



**Loppuraportti:  
Isokuusi II:n aurinkosähköjärjestelmän  
asemakaavavaiheen konsultointi**

15.12.2014  
GreenEnergy Finland OY  
Jarmo Skarp

## Sisällysluettelo

1. Johdanto
2. Yleistä
  - 2.1. Aurinkosähköstä ja –säteilystä Suomessa
  - 2.2. Aurinkosähköjärjestelmän komponentit
  - 2.3. Tehdyistä simulaatioista
  - 2.4. PV-tuotanto erillispientalo katoilla Vuoreksen Isokuusi II alueella
3. Katon kaltevuuden ja suuntauksen vaikutus sähkön tuotantoon
  - 3.1. Harjakatto (paneelit molemmilla lappeilla)
  - 3.2. Lapekatto
  - 3.3. Seinäasennus
4. Varjostuksen vaikutus
  - 4.1. Puiden varjostus
  - 4.2. Ympäröivän metsän varjostus
  - 4.3. Kattorakenteet (piiput, ilmastointiputket yms.)
5. Esimerkkitapauksia
  - 5.1. Harjakattotalo
  - 5.2. Lapekatto
6. Suositukset maankäytön suunnitteluun ja toteutukseen Vuores Isokuusi II alueella
  - 6.1. Kaavaratkaisu
  - 6.2. Rakentamistapaohjeet
  - 6.3. Talosuunnittelu.
7. Liitteet

## 1 Johdanto

Tämä selvitys on tehty Isokuusi II erillispientalokortteleita 7720-7722 ja 7724-7728 silmälläpitäen. Talotyyppi ja talojen perussuuntauksat noudattavat asemakaavaluonnosta.

Selvityksen tarkoituksena on esitellä niitä vaatimuksia, mitä aurinkosähkön optimaalinen tuottaminen edellyttää niin rakentamiselta kuin ympäristöltä. Kaikkia ehdotuksia ei voida toteuttaa, mutta toivottavasti tämä selvitys auttaa ymmärtämään aurinkosähkön omia erityisvaatimuksia.

Selvityksessä esitettävät yleiset aurinkosähköä palvelevat suunnitteluperiaatteet ovat käytettävissä myös muissa kaavoituskohteissa

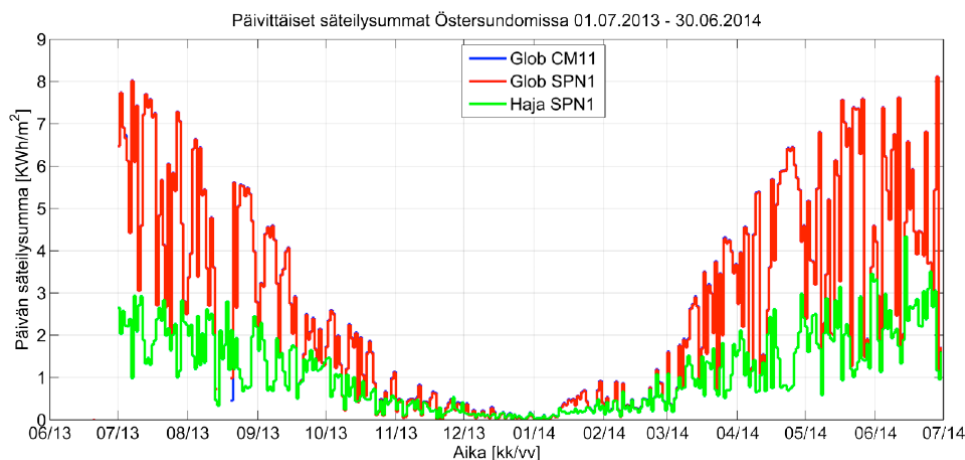
## 2 Yleistä

### 2.1 Aurinkosähköstä ja -säteilystä Suomessa

#### Auringonsäteily:

Ilmatieteen laitoksen mittaama auringonsäteilyn energiakeskiarvo Helsinki-Vantaan lentoasemalla vuosina 1981 – 2010 on 994 kWh/m<sup>2</sup>/vuosi /Viite 1./ . Mittaus kuvaa säteilyenergiaa horisontaalisella pinnalla.

Vuosittaisesta kokonaissäteilystä saadaan 92% maaliskuu-lokakuussa ja 52 % touko-heinäkuussa. Maksimi säteilyenergia auringon paistaessa pilvettömältä taivaalta keskipäivällä kesällä noin 800 W/m<sup>2</sup> /Viite 2/. Pilvisyydestä johtuva päivittäinen säteilyenergian muutos on myös huomattavaa, kuten Ilmatieteen laitoksen Östersundomissa tekemästä mittausarjasta ilmenee, kuva 1.



Kuva. 1 Päivittäiset vaakatason säteilysummat (Glob = kokonaissäteily, Haja = hajasäteily) Östersundomissa /2/

Maanpinnalla mittava säteily koostuu suorasta- ja hajasäteilystä. Hajasäteily syntyy valon siroamisesta ilmakehässä olevista partikkeleista ja kaasumolekyyleistä. Sen määrä on vuositasolla hieman yli 40 % kokonaissäteilystä. Hajasäteily tulee koko taivaankannelta, jolloin se ei ole herkkä yksittäisille varjostuksille.

## 2.2 Aurinkosähkö

Aurinkokenno muuttaa osan auringon säteilyenergiasta suoraan sähköenergiaksi, lopun säteilyenergian muuttuessa lämmöksi tai heijastuvan pois rakenteesta. Teoreettinen maksimi nykytyypisille pii-pohjaisille kennoille on 29 %.

Kennojen tuottama sähkö on tasavirtaa. Tyypillinen kaupallinen kenno (vuosi 2014) tuottaa 0,52 V ja 8 A = 4,2 W. Kennon jännitteen määrää käytetty materiaali sekä materiaalin ja kennon laatu (aineen puhtaus ja kidevirheiden vähäisyys) sekä kennon lämpötila.

Kennon tuottama jännite muuttuu vain vähän valon intensiteetin mukaan. Kennon tuottama virta sen sijaan riippuu lineaarisesti valon intensiteetistä ja kennon pinta-alasta.

Kennojen hyötysuhde määritellään kennon tuottaman sähköenergian suhteena siihen kohdistettuun suoraan 1000 W/m<sup>2</sup> tehoiseen auringonvaloon kennon ollessa 25 C lämpötilassa. Kaupallisten huippukennojen hyötysuhde on parhaimmillaan 22-23 % ja vastaavasti peruskennojen 17 – 18 %.

Kennot ja paneelit karakterisoidaan 1000 W/m<sup>2</sup> suoralla valolla, jonka spektri pyritään tekemään mahdollisimman lähellä auringonvalon spektriä. Näin saatua paneelin huipputuottoa merkitään W<sub>p</sub> (p = peak) ja sitä käytetään yleisesti paneelien ominaisuuksista puhuttaessa.

## 2.3 Aurinkosähköjärjestelmän komponentit

Aurinkosähköjärjestelmä koostuu PV-paneeleista, kattotelineistä, johdotuksista ja vaihtosuuntaajasta. Seuraavassa hieman tarkemmin kustakin.

Aurinkopaneeli (käytetään myös nimitystä aurinkomoduli)

PV-paneeli koostuu sarjaan kytketyistä aurinkokennoista, tyypillisesti 60 kennoa/paneeli. Yli 90% käytössä olevista aurinkokennoista on valmistettu piistä. Kennot ovat joko yksi- tai monikiteisiä.

Kennot ovat kapseloitu karkaistun erikoissuojalasin ja Kevlar-kalvon väliin. Paneeli on yleensä varustettu alumiinisella raamilla, millä paneelit kiinnitetään kattotelineisiin. Karkaistu etulasi kestää isoja paikallisia mekaanisia voimia kuten rakeiden iskuja sekä yhdessä raamin kanssa tuuli- ja lumikuormia.

Kennojen sarjaankytkentä tarkoittaa, että jokaisen kennon läpi menee sama virta ja että kennojen yli oleva jännite lasketaan yhteen. Niinpä 250 W<sub>p</sub>-paneelin jännite ja virta ovat standarditoimintapisteessä 60 x 0,52 V = 31,2 V ja virta 8 A. Tämä on siis paneelin teho 1000 W valaistuksessa 25 C lämpötilassa.

Kennojen sarjaankytkentä tekee paneelirakenteen varjoherkäksi. Yksi varjossa oleva kenno määrää koko paneelin virran. Jos varjostava esine on kaukana, niin hajavalo pääsee silti kennoon, mutta jos kyseessä on jokin lähellä oleva varjostin esim. paneelin pintaan liimautunut puun lehti, niin vähennys on merkittävä.

Tätä varten paneelit on varustettu 3 – 6 kpl suojadiodeilla, jotka oikosulkevat varjossa olevan osan. Osa paneelin tuotosta menetetään, mutta ei kaikkea.

Lämpötilalla on merkittävä negatiivinen vaikutus hyötysuhteeseen: 0,4 %/C = 1 W<sub>p</sub>/C yli 25 C lämpötiloissa. Vastaavasti alle 25 C lämpötiloissa paneeli tuottaa enemmän, mikä osaltaan selittää kevätkuukausien parempaa sähköntuottoa.

Aurinkopaneelientä

Kaltevalle katolle kiinnitetään telineet katon suuntaisesti. Telineet jättävät katon ja paneelien väliin ilma- ja tuuliväliä, joka auttaa paneelien jäädytyksessä.

Telineet voidaan asentaa kaikille kattotyypeille.

Paneelikentän paneelit kytketään myös sarjaan. Sarjan konfiguraatio riippuu niin käytetystä invertteristä kuin mahdollisista lähivarjoista. Omakotitalon katolla sarjankytkettyjä paneeleita on tyypillisesti 10 – 20 kpl /kenttä (2,5 – 5 kWp). Suuremmalla katolla voi kenttiä olla useita.

Paneelien koot vaihtelevat, mutta nykyisin yleisin paneelikoko (250 Wp/60 kennoa) on 1,0 x 1,6 m<sup>2</sup>. 20 paneelin 5 kWp kenttä tarvitsee 3 x 7 – pystymuodossa 4,8 m x 7,2 m tilaa

Paneelien sarjaankytkentä ja johdotus invertterille tehdään käyttäen erityiskaapeleita. 20 paneelin sarjaankytkentä nostaa ulostulojännitteen useaan sataan volttiin, max 1000 V.

Vaihtosuuntaaja

Vaihtosuuntaajalle asti jännite on tasasähköä. Vaihtosuuntaaja muuntaa sen (DC) normaaliksi 230 V 3 – vaihe vaihtosähköksi (AC). Vaihtosuuntaajalta sähkö kytketään talon sähköjärjestelmän pääkeskukseen.

## 2.4 Tehdyistä simulaatioista

Simulaatio-ohjelma PVsyst 6.3.2

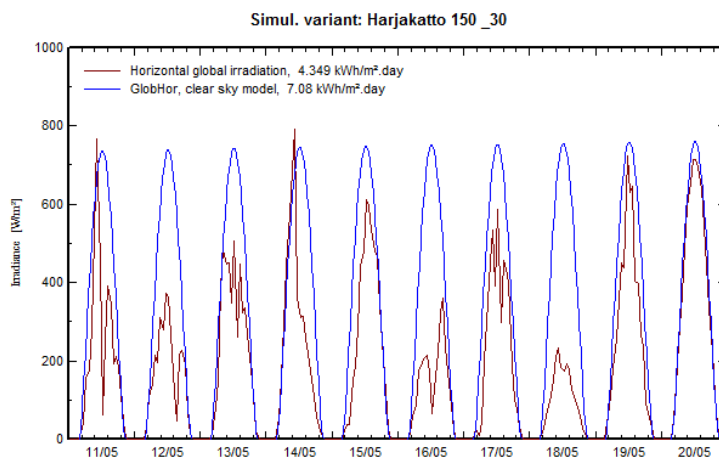
Kaikki simulaatiot on tehty PVsyst ohjelmalla, ohjelmaversio 6.3.2. Ohjelma on Sveitsissä kehitetty monipuolinen PV-simulaatio-ohjelma, erityispiirteinä lähivarjojen vaikutuksen laskenta.

Simulaatioissa käytetään Vuoreksen maantieteellisillä koordinaateilla laskettuja auringon säteilyarvoja. Ne lasketaan automaattisesti ohjelmaan kuuluvalla Meteonorm 6.1 algoritmillä. Meteonorm käyttää laskelmissaan Suomen Ilmatieteen laitoksen 1981 – 2010 Suomessa tekemää tuntipohjaista pitkäaikaismittausdataa (lämpötila, auringonsäteily ja tuuli) ja satelliittimittauksia.

Auringon paikka ja korkeus lasketaan Vuoreksen maantieteellisten koordinaattien suhteen.

Ohjelma käyttää aurinkopaneelien ja inverttereiden oikeita teknisiä spesifikaatioita laskennassaan.

Simulaatiossa lasketaan energiatuotto tunneittain. Koska simulaatiossa käytetty säteilyinformaatio perustuu todellisiin tuntipohjaisiin mittauksiin, niin laskennassa käytettävät auringonsäteilyn tasot vaihtelevat vastaavasti, kuva 2. Laskenta tehdään tunneittain, mutta tulokset esitetään kuukausipohjaisina tuntikeskikeskiarvoina selvyuden vuoksi.



Kuva 2. Esimerkki simulaation käyttämästä päivittäisestä kokonaissäteilystä (punainen viiva) ja suoran

säteilyn teoreettinen arvosta toukokuun puolivälistä.

### 3 PV-tuotanto erillispientalojen katoilla Vuoreksen Isokuusi II pientaloalueella

Seuraavissa osioissa esitetään, miten eri paneelien suuntaaminen ja varjostus vaikuttavat aurinkopaneelien tuottaman sähkön määrään.

Jokainen tutkittava komponentti (katon lappeen kaltevuus, lappeen suuntaus, etelän puoleisen metsän varjostus, idän puoleinen varjostus, pihapuiden varjo ja savupiippu yms. katolla ovat varjostuslähde) on simuloitu erikseen. Lopuksi esitetään simulaatiot kaikki nämä komponentit voimaloista, jotka on sijoitettu harjakaton joko yhdelle tai kahdelle lappeelle. Nämä simulaatiot toimivat referensseinä. Yksilape-simulaatiota voidaan käyttää myös muissa talotyypeissä, missä paneelit ovat sijoitettu vain yhdelle lappeelle.

Erillistekijöiden tulokset esitetään prosentuaalisessa muodossa. Vertailuarvona käytetään referenssitalon vastaavan tekijä. Esimerkiksi referenssitalon harjakaton lape kulma on 30 astetta, jolloin harjakaton lapekulman vertailuarvona käytetään 30 asteen kulmaa (100%). Tällä menettelyllä voidaan todellisen talon tuottoarvio laskea referenssitalon tuottoarvosta yksinkertaisesti kertomalla se poikkeavan tekijän kertoimella, mikä löytyy kunkin simuloitavan tekijän ja talotyyppin taulukosta. Simulointipisteiden väliin sijoittuvia arvoja voidaan arvioida lineaarisella interpoloinnilla.

#### 3.1 Katon kaltevuuden ja suuntauksen vaikutus sähkön tuotantoon

Katon kaltevuutta varioitiin 20°, 30° ja 40° kummassakin kattomallissa. Katon kaltevuudella tarkoitetaan lappeen pinnan ja horisontaalitasan välistä kulmaa.

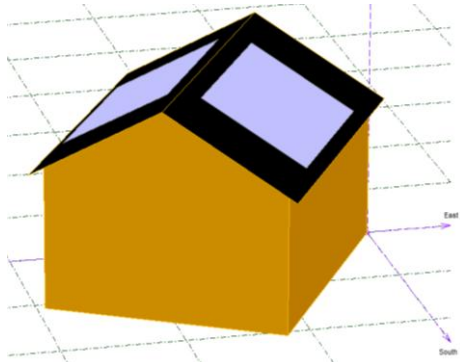
Katon suuntauksen vaikutusta simuloitiin kääntämällä taloa 30° askelin idän ja etelän välillä. Talojen suunta on ilmoitettu harjansuuntana.

Koska auringon päiväaikainen kierto on etelä-pohjoisakselin suhteen symmetrinen, niin valitulla suuntauksen mittausalueella saadaan harjakaton tapauksessa katettua kaikki ilmansuunnat (riittäväällä tarkkuudella; lämpötilaero aamulla ja iltapäivällä; sekä aamusumut aiheuttavat pienen eron itä- ja länsilappeiden välille) ja 1-lappeen katon tapauksessa kaikki etelän puoleiset suuntaukset.

2-lappeen tapauksissa simulointi tehtiin 5 + 5 kWp (40 kpl x 250 Wp paneeleita) järjestelmällä ja yhden lappeen tapauksessa 5 kWp voimalalla. Järjestelmän kokoa voidaan skaalata paneelien lukumäärää lisäämällä tai vähentämällä. Suuremmat muutokset vaativat kyseessä olevalle tehoalueelle sopivan invertterin, mutta laskennallisesti tulokset ovat vertailukelpoiset.

##### 3.1.1 Paneelit harjakaton molemmilla lappeilla

Harjakatto simulaatiot tehtiin kuvassa 3.1.1-1 esitetylle talolle. Harjan suunta käännettiin etelä-pohjoissuunnasta (90°) itä-länsisuuntaan (180°) siten, että itälape siirtyi etelälappeeksi. Asteluvut viittaavat taulukossa 1 oleviin harjansuuntiin.

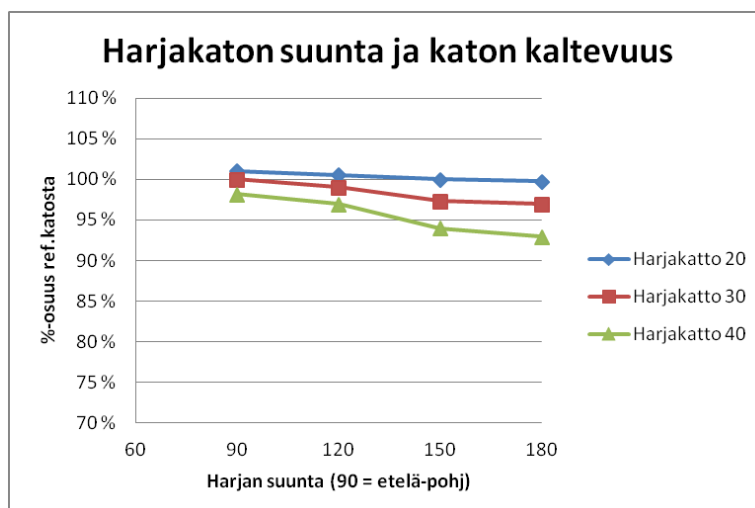


Kuva 3.1.1.-1. Simuloitu harjakattotalo harjansuunnassa 120°.

Suhteelliset tehotuottotulokset on esitetty taulukossa 3.1.1.-1 ja kuvassa 3.1.1.-2. Tulosten vertailtu on tehty referenssi talon vastaavaan arvoon (katon kaltevuus 30°, harjansuunta etelä-pohjoinen).

| Katon kaltevuus/deg. | Harjansuunta |       |       |           |
|----------------------|--------------|-------|-------|-----------|
|                      | etelä-pohj.  |       |       | itä-länsi |
|                      | 90           | 120   | 150   | 180       |
| Harjakatto 20        | 101 %        | 101 % | 100 % | 100 %     |
| Harjakatto 30        | 100 %        | 99 %  | 97 %  | 97 %      |
| Harjakatto 40        | 98 %         | 97 %  | 94 %  | 93 %      |

Taulukko 3.1.1.-1 Simuloitu kahden lappeen voimalan tuotto harjakatolla lappeen kaltevuuden ja harjansuunnan suhteen



Kuva 3.1.1-2 Simuloitu kahden lappeen voimalan tuotto harjakatolla lappeen kaltevuuden ja harjansuunnan suhteen

Talon suuntauksen merkitys on vähäinen pienillä kattokulmilla, mutta korostuu katon kaltevuuskulman kasvaessa. Tämä johtuu siitä, että katonharja varjostaa pohjoiseen suuntautuvaa lapetta pidemmän aikaa päivästä, mitä jyrkempi katto on (aurinko on noustava korkeammalle kuin mikä kattokulma, jotta pohjoispuolen lape tulisi valoon). Toisena sen tuottoa vähentävänä tekijänä on pohjoislappeen epäedullinen suuntautuminen aurinkoa kohden (sen aurinkoon päin suuntautuva efektiivinen pinta-ala on pieni). Kokonaistuottoa kuitenkin tasapainottaa etelälappeen lisääntyvä tehon tuotto sen kääntyessä

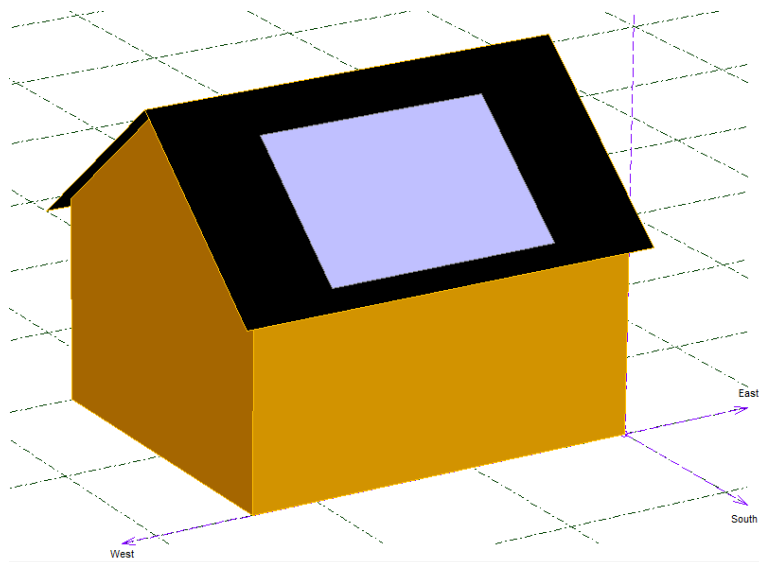
edullisempaan kulmaan aurinkoon nähden.

Voimalan tehontuoton riippuvuus harjan suunnasta pienenee kattokulman pienessä. Kulman ollessa nolla eli tasakatolla se on siitä riippumaton talon suunnasta. Samalla tehon tuotto on suurimmillaan, 102%, harjakaton referenssitalosta.

### 3.1.2 Paneelit yhdellä lappeella

Lapekattosimulaatiot tehtiin kuvassa 3.1.2-1 esitetylle talolle. Lappeen suunta käännettiin itäsuunnasta (90°) etelän suuntaan (180°) 30°-askelin. Suluissa olevat asteluvut viittaavat taulukossa 3.1.2-1 oleviin suuntiin.

Symmetrian vuoksi arvot pätevät myös etelästä länteen suuntauksilla.



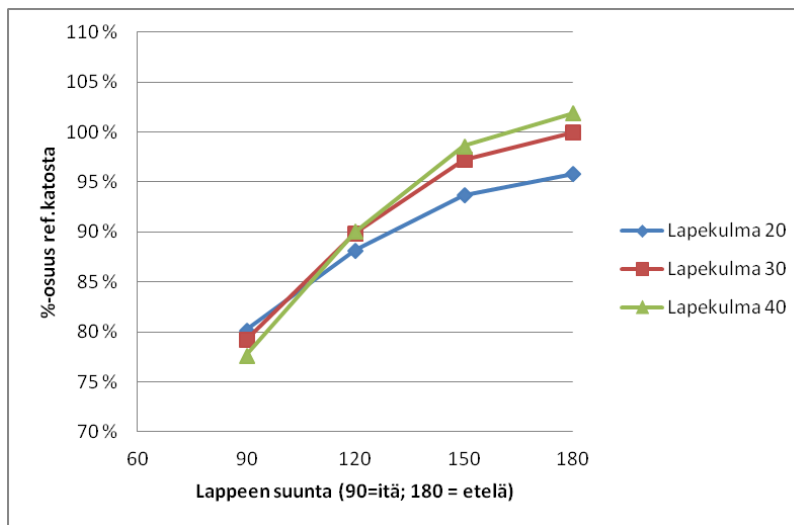
Kuva 3.1.2-1 Voimala yhdellä lappeella. Lappeen suunta etelään, lapekulma 30°

Suhteelliset tehotuottotulokset on esitetty taulukossa 3.1.2-1 ja kuvassa 3.1.2-2. Tulosten vertailtu on tehty yhden lappeen voimalaan, jonka katon lappeen kaltevuus on 30° ja lappeen suunta etelä.

| Katon kaltevuus/deg. | Harjansuunta |      |      |           |
|----------------------|--------------|------|------|-----------|
|                      | 90           | 120  | 150  | 180       |
|                      | itälape      |      |      | etelälape |
| Lapekulma 20         | 80 %         | 88 % | 94 % | 96 %      |
| Lapekulma 30         | 79 %         | 90 % | 97 % | 100 %     |
| Lapekulma 40         | 78 %         | 90 % | 99 % | 102 %     |
| Tasakatto LK 0       | 81 %         |      |      |           |

Taulukko 3.1.2-1 Yhden lappeen voimala eri harjansuunnilla ja lapekulmilla verrattuna etelälape/lapekulma 30°





Kuva 3.1.2-2 Yhden lappeen voimala eri harjansuunnilla

Kun kahdenlappeen voimalan tapauksessa harjan suuntauksella oli vain vähäinen vaikutus paneelin tehontuottoon johtuen sen päinvastaisiin suuntiin kohdistuvilla paneeleilla, niin lapekatolla suuntaus on hyvin merkittävä tekijä aurinkopaneelien tehontuotossa.

Lapekatolla ei ole rakenteellista varjostumaa, vaan muutos riippuu kentän efektiivisestä pinta-alasta eli miten suurelta alalta aurinkosäteilyä se kerää. Parhain tulos on etelään päin suunnatulla lappeella. Lappeen suuntauksen vähentävä vaikutus voimalan tuottoon on pientä (-2-3%) myös vain vähän etelästä pois päin suunnatuilla lappeilla (etelä +/- 30°), mutta tuotto vähenee nopeasti suuntauksen mennessä tätä enemmän itään/länteen (jossa se vastaa etelä-pohjoinen harjansuuntaisen harjakaton 2-lappeen voimalan tuottoa).

Tasakatto, joka on myös erikoistapaus lapekatosta, antaa 81% referenssitalon arvosta. Koska harjakaton tapauksessa tasakatto oli tehokkain keräyskulma, niin taloissa joiden katto on suunnattu edes hieman etelään päin lapekaton tuotto ylittää harjakaton tuoton.

### 3.1.3 Seinäasennus

Aurinkopaneeli voidaan asentaa myös seinille. Taulukossa 3.1.3-1 on esitetty seinävoimalan tuotto seinäasennuksena verrattuna referenssi 2-lappeen harjakaton tuottoon.

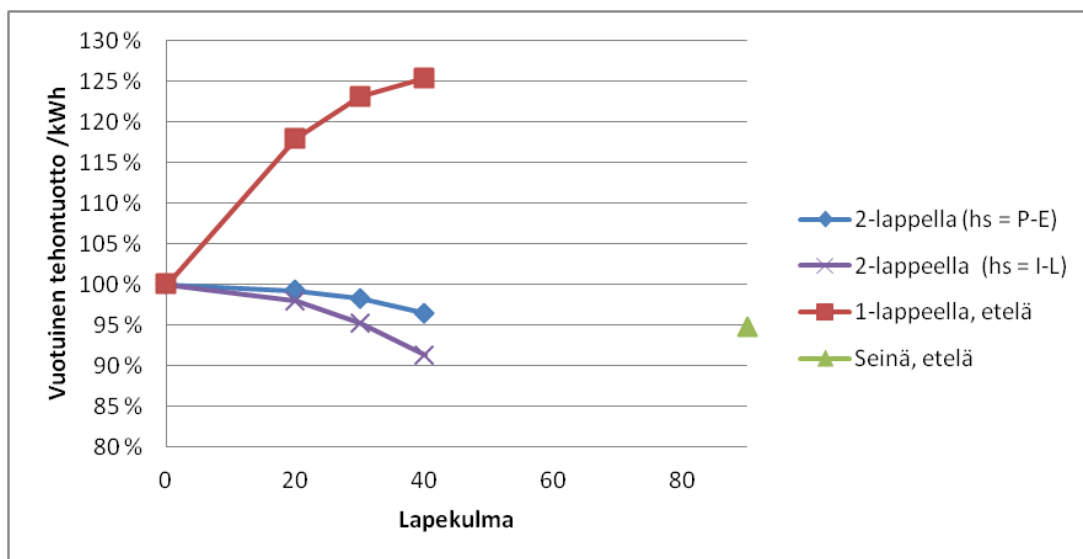
|                    | Kaltevuus /deg. | Suunta |      |      |       |
|--------------------|-----------------|--------|------|------|-------|
|                    |                 | itä    | 120  | 150  | etelä |
|                    |                 | 90     | 120  | 150  | 180   |
| Seinä itä -> etelä | 90              | 68 %   | 83 % | 92 % | 97 %  |

Taulukko 3.1.3-1. Varjoton 10 kWp voimala asennettuna seinälle. Seinän suuntaus idästä etelään 30° välein.

Vaikka seinäasennus on varjojen suhteen kattoasennusta haasteellisempi, niin sillä on potentiaalia varsinkin eteläseinällä 2-lappeen voimalan (harjan suunta etelä-pohjoinen) tapauksessa.

### 3.1.4 Lapekulman ja voimalan suunnan yhteenveto

Kuvassa 3.1.4.-1 on esitetty kaikki simulaatiot verrattuna tasakaton tapaukseen. Jokaisen voimalan teho on sama.



Kuvassa 3.1.4.-1 PV-voimala yhdellä, 2 lappeella ja seinällä verrattuna tasakattoon (horisontaaliasennus)

Tehon tuotanto/asennettu paneeli, voimalan paneelihyötysuhde, on suurin etelään suunnatulla 1-lappeen voimalalla varjottomassa tapauksessa. Jos tarkastellaan samaan tehontuottoon vaadittavaa paneelien määrää niin etelälappeelle (30° lapekulma) kuin etelä-pohjoissuuntaiselle (harjan suunta) 2 lape voimalaa, etelälapevoimalassa tarvitaan vain 80 % 2-lape voimalan paneelimäärästä.

#### 4. Varjostuksen vaikutus

Aurinkopaneelin tuottama sähköteho on suoraan verrannollinen paneelin kohdistuvan valon intensiteettiin (säteilytehoon). Auringon ja aurinkopaneelin välissä olevat kappaleet varjostavat paneelia estäessään suoran auringonvalon pääsyn paneeliin. Varjostus vähentää aurinkopaneelin tuottamaa tehoa huomattavasti.

Suora auringonsäteily vastaa 50 – 60 % koko auringonsäteilyn energiasta. Jos varjostava kappale on lähellä paneelia, niin se vähentää myös hajasäteilyn määrää, koska se peittää suuremman osan taivaalta tulevasta hajasäteilystä. Ääriesimerkkinä on paneelin päälle lennähtänyt musta muovikassi tai foliopallon kuori, joka estää kaiken valon tulon sen alla oleviin kennoihin.

Aurinkopaneelin sähköinen rakenne tekee siitä erityisen varjoherkän. Koska aurinkopaneeli koostuu sarjaankytketyistä aurinkokennoista, niin pienenkin osan peittyminen vähentää merkittävästi paneelin tuottaman sähkötehon määrää. Paneelin tuottama virta rajoittuu heikoimman kennon tasolle. Jotta koko paneelin tehontuotto ei kärsisi pienialaisen varjostuksen johdosta, niin paneelit on varustettu 3- 6 kpl suojadiodeja. Nämä rajoittavat yhden kennon vaikutusalueen paneelissa 1/3 – 1/6 osaan koko paneelista.

Varjojen pituudet, paikat ja korkeudet riippuvat varjostavan kohteen paikan ja korkeuden sekä auringon korkeuden ja suunnan mukaan. Vuorokausi- ja vuodenaikavaihtelut tekevät kunkin varjon vaikutusarvioinnista hankalaa. Tietokoneavusteinen simulointi poistaa tämän ongelman laskemalla varjostukset kullekin tunnille yli koko vuoden.

Kaksi merkittävää suunnittelusääntöä varjostaville kohteiden arviointiin kuitenkin on. Jos varjostavat kohteet ovat paneelien pohjoispuolella tai niiden korkeus on pienempi kuin paneelien minimi asennuskorkeus, niin niiden varjostusmerkitys on pieni. Katolle asennettavat ulokkeet (kuten savupiiput, tikkaat, ilmastointiputket, antennit) on hyvä asentaa paneeleista pohjoiseen. Lähellä taloa olevien pihapuiden pitäminen alle räystäskorkeuden ei aiheuta varjoja katolle.

Seuraavassa käsitellään ympäröivän metsän, pihapuiden ja katon muiden rakenteiden vaikutusta sähkön tuottoon harjakaton (paneelit molemmilla lappeilla) ja yhden lappeen katon (harjakatto, jossa kaikki paneelit ovat yhdellä lappeella tai pulpettikatto) tapauksessa.

#### 4.1 Simuloidut kohteet

##### 4.1.1 Harjakatto

Simuloitu harjakatto on lapekulmaltaan 20° ja sen harjansuunta etelä-pohjoinen. Tontin leveys 20 m ja pituus 30 m. Talon vastaavat mitat 10 m ja 12 m sekä räystäskorkeus 6 m. Talon eteläseinä 10 m tontin etelärajalta ja itäseinä 5 m tontin itärajalta.

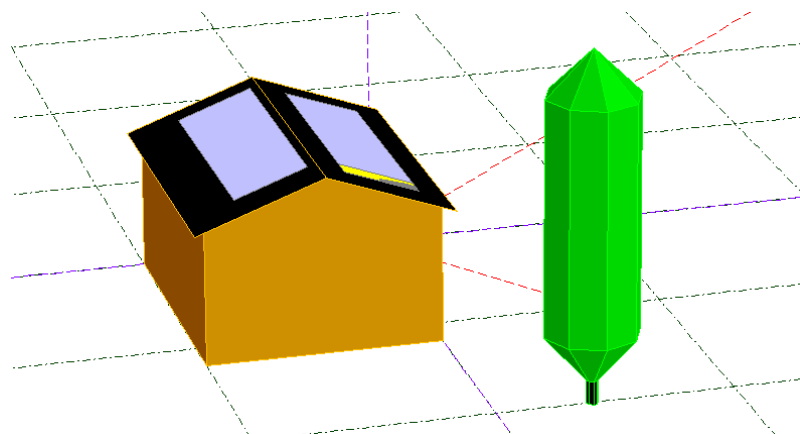
##### 4.1.2 Etelälape (Harja- tai lapekattotalo)

Perusparametrit ovat samat kuin harjakaton tapauksessa. Talon etelälape on suoraan etelään ja lapekulma 30°. Joissain tapauksissa simuloinnit tehtiin myös talolle, jonka suuntaus poikkesi +/-30° etelästä.

#### 4.2 Pihapuiden varjostus

##### 4.2.1 Harjakatto

Yksittäisen pihapuun muoto selviää kuvasta 1.1.1.-1. Puun halkaisija keskikohdalta mitattuna on 4 m.



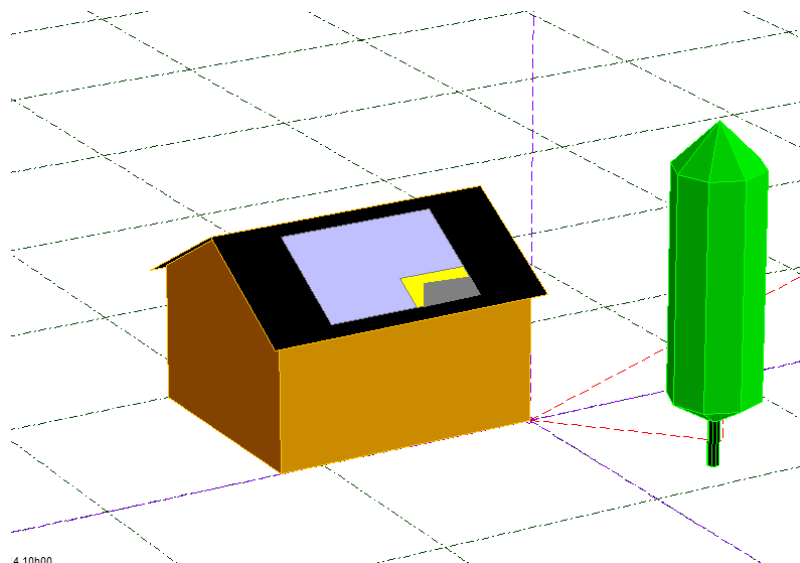
Kuva 4.2.1.-1. Esimerkki yksittäisen puun simulointikonstruktiosta. 15 m korkea puu tontin itärajan tuntumassa. Puun varjo näkyy itäisen lappeen paneelikentän eteläreunassa noin puolen tunnin ajan. Tilanne 20.4. klo 10:30 esitetty harmaana (itse varjo) ja keltaisena (varjon vaikutusalueella olevat paneelit) kuviona.

Puunkorkeutta varioitiin 10 m, 12 m ja 15m. Simuloinnit tehtiin kolmella puun paikalla siirtäen puuta itä-länsi suunnassa eteläisen etäisyyden pysyessä samana (2 m tontin eteläreunasta). Reunimmainen puun paikka oli 1 m tontin itärajalta, toinen talon itäseinä kohdalla ja kolmas talon keskiviivalla.

Varjostusten vaikutukset simuloituilla parametreillä oli kaikissa tapauksissa vähäiset, vähemmän kuin 2% verrattuna varjottoman talon tuottoon. Tämä saatiin 15 m korkealla puulla. Lyhyemmillä puilla vaikutus oli vieläkin pienempi.

##### 4.2.2 Etelälape (Harja- tai lapekattotalo)

Perusparametrit ovat samat kuin harjakaton tapauksessa. Talon etelälape on suoraan etelään ja lapekulma 30°. Kuva simuloidusta talosta siihen osuvan varjon kera on esitetty kuvassa 1.1.2.-1



Kuva 4.2.2.-1 Aurinkopaneelit (5 kWp) vain etelä lappeella. Puun varjo näkyy paneelientän alareunassa noin tunnin ajan. Tilanne 20.4. klo 10:00 esitetty harmaana (itse varjo) ja keltaisena (varjon vaikutusalueella olevat paneelit) kuviona.

Varjostukset on esitetty verrattuna varjottomaan tilanteeseen taulukossa 4.2.2-1. Tuoton väheneminen on pienehköä, mutta suurempaa kuin harjakaton tapauksessa. Puun ollessa tontin rajan läheisyydessä, sen varjostava vaikutus on mitätön, mutta se korostuu suoraan nyt talon edessä olevien puiden kohdalla.

|                  | Puun korkeus/m |      |      |       |           |
|------------------|----------------|------|------|-------|-----------|
|                  | 10             | 12   | 15   |       |           |
| Puun paikka      |                |      |      | 100 % | ei varjoa |
| tontin raja -1   | 99 %           | 99 % | 97 % |       |           |
| talon sivu       | 99 %           | 97 % | 95 % |       |           |
| talon keskiviiva | 98 %           | 95 % | 92 % |       |           |

Taulukko 4.4.2-1. Yksittäisen puun tuottaman varjon suhteellinen merkitys eteläisellä lappeella olevan voimalan tuottoon verrattuna varjottomaan tilanteeseen.

Koska etelälape voimala voidaan sijoittaa myös etelästä poikkeaviin kulmiin, niin puun varjon merkitystä simuloitiin lappeen suuntauksella +/- 30° etelästä. Tulokset olivat kuitenkin hyvin samanlaiset, ero tämän simulointiin pienempi kuin 1%-yksikkö, joten yo. tarkastelua voidaan soveltaa myös näihin tapauksiin.

#### 4.4.3 Yhteenveto yksittäisistä puun varjoista

Tontilla sijaitsevat puut eivät varjosta talon katolla olevaa aurinkosähkövoimalaa, jos ne ovat alle räystäskorkeuden. Mitä pidempiä puut ovat, sitä kauemmas talosta ne kannattaa sijoittaa. Vähiten varjostumaa saadaan lähellä tontin eteläreunan kulmia.

#### 4.5 Ympäröivän metsän varjostus

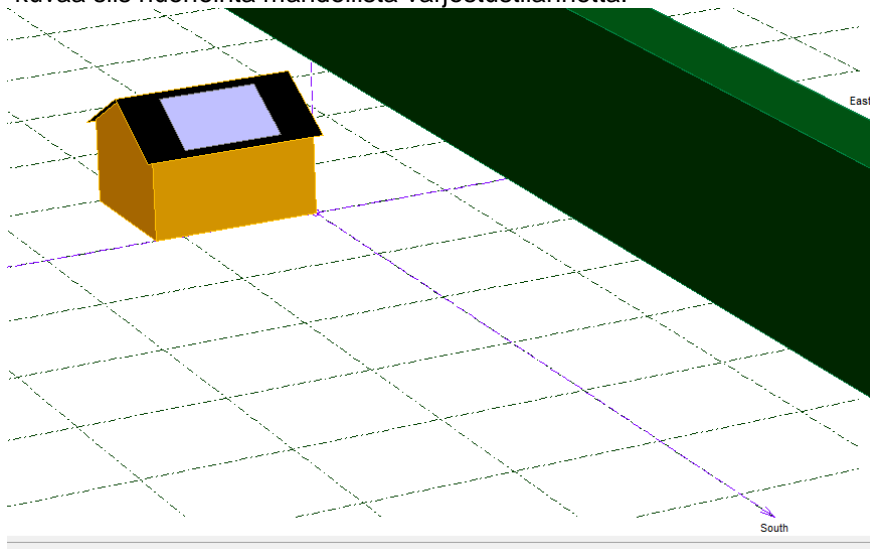
Asuntoaluetta ympäröivän metsän osalta tutkittiin asuntoalueen itäisen- ja eteläisen osien vaikutusta aurinkovoimaloiden toimintaan. Tontit mahdollistavat itä-länsi harjansuuntaisten talojen rakentamisen, jolloin simulointi tehtiin vain etelälapevoimalaloilla.

##### 4.5.1 Itäisen metsäalueen vaikutus

Itäisen metsäalueen vaikutusta harjakatolle simuloitiin muuttujien ollessa metsän korkeus ja sen

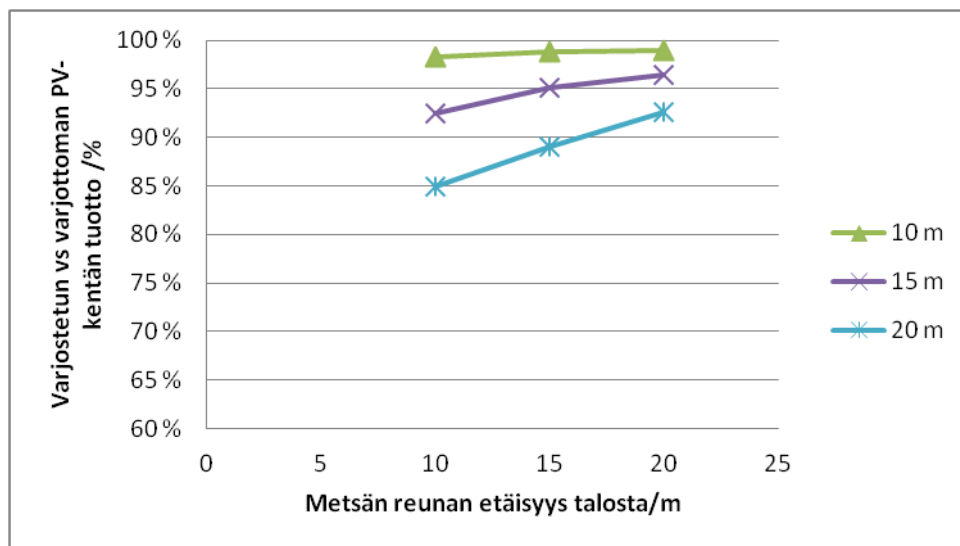
länsireunan etäisyys talosta. Metsän reuna kulki etelä-pohjoissuunnassa.

Metsä simuloitiin 200 m pohjois-etelä-suuntaisella vihreällä palkilla, joka on valoa läpäisemätön. Tämä kuvaa siis huonointa mahdollista varjostustilannetta.



Kuva 4.5.1 -1 Havainnekuva simulaatiossa käytetystä yhden lappeen voimalan harjakattotalosta ja itäisestä metsästä

Simulointitulokset on esitetty oheisessa kuvassa.

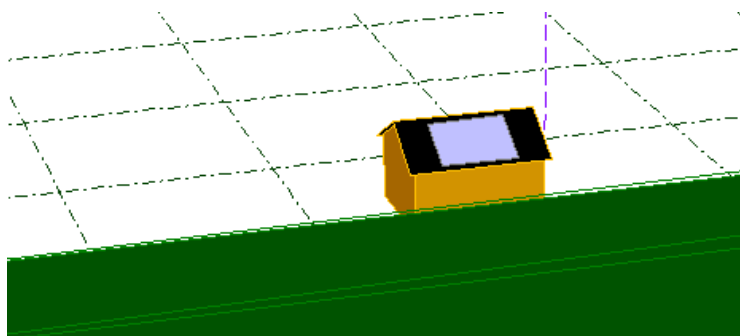


Kuva 4.5.1-2. Itäpuolisen puuston varjostusvaikutus 1 lappeen voimalan tuottoon eri puuston korkeuksilla

Varjostuksen vaikutus voimalan sähkön tuottoon korostuu voimakkaasti puiden korkeuden kasvaessa. Kun muutos 10 m korkealla puustolla on -2 %-yksikköä metsän reunan etäisyyden ollessa 10 metriä (eli tontin rajalla), niin 20 m korkeilla puilla muutos on -15 %-yksikköä.

#### 4.5.2 Eteläisen metsäalueen vaikutus lapekatolle

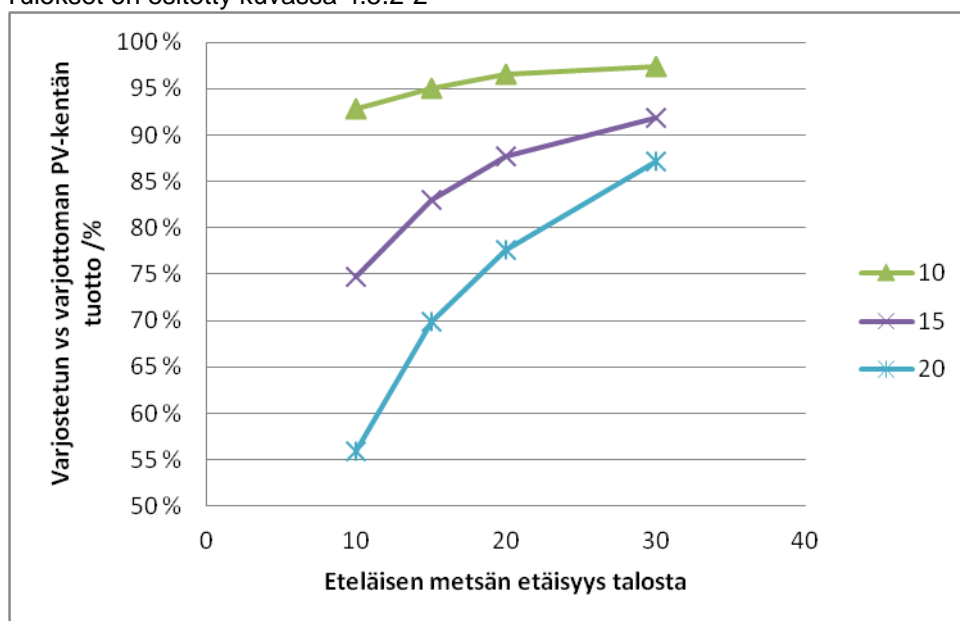
Eteläiseen metsäalueisiin rajoittuvien talojen varjostumisia tutkittiin yksi lappeisella voimalalla. Lapekulma oli 30° ja lappeen suuntaus suoraan etelään.



Kuva 4.5.2 -1 Lapetalo ja eteläinen metsä simulaatiossa

Metsä simuloitiin 200 m itä-länsisuuntaisella vihreällä palkilla, joka on valoa läpäisemätön. Tämä kuvaa siis huonointa mahdollista varjostustilannetta.

Simulaatioissa varioitiin talon eteläsivun ja metsän pohjoisreunan välistä etäisyyttä ja puiden korkeutta. Tulokset on esitetty kuvassa 4.5.2-2



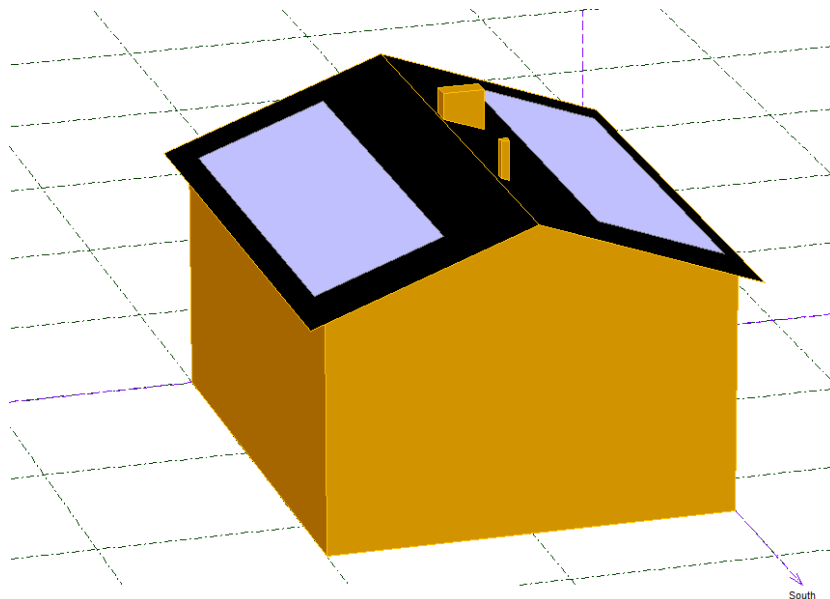
Kuva 4.5.2.-2 Eteläisen puuston varjostusvaikutus lapekattovoimalan tuottoon

Etelänpuoleisen puuston korkeudella on merkittävä negatiivinen vaikutus aurinkovoimalan tuottoon. Mitä korkeampi puusto, sitä korkeammalle auringon on noustava ennekuin sen säteet tavoittavat paneelit.

#### 4.6. Kattorakenteet (piiput, ilmastointiputket yms.)

Kaikki katolle asennettavat ulokkeet kuten savupiiput, ilmastointiputket ja antennit aikaansaavat varjoja. Tätä varten perusohje on, että nämä sijoitettaisiin paneelien pohjoispuolelle. Yhden lappeen tapauksessa tämä onkin mahdollista, mutta 2-lappeisella voimalalla harjakatolla tämä ei välttämättä ole mahdollista.

Ulkoisia kattovarjostuksia simuloitiin seuraavalla kuvan 4.6.1 mukaisella rakenteella.



Kuva 4.6.1 2-lapevoimala etelä-pohjoisharjansuuntaisella harjakatolla .

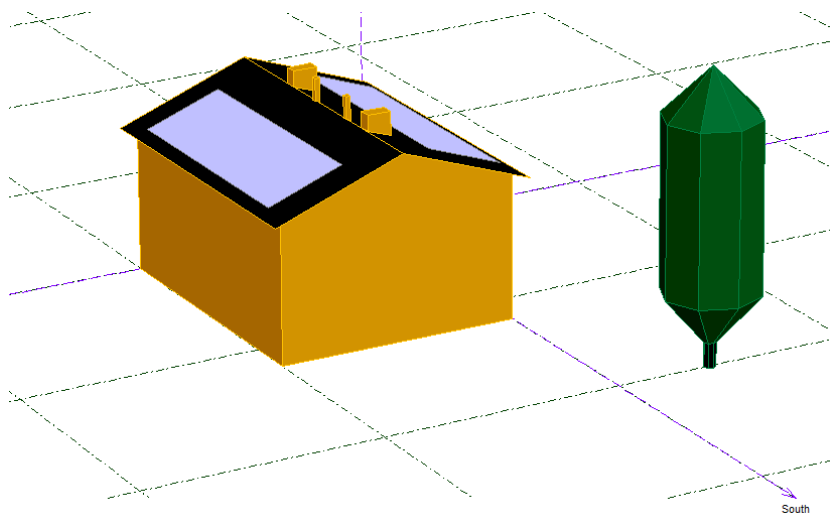
Piipun koko 0,5 m x 1 m x 1 m (pidempi korkeus) sijoitettuna lähelle harjaa ja paneelit alkaen läheltä räystäitä tuotti 0,4 % varjostuksen. Pienempi ilmastointiputkea kuvaava putki teki 0,1 % varjostuksen. Jos paneelit ulottuivat varjostuskohteisiin (esim. piippuun) asti, niin varjostusosuus kaksinkertaistui.

#### 5. Esimerkkitapauksia

Seuraavassa kaksi simulaatiota, joissa eri simulaatiot on yhdistetty. Tarkemmat simulaatio raportit löytyvät liitteistä 5 ja 6.

##### 5.1 2-lapeen voimala harjakattotalon katolla

Katon lapekulma 20°, harjansuunta etelä-pohjoinen ja 5 kWp kummallakin lappeella. Katolla 2 kpl savupiippuja ja ilmastointiputkia, ks. kuva 5.1 -1. Puu 12 m korkea, 4 m talon seinästä itään ja 8 m etelään.

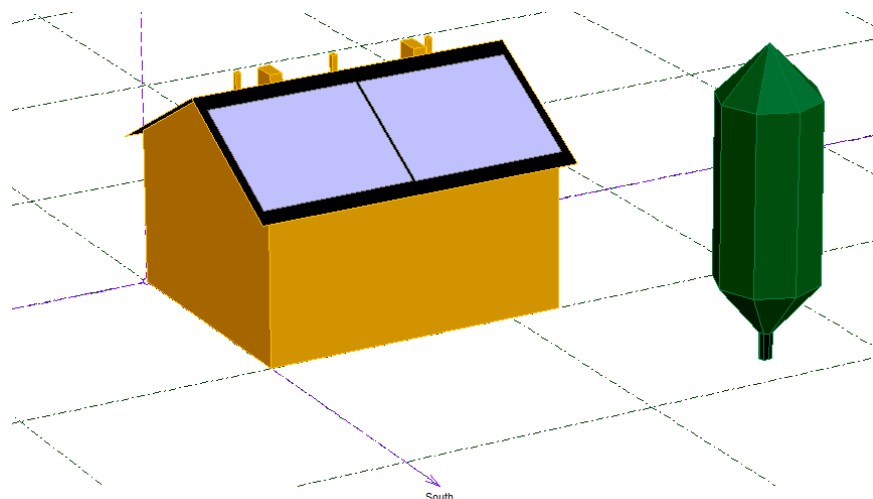


Kuva 5.1-1 Kahden lapeen simulaatiotalo (10 kWp).

Vuotuinen tehontuotto on 7738 kWh/a ja paneelituotto 774 kWh/kWp/a.

## 5.2 Yhdenlappen voimala harjakattotalon katolla

Katon lapekulma 30°, harjansuunta itä-länsi ja 9 kWp (4,5 kWp+ 4,5 kWp) etelälapeella. Katolla 2 kpl savupiippuja ja ilmastointiputkia, ks. kuva 5.1 -2. Puu 12 m korkea, 4 m talon seinästä itään ja 8 m etelään.



Kuva 5.1-2 Kahden lappen simulaatiotalo (9 kWp)

Vuotuinen tehontuotto on 8633 kWh/a ja paneelituotto 959 kWh/kWp/a.

## 6. Suosituksia maankäytön suunnitteluun ja toteutukseen

### 6.1 Kaavaratkaisu

Etelään päin suuntautuvaa lapetta suositellaan ensisijaisesti aurinkosähköasennuksiin.

Etelään suuntautuvan lappen lapekulma tulisi olla mahdollisimman suuri (30 – 40).

Etelälape voi olla isompi kuin pohjoislape (esim rinnetaloissa).

Jos talon harjansuunta on etelä-pohjoinen, niin molempia lappeita voidaan käyttää. Tällöin lapekulmaksi suositellaan mahdollisimman pientä.

Talon eteläpuoleiset istutukset: varjostusten välttämiseksi talon etelän puoleiset pihapuut istutettava mahdollisimman kauas talosta; tonttien rajoille. Keskellä talon keskiviivaa ja/tai lähempänä taloa olevien puiden tulisi olla alle talon räystäskorkeuden (myös tien puolella)

Puiden korkeus eteläisessä ja itäisessä metsässä pitäisi lähellä tontteja rajoittaa max 10 m.

### 6.2 Rakentamistapaohjeet

Talot on suunniteltava ja rakennettava niin, että niiden katoille voidaan asentaa aurinkopaneeleita.

Aurinkosähköpaneelit telineineen tuovat noin 200 N/m<sup>2</sup> lisäkuorman katolle, joka on otettava huomioon katon kantavuutta mitoitettaessa. Näin myös siinä tapauksessa, että aurinkosähköasennusta ei suunnitella tehtäväksi heti.

Katon harjalta tai talon päädystä on tehtävä 3 x  $\varnothing$ 20 mm putkitus (2 x PV-kaapelit ja telineiden maadoituskaapeli) talon pääsähkökeskukseen tai ryhmäkeskukseen tai niiden välittömään läheisyyteen. Aurinkopaneelit ovat joko mustia tai tummansinisiä, joka on otettava huomioon talon katon väriä määriteltäessä.

Vaihtosuuntaaja asennetaan omakotitaloissa ulos, koska verkkoyhtiön asentajilla pitää olla esteetön pääsy laitteelle (irrotus verkosta). Se voidaan asentaa myös sisälle tekniseen tilaan, jolloin irrotuskytkin asennetaan ulos.

Invertteriä ei suositella asennettavaksi lappen alapuolelle (voi hautautua katolta tippuvaan lumeen)

### 6.3 Talosuunnittelu



## 7. Liitteet

- 1) TILASTOJA SUOMEN ILMASTOSTA 1981-2010; Ilmatieteen Laitoksen julkaisu; 2012
- 2) Auringonsäteily Helsingin Östersundomissa; Anders Lindfors, Aku Riihelä, Antti Aarva, Jenni Latikka, Janne Kotro; Ilmatieteen Laitoksen julkaisu; 2014
- 3) 141512 10 kWp 2-lapevoimala simulaatio FINAL
- 4) 141512 9 kWp 1-lapevoimala simulaatio FINAL