu 1.4.2021.
- 9 Puulämmitys varaavan takan avulla. Verkkoaineisto. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu Ymparisto.fi. <https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/korjaustieto/pientalot/Energiatehokkuus/Energialahteet/Varaavat_tulisijat>. Luettu 10.4.2021
- 10 Pätittäin puulämmityksestä. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/files/210/Patkittain_puulammityksesta.pdf>. Luettu 11.4.2021.
- 11 Lämpöä ilmassa. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <<https://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>>. Luettu 25.4.2021

- 12 Ilmalämpöpumppu tukilämmityslähteenä. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestel-man_valinta/lammitysmuodot/ilmalampopumppu_tukilammityslahteenä>. Luettu 25.4.2021.
- 13 Lämpöpumpun hankinta. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/remontoi_ja_huolla/energiatehokas_sahkolammitys/lampopumpun_hankinta>. Luettu 25.4.2021.
- 14 Ilmalämpöpumppu ABC. Verkkoaineisto. Vattenfall. <<https://www.vattenfall.fi/ilmalampopumppu/ilmalampopumppu-abc/>>. Luettu 25.4.2021
- 15 Toimiiko ilmalämpöpumppu pakkasella. Verkkoaineisto. Toshiba. <<https://www.toshibasuomi.fi/toimiiko-ilmalampopumppu-pakkasella/>>. Luettu 26.4.2021.
- 16 Käpylehto, Janne. 2014. Mökille sähköt auringosta ja tuulesta. Helsinki: Into Kustannus.
- 17 Frantti, Miikka. 2019. Aurinkopaneelien laatutestaus. Opinnäytetyö. Turku AMK. Theseus-tietokanta.
- 18 Aurinkosähköjärjestelmä mökille. Verkkoaineisto. Lumoenergia. <<https://www.lumoenergia.fi/aurinkopaneelit/ostajan-opas/>>. Luettu 20.4.2021.
- 19 FAQ aurinkopaneeli. Verkkoaineisto. Finnwind. <<https://finnwind.fi/aurinkopaneeli-usein-kysytyta/>>. Luettu 18.4.2021.
- 20 Aurinkopaneeli. Verkkoaineisto. Sähkönumerot.fi. <<https://www.sahkonumerot.fi/haku/cf9aea1e-6f84-4663-a9b7-02a7e7a2914a> >. Luettu 27.4.2021.
- 21 Half-cut ja lasilasi paneelit. Verkkoaineisto. Oomi Energia. <<https://oomi.fi/aurinkopaneelit/aurinkopaneelipaketit/half-cut-ja-lasi-lasi-paneelit/>>. Luettu 24.4.2021.
- 22 Energianlaskennan testivuodet nykyilmastossa. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>>. Luettu 14.4.2021.
- 23 Mitä Wp tarkoittaa ja neljä muuta kysymystä aurinkopaneelien tehosta. Verkkoaineisto. Lumme Energia. <<https://www.lumme-energia.fi/blogi/mita-wp-tarkoittaa>>. Luettu 25.4.2021.
- 24 Aurinkopaneelien villi länsi – kuinka vertailla tarjouksia. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/helen-oy/vastuullisuus/ajankoh-taista/blogi/2018/aurinkopaneelien-villi-l%C3%A4nsi--tarjousvertailu>>. Luettu 26.4.2021.

- 25 Aurinkosähköjärjestelmät. Verkkoaineisto. Turvallisuus ja kemikaalivirasto (Tukes). <<https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat>>. Luettu: 15.4.2021.
- 26 Satelliittikuva. Verkkoaineisto. Google Earth. <<https://www.google.fi/intl/fi/earth/>>. Luettu 26.4.2021.
- 27 Testaa kannattaisiko sinun siirtyä aurinkoenergiaan. Verkkoaineisto. Sun Energia. <<https://sunenergia.com/>>. Luettu 20.4.2021.
- 28 Aurinkolaskuri. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/aurinkopaneelit/aurinkopaneelipaketit/aurinkolaskuri>>. Luettu 20.4.2021.
- 29 Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta 230/2017. Annettu Helsingissä 21.4.2017.
- 30 Aurinkosähkön kannattavuuslaskuri. Verkkoaineisto. FinSolar-hanke. <<https://finsolar.net/kannattavuus/kannattavuuslaskurit/>>. Luettu 27.4.2021.
- 31 Kotitalousvähennys. Verkkoaineisto. Verohallinto. <<https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/verokortti-ja-veroilmoitus/tulot-ja-vahennykset/kotitalousvahennys/>>. Luettu 20.4.2021.
- 32 Tuulivoima. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima>. Luettu 25.4.2021.
- 33 Tietoa tuulivoimasta. Verkkoaineisto. Suomen Tuulivoimayhdistys. <<https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2>>. Luettu 8.4.2021.
- 34 Jokamiehen opas pientuulivoiman käyttöön. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/files/6010/Joka_miehen_opas_pientuulivoiman_kayttoon.pdf>. Luettu 26.4.2021.
- 35 Tuuli on tuhonnut ja tehnyt raskaat työt ennen kuin se valjastettiin uuden tekniikan osaksi 130 vuotta sitten – suomalaiset seurasivat muuta maailmaa valovuoden jäljessä. Tekniikan historia -lehden artikkeli 1/2014. <<https://www.aamulehti.fi/uutiset/art-2000007305451.html>>. Luettu 27.4.2021.
- 36 Tuulivoimalan mitoitus. Verkkoaineisto. Suomen Tuuliatlas. <<http://www.tuuliatlas.fi/mitoitus/index.html>>. Luettu: 26.4.2021.
- 37 FAQ Pientuulivoimala. Verkkoaineisto. Finnwind. <<https://finnwind.fi/pientuulivoimala>>. Luettu: 25.4.2021.
- 38 Virtuaaliakku. Verkkodokumentti. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/aurinkopaneelit/sahko-varastointi/virtuaaliakku>>. Luettu 26.4.2021.

- 39 Aurinkosähkön varastoinnin mahdollisuudet. Verkkodokumentti. Aurinkosähkö kotiin -kampanjasivusto. <<https://aurinkosahkoakotiin.fi/akut-ja-varastointi/>>. Luettu 25.4.2021.

Aurinkosähkön kannattavuuslaskuri

Tiedot kiinteistön ostosähkön kustannuksista (aurinkosähkijärjestelmän vertailukustat)

Sähköenergian ostohinta	4,0	snt/kWh
Energiaperusteinen sähkön siirtohint	4,6	snt/kWh
Sähkövero ja huoltovarmuusmaksu	2,794	snt/kWh
Ostosähkön arvonlisävero	24 %	
<i>Välitulos: aurinkosähkön vertailuhinta eli aurinkosähkön</i>	14,13	snt/kWh
Arvio ostosähkön hinnan noususta %/v	2,0%	/vuosi
Korvattavan energian kulutus kohteessa vuodessa	1000	kWh/v

Tiedot hankittavasta aurinkosähkijärjestelmästä:

Aurinkosähkijärjestelmän koko tehona kWp	2,9	kWp
<i>Välitulos: järjestelmän koko paneelien pinta-alana noin m²</i>	19,584	neliometriä
Aurinkosähkön vuosituotto järjestelmän sijainnin mukaan	947	kWh/kWp
<i>Välitulos: aurinkosähkijärjestelmän vuosituotto alussa</i>	2727	kWh
Aurinkovoimalan vuosittainen sähköntuotannon vähenemä %/v	-0,5%	%
Aurinkosähkön ylijäämän osuus % vuosituotannosta, oletettu	50 %	
Aurinkosähkön ylijäämän myyntihinta verkkoon snt/kWh	2,2	snt/kWh

Tiedot aurinkosähkijärjestelmän hankinta-, ylläpito- sekä rahoituskustannuksista:

Aurinkosähkijärjestelmän avaimet käteen -investointikustannus	€6 052	euroa
<i>Välitulos: Järjestelmän vertailuhinta ilman tukia</i>	2 101 €	euroa/kWp
Mahdollinen investointituki, kotitalousvähennys tms.	10 %	
Oma mainos-, brändi- tai ympäristötuki investoinnille €	€0	euroa
<i>Välitulos: Järjestelmän investointikustannus sisältäen</i>	5 447 €	euroa
Lainan tai ulkopuolisen rahoituksen määrä	€6 000	
Laina-aika tai rahoitussopimuksen pituus	2	vuotta
Lainan tai rahoituksen korko	8,0%	
<i>Välitulos: Lainan tai ulkopuolisen rahoituksen maksuerät/vuosi</i>	€3 000,0	euroa/vuott
Investoinnin tuottovaatimus	0,0%	
Invertterin vaihdon kustannus, osuus alkuinvestoinnista. Oletettu	8 %	
Vuotuiset ylläpitokulut (vakuutukset, huolto tms. kulut)	€20	euroa

Aurinkosähkön kustannus- ja tuottolaskelmat järjestelmän elinkaaren aikana:

Aurinkosähköjärjestelmän pitoaika vuosina	Aurinkosähkön tuotanto kWh/v	Aurinkosähkön Ostosähkön hankinta-tuotantoa vastaan kustann	Aurinkosähkön Lainaaika	Aurinkosähkön tuotantokustannukset			Käsi- ja lainat	Ylläpito- ja huoltokulut eurt/v	Aurinkosähkön kulumus	Aurinkosähkön myyntituotot	Aurinkosähkön myyntiarvo	Kassavirta eurt/v	Aurinkosähkön tuotto- ja investoinnit		Takaistina ksu- vuodet
				Investoinnin kertaus tai su	Rahoituksen korkokulut eurt/v	Lainasaldo							Käsi- ja lainat	Aurinkosähkön kulumus	
0			0	0	0	16 000,0	-1553,2					1553			0
1	2727	0,141	1385,3	1	13 000	1479,8	10,0	120,0	13 499,8	10,02	1222,7	-13 277	-2 724	-12 724	1
2	2714	0,141	1391,1	2	13 000	10,0		120,0	13 020,0	10,02	1226,0	-12 794	-15 518	-15 518	1
3	2700	0,151	1396,9					120,0	120,0	10,02	1229,4	1209	-15 309	-15 309	1
4	2687	0,151	1402,8					120,0	120,0	10,02	1232,8	1213	-15 096	-15 096	1
5	2673	0,151	1408,8					120,0	120,0	10,02	1236,2	1216	-14 880	-14 880	1
6	2660	0,161	1414,9					120,0	120,0	10,02	1239,8	1220	-14 660	-14 660	1
7	2647	0,161	1421,1					120,0	120,0	10,02	1243,3	1223	-14 437	-14 437	1
8	2633	0,161	1427,4					120,0	120,0	10,03	1247,0	1227	-14 210	-14 210	1
9	2620	0,171	1433,7					120,0	120,0	10,03	1250,6	1231	-13 979	-13 979	1
10	2607	0,171	1440,2					120,0	120,0	10,03	1254,4	1234	-13 745	-13 745	1
11	2594	0,171	1446,8					120,0	120,0	10,03	1258,2	1238	-13 506	-13 506	1
12	2581	0,181	1453,4					120,0	120,0	10,03	1262,0	1242	-13 264	-13 264	1
13	2568	0,181	1460,2					120,0	120,0	10,03	1265,9	1246	-13 018	-13 018	1
14	2555	0,181	1467,0					120,0	120,0	10,03	1269,9	1250	-12 769	-12 769	1
15	2543	0,191	1474,0					1504,2	1504,2	10,03	1273,9	-1230	-12 999	-12 999	1
16	2530	0,191	1481,0					120,0	120,0	10,03	1278,0	1258	-12 741	-12 741	1
17	2517	0,191	1488,2					120,0	120,0	10,03	1282,1	1262	-12 479	-12 479	1
18	2505	0,201	1495,5					120,0	120,0	10,03	1286,3	1266	-12 212	-12 212	1
19	2492	0,201	1502,9					120,0	120,0	10,03	1290,6	1271	-11 942	-11 942	1
20	2480	0,211	1510,4					120,0	120,0	10,03	1294,9	1275	-11 667	-11 667	1
21	2467	0,211	1518,0					120,0	120,0	10,03	1299,3	1279	-11 388	-11 388	1
22	2455	0,211	1525,7					120,0	120,0	10,03	1303,8	1284	-11 104	-11 104	1
23	2443	0,221	1533,5					120,0	120,0	10,03	1308,3	1288	-10 816	-10 816	1
24	2430	0,221	1541,5					120,0	120,0	10,03	1312,9	1293	-10 523	-10 523	1
25	2418	0,231	1549,5					120,0	120,0	10,04	1317,6	1298	-10 225	-10 225	1
26	2406	0,231	1557,7					120,0	120,0	10,04	1322,3	1302	-9 922	-9 922	0
27	2394	0,241	1566,0					120,0	120,0	10,04	1327,1	1307	-9 616	-9 616	0
28	2382	0,241	1574,5					120,0	120,0	10,04	1332,0	1312	-9 309	-9 309	0
29	2370	0,251	1583,0					120,0	120,0	10,04	1336,9	1317	-9 003	-9 003	0
30	2358	0,251	1591,7					120,0	120,0	10,04	1341,9	1322	-8 696	-8 696	0
HTEENSÄ	76157		114 443			1479,8		11 084,2	17 010,8		11 124,5		18 345,9		25

Yhteenveto: investoinnin tuotto- ja kannattavuuslaskelmat
 Investoinnin nettokäyttöarvo 30 vuoden käyttöiällä **1 335,1** euroa
 Takaisinmaksuaika laskentakorolla **25** vuotta
 Investoinnin sisäinen korkokanta käyttöiän aikana **1,4%**