

# Uusiutuvan hybridienergian käytön kannattavuus pienta- lossa

Kirsi Kulmala

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2020

Talotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikka

KULMALA, KIRSI:

Uusiutuvan hybridienergian käytön kannattavuus pientalossa

Opinnäytetyö 56 sivua, joista liitteitä 5 sivua  
Maaliskuu 2020

---

Opinnäytetyössä tutkittiin ensisijallisesti aurinkopaneelien kesäaikana pientalonkäyttöveden lämmittämisessä ja sähkön tuotannon korvaamisessa. Ensin määritettiin, paljonko käyttöveden lämmittäminen teoreettisesti vie energiaa. Energiankulutus laskettiin usealla tavalla ja seurattiin kymmenen kertaa varaajan lämpötilojen muutoksia kolmenkuukauden aikana. Käytettyä polttopuun määrää seurattiin vuoden 2018 ajan kohteessa.

Tutkimuksessa kartoitettiin aurinkopaneelien maksimituotantoa kolmella eri säädöllä ja kahdella teholla kohteessa., joka oli mahdollista saada kohteeseen. Lisäksi selvitettiin kahden energiamuodon käytön yhteensovittamista lämmityskauden ulkopuolella, niin energiamääräisesti, rahamääräisesti kuin hiiliekvivalenttisesti. Lisäksi laskettiin investoinnin kannattavuus.

Yhteenvedoksi laskelmista saatiin 356,17 euroa vuodessa energiasäästöä kiinteästi asennetuilla paneeleilla ja Säädetävillä paneeleilla saatiin 377,45 euroa eli 21, 28 euroa enemmän. Hiilidioksidiekvivalentin hiilijalanjälkeä pienennettiin kohteen käytetystä puu- ja sähköenergiasta yhteensä 272,20 kiloa.

Tulokseksi tutkimuksesta saatiin, että investointi ei kannata rahallisesti tämän hetken sähkön hinnalla tai puunenergian hinnalla, mutta hiilijalanjälki pieneni huomattavasti.

Opinnäytetyössä ei laskettu liikenteen päästöjen vaikutusta kohteen hiilijalanjälkeen, mutta sähköauto kesäaikaan kulkisi ilmaisenergialla ja polttoaineen hinta on huomattavasti kalliimpaa kuin sähkön hinta. Itse tuotetun aurinkoenergian hiilijalanjälki on lähellä nollaa. Takaisinmaksuaika pidennyksen laskennat olisi kannattanut tutkia, miten laskennat muuttuisivat. Yleisesti suositellaan mahdollisimman lyhyitä takaisinmaksuaikoja, koska se on kannattavampaa, varsinkin jos investoinnissa on korollinen laina.

Asiasanat: aurinkopaneelit, sähköenergian hinta, energia

## ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences  
Building services engineering

KIRSI KULMALA:

Profitability of hybrid renewable energy in small house.

Bachelor's thesis 56 pages, appendices 5 page

February 2020

---

The purpose of this thesis was to study photovoltaic solar energy using for heating domestic hot water and electricity production in small house during summer.

The amount of domestic hot water energy was theoretically calculated and monitored ten times over a three-months. The information which was gathered was the temperature of accumulator in heating process. The Amount of firewood was monitored during 2018 in the site.

The study researched the maximum production of solar panels at the property. The aim was to study three ways adjustments two powers of solar panels. The two forms integrated use of energy were examined in outside of heating season. That was studied the amount of energy, money and carbon dioxide equivalent. In addition, the profitability of investment was calculated.

In summary, the calculations resulted 356,17 euros in energy savings per year with the permanently installed solar panel. Savings with panel adjustments were 377,45 euros per year, 21,28 euros more than the permanently installed solar panel. The carbon footprint of carbon dioxide equivalent was reduced, totaling 272,20 kilograms from wood energy and electricity.

The conclusion of study was the investment were not profitable the current price of electricity or wood energy, the carbon footprint was notable decreased.

The thesis was not calculating this thesis infuses emissions of traffic at the carbon footprint of the property, but in summertime could run on the electricity car for free energy and the price of fuel would be more expensive than the price of electricity. In addition, the carbon footprint of self-produced solar energy is nearly zero.

Furthermore, would be effort examined, how the calculations would change, if repayment period would extend. Generally, is recommend for short repayment time because it is more profitable, especially if invest have interest-bearing loan.

---

Key words: solar panel, the price of electricity, energy

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	Uusiutuvat energiat .....	8
	2.1 Hiilijalanjäljen laskeminen .....	9
	2.2 Aurinkoenergia .....	11
	2.3 Auringonsäteilyn määrä Suomessa.....	12
	2.4 Aurinkopaneelien toiminta periaate .....	13
4	Kohteen lähtötiedot.....	15
	4.1 Energiankulutus kiinteistössä.....	16
	4.2 Käyttöveden energian tuoton tutkimus .....	16
	4.3 Käyttöveden energian laskenta .....	18
	4.4 käyttöveden käytön tutkiminen.....	20
	4.5 Puupolttoaineen käytön tutkiminen .....	21
	4.6 Aurinkoenergian käytön tutkiminen .....	22
5	Aurinkopaneelien tehontuotonsuunnittelu .....	24
	5.1 Paneelien mitoitus peruste .....	26
	5.2 Tuotannon vertailu .....	28
	5.3 Tuotannon ohjaus .....	33
	5.4 Investoinnihinnan arviointi.....	34
	5.5 Sähkön hinnan kehityksen arviointi .....	36
	5.6 polttopuun energian hinnan määrittäminen .....	37
	5.7 Kulujen arviointi.....	37
6	Diskonttauslaskenta.....	38
	6.1 Kannattavuuslaskenta ja diskonttaustekijän käyttö .....	40
7	Herkkyystarkastelu.....	41
	7.1 Investoinnin muutos .....	41
	7.2 Takaisinmaksuaika.....	42
	7.3 Sähkön hinta .....	44
	7.4 energian säästön tarve.....	44
	7.5 Energian korko .....	45
8	POHDINTA .....	46
	LÄHTEET .....	49
	LIITTEET .....	51
	Liite 1. Alakerta rakennuslupapiirrustukset muokattu 1(2) .....	51
	Liite 1. Yläkerta rakennuslupapiirrustukset muokattu 2(2) .....	52
	Liite 2. Aurinkopaneeli tuotanto ilmanseurantaa .....	53
	Liite 3. Aurinkopaneeli tuotanto aurinkoa seuraava järjestelmä .....	54

Liite 4. Varjostuksen vaikutus tuotantoon.....	55
Liite 5. Jaksollistendiskonttojenkertoimien taulukko.....	56

**LYHENTEET**

gCO <sub>2</sub>	Hiiliekvivalentti-kerroin polttoaineelle
E	energia kWh, kaupallinen
E	energia J, tieteellinen
monocrystalline	yksikidepaneeli
MPTT	(Maximum Power Point Tracking) eli koko ajan sähkökuormaa seuraava inventterin säätöjärjestelmä
P	teho W
polycrystalline	monikidepaneeli
PVGIS	(Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries) Valosähkön tuotantopotentiaali Euroopan maissa
SC	aurinkovakio
t/TJ	tonnia Terajoule, Hiiliekvivalentti-kerroin polttoaineelle
Wp	Wattipiikki, aurinkopaneelin nimellisteho

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tehtävä on selvittää energioiden hybridi käyttöä energian kulutukseen pientalossa. Ensin mitoitettiin energian tarve, joka kiinteistössä kuluu vuoden aikana, ja tutkittiin aurinkosähkön käyttöä käyttöveden lämmittämiseen kesällä. Koska puun hinta on paikkakunnalla edullinen ja sähkön hinta on nousut vuosittain, tutkimus laajennettiin koskemaan aurinkosähkön käyttöä sähkön kulutuksen korvaamiseksi.

Opinnäytetyössä tutkittiin lisäksi kohteen hiilijalanjälkeä energian kulutuksen osalta siten, että se laskettiin kohteen tutkituista tiedoista. Bioenergian hiilijalanjälki määritettiin kahdella eri tavalla, nolla päästöisenä ja päästökertoimella, jotka löytyivät tilastokeskuksen polttoaineluokitus taulukosta (Tilastokeskus 2019).



KUVA 1. Paneelit, jotka seuraavat aurinkoa periaatekuva (Alibaba 2019)

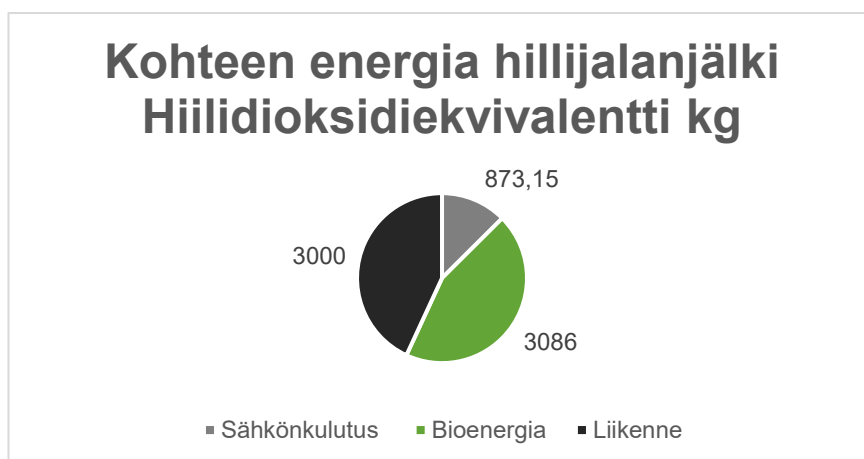
Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, miten saataisiin mahdollisimman halvalla suurin hyöty paneeleista ympärivuotisesti, ei vain kesä aikaan, ja päädyttiin jollain tapaa säädettäviin paneeleihin jotka, joko pyörivät maastossa auringonsuunnan mukaan kuvassa (1), tai muuttavat pystysuunnassa kulmaa, kesän noin 45-asteesta, talven noin 90-asteeseen.

## 2 UUSIUTUVAT ENERGIAT

Uusiutuvat energiat ovat sellaisia energian muotoja, jotka uusiutuvat nopeasti ja ovat vähintään hiilineutraaleja. Hiilineutraalius tarkoittaa sellaisia energian muotoja, jotka sitovat hiiltä sen määrän, jonka luovuttaa käyttäessä. Uusiutuvat energiat ovat melkein kaikki jollain tavalla auringosta lähtöisin (Perälä & Perälä 2017, 8–14).

Yleisimpiä uusiutuvan energian lähteitä ovat niin, auringonsäteilyenergiasta suoraan sekä lämpönsä, että sähkönsä saavat energiamuodot kuin, epäsuorasti energiansa auringosta saavat energian lähteet kuten tuuli-, vesi-, bio-, maalämpöpumppu- ja ilmalämpöpumppuenergia. Selitykseksi tähän Perälät (2017) kirjoittivat, että niin tuulet kuin sateet ja kasvien kasvu, johtuvat lämpötilan vaihtelusta ja melkein kaikki luonnollinen lämpö saadaan auringosta. Ainoastaan geoja vuorovesienergiaa ei saada auringosta.

Näistä tutkimuksen kohteena oli puu- ja aurinkoenergian yhteensovittaminen hiilijalanjäljen pienentämiseksi. Lisäksi tutkittiin niiden osittaista korvaamista aurinkosähköllä pientalossa. Kuviossa (1) on esitetty kohteen nykyinen hiilijalanjälki kgCO<sub>2</sub>-ekvivalenttina vuodessa.



KUVIO 1. Kohteen käytetyt energiamuodot gCO<sub>2</sub>-ekvivalenttina (kg)

Kuviossa (1), yllä mustalla, on kuvattu kohteen henkilöauton polttoaineen kulutuksen mukainen määrä, vihreällä on polttopuun hiilijalanjälki, joka on laskettu



käytetystä polttopuun määrästä ja harmaalla on esitetty vuoden sähkön kulutuksen mukainen määrä. Tutkimuksesta on rajattu pois liikenteen hiilijalanjälki, vaikka se on esitetty yllä olevassa kuviossa.

## 2.1 Hiilijalanjäljen laskeminen

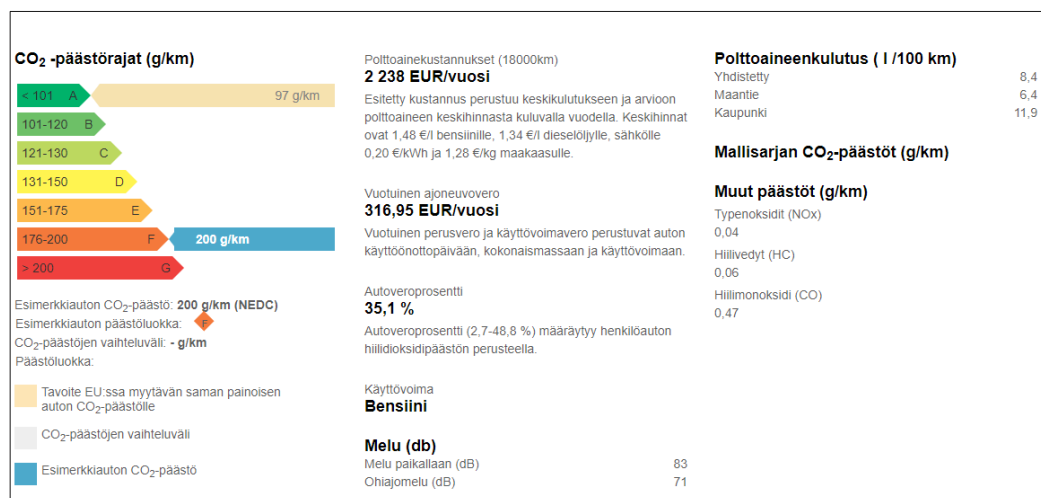
Hiilijalanjälki  $X_{gCO_2}$  on saatu laskettua siten että kuhunkin energia muotoon otetaan kerroin tilastokeskuksen taulukosta, paitsi liikenteen päästöjen osalta. Sähköllä se on Kaavalla (1)

$$X_{kgCO_2} = T_s/1000 \cdot 158 \text{ kgCO}_2/MWh, \quad (1)$$

Jossa  $T_s$  on kulutettu sähkö kilowattitunteina ja  $158 \text{ kgCO}_2/MWh$  on tilastokeskuksen tilastoima, keskimääräinen viiden vuoden liukuvakeskiarvo. (Motiva 2019).

$$X_{kgCO_2} = \frac{5526,28kWh}{1000} MWh \cdot 158kg/MWh = 873,15 \text{ kg}$$

Bensiinillä se oli  $200 \text{ g/km}$ , auton päästökertoimen mukaan Kuvassa 2 (Traficom 2019) jossa on esitetty automallin mukainen päästökerroin.



KUVA 2. Auton energiatodistus (Traficom 2019)

Auton vuosittaiset kilometrit, jotka ovat noin 15000 km vuodessa, kun kerrotaan

kyseisellä päästökertoimella, saadaan siitä hiilidioksidia 3000000 g. Kiloina se on 3000 kg.

Bioenergialla päästökerroin on nolla, koska on määritetty, että bioenergia on sitonut elinaikanaan sen polttamisessa ilmaan päästämän hiilidioksidin. Se on kuitenkin laskettavissa, koska polttopuulle on määritetty tilastokeskuksen taulukossa kerroin polttopuun hiiliekvivalentille, joka on 112 t/TJ. Kaavasta 2 siitä saadaan,

$$X_{kgCO_2} = E_p MJ \cdot 0,112 kg/MJ, \quad (2)$$

Jossa  $E_p$  on käytetyn polttopuun sisältämä energiamäärä vuodessa ja tilastokeskuksen polttoainekerroin on tässä yksikkömuunnettuna sopivampaan yksikkömuotoon.

$$X_{kgCO_2} = 27552 MJ \cdot 0,112 kg/MJ = 3085,82 kg$$

Koska keskitytään pääasiassa rakennuksessa käytettävän energian tuottamiseen uusiutuvilla energialähteillä. Tutkitaan aurinkosähkön tuotantoa puenergian käytön rinnalle.

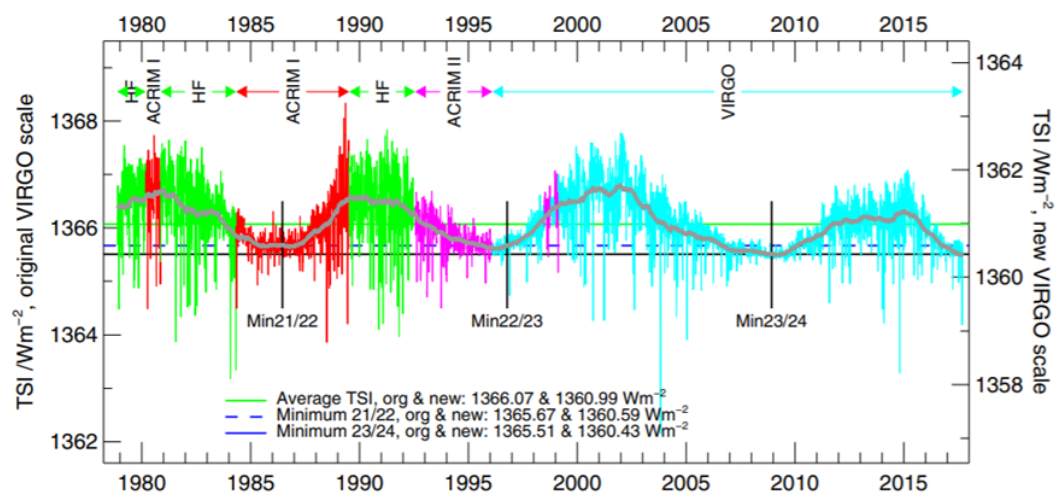
Kun tutkin tarkemmin eri energiamuotojen hiilijalanjälkikertoimia huomasin, että vaikka bioenergiaa pidetään nolla päästöisenä energiana, on se kasvihuonepäästöiltään isompi kuin liikennepäästöt (Tilastokeskus 2019). Tämän valossa aurinkoenergia vähentää kohteen kasvihuonepäästöjä myös käyttöveden lämmittämisen osalta.

Tässä työssä ei laskettu muita uusiutuvia energioita puunenergian rinnalle aurinkosähkön lisäksi, koska kohteessa ei olla vaihtamassa ilma- tai maalämmöllä toimivaan energiaan.

## 2.2 Aurinkoenergia

Aurinko tuottaa energiaa vuodessa noin 73 MW, josta ilmakehälle säteilee noin 1367–1370 W/m<sup>2</sup>. Tästä säteilystä tulee läpi ilmakehän vain noin 1000 W/m<sup>2</sup>. Energia tulee eritaajuisina valoaltoina, joilla on erilainen kyky luovuttaa sähköenergiaa. Niistä aalloista käytetään sähköpaneelien hyötykäytössä pääasiassa UV- ja infrapunasäteilyä.

Sen määrä on pieniä muutoksia lukuun ottamatta vakio, ja sitä kutsutaankin aurinkovakioksi. Aurinkovakio on esitetty kuviossa 2. Sen lyhenteenä käytetään SC (Ilmatieteenlaitos 2018).

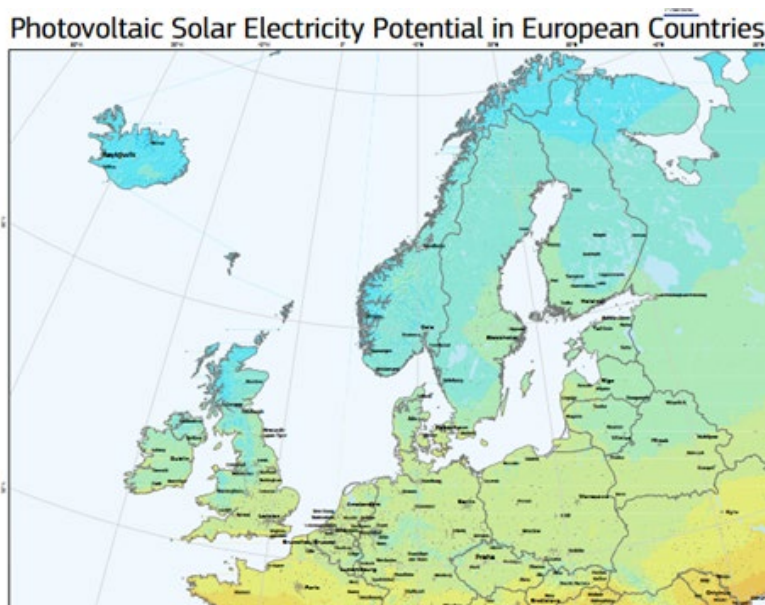


KUVIO 2. Aurinkovakio (Fysiikan ja meteorologinen observatorio Davos/maailman säteilykeskus 2018)

Värikkäät käyrät näyttävät vuorokautisen keskiarvon, ja harmaalla näytetään aurinkovakion 81 vuorokauden keskiarvo kuviossa 2.

### 2.3 Auringonsäteilyn määrä Suomessa

Auringonsäteilyn määrä Etelä-Suomessa, on melkein yhtä suuri kuin Euroopassa Saksan korkeudella vuoden aikana (kuva 3).



KUVA 3. Auringonenergian määrä Euroopassa (Euroopan unioni 2012) rajattu

Kuvassa 3 nähdään värikoodien mukaan, että Pohjois-Saksassa ja Etelä-Suomessa tuotanto neliötä kohden on noin 1000 kWh.

Suomessa tähän auttaa niin päivän pituus kesällä, kuin talven kylmyys, josta on etua paneelien toiminnan kannalta. Lisäksi lumi auttaa hajasäteilyllään lisäämään talven tuotantoa (Kallio 2017).

Auringon säteilynmäärä Suomessa vaihtelee sijainnin mukaan, vaikka Lapissa on pitkät ja valoisa päivät, ovat myös talvipäivät pimeitä. Tästä syystä vuosituotanto Pohjois-Suomessa jää 200 kWh /m<sup>2</sup> vähäisemmäksi samalla paneelin kullalla kuin Etelä-Suomessa. Auringonsäteet tulevat Suomessa kesällä noin 60 asteen kulmassa ja talvella noin 90 asteen kulmassa pystysuoraan pintaan nähdä (Tahkokorpi 2016, 15).

## 2.4 Aurinkopaneelien toiminta periaate

Aurinkopaneelien sähkön tuottokyky perustuu pääasiassa valosähköiseen ilmiöön, jossa auringonvalo irrottaa osasta metalleista ylimääräisen elektronin käyttöön, jättäen aukon sidokseen. Sekä elektronit, että aukot kuljettavat varausta (Perälä & Perälä 2017,32-34).

Hyviä materiaaleja, Perälän (2017) mukaan, tähän ovat puolijohtavat materiaalit, jotka johtavat vähän sähköä: Yleisesti tähän tarkoitukseen käytetään pii-kideyhdistelmiä, jotka mielellään reagoivat muiden aineiden kanssa. Piikide on esitetty kuvassa 4.



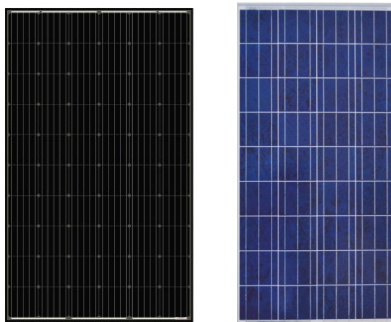
KUVA 4. piikide (Enricoros & Wikipedia Commons 2007)

Jos piikiteeseen korvataan pieni määrä, enemmän ulkokuorellaan elektroneja pitävä alkuaine, yleensä fosfori, saadaan negatiivisen varauksen omaava kide, koska vapaiden elektronien määrä kasvaa. Tällaista seosta kutsutaan paneelissa N-aineksi. N-aine on puolijohde, jolla seosmateriaalinsa vuoksi, on negatiivinen varaus (Perälä & Perälä 2017,32-34).

Lisäksi, jos puolijohdekiteeseen korvataan vähemmän ulkokuorellaan elektroneja pitävä alkuaine, kuten boori, saadaan positiivisen varauksen omaava aine, koska kiteen aukkojen määrä kasvaa, sitä kutsutaan P-aineksi. Näillä navoilla saadaan väliin aukkoja, jotka ovat hyvin fotonin säteilyenergiaa hyödyntäviä. Erilaiset valoallot käyttäytyisivät eri tavalla osuessaan paneeliin. Aukon osuessa kohdalle osa valoalloista absorboituu eli imeytyy ja osa heijastuu takaisin (Perälä & Perälä 2017,32-34).

Tästä syystä aurinkopaneelinhyötysuhde on suhteellisen heikko muihin energialähteisiin verrattuna, karkeasti sanottuna tuhannesta Watista neliölle, pystytään säteilystä hyödyntämään sata wattia neliölle (Kallio 2017).

Tämän vuoksi paneelit, Kallion (2017) mukaan koostuvat, useista erikerroksista, jotka käyttäytyvät erilaisina säteiden absorptioina. Tällä saadaan paneelien hyötysuhde paranemaan, koska paneeli pystyy hyödyntämään eri auringonsäteilyn taajuuksia. Yleisimpiä paneelimalleja, joita kuluttajille myydään ovat kuvassa 5 yksikide-, vasemmalla ja monikidepaneelit kuvassa oikealla.



KUVA 5. Paneelimalit ( Eurosolar 2019)

Näistä parempi hyötysuhde on yksikidepaneelilla, joka on noin 26 prosenttia. Yksikidepaneelit ovat myös hieman kalliimpia kuin monikidepaneelit.

Aurinkopaneelin hyötysuhde  $\eta$ , saadaan jakamalla paneelin nimellisteho  $P_p$ , paneelin pinta-alan  $A$  ja auringonsäteilytehon  $I$  tulolla (kaava 3) (Tahkokorpi 2016, 142).

$$\eta = P_p / (A \cdot I) \cdot 100\% = x\% \quad (3)$$

Aurinkopaneelin nimellistehon ollessa  $100 \text{ W}_p$ , paneelin pinta-alan ollessa  $0,66 \text{ m}^2$  ja auringonsäteilyteho käytettäessä  $1000 \text{ W/m}^2$

$$\eta = 100 \text{ W}_p / (0,66 \text{ m}^2 \cdot 1000 \text{ W/m}^2) \cdot 100\% = 15 \%,$$

joka tarkoittaa sitä, että aurinkopaneelin säteilyenergiasta 15 % muuttuu sähköenergiaksi, jonka voi käyttää hyödyksi.

## 4 KOHTEEN LÄHTÖTIEDOT

Tutkimuskohteena on Hattulassa sijaitseva 1,5-kerroksinen 2010 valmistunut omakotitalo. Kohde kuuluu Säävyöhykkeelle II ja mitoituslämpötilana käytetään Ympäristöministeriön mukaan -29 astetta. (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen... 1010/2017, 17). Talossa asuu kaksi aikuista ja kaksi lasta, joista lapset ovat 11- ja 13-vuotiaita.

Talon päälämmitysjärjestelmä on Jäspin econature 40 puukattila. Sen varaajana on Jäspin energiavaraaja, jolla lämmitetään myös lämminkäyttövesi. Lämmönjakona alakerrassa on lattialämmitys. Vuonna 2017 otettiin käyttöön yläkerran laajennus, jossa lämmitysjärjestelmänä on kaksi 800-watin sähköradiaattoria. Lisäksi kohteessa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto ilman jäähdytystä. Yhteenveto on taulukossa 1.

TAULUKKO 1. tekniikka

Päälämmitys-laitteisto	Varaaja	Ilmanvaihto laitteisto	lait-	Sähkö radiaattorit
<b>Jäspin econature 40</b>	Jäspin energia-akku	Enervent Eco Ede	Pingvin	Adax
<b>40 kW</b>	<b>3 m<sup>3</sup></b>	<b>400 W</b>		<b>800 W</b>

Lämmitettynä alana alakerrassa on noin 100 m<sup>2</sup> ja yläkerrassa on noin 50 m<sup>2</sup>.

TAULUKKO 2. Kiinteistön lähtötiedot

Rakenneosa	m <sup>2</sup>	Rakenteen u-arvot	Ikkunoiden u-arvot	Ovien u-arvot
<b>huoneisto ala</b>	149			
<b>Huoneala alakerta</b>	100	0,148	0,84	1,1
<b>rakenne yläkerta</b>	49	0,13	0,85	0
<b>rakenne alapohja</b>	100	0,16		
<b>rakenne yläpohja</b>	100	0,08		

yläkerran laajennuksen rakenteet on toteutettu Spu-eristeillä, joten varsinkin ulko-

seinät ovat u-arvoltaan parempaa luokkaa kuin alakerrassa. Kopiot kohteen pohjapiirustuksesta ovat nähtävissä (liite 1). Pohjapiirustuksissa näkyy alakerta ja yläkerran laajennus. Piirustuksessa yläkerrassa on todellisuudesta poiketen väli-seinä, eikä olla sitä luultavasti rakentamassakaan, ainakaan tuohon paikkaan, se tulee vielä jakautumaan kolmeen osaan, että siitä saadaan toimivat erilliset huoneet ja aulatila.

#### 4.1 Energiankulutus kiinteistössä

Sähköä kiinteistössä kulutettiin Vuonna 2018 noin 5500 kWh vuodessa (Elenia aina 2018) ja vettä noin 67 kuutiota vuodessa (HS-vesi 2018), josta 30 prosenttia on lämmintäkäyttövettä Motivan mukaan (Motiva 2008) Yhteenveto on (taulukko 3).

TAULUKKO 3. Energiankulutus vuodessa

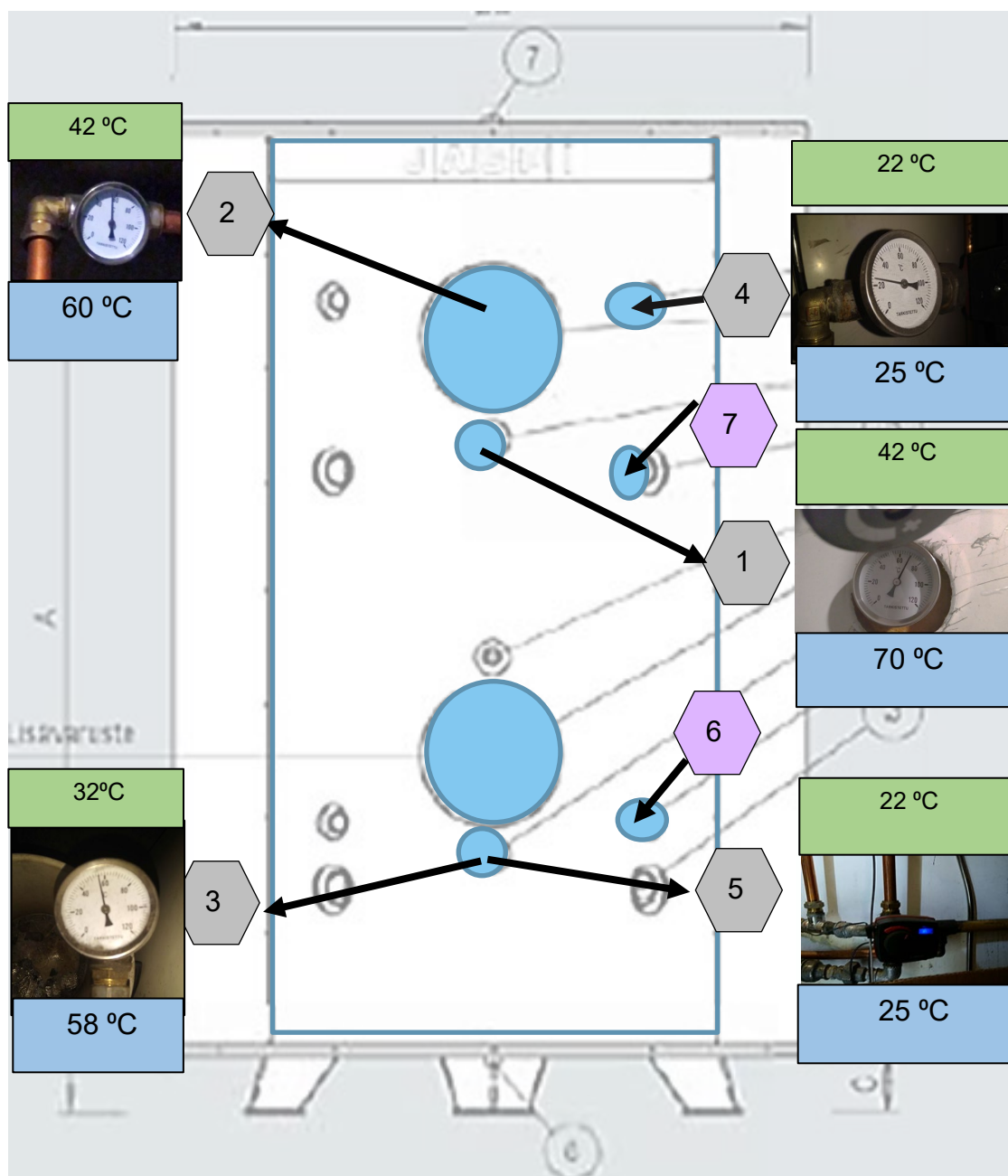
Energian kulutus	Vuonna 2018	Määrä	Hinta €/v	perusmaksut €/kk	verot €/kk
<b>Sähkön kulutus</b>		5500 kWh	495	16,29 17,09	0,028
<b>Veden kulutus</b>		67 m <sup>3</sup>	190,28	4,08 vesi 7,5 jäte	hinnassa
<b>Lämpimän veden kulutus 30%</b>		20,1 m <sup>3</sup>	57,08	4,08 vesi 7,5 jäte	hinnassa
<b>Puun kulutus</b>		n.10 m <sup>3</sup>	500	0	hinnassa

#### 4.2 Käyttöveden energian tuoton tutkimus

Käyttövesi lämmitetään lähelle 70-astetta, kun ylälämpötila varaajasta putoaa noin 42-asteeseen. Lämmityskaudella tämä tapahtuu noin kolmen päivän välein, keväällä samoin kuin syksyllä viikon välein ja kesällä noin kahden viikon välein. Kattilan tehollinen lämmitysaika on 5 h.



Tutkimuksessa lämmityskertoja seurattiin kymmenen lämmityskertaa kolmen kuukauden ajan vuonna 2018. Alla on yhden lämmityskerran alku ja loppulämpötilat kuviossa 3 selostettuna. Lähtölämpötilat, jotka ovat kuviossa 3 vihreällä, olivat ylälämpötilamittari (1) sekä käyttöveden lämpötilamittari (2) 43 °C. Alalämpömittari (3) oli 32 °C. Lattialämmityksen kiertovesipumpun ja nelitieventtiilin toimilaitteen mittarit (4) ja (5) olivat 22 °C. Mittareiden paikat ovat kuviossa 3.



KUVIO 3. Energiavaraaja mittareineen alku- ja loppulämpötiloineen muokattu (Kaukora Oy 2011)

Loppulämpötila oli ylälämpötilamittarissa (1) 70 °C. Mittari on käyttöveden lämminvesikierukan alla. Käyttöveden lämpötilaa (2), ei lämminvesikierukasta mitata

vaan vasta silloin kun sitä käytetään. Se pysyy vähintään 58-asteisena niin kauan kuin varaajassa lämpötila yläosassa riittää. Lämpimän käyttöveden lämpötila on sekoitusventtiilillä rajoitettu. Sekoitusventtiili on Oraksen syöttosekoitusventtiili.

Alalämpömittarissa (3), joka sijaitsee lattialämmityksen paluuputkessa, loppulämpötila oli 58 °C, ja lattialämmityksenkiertolämpötila oli 25 °C pumpulla (4). Pumpuna on käytetty Grundfossin peruspumpua, joka lämmitysjärjestelmässä kierättää lattialämmitystä ympärivuoden. Lattialämmitys on Warmian-järjestelmä, jonka huonetermostaatit ohjaavat huonelämpötiloja.

Lattialämmityksen lämpötilaan vaikuttaa se, että välissä on nelitieventtiili (5), joka ohjaa oman huonetermostaatin mukaan lattialämmityksen menoveden lämpötilaa. Venttiili sekoittaa paluuvettä sekaan oman ulkolämpötila- ja huonelämpötilanturin mukaan.

Kohdissa (6) ja (7) ovat sähkövastukset, joita voisi käyttää käyttöveden lämmittämiseen.

### 4.3 Käyttöveden energian laskenta

Näistä mittauksista saatiin loppulämpötilat, jotka tyypillisesti vaihtelivat 70 ja 80 asteen välillä. Ne vaihtelivat luonnollisesti, kuinka monta pesällistä poltettiin, yleensä määrä oli yksi täysi pesällinen, sytytyspesällisenjälkeen ja lämmityskautena kaksi pesällistä. Tästä syystä valittiin loppulämpötilaksi 75 astetta niiden keskiarvo. Lämmitystehoa  $P$  siihen menee muokatun kaavan (4) mukaan, (Valtanen 2013, 193)

$$P = V_v \rho_v c_v (t_l - t_a) / (t_h \cdot 3600), \quad (4)$$

jossa  $V_v$  on varaajan teoreettinen käyttöveden tilavuus,  $\rho_v$  on vedentiheys,  $c_v$  on veden ominaislämpökapasiteetti,  $t_l$  on veden loppulämpötila,  $t_a$  on veden alku-

lämpötila ja  $t_h$  on tehollinen lämmitysaika tunteina. Alla on laskettu tähän kattilasta otettu lämmitysteho.

$$P = 1 \text{ m}^3 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,2 \text{ kJ/kgK} \cdot (75 - 42) \text{ K} / (5 \cdot 3600) \text{ s} = 7,7 \text{ kW}$$

Teoreettiseksi varaajan käyttöveden tilavuudeksi laitetaan noin kolmasosa varaajan tilavuudesta, joka käytetään käyttöveteen. Loput varaajaan ladatusta tehosta menee lämmitykseen ja hukkaan sitä käytettäessä.

Laskelman mukaan saadaan yhdenlämmityskerran tehoksi, joka käyttöveden lämmittämiseen kuluu 7,7 kW. Viidestä lämmitystunnista saadaan energiaa  $E$  38,5 kWh.

Vuosienergian kulutus saadaan kertomalla se laskettujen lämmityskertojen mukaan, jotka ovat kesällä kerran kahdessa viikossa, talvella kaksi lämmityskertaan viikossa ja syksyllä ja keväällä kerran viikossa. Syksy ja kevät määritellään ajaksi, jolloin lattialämmitys ei lämmitä taloa päivällä.

Talvikuukausia on 4, kesäkuukausia 4 ja syksy- ja kevätkuukausiksi jää 4 kuukautta. Lämmityskertoina siitä saadaan yhteensä talvella 32 kertaa, kesällä 8 kertaa ja loput kuukaudet ovat 16 kertaa. Yhteensä lämmityskertoja on 56 kertaa. Lämmitysenergiaa käyttöveden lämmitykseen kuluu vuodessa 2156 kWh 56:lla lämmityskeralla.

#### 4.4 käyttöveden käytön tutkiminen

Tarkemmalla laskelmalla tyypillisemmin lämmintä käyttövettä menee eniten suihkussa, jossa käydään yleensä saunapäivänä. Käsimitarilla mitattiin vuonna 2016 suihkuveden virtaama, joka oli maksimi virtauksena 15 l/min. Veden kulutuksen määrä saadaan kaavasta (5),

$$V = t_{\text{suih}} v_t hkl_{\text{kerta}}, \quad (5)$$

Jossa ( $t_{\text{suih}}$ ) on aika, jota vettä käytetään,  $v_t$  on virtaus hanasta ja  $hkl_{\text{kerta}}$  tarkoittaa henkilöiden määrää talossa.

$$V = 5 \text{ min} \cdot 15 \text{ l/min} \cdot 4 = 300 \text{ l} = 0,300 \text{ m}^3$$

Laskelman mukaan suihkuveden kulutukseksi saadaan 0,3 m<sup>3</sup> kerta. Vuodessa siihen menisi, kun vettä käytetään, joka toinen päivä viikossa 46,8 m<sup>3</sup>. Sen tarvitsemateho vuodessa saadaan kaavalla (6),

$$P = V_v \rho_v c_v (t_l - t_a) / t_{\text{aika}} \cdot 3600 \quad (6)$$

jossa  $t_{\text{aika}}$  kattilan tehollinen lämmitysaika 5 tuntia.

$$P = 46,8 \text{ m}^3 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,2 \text{ kJ/kgK} \cdot (75 - 40)\text{K} / 5 \cdot 3600 \text{ s} = 382,2 \text{ kW}$$

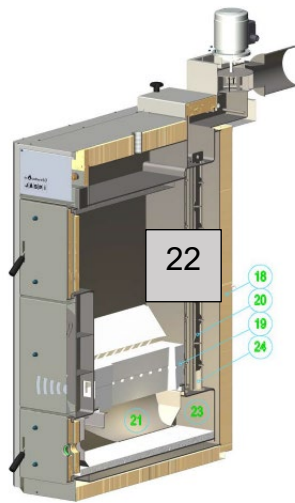
Koko vuoden energiaksi samojen lämmityskertojen mukaan saadaan 1911 kWh.

Ero laskelmien välillä selittyy sillä, ettei niissä ole välttämättä samaa veden tilavuutta, kun Motivan mukaan (Motiva 2008) käyttöveden määrä keskimäärin on 30 % veden vuosikulutuksen määrästä eli 20,1 m<sup>3</sup> ja laskettujen lämmityskertojen, kun yhden kerran tilavuus on kuutio vettä, mukaan se olisi 56 m<sup>3</sup>, kun taas suihkuveden käytön mukaan se olisi 46,8 m<sup>3</sup> vuodessa.

#### 4.5 Puupolttoaineen käytön tutkiminen

Puuta yhdessä lämmityskerrassa lämmityskauden ulkopuolella menee yleensä 1,5-pesällistä, tuo puolikaspesällistä on sytytyspesällinen. Lämmityskaudella puuta menee pesällisen enemmän 2,5 pesällistä.

Pesän koko puukattilassa on, korkeus 600 mm, leveys 350 mm ja syvyys 550 mm (Kaukora oy 2011). Kuvassa 6 on pesä (22), johon puut ladataan.



KUVA 6. Jäspin econature 40 leikkaus kuva muokattu (Kaukora Oy 2011)

Polttopuuta pesään ei laiteta tiiviisti, pesän tilavuuteen jätetään ilmatilaa ja sytykettä väleihin. 1,5 pesällistä on laskennalliselta yhteistilavuudeltaan noin 0,12 m<sup>3</sup> ja 2,5 pesällistä noin 0,21 m<sup>3</sup>. Polttokertojen mukaan saadaan talvikulutukseksi 6,7 ja muuna aikana 2,88 kuutiota. Yhteensä vuodessa käytetään noin 9,6 kuutiota polttopuuta.

Sen sisältäväksi energian  $W$  määräksi kaavan (7) mukaan saadaan,

$$W = V_p \cdot Q, \quad (7)$$

jossa  $V_p$  tilavuus vuoden puun tarpeesta, joka on 9,57 m<sup>3</sup> vuodessa, siihen kuuluu myös lämmityksessä käytetyt, ei pelkästään käyttöveden lämmitykseen käy-

tetyt polttopuut.  $Q$  on kuusen energiatiheys, joka on  $2800 \text{ MJ/m}^3$  sen kosteuden ollessa 20 prosenttia (Knuuttila & muut 2003, 11).

$$W = 9,6 \text{ m}^2 \cdot 2800 \text{ MJ/m}^3 = 26880 \text{ MJ} = 7,5 \text{ MW} = 7467 \text{ kW}$$

Lämmitystehoa  $P$  siitä puun määrästä saataisiin vuoden aikana  $7,5 \text{ MW}$ , joka on vuositehona  $7467 \text{ kW}$ . Tässä laskelmassa ei ole otettu huomioon kattilan hyötysuhdetta, joka on tehollisella lämmitysajalla  $90 \%$ , kun se otetaan huomioon, saadaan vuositehoksi  $6720 \text{ kW}$ .

#### 4.6 Aurinkoenergian käytön tutkiminen

Tästä tehosta voidaan tuottaa osa aurinkopaneeleilla, koska ylijäämä sähköllä voidaan lämmittää varaajaa. Siinä laskelmat eroavat edellä lasketusta, että vettä lämmitetään vain keskimäärin  $18$  tuntia. Keskimääräiset kuukaudessa aurinkopaistetunnit on taulukoitu alla taulukko 4

TAULUKKO 4. keskimääräiset paistetunnit

Kuukaudet	KA d kk w/m <sup>2</sup> (h)	Päivä KA kk	KA kk W/m <sup>2</sup> (h)
tammikuu	7	31,00	217
helmikuu	9	28,00	252
maaliskuu	12	31,00	372
huhtikuu	16	30,00	480
toukokuu	18	31,00	558
kesäkuu	19	30,00	570
heinäkuu	19	31,00	589
elokuu	17	31,00	527
syyskuu	15	30,00	450
lokakuu	12	31,00	372
marraskuu	8	30,00	240
joulukuu	6	31,00	186

ja lämpötila on aluksi  $40$  astetta, koska paneelit lämmittävät jokainen aurinkoinen päivä varaajaa. Ohjaus tehtäisiin muun kuorman mukaan.

$$P = 1\text{m}^3 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,2 \text{ kJ/kg K} (60 - 40) \text{ K} / 18 \cdot 3600 \text{ s}$$

$$= 1,3 \text{ kW}$$

Tehoa paneeleista tähän tarkoitukseen käytettäisiin noin  $1,3 \text{ kW}$  päivässä ja KA

18 tunnin lämmityksellä tuotettaisiin energiaa 23 kWh päivässä, ja kun KA on 30 päivää kuukaudessa. Saadaan energiaa toteutumaan 700 kWh keskimäärin kuukaudessa.

Vuoden keskimääräisellä auringon paistoaikana laskurin mukaan (Euroopan komissio 2017) 4813 tunnin lämmityksessä olisi mahdollisuus 6239,07 kWh käyttöveden lämmittämiseen.

$$P = 3\text{m}^3 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,2 \text{ kJ/kg K} (90 - 55) \text{ K} / 19 \cdot 3600 \text{ s} \\ \approx 6,45 \text{ kW}$$

Maksimissa ylijäämä energia mahtunee varaajaan, jonka tilavuus on 3 kuutiota. Auringon tehosta siihen mahtuu, täyteen ladattuna päivässä. 6,5 kW. Tällä 18 tunnin lämmityksellä ladattaisiin energiaa 116,05 kWh päivässä, viikossa sitä ladattaisiin 812,35 kWh ja 3481,56 kWh keskimäärin kuukaudessa.

Mutta, koska aurinkopaneeleja käytetään muuhunkin sähkön tuotantoon, ei sitä jää noin paljon varaajan käyttöön. Tämä on pelkästään varotoimi laskenta sille, ettei ole muuta sähkökuormaa kiinteistössä kuten loma-aikana.

Koska käyttövettä myös käytetään ahkerasti lataamisen tarvetta riittää jatkuvasti. Kuten edellä laskettiin käyttöveden käyttö, on 0,075 m<sup>3</sup> kerta, yhdeltä henkilöltä.

$$P = (0,075 \text{ m}^3 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,2 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} \cdot 32^{\circ}\text{C} / 3600\text{s}) = 2,8 \text{ kW}$$

Tehoa menee siihen 2,8 kW kerralla yhdeltä henkilöltä. Energiaa  $E$  siihen menisi 0,08 tunnissa, joka on 5 min tunteina, 0,2 kWh. Kuukaudessa siihen menisi 15-päivällä 3,5 kWh henkilöltä. 4 henkilöltä siihen menisi keralla 14 kWh energiaa käyttöveteen kuukaudessa. Kuukaudessa ladataan maksimissa 2152,5 kWh ja käytetään maksimissaan energiaa 14 kWh käyttöveteen. Yhdessä päivässä ladataan maksimissa 70 kWh ja puretaan 0,9 kWh.

## 5 AURINKOPANEELIEN TEHONTUOTONSUUNNITTELU

Aurinkopaneelin nimellisteho kilowattiipiikki  $kW_p$  on teho, minkä paneeli tai -järjestelmä teoreettisesti antaa, auringon säteillä  $35^\circ$  kulmassa paneeliin nähden, 25 asteen lämpötilassa, jolloin auringosta saadaan teoreettinen säteilyteho  $1000 \text{ W/m}^2$ . Paneelin nimellisteho määritellään laboratorio-olosuhteissa vaihtelemalla paneeliin kohdistettua kuormaa. Kuorma tässä taas tarkoittaa sähkölaitteiden aiheuttamaa tehon kulutusta (Tahkokorpi 2016,197).

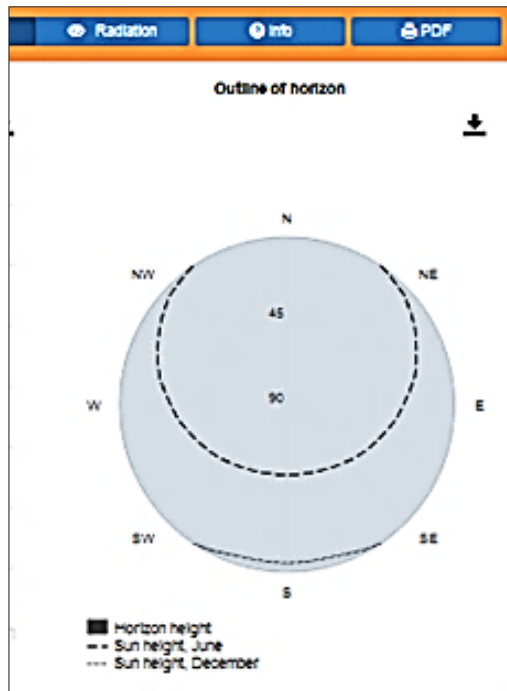
Tämä on hyvä ottaa huomioon, kun järjestelmiä mitoitetaan, laskuri- PVGIS (Euroopan komissio 2017), jota olen käyttänyt, on mitannut keskiarvon auringon säteilyintensiteetin satelliiteilla, useamman vuoden ajan maapallolla. Se ottaa myös keskimääräisen pilvisyyden huomioon. Laskuriin voidaan laittaa tiedot sijainnin mukaan, joka voi olla osoite tai piste tontilla.

Tämä voidaan määrittää paneelin mallin mukaan, vaihtoehtoina voidaan käyttää yleisempiä kuluttajille myytäviä malleja tai voimala käyttöön tarkoitettavia paneeleja. Laskuriin voidaan myös lisätä tieto, onko koko järjestelmä off-grid, eli ei-ole kytketty yleiseen sähköverkkoon tai on-grid on-kytketty verkkoon.

Laskuriin voidaan määrittää paneelien kolme säätötapaa, jotka ovat paneelin kallistus, horisontaalisesti pystykulmaa säätävästi, atsimuuttiseurantajärjestelmä, auringon liikettä lännestä itään seuraavasti tai molemmilla tavoilla toimiva, kaksiakselinen seurantajärjestelmä, joka muuttaa sekä pystykulmaa, että seuraa auringon liikettä lännestä-itään (Euroopan komissio 2017).



Syynä erikulmien tarpeeseen selittyä alla olevassa kuvassa 7, jossa on kuvattu auringon horisontin korkeus kesällä (kesäkuu) ylempi viiva ja talvella (joulukuu) alempi viiva.



KUVA 7. Auringonhorisontinkorkeus (Euroopan komissio 2017)

Seurantajärjestelmien tehokkuus perustuu siihen, että ne pyrkivät pitämään auringonsäteet lähes nolla kulmassa paneelin pintaan nähden (Tahkokorpi 2016, 19).

Linkki laskuriin löytyy web-sivulta-PVGIS (Euroopan komissio 2017) Tällä laskurilla saa hyvin laskettua aurinkopaneelien maksimituoton alueella,

Ensin on käytetty heikoimpia ja halvempia 3 kW<sub>p</sub> paneeleita ilman seurantaominaisuutta optimikulmalla, joka on annetussa sijainnissa 42 astetta, pintaan nähden, kuvakaappaus laskurista on kuviossa (Liite 2).

Toisena tapana laitettiin paneelit seuraamaan horisontaaliksi, kulmaa muuttamalla aurinkoa, jolloin tuotto muuttui kuviossa (liite 3).

Tästä kuviosta huomaa tuotannon nousevan ja kokonaishäviön pienenevän, tuotannosta ja sen maksimoinnista myöhemmin lisää kannattavuuslaskennassa.

## 5.1 Paneelien mitoitus peruste

Aurinko paneelit kannattaa mitoittaa, siten että kaikki tuotto saadaan itse käytettyä, sillä sähkön myymistä ei vielä ole tehty kannattavaksi, ja yli sata kilopiikkiä olevat järjestelmät ovat pienvoimaloita, jolloin niiden tuotto verotetaan (Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden... 1226/2018).

”Sähköstä, kivihiilestä, polttoturpeesta, maakaasusta, mäntyöljystä ja 2 a §:ssä tarkoitetuista tuotteista on suoritettava valtiolle valmisteverona energiasäilytysveroa, hiilidioksidiveroa ja energiaveroa sen mukaan kuin tässä laissa säädetään. Hiilidioksidiveroa laskettaessa otetaan huomioon polttoaineen elinkaaren aikana syntyvät ekvivalenttiset hiilidioksidipäästöt.”

Sen sijaan pienemmät tuotannot ovat verottomia, niiden siirtomaksuja ja myyntihintaa ei veroteta.

”Lakia ei sovelleta sähkөөn, joka tuotetaan aluksessa, junassa, autossa tai muussa kuljetusvälineessä sen omiin tarpeisiin, eikä sähkөөn, joka tuotetaan enintään 100 kilovolttiampeerin nimellistehoisessa generaattorissa tai useiden sähköntuotantolaitteistojen (generaattoreiden) muodostamassa enintään 100 kilovolttiampeerin nimellistehoisessa voimalaitoksessa. Tällaisesta voimalaitoksesta sähköverkkoon, sähkövarastoon tai verottomaan sähkövarastoon siirrettyyn sähkөөn sovelletaan kuitenkin tämän lain säännöksiä. (Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden... 1226/2018).

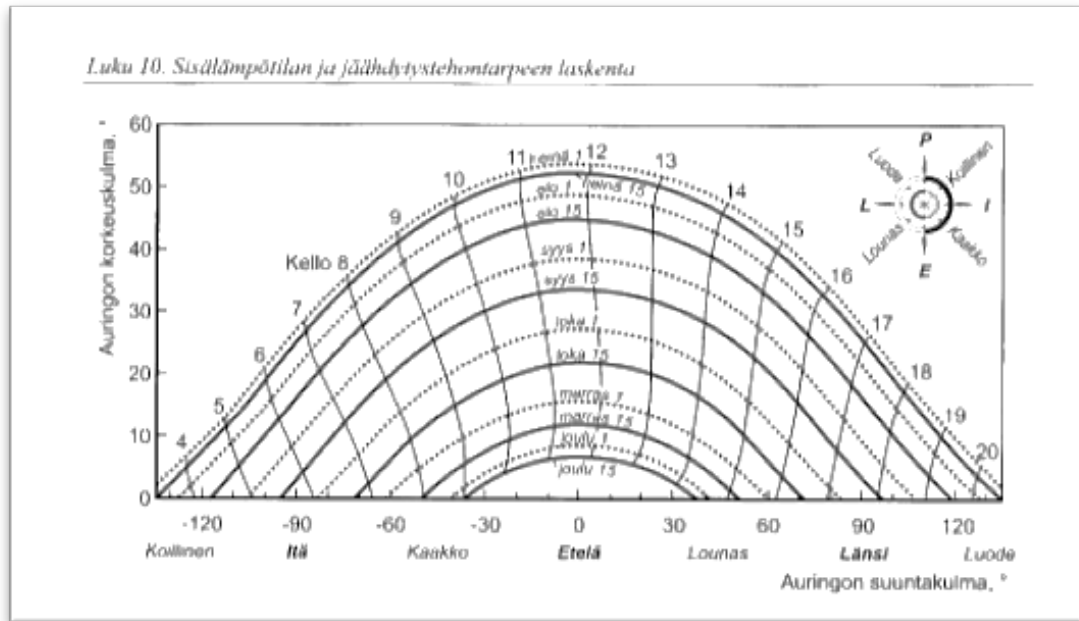
Kuitenkin siitä poikkeuksena on, että joutuu myymään ylijäämäsähköä takaisin verkkoon. Tämän yritämme välttää sillä, että varaamme ylimääräisen energian vesivaraajaan.

Jos mitoitamme yleisellä periaatteella, että huipputeho on puolet kiinteistön sähkön kulutuksesta, jaettuna tuhannella tunnilla, saadaan paneelien huipputehoksi 2,75 kW<sub>p</sub>. Kun lisätään puolet sähkön kulutuksesta käyttövedenlämmittämiseen tarvittavaan tehoon, joka oli 1,3 kW<sub>p</sub>, saadaan tarvittavaksi kilopiiksi 4,05 kW<sub>p</sub>, Joka juuri riittäisi myös päivässä käyttövedenlämmittämiseen.

Laskurilla, jota käytin sain määritettyä noin 4 kW<sub>p</sub> järjestelmän, jonka vuosittainen energiamäärä paneeleista on 4398,87 kWh, 5 kW<sub>p</sub> järjestelmästä olisi jäänyt paljon ylituotantoa.

## Paneelien teoreettinen tuotto

Edellä kuvailtiin yleisellä tasolla auringon säteilyenergian määrään vaikuttavia ulkoisia-asioita, tähän pienemmällä tasolla vaikuttaa lisäksi asennuspaikka, ja sen varjostavuus, asennuksenkulma suhteessa aurinkoon



KUVA 8. Auringonsuuntakulma (Heinonen & Sandberg 2014,436)

Tästä syystä on ajateltu, jollain tavalla säädettäviä paneeleita, joko kallistuksen-säätöä tai paikallaan auringonsuuntaan pyöriviä paneeleita kuvassa 8 on visioitu auringonsäteilyn saatavuus erikulmissa erivuoden aikaan.

Tämä kulmamuuutos oli myös havaittavissa laskurissa, jota käytin määrittämään paneelien tehon tarpeen.

Paneelien sijoitukseen vaikuttavat varjostavat esteet vuorokaudenaikana. Etäisyytenä paneeleista täysikasvuisen metsän pitää olla yli 10 m päässä saadakseen täysipainoisen tuotannon (Lehto & muut 2017, 22). Kuvan mukaan, joka on simuloitu Revit ohjelmalla, kesäkuussa aamutuotanto kahdessa paikassa. kuva on liitteessä 3.

## 5.2 Tuotannon vertailu

### 3-kW<sub>p</sub>

Tutkimuksessa olen verrannut oheisen taulukon 5 mukaan teoreettisen järjestelmän tuottomahdollisuutta vuoden 2018 sähkön kulutukseen. Kuten alla näkyy talvikuukausia, on 8-kk, kiinteästi asennetuille paneeleille, jolloin 3 kW<sub>p</sub>-järjestelmän etelään suuntautuvatuotanto ei riitä sähkön kulutukseen kohteessa.

TAULUKKO 5. paneelientuotto vuoden sähkön kulutukseen talvikuukaudet

kuukaudet	paneelien tuotto KA kWh/ kk	Sähkön kulutus kWh	osto sähkö kWh
tammikuu	35,6	737,5	-701,9
helmikuu	85,8	753,83	-668,03
maaliskuu	232	697,67	-465,67
huhtikuu	286	362,39	-76,39
syyskuu	203	331,4	-128,4
lokakuu	126	404,21	-278,21
marraskuu	34,6	393,43	-358,83
joulukuu	16,6	504,84	-488,24

Taulukosta 5 voidaan myös huomata, huhtikuun kulutusta voidaan kyllä melkein tasoittaa esimerkiksi kulutuksen siirtämisellä auringonsäteilyn aikaan.

Sama kesäkuukausille tehtäessä, joita jää vain 4-kuukautta, saadaan taulukon 6 mukaan jonkin verran myös täysin kaiken sähkön kulutuksen verran.

TAULUKKO 6. kesäkuukaudet

kuukaudet	paneelientuotto KA kWh/ kk	Sähkön kulutus kWh	käyttöveteen kWh
toukokuu	354	329,89	24,11
kesäkuu	351	348,81	2,19
heinäkuu	361	354,43	6,57
elokuu	308	250,06	0,12

Yhteensä tuotantoa vuodessa saadaan 2335,78 kWh. Ylijäämä sähköä jää käyt-

töveden lämmittämiseen vuodessa 32,99 kWh.

TAULUKKO 7. talvikuukaudet horisonttisella säädöllä olevat paneelit

kuukaudet	paneelien tuotto KA kWh/ kk	Sähkön kulutus kWh	osto sähkö kWh
tammikuu	44,7	737,5	-692,8
helmikuu	107	753,83	-646,83
maaliskuu	301	697,67	-396,67
syyskuu	263	331,4	-68,40
lokakuu	160	349,65	-189,65
marraskuu	43,2	368,04	-324,84
joulukuu	21	421,27	-388

Kun samaa asiaa tarkastellaan horisonttisella säädöllä toimivilla, eli pystykulmaa muuttavilla, saman tehoisilla paneeleilla, saadaan kevään- ja syksyntuotantoa suuremmaksi taulukon 7 mukaan.

Seuraavassa taulukossa 8 nähdään, kun tehdään sama tarkastelu, kesäkuukausille, joita on nyt 5-kk, varsinkin kesäkuukausien tuotannon huipun selkeä nousuminen.

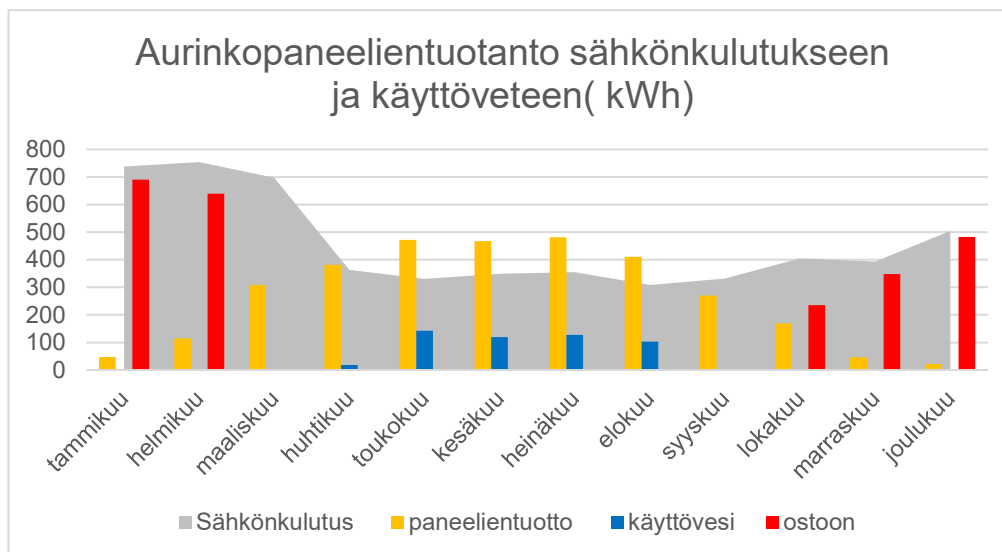
TAULUKKO 8. kesäkuukaudet horisonttisella säädöllä olevat paneelit.

kuukaudet	paneelien tuotto KA kWh/ kk	Sähkön kulutus kWh	käyttöveteen kWh
huhtikuu	384	362,39	21,61
toukokuu	509	329,89	179,11
kesäkuu	516	348,81	167,19
heinäkuu	524	354,43	169,57
elokuu	426	307,88	118,12

Tämän säädön avulla saadaan tuotantoa yhteensä vuodessa 3298,9 kWh ja käyttöveteen lämmittämiseen vuodessa jää yhteensä 655,6 kWh.

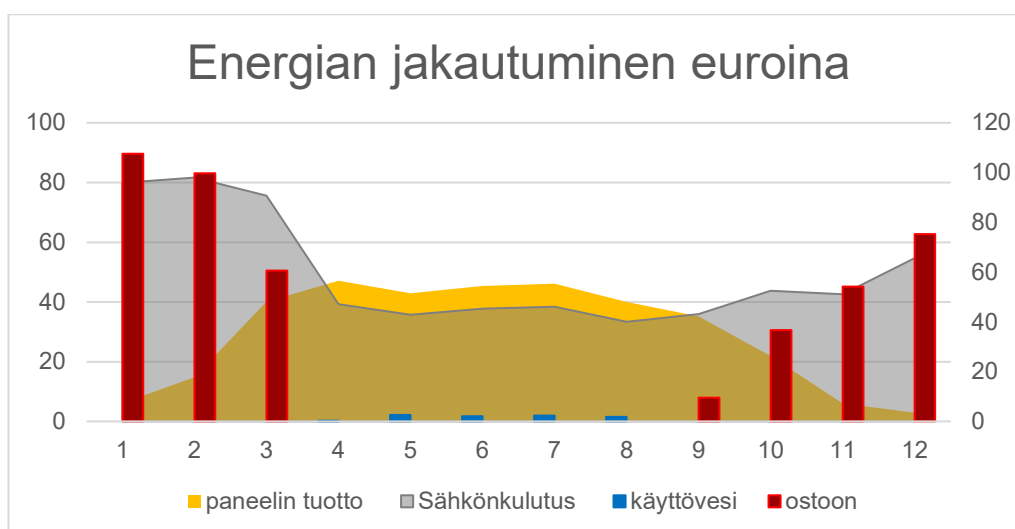
#### 4-kW<sub>p</sub>

Seuraavaksi verrattiin 4-kilopiikin paneelijärjestelmää kiinteällä asennuksella sähkön tuotantoon.



KUVIO 4. Aurinkopaneelituotannon vertailu sähkön käyttöön

Kuviossa 4 jossa, keltaisella on paneelien tuotto yhteensä 3190,68 kWh, sinisellä on käyttövedelle jäävä osuus yhteensä 509,34 kWh, punaisella on ostosähkön määrä yhteensä 2844,92 kWh ja harmaalla taustalla on sähkön kulutus kuukausittain, joka oli yhteensä 5526 kWh.



KUVIO 5. tuotannonhinta

Kuviossa 5 on kuvattu eri energian hinnoilla paneelin tuotannon jakautumista ja ostoenergian määrää. Oranssilla takana on aurinkopaneelien tuotto euroina, joka

on 348,57 euroa vuodessa. Siinä punaisena on ostoenergian määrä, joka vuodessa on 369,84 euroa. Sininen merkitsee käyttöveden hintaa euroina, joka on 7,60 euroa. Harmaalla on sähkön menevä kokonaishinta vuodessa, joka on 718,42 euroa vuodessa.

Kun tarkastellaan kahden energia tuotannon yhteensovittamista, kun halutaan puun käyttöä vähentää, tulee osalle aurinkosähkön tuotannosta hinnaksi puun energia hinta 0,015 euroa kilowattitunnille. Aurinkopaneelin tuotannolle saadaan sähkön hinta 13,08 senttiä kilowattitunnille tämän hetken kohteen sähkön hinnasta.

Seuraavaksi tutkitaan samoin 4-kW<sub>p</sub>-paneeleja, jotka kääntyvät auringon mukaan lännestä itään, joista saadaan yhteensä 4398,89 kWh vuodessa tuotantoa laskurin mukaan.

Kun tehopaneeleissa nousee, pienenee ostoenergian tarpeen määrä loka- ja helmikuussa, muttei merkittävästi tammi-, marras- ja joulukuussa, koska horisontti on alhaalla ja päivät lyhyitä (taulukko 9).

TAULUKKO 9. 4-kW<sub>p</sub> talvikuukausien tuotanto säädettävät paneelit

kuukaudet	paneelien tuotto KA kWh/ kk	Sähkön kulutus kWh	ostosähkö kWh
tammikuu	59,66	737,5	-677,84
helmikuu	142,37	753,83	-611,46
maaliskuu	401,97	697,67	-295,7
lokakuu	213,34	404,21	-190,87
marraskuu	57,56	393,43	-335,87
joulukuu	28,01	504,84	-476,83

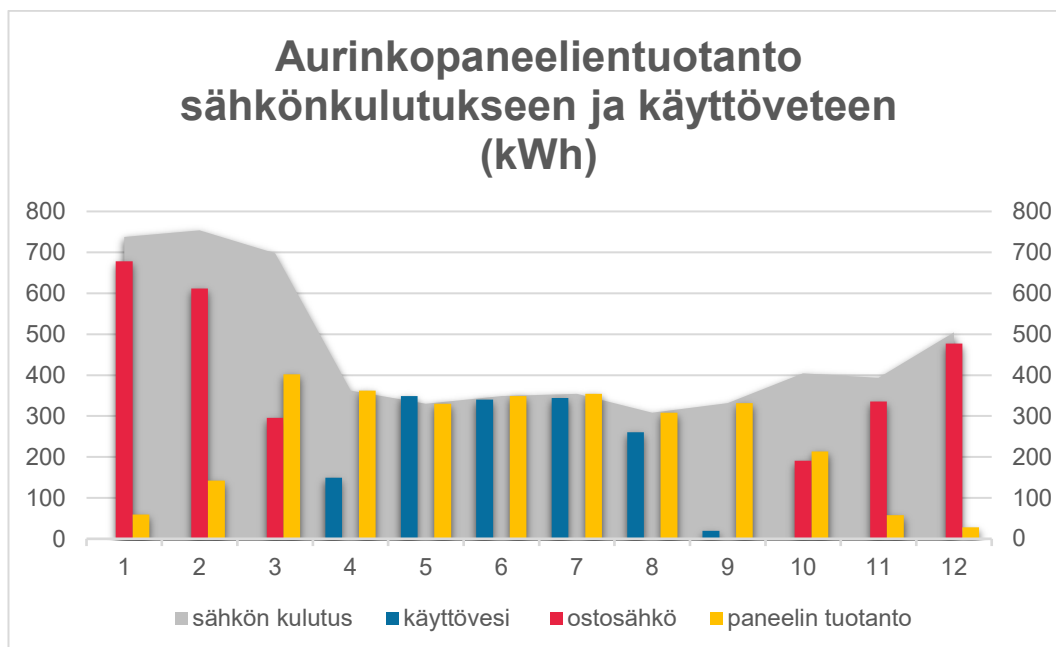
Sen sijaan kesäkuukausiin ja varsinkin kevään- ja syksyntuotanto nousee paljon.

Kuten taulukossa 10 voidaan nähdä, kesällä saadaan kunnontuotanto käyttöveden lämmittämiseenkin.

TAULUKKO 10. kesäkuukaudet

kuukaudet	paneelien tuotto KA kWh/ kk	Sähkön kulutus kWh	käyttövedeen kWh
huhtikuu	511,47	362,39	149,08
toukokuu	678,53	329,89	348,64
kesäkuu	688,67	348,81	339,86
heinäkuu	698,47	354,43	344,04
elokuu	568,07	307,88	260,19
syyskuu	350,77	331,4	19,37

Alla on havainnoinut kuviolla 6 eri kuukausien aurinkopaneelien tuotantoa sähkön käytön tarpeeseen. Kuviossa 6 jossa, oranssilla on merkitty tuotanto aurinkopaneelilla, joka on yhteensä 4398,89 kWh.



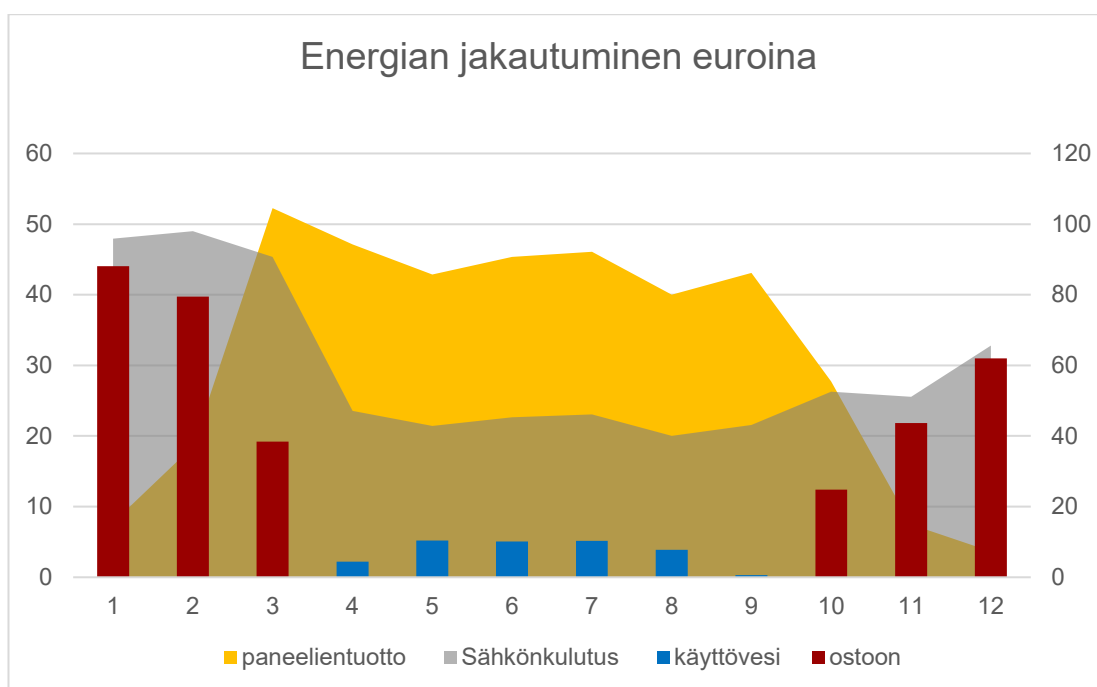
KUVIO 6. Aurinkopaneelituotannon vertailu sähkön käyttöön

Sinisellä näkyy varaajanlämmitykseen jäävää tuotantoa, jota tulee 1461,18 kWh, punainen merkitsee ostosähköä, jota on 2588,57 kWh ja harmaa kuvaa sähkön kulutusta yhteensä 5526,28 kWh vuodessa.



Kokeilin myös 5-kWp järjestelmää mutta se tuottaa jo yli 800 kWh tuotantoa ke- säkuukausilta, josta tulisi myyntiin. Ylijäämäsähköä voidaan kyllä myydä, muttei verottomasti. Sen hinta määräytyy sähkön pörssihinnan mukaan, jolla sähkön myyntiyhtiö ostaa sähkön. Tällä hetkellä sen hinta on noin 3-senttiä kilowattitunti.

Kuviossa 7 kuvataan mitä saadaan, kun energian tuotanto kompensoitiin erilaisiksi hinnoiksi.



KUVIO 7. tuotannonhinta

Siinä keltainen kuvaa aurinkopaneelien tuotantoa, joka oli yhteensä 377,45 euroa vuodessa. Punaisena on ostoenergian määrä, joka vuodessa on 336,51 euroa. Sininen merkitsee käyttöveden hintaa euroina, joka on 21,81 euroa, ja harmaalla on sähkön kulutukseen menevä kokonaishinta vuodessa, joka on 718,42 euroa vuodessa.

### 5.3 Tuotannon ohjaus

Ohjaukseen on tarjolla ainakin kolme tutkittavaa vaihtoehtoa, yksinkertaisin niistä on PWM-säätö, se toimii siten, että virransyöttöä paneeleista, katkotaan tiheästi,

jotta saavutetaan haluttu sähkön jännite. Tämän huonopuoli, Lehdon mukaan on, että syötön katkonta rasittaa tarpeettomasti paneeleja ja syntyy häviöitä.

Toinen säätötapa Lehdon & muiden (2017, 18) mukaan on tarvittavan jännitteen mukaan säätyvä, eli MPTT-säätö, joka tarpeen ollessa vähäinen syöttää jännitteen toissijaiseen paikkaan esimerkiksi akkuun.

MPTT-säädin ei kuitenkaan yksin riitä, vaan tarvitaan sen lisäksi jännitettä jakava piiri. Se on usein Inventterissä mukana. Tämäkään järjestelmä ei ohjaa yksittäisiä paneeleja vaan koko ryhmää, joten kaikki häiriöt tulevat koko paneelipiirille.

Kolmas tapa kytkeä paneelit ovat käyttää, jokaisella paneelilla omaa mikro-invertteriä kuvassa 10.



KUVA 10. mikro-invertteri

Jolloin häiriöt ja rikkoutumiset vaikuttavat vain kyseiseen paneeliin ja sen tuotantoon, muut paneelit toimivat normaalisti. Huonona puolena on hinta, koska invertterejä tulee yhtä paljon kuin paneeleja.

#### **5.4 Investoinnihinnan arviointi**

Investointimme koostuu aurinkopaneeleista, asennustarvikkeista sähkömoottorista ja inverttereistä (Tahkokorpi 2016, 136) päästäksemme paneelien hintaan kiinni, pitää tietää paneelien tuotto neliötä kohti. laskurista sain neliötuoton, jonka voin jakaa vuoden keskituotolla määrittääkseni, paljonko paneeleja tarvitaan.

Luennolta (Kallio 2017) antoi nyrkkisäännön että  $1000 \text{ W/m}^2$  tuotantoon tarvitaan 7 kappaletta paneeleja, jos ne ovat  $100 \text{ W}$ . Aurinko paistaa keskimäärin 1000 tuntia vuodessa Suomessa Kallion (2017) mukaan ja paneelien nimellisteho määritetään juuri tuolla  $1000 \text{ w/m}^2$ , joten  $4398,90 \text{ kWh}$  tuotantopiikki, saadaan jakamalla se ensin tuhannella tunnilla, ja watteihin kilowateista päästään kertomalla tuhannella, jolloin siitä saadaan  $4398,90 \text{ W}_p$ .

Aurinko paneeleja tarvitaan, jos paneelin ala on noin  $1,6 \text{ m}^2$ , 17 kappaletta. Koska suunnitellaan investointia  $280 \text{ W}_p$  tehoisiin paneeleihin, saataisiin niistä  $4760 \text{ W}_p$  vuosituotanto, joka on jo liikaa suunniteltuun tehontarpeeseen.

Optimoidulla määrällä paneeleja tarvittava määrä onkin 16 paneelia, jolla päästään tuohon  $4480 \text{ W}_p$  Vertailun vuoksi on myös laskettu kiinteänjärjestelmän tehojen mukaan  $3190,68 \text{ kW}_p$  investointi. Yksittäisen paneelin tehon noustessa tarvittavien paneelien määrä laskee. Muita komponentteja mitä tarvitaan, on taulukoitu alla niiden hintoineen ja kappaleineen (taulukko 11).

TAULUKKO 11. Aurinkojärjestelmäinvestoinnin vertailu

Tuote	Säädätettävät		Kiinteät	
	kpl/ m	hinta/kpl	kpl/ m	hinta/kpl
<b>Paneelit</b>	16	200	12	200
<b>Inventteri</b>	1	1600	1	1600
<b>MPTT-Säädin</b>	1	mukana	1	mukana
<b>Turvakytkin</b>	1	50	1	50
<b>Kaapelit</b>	10	200	10	200
<b>Masto ja kehikko säätötekniikka</b>	1	3000	1	500
<b>Hinta Yhteensä</b>		8050		4750

Tästä investoinniksi kiinteille paneeleille saadaan 4750 euroa ja kääntyville 8050 euroa.

## 5.5 Sähkön hinnan kehityksen arviointi

Energian hintaa tarkastellaan tarkemmin sähkön hinnan nousun mukaan, joka on ollut sähkön hinnan, mikä on maksettu sähkön myynnistä mukaan 0,7 senttiä viidessä vuodessa. Hinnat sisältävät verot, muttei sulakemaksuja (taulukko 12).

TAULUKKO 12. Sähkön myyntihinnat, voi kilpailuttaa

Vuodet	Hinta snt /kWh	Myyjä
2015	5,79	Vattenfall
2016	4,45	Fortum
2017	4,44	Helen
2018	4,13	Helen
2019	4,13	Helen
2020	5,08	Vattenfall

Sähkön siirtohintaa on saatu kilpailuttamalla laskemaan, lisäksi neljässä viimeisimmässä sopimuksessa on saatu perus- eli sulakemaksut pois. Taulukossa 13 tarkastellaan sähkön siirtohintojen kehitystä, hinnat eivät sisällä sulakemaksuja.

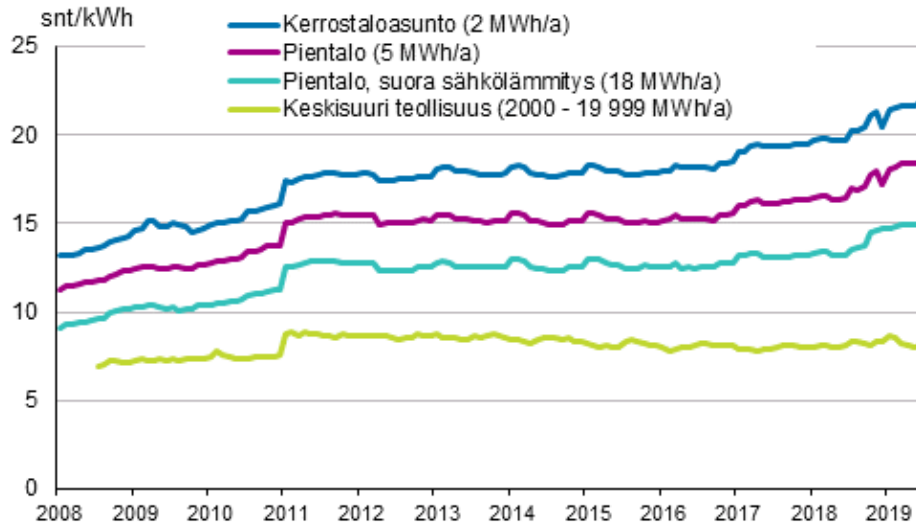
TAULUKKO 13. Sähkön siirto hinnat Elenia, ei voi kilpailuttaa.

Vuodet	Hinta snt /kWh	Myyjä
2015	6,40	Elenia
2016	6,74	Elenia
2017	7,11	Elenia
2018	7,53	Elenia
2019	7,53	Elenia
2020	8,00	Elenia

Muutos sähkön 5-vuodessa siirtohinnoissa on noin 25 %, sen sijaan sähkön myyntihinnat ovat muuttuneet, käytännössä laskeneet vuoteen 2020 asti, mutta tasoittuneet kilpailutuksen kautta 0,24 % nousuun, tiedot on saatu omista sähkölaskuista. Yhteensä sähkön hinta veroineen on vuonna 2020 jo 13,80 snt/kWh.

Tai yleisen sähkön hinnan kehityksen mukaan ohessa kuviossa 8 (Sandberg 2019). Hinnat sisältävät sähköenergian, siirtomaksun ja verot.

### Liitekuvio 5. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin



KUVIO 8. Sähkön hinnan kehitys (Sandberg 2019)

## 5.6 polttopuun energian hinnan määrittäminen

Polttopuun hinta, kohteen alueella, on monta vuotta ollut noin 50 € irtokuutio, joten kymmenen kuutiota maksaa noin 500 €.

Hinnaksi puuenergialle saadaan, kun edellä laskettu 6720 kW kerrotaan 5 tunnilla 33600 kWh ja jaetaan 500 euroa 33600 kilowattitunnilla noin 0,015 €/kWh. Tätä hintaa käytetään puuenergian hintana laskelmissa.

## 5.7 Kulujen arviointi

Aurinkopaneelit ovat suhteellisen huoltovapaita, niiden tekninen ikä on pitkä jopa 25-vuotta, joten arvioimme huoltokuluna riittävän inventterin vaihdon 1600 euroa 15-vuoden päästä.

## 6 DISKONTTAUSLASKENTA

Diskonttaus tarkoittaa sitä, että investoinnin arvo siirretään takaisin nykyaikaan siten, että siinä on huomioitu korkojen vaikutus. Korkoina voidaan huomioida pankkikoron, energian koron ja inflaatiokoron vaikutus. Kaavan (8) mukaan, jossa  $T_{na}$  on tuoton nykyarvo,  $e$  on energian korko  $i$  aika, joka diskontataan, saadaan tuottojen summa suhteessa koronmuutokseen (Tekniikan Tohtori Arto Saari, 2015, 9) Tuottojen summakaava.

$$T_{na} = \sum (T_i \cdot dis_i) = \sum \left[ T_i \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{e}{100}\right)^i} \right] \quad (8)$$

Samoin saadaan kulut nykyaikaan samalla kaavalla, jossa korko muutetaan pankin- tai inflaationkoroksi. Kun kaikki tuotot ja kulut diskontataan tasa-arvoilla, saadaan kannattavuus kaavalla (9) (Sirén 2015,13),

$$K_{na} = T \cdot dis_i - K \cdot dis_i - I_0 + J/(1+r)^i, \quad (9)$$

jossa  $T$  on tuotot yhteensä,  $K$  on kustannukset yhteensä,  $I_0$  on alkuinvestointi,  $r$  on korko,  $i$  investointiaika,  $dis_i$  on samansuuruisten jaksollistendiskonttojenkerroin ja  $J$  on hyväksikäytettävä jäte investoinnin loppuksi.

$Dis_i$  on samansuuruisten jaksollistendiskonttojenkerroin, joka on esitetty kaavassa (10) (Sirén 2015).

$$dis_i = + \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} = \frac{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^n - 1}{\frac{r}{100} \cdot \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n} \quad (10)$$

Pankkikorkona voidaan pitää nykyisen kulutusluoton korkoa, joka on tällä hetkellä kolme prosenttia, energian hinta tulee oletetusta sähkön hinnan noususta, joka on laskennassa kolme prosenttia ja inflaatiokorkona käytetään, oletetusta kokonaisinflaation noususta, joka pidetään kahden prosentin luokassa.

Sähkön alkuhintana pidetään tulevaa siirto- ja myyntihintaa ilman sulakemaksuja, koska niitä ei voi ottaa huomioon. Sähkön hintana käytämme 0,13 €/kWh. Koska se on kohteen sähkön hinta vuonna 2020.

Energian korko  $e$  vaikuttaa tuottoon, jonka investoinnista saa. Pankin- ja inflaation korko vaikuttaa lähinnä kulujen määrään, Sireenin mukaan. Investoinnin nykyarvon laskennassa käytetään kokonaiskorkoa  $Re$ , kaavan (11) mukaan (Sirén 2015,30).

$$Re = \frac{e-f}{1+f} = \frac{0,03-0,02}{(1+0,02)} = 0,0098 \approx 1\%, \quad (11)$$

jossa  $Re$  energian korko inflaationkoron vaikutuksen kanssa  $e$  on energian korko ja  $f$  on inflaation korko.

Reaalikorko  $R$ , joka saadaan kaavasta (12), jossa  $r$  on pankkikorko ja  $f$  sama inflaation korko.

$$R = \frac{r-f}{1+f} = \frac{0,03-0,02}{(1+0,02)} = 0,0098 \approx 1\% \quad (12)$$

Kuluille  $K$ , jotka on päätetty olevan 1600 euron huolto 15-vuoden päästä saadaan, kaavalla (13)

$$K_{na} = K \cdot \frac{1}{(1+R)^i}, \quad (13)$$

jossa  $K_{na}$  on kulujen arvo tarkastelu ajan päästä,  $R$  on kokonaiskorko ja  $i$  on investointi aika.

$$K_{na} = 1600\text{€} \cdot \frac{1}{(1+0,01)^{15}} = 1378,16\text{€}$$

Laskelmasta tulokseksi saatiin että, viidentoistavuodessa huollon arvo on pudonnut 1378,16 euroon.

Vuosituotannosta  $T$  3190,68 kWh kiinteästi asennetuille paneeleille, saadaan kaavalla (14), sähkön hinnalla 0,13 €/ kWh, puuenergian hinnalla 0,015 €/ kWh

$$S_{na} = T \cdot dis_i \quad (14)$$

ja jaksollistendiskonttojenkertoimella  $dis_i$  13,87 (liite 5) yhteensä säästöllä  $S_{na}$  356,17 euroa vuodessa. Joka on 4940,18 euroa 15-vuodessa

### 6.1 Kannattavuuslaskenta ja diskonttaustekijän käyttö

Investoinnin kannattavuus  $P$  saadaan, kun jätettä ei oteta huomioon, tuottojen ( $T$ ), kulujen ( $K$ ) ja investoinnin ( $I$ ) erotuksena siten, että tuotoista vähennetään kulut ja siitä vähennetään alkuinvestoinnin arvo (kaava 15) (Sirén 2015,13).

$$P = \sum dis_T T - dis_K K - I \quad (15)$$

Investointi on kannattava, kun kannattavuuden ( $P$ ) arvo on suurempi tai yhtä suuri kuin nolla ja kannattamaton kun on pienempi kuin nolla. Taulukossa (14) on esitetty eri-säätömallien vaikutus kannattavuuteen.

TAULUKKO 14. erilaisten säätöjen vaikutus kannattavuuteen

	Paneelit kiinteä asennus euro	Paneelit kääntyvät euro
<b>I investointi</b>	-4750	-8050
<b>T säästö eurona</b>	4940,18	5235,23
<b>K kulut</b>	-1378,16	-1378,16
<b>Kna</b>	-1187,98	-4192,92

Kannattavuus laskennan tulokseksi saatiin. että näillä tiedolla ajalla, koroilla, investoinnilla, tuotolla ja energioiden hinnalla ei investointi aivan kannata.



## 7 HERKKYYSTARKASTELU

Herkkyystarkastelulla tarkoitetaan yksinkertaisesti, sitä millä muutoksilla voidaan muuttaa edellä laskettu investointi kannattavaksi, tai muuttuu kannattomaksi, kun eri tekijöiltä haetaan muutospiste, jossa nykyarvonlaskennan suunta muuttuu (Sirén 2015).

Siitä saadaan selville, millä sähkön hinnan nousulla yli kilowattituntihinnan projekti tulee kannattavaksi. Millä investoinnihinnalla, takaisinmaksuajalla, korkojenmuutoksella tai huoltokustannuksienmuutoksella, investoinninkannattavuus muuttuu (Sirén 2015, 20). Tärkeintä tässä on myös miettiä, mikä muutos voi aiheuttaa pahimman tapauksen investoinnin nettotuottoon, joka vaikuttaa kannattavuuteen.

### 7.1 Investoinnin muutos

Aluksi tutkimme, millä investoinnin summalla saataisiin projekti kannattavaksi. Se saadaan laskettua, kun diskontatut tuotot ja kulut vähennetään toisistaan nettoinvestoiniksi. Sen pitäisi olla sama tai isompi kuin investoinnin arvon, jolloin se saadaan kaavalla (16) muokattu Sireenin (2015) mukaan.

Sirénin (2015, 22) kaavassa 16  $dis_i$  on jaksollistendiskonttojenkerroin,  $E_s$  on energiasäästö kilowatteina  $h_s$  on energian hinta.  $H_k$  Huoltokustannukset,  $r$  kustannuskorko  $i$  on investointiaika. Lisäksi alkukaavassa on tekijä ostoenergian määrälle kertoimineen, jossa  $E_k$  on ostoenergiamäärä ja  $h_k$  ostoenergian hinta.  $P$  on projektin kannattavuus.

$$P = dis_i \cdot E_s \cdot h_s - \frac{1}{(1+r)^i} \cdot H_k - dis_i \cdot E_k \cdot h_k - I_0 \quad (16)$$

Josta kaava voidaan vielä yksinkertaistaa siten, että ostoenergiaa ei tässä laskennassa huomioida, koska se huomioitiin jo säästöenergian määrässä,

saadaan siitä kaava (17). Kun kaavassa (17) vielä laitetaan  $P$  arvo nolaksi, Saadaan selville maksimi-investoinnin arvo Sirénin (2015, 22) mukaan.

$$dis_i \cdot E_s \cdot h_s + dis_{i2} \cdot E_{s2} \cdot h_{s2} - \frac{1}{(1+r)^i} \cdot H - I = 0 \quad (17)$$

Kaavasta (17) huomataan, että nettotuotto on sama kuin alkuinvestointi kun  $P$  arvo on nolla

$$4940,18\text{€} - 1386,50\text{€} = I \rightarrow I = 3562,02\text{€}$$

Sama kääntyvillä paneeleilla.

$$5235,23\text{€} - 1386,50\text{€} = I \rightarrow I = 3857,08\text{€}$$

Tästä saatiin maksimi-investoinnin määräksi kiinteille paneeleille 3562,02 eurolla ja kääntyville paneeleille 3857,08 euroa.

## 7.2 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika tarkoittaa aikaa, jolla nykyarvoinen investointi on vähintään nolla, eli nettotuotto on suurempi kuin alkuperäinen investointi. Se voi olla myös teoreettinen ajanjakso, jolla halutaan investointi maksaa pois tai laitteen tekninen ikä (Sirén 2015, 11).

Koska aurinkopaneelien teoreettinen tekninen ikä, jossa paneelit vielä tuottavat kohtuullisen tuoton, on noin 25 vuotta, pidetään 15 vuotta kohteen takaisinmaksuaikana. Koska mitä lyhempi aika on, sitä halvempi on investointi.

Takaisinmaksuaika  $n$  saadaan kaavalla (18), jossa  $S$  on nettotuotto ensimmäisenä vuotena, koska ensimmäiset kulut ovat investoinnissa ei sitä oteta huomioon, ja  $I$  on alkuinvestointi.

$$N = \frac{I}{S} = \frac{4750}{356,17} = 13v \quad (18)$$

Koroton takaisinmaksuaika oli 13 vuotta säätämättömille paneeleille ja kääntyville paneeleille 21 vuotta. Tämä luonnollisesti johtuu siitä, että kääntyville paneeleille investoinnin hinta ja tuotanto on suurempi.

Korolliselle takaisin maksuajalle Tevä-Helminen on muokannut (Tevä-Helminen 2013, 22) (kaava 19)

$$N = \frac{-\ln\left(\frac{1}{i} - \frac{I}{S}\right) - \ln(i)}{\ln(1+i)}, \quad (19)$$

jossa  $N$  on korollinen takaisinmaksuaika,  $I$  on investointi,  $S$  on nettotuotto ensimmäisenä vuonna,  $i$  on korko ja  $\ln$  on matemaattinen lyhenne luonnollisesta logaritmista

$$\frac{-\ln\left(\frac{1}{0,01} - 13\right) - \ln(0,01)}{\ln(1 + 0,01)} = 14v$$

Takaisinmaksuajat vastaavat säätämättömille paneeleille investoinnin toivottua aikaa, seuraavaksi tutkitaan, kuinka korkea sähkön hinta tarvitaan, että se kannattaa.

### 7.3 Sähkön hinta

Sähkön hinta voidaan ratkaista samasta yhtälöstä kuin edellä maksimi-investointi nyt siitä ratkaistaan hintatekijä Sirénin mukaan (2015, 21) (kaava 20).

$$h_s = \frac{\frac{1}{(1+r)^i} \cdot H + I}{dis_i \cdot E_s + dis_{i2} \cdot E_{s2} \cdot h_{s2}} \quad (20)$$

Laskelmassa puuenergian hinta on niin halpa, että se syö paneelintuottoa paljon ja nostaa sähkön hintaa enemmän.

$$= \frac{1386,50\text{€} + 4750\text{€}}{13,87 \cdot 2681,34 \text{ kWh} + 105,41\text{€}} = 0,16 \text{ €/kWh}$$

Laskelmasta saatiin kiinteille paneeleille 0,16 €/kWh ja kääntyville paneeleille 0,23 euroa kilowattitunti.

### 7.4 energian säästön tarve

Tarkastelimme eri tekijöiden vaikutusta investoinninkannattavuuteen ja kynnyksymykseksi siihen tuntui olevan säästön pienuus, koska nopeinten tulosta saadaan tuotannon nousulla, jos investoinnin hintaa ei muuteta.

Kaavassa (21), jota jo edellä on käytetty erilaskemissa, kun muuttujaksi muutetaan minimituotanto, saadaan 3964,42 kWh kiinteille paneeleille. Kertoimet ovat laskelmassa tuotetun aurinkoenergian suhde sähkön käyttöön 84 % ja käyttövee-teen menevän energian 16 % välillä.

$$E_s = \frac{I + a'' \cdot H}{a'' \cdot h_s} = \frac{4750 + 1386,50}{0,84 \cdot 13,87 \cdot 0,13 + 0,16 \cdot 13,87 \cdot 0,014} = 3964,42 \text{ kWh} \quad (21)$$

Kääntyvillä paneeleilla se puolestaan olisi 5958,45 kWh.

## 7.5 Energian korko

Sähkön hinta on ollut viime aikoina hyvin nousujohteinen, joten on syytä miettiä mikä koronmuutos nostaisi tulevaisuudessa sähkön hintaa, edellä tarkasteltiin kiinteistön reaalista sähkön hinnan nousua, joka on viidessä vuodessa ollut 25 prosenttia ja keskiarvona 13 prosenttia tuosta voisi päätellä, että ainakin viiden prosentin tuotto-odotus olisi sopiva.

Diskonttauksissa on vielä yksi tapa merkitä kaavassa (22) alkuperäisen koronkorko lausekkeen muodossa on käännettävissä Diskonttauskaavaksi, jossa  $I$  on investoinnin nykyarvo, jota tavoitellaan ja  $I_0$  alkuperäinen investointi ja  $x$  korkokerroin  $n$  tarkastelu vuosi.

$$I = I_0 \cdot x^{-n} \quad (22)$$

$$4750 + 1389 - 5342,66 = 4750 \cdot x^{-15} \rightarrow x^{-15} = \frac{4750 + 1389 - 5342,66}{4750} \rightarrow$$

$$\begin{aligned} x^{-15} &= 0,17 \rightarrow x = \sqrt[15]{0,17} = 1,126 \\ &= 112,61\% - 100\% = 12,64\% \end{aligned}$$

Laskemalla siitä saatiin 12,64 %. Jaksollistendiskonttojenkerroin on 6,58 ja kalliimmalle investoinnille saatiin koroksi 5.17 %, jonka Jaksollistendiskonttojenkerroin on 10.26.

Seuraavaksi tarkastelemme, paljonko kulun laskua tarvittaisiin, että alkaisi investointi kannattamaan.

$$4940,18 - K - 4750 = 0 \rightarrow K = 190,181\text{€}$$

Kiinteille paneeleille saatiin nykyarvona 190 euroa, joka tarkoittaisi hyvin korkeaa inflaation korkoa, jotta 1600 euron arvo saataisiin laskemaan yli kymmenes osaan. Ja kalliimmalle investoinnille ei saatu positiivista tulosta koska tuotot eivät tässä ajassa saa maksettua investointia.

## 8 POHDINTA

Yhteenvedoksi laskelmista saatiin 356,17 euroa vuodessa säästöä kiinteästi asennetuille paneeleille, ja kääntyville paneeleille 377,45 euroa eli 21,28 euroa enemmän. Investoinnin hinta oli hyvin määräävä tarkastelu kohde koska se määräsi myös paljon lainaa investointiin tarvittiin ja siten myös paljonko korkomenoja joutuu maksamaan.

Sähkön hinnankehitys on nousujohteinen mutta ne kulut, josta haluaisi säästää eivät poistu tuotannon avulla, perusmaksut kun eivät aurinkosähköllä kuittaannu. Ja Elenian perusmaksut ovat nousseet 25 % viiden vuoden aikana ja kilpailutun sähkön tasoittunut kWh hinta 0,24 % viidessä vuodessa.

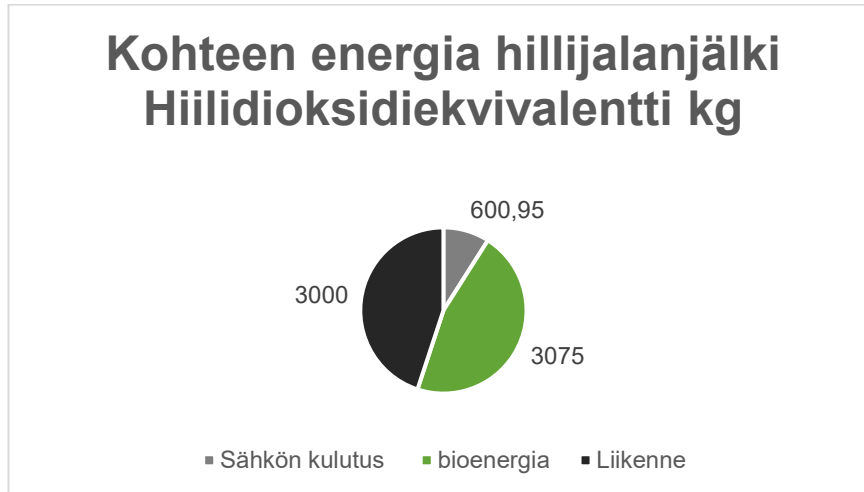
Mutta jos hinta nousisi yli 0,23 €/ kWh olisi se jo kannattavaa. Tämän hetken kokonaishinta viimeisimmässä sähkölaskussa onkin taas noussut 0,1380 euroon, joka johtuu kahdesta seikasta, kilpailutus ei tänä vuonna tuottanut toivottua tuloa, koska yritettiin kilpailuttamaan sähkön siten, että perusmaksuja ei ole ja sähkön siirtoyhtiö on nostanut hintaa 0,47 sentillä vuoden lopussa.

Takaisin maksuajalla ei ole niin suuri merkitys koska tekniset käyttöiät sopivat kymmeneen vuosiin. Loppujen lopuksi tärkeimmäksi määrääväksi tekijäksi saadaan, paneelien tuottama sähköenergian maksimointi, johon pystytään paneelien kulmaa säätämällä, paneelien materiaaleilla ja ohjauksella.

Laskennassa on väkisin jouduttu tekemään teoreettisia johtopäätöksiä, koska mitattua tietoa ei ole mahdollista kohtuudella saavuttaa, mutta esimerkiksi varaajan vesitilavuuden vaje ei ole olennainen tieto koska pieni vaje siinä ei olennaisesti vaikuttanut energian tarpeen määrittämiseen.

Olennaisia tähän tietoon olivat ennemminkin varaajan lämpötilan muutos ja puun määrä, joka kuluu polton aikana. Puun kulutusta on myös seurattu vuodenajalta kuutioina ja verrattu sitä laskelmiin.

Päätutkimus työssäni oli kuitenkin, kannattaako sijoittaa aurinko paneeleihin, vaikka peruslaskelmissa saatiin investointi vähemmän kannattavaksi nykyisellä sähkön hinnalla, kannattaa se hiilijalanjäljen paranemisen vuoksi. Jos vertaa kohteen alkuperäistä hiilidioksidiekvivalentti-kuviota huomataan, että puu- ja sähköenergian hiilijalanjälki on pienentynyt yhteensä 272,20 kg.



KUVIO 9. kohteen hiilijalanjälki aurinkoenergian määrä kompensoituna

Hiilijalanjäljestä kuviossa 9 on vähennetty sekä sähköenergiaan, että käyttövesienergiaan saatu aurinkoenergian osa.

Käyttöveden energian hiilidioksidiekvivalentti on saatu laskettua kaavasta 23

$$X_{kgCO_2} = \sum (T_{kv} \cdot 3600) / (t_p \cdot x\%) / 1000 \cdot 0,112 \text{ kgCO}_2 / \text{MJ} \quad (23)$$

Jossa  $T_{kv}$  on kunkin kuukauden keskimääräinen tuotanto aurinkopaneelilla,  $t_p$  on kuukauden keskimääräinen paistoaika,  $x\%$  prosentti keskimääräisestä paistoaajasta, joka menee käyttöveden lämmittämiseen, loput paistoaajasta menee sähkön käyttöön. Heinäkuussa se olisi auringon paistoaajalla 589 h laskelman

$$X_{kgCO_2} = ((698,47 \cdot 3600) / (589 \cdot 49\%)) / 1000 \cdot 0,112 \text{ kgCO}_2 / \text{MJ} = 0,98 \text{ kg}$$

mukaan noin kilon verran. Yhteensä vuodessa saatiin sitä kompensoitua 11 kg verran.

Tilanne muuttuisi, jos investoidaan sähköautoon paneelien lisäksi. Autoa kun voisi käyttää akkuna ja siten sähköön varastona veden sijaan.

Puun hinnan ollessa sen verran matala ei se itsestään voinut määrittää energian määrää, jota paneeleista pyritään saamaan, mutta kannatti pitää laskelmissa muusta syystä, koska se vähentäisi jäähdytystarvetta, eikä se aiheuttaisi enempää sähkölaskun nousua.

Kattilan lämmittäminen lisää kuormaa makuuhuoneissa, joissa lämpötila voi nousta jopa viiden asteen verran lämmitys keralla. Kuumana kesäaikana lämpötila makuuhuoneissa voi muuttua sietämättömäksi. Tosin jo se, ettei tarvitsisi käyttää kattilaa kesällä saattaisi jo auttaa makuuhuoneiden ylikuumenemisongelmaan. Joka tapauksessa se vähentäisi tarvetta käyttää Ilmalämpöpumppua jäähdytykseen makuuhuoneissa.



## LÄHTEET

1010/2017, Liite 1. 2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Helsinki: Oikeusministeriö.

1226/2018.1997. Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden verotuksesta, Energia-  
verolaki. Helsinki: Ympäristöministeriö, Edita Publishing Oy.

Alibaba. 2019 5kw Kaksiakselinen auringonseuranta järjestelmä Luettu  
24.11.2019 [https://www.alibaba.com/product-detail/5KW-dual-axis-solar-tracker-solar\\_60770652223.html](https://www.alibaba.com/product-detail/5KW-dual-axis-solar-tracker-solar_60770652223.html)

Elenia. 2018. Sähkölasku. Hämeenlinna: Elenia

Enricoros. & Wikipedia Commons. 2007. Pii (alkuaine). Wikipedia Commons.

Euroopan komissio 2017, PVGIS-laskuri. luettu 1.9.2017 [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html)

Euroopan unioni. 2009. Aurinkosähkö potentiaali Euroopan maissa. Luxsen-  
bug.

Euroopan unioni. 2012. PVGIS EU 2012 Aurinko A1. Italia: Euroopan unioni

Eurosolar. 2019. Tuotteet. luettu 18.1.2020 <https://www.eurosolar.fi/tuotteet>

Fysiikan ja meteorologisen observatorio Davos/maailman säteilykeskus. 2018.  
Aurinkovakio. Luettu 10.5.2018 <https://www.pmodwrc.ch/en/research-development/solar-physics/tsi-composite/>

Heinonen, J. & Sandberg, E. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Opastusta sisäilmaston, ilmastointilaitoksen järjestelmien, tilailmastoinnin, kanavistojen, koneiden sekä jäähdytys- ja rakennusautomaatiojärjestelmien suunnitteluun ja mitoitukseen. Ilmastointitekniikka. Osa 2. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut

HS-vesi. 2018. Vesilasku. Hämeenlinna: HS-vesi.

Ilmatieteenlaitos. 2018. Säteily ja kirkkausvaihtelut-ilmatieteenlaitos. Luettu  
20.4.2018. <https://ilmatieteenlaitos.fi/sateily-ja-kirkkausvaihtelut>

Kallio, K. 2017. Rakennetun ympäristön energian käyttö. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu.

Kaukora Oy. 2009. energiavaraajat. Raisio: Kaukora Oy.

Kaukora Oy. 2011. Jäsipi econature 40 käyttöohje. Luettu 25.3.2018  
[https://jaspi.fi/wp-content/uploads/2016/05/Jaspi\\_Ecoture\\_kayttoohje\\_0711.pdf](https://jaspi.fi/wp-content/uploads/2016/05/Jaspi_Ecoture_kayttoohje_0711.pdf).

Knuuttila, K. YM. (2003) Puuenergia. Jyväskylä: Jyväskylän teknologiakeskus.

Lehto, I., Orrberg, M., Liuksiala, L., Lähde, P., Olenius, M. & Ylinen, M. 2017, Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus, Espoo: Sähköinfo Oy.

Motiva Oy. 2016. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. Luettu 31.9.2018 [https://www.motiva.fi/files/16105/Motiva\\_Kulutuksennormitus\\_laskentakaavat-ja-ohjeet\\_12-2016.pdf](https://www.motiva.fi/files/16105/Motiva_Kulutuksennormitus_laskentakaavat-ja-ohjeet_12-2016.pdf)

Perälä, R. & Perälä, O. 2017, Aurinkosähköä. Helsinki: Alfamer / Karisto Oy.

Sandberg, A. 2019. Energian hinnat. Luettu 31.8.2019 [http://www.stat.fi/til/ehi/2019/01/ehi\\_2019\\_01\\_2019-06-12\\_kuv\\_005\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehi/2019/01/ehi_2019_01_2019-06-12_kuv_005_fi.html)

Sirén, K. 2015. RAKENNUSTEN ENERGIAINVESTOINTIEN KANNATTAVUUDEN LASKENTA. Luettu 7.9.2019 <https://docplayer.fi/24833391-Rakennusten-energiainvestointien-kannattavuuden-laskenta-kai-siren-aalto-yliopisto.html>

ST 55.32 RT 103076. Verkkoon kytketyt aurinkojärjestelmät. 2019. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Tahkokorpi, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into Kustannus.  
Tekniikan. tri Saari A. 2015. Elinkaarikustannusten laskenta. Espoo: Aalto-yliopisto

Tevä-Helminen, V. 2013. Metropolia Ammattikorkeakoulu. INVESTOINTILASKENTA JA PÄÄTÖKSENTEKO Opetusmoniste. Espoo: Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Thomas, H., I. Pinedo-Pascua, Euroopan komissio, Yhteinen tutkimuskeskus energia- ja liikenne &, uusiutuvan energian yksikkö. 2012. Aurinkosähkö potentiaali Euroopan maissa. Italia: European unioni.

Tilastokeskus. 2019. Polttoaineluokitus 2019. Luettu 15.1.2020. [https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus.html](https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html) .

Traficom, liikenne- ja viestintävirasto. 2019. Autovertaamo Traficom. Luettu 3.4. 2020. <https://autovertaamo.traficom.fi>.

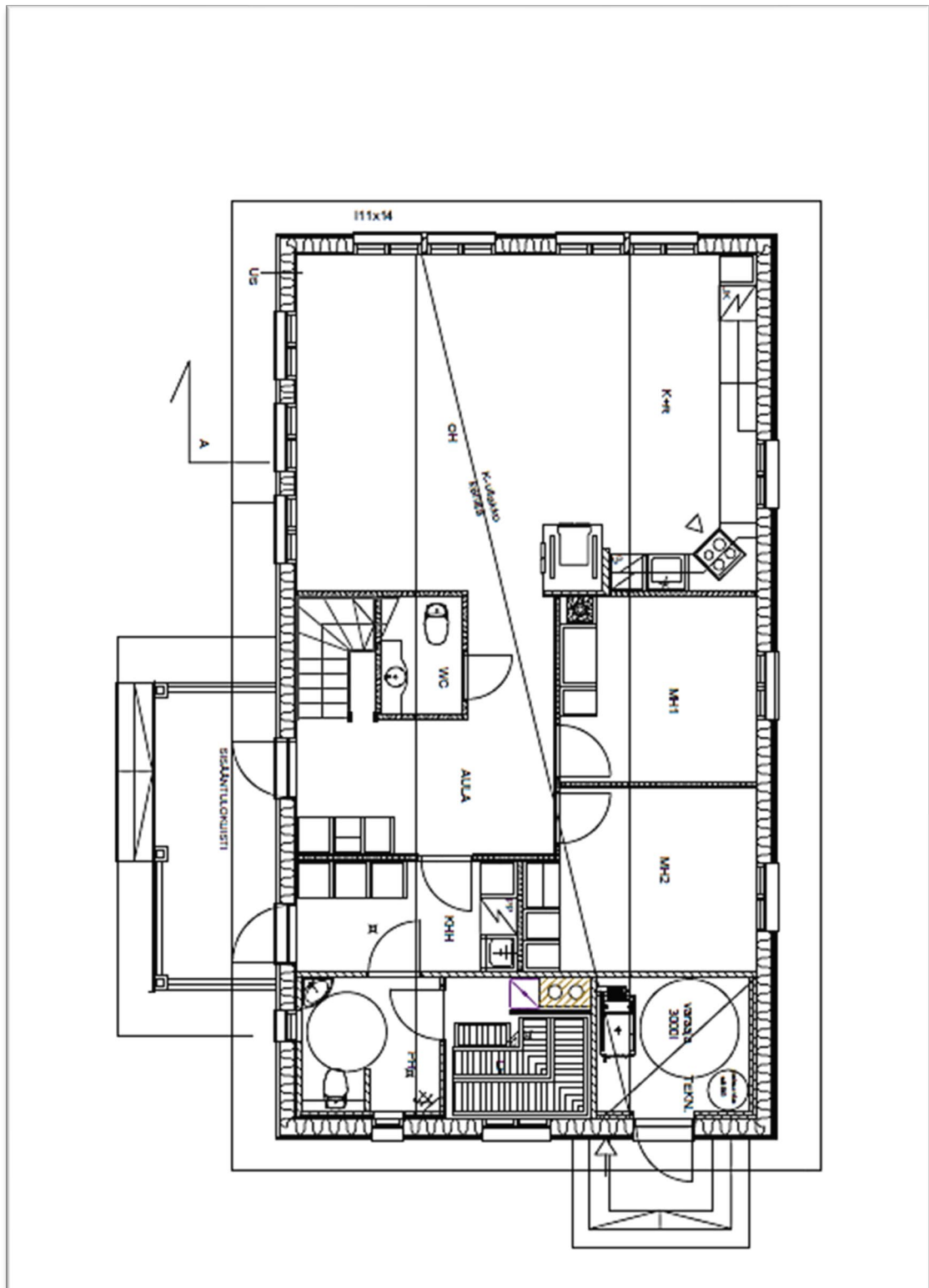
Valtanen, E. 2013. Tekniikan taulukkirja, Jyväskylä: Genesis-Kirjat Oy.

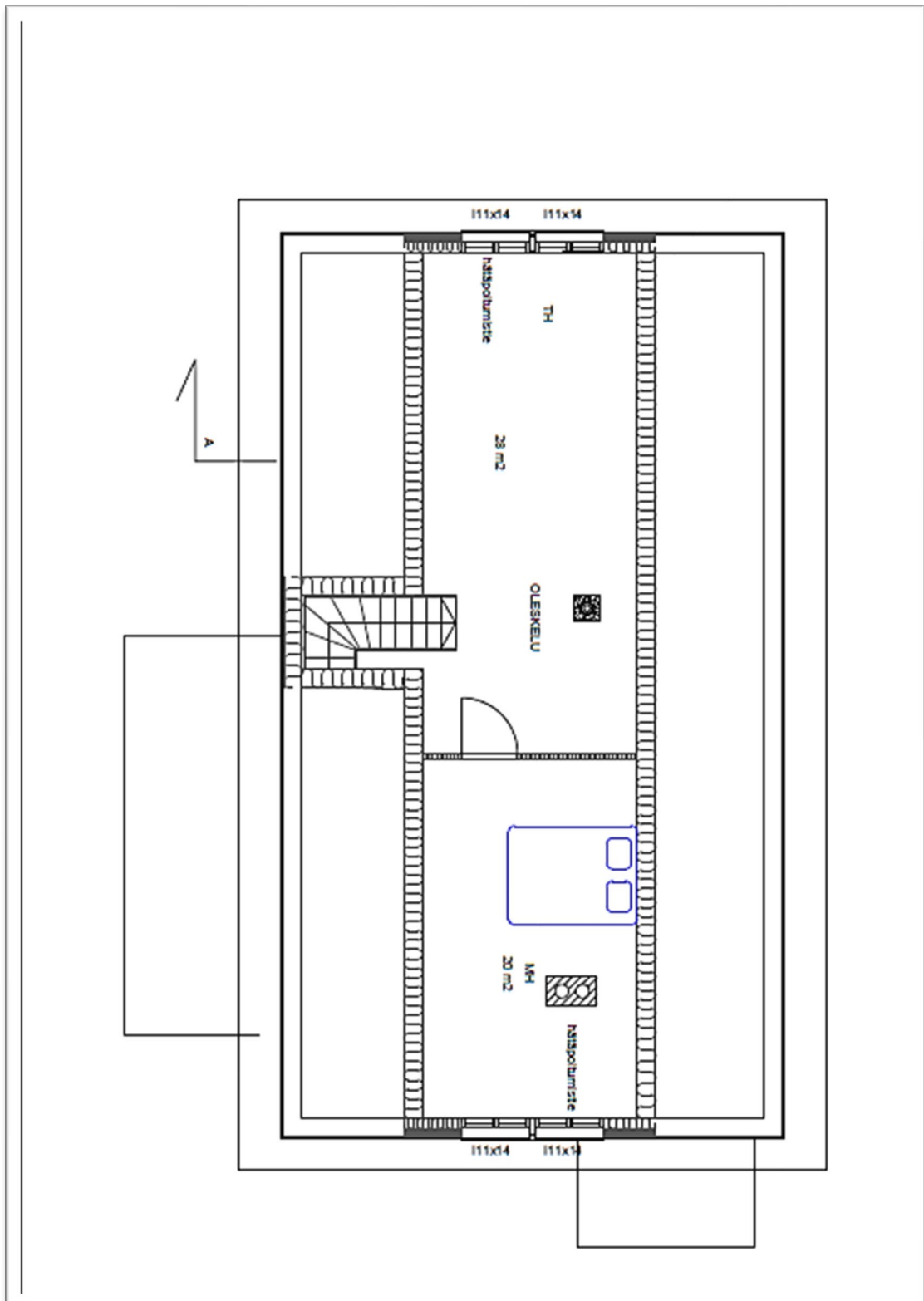
WWF. 2020. Laskentaperusteet ilmastolaskuri. Luettu 19.1.2020 <http://www.ilmastolaskuri.fi/fi/calculation-basis?country=2&year=10746>

## LIITTEET

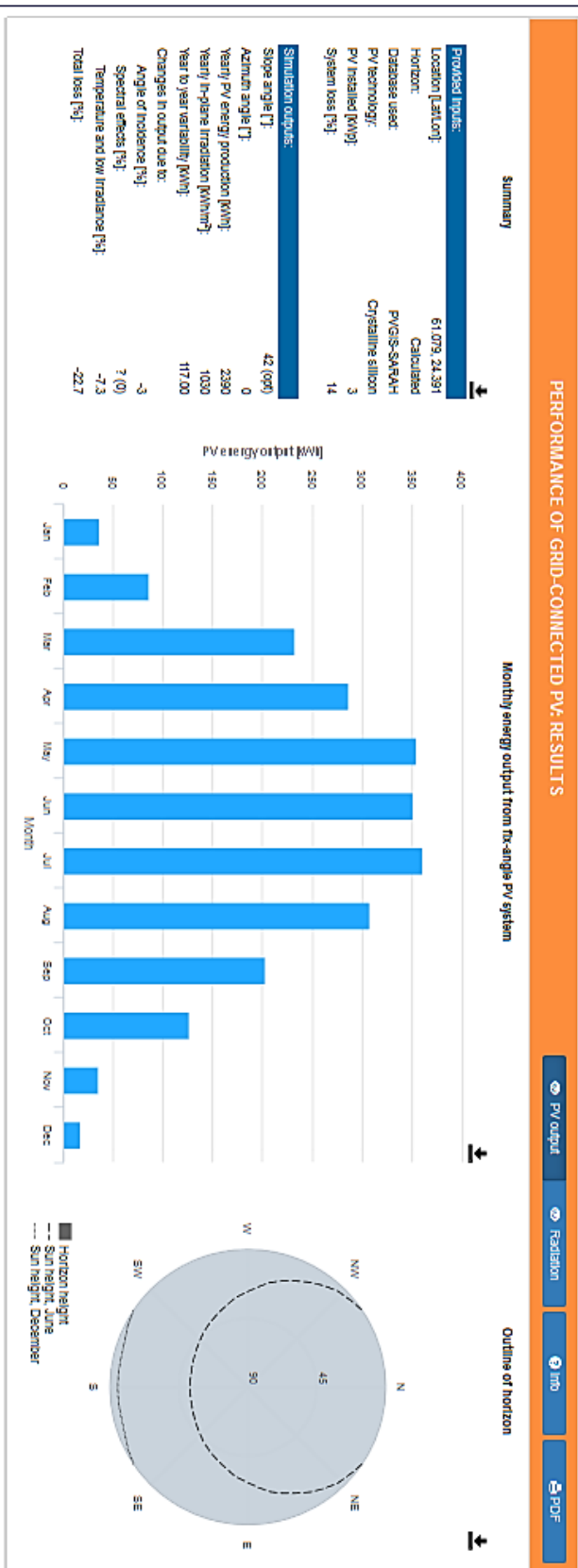
Liite 1. Alakerta rakennuslupapiirrustukset muokattu

1(2)

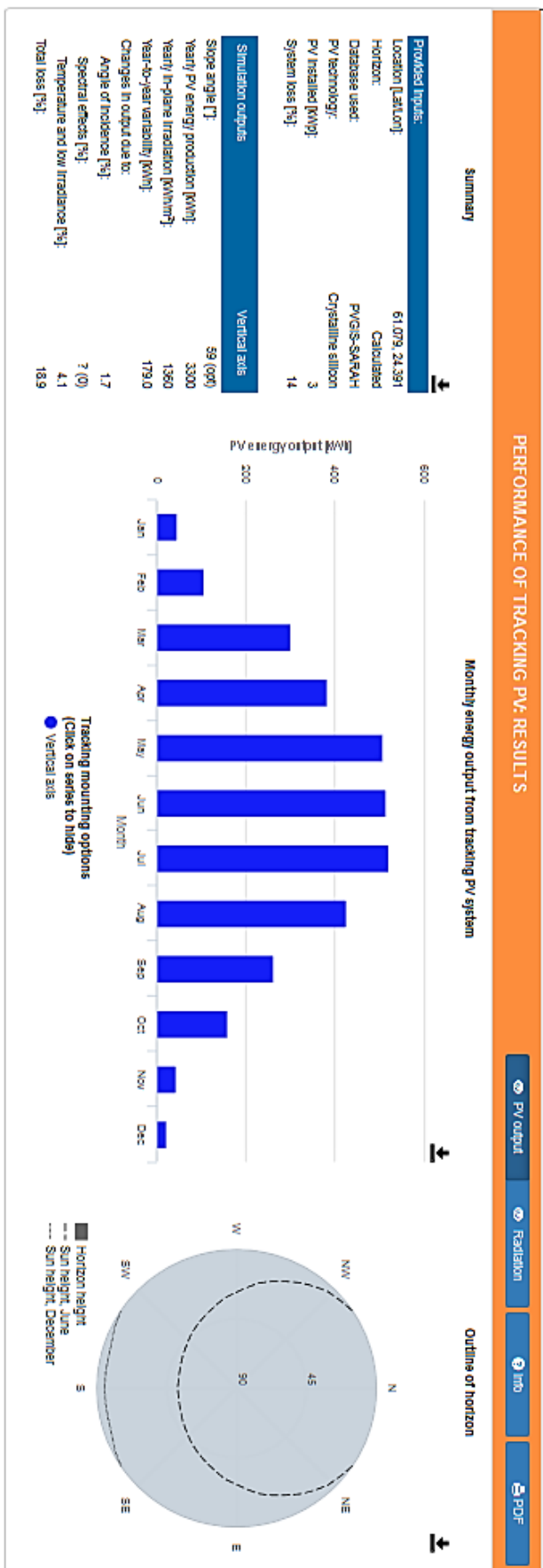




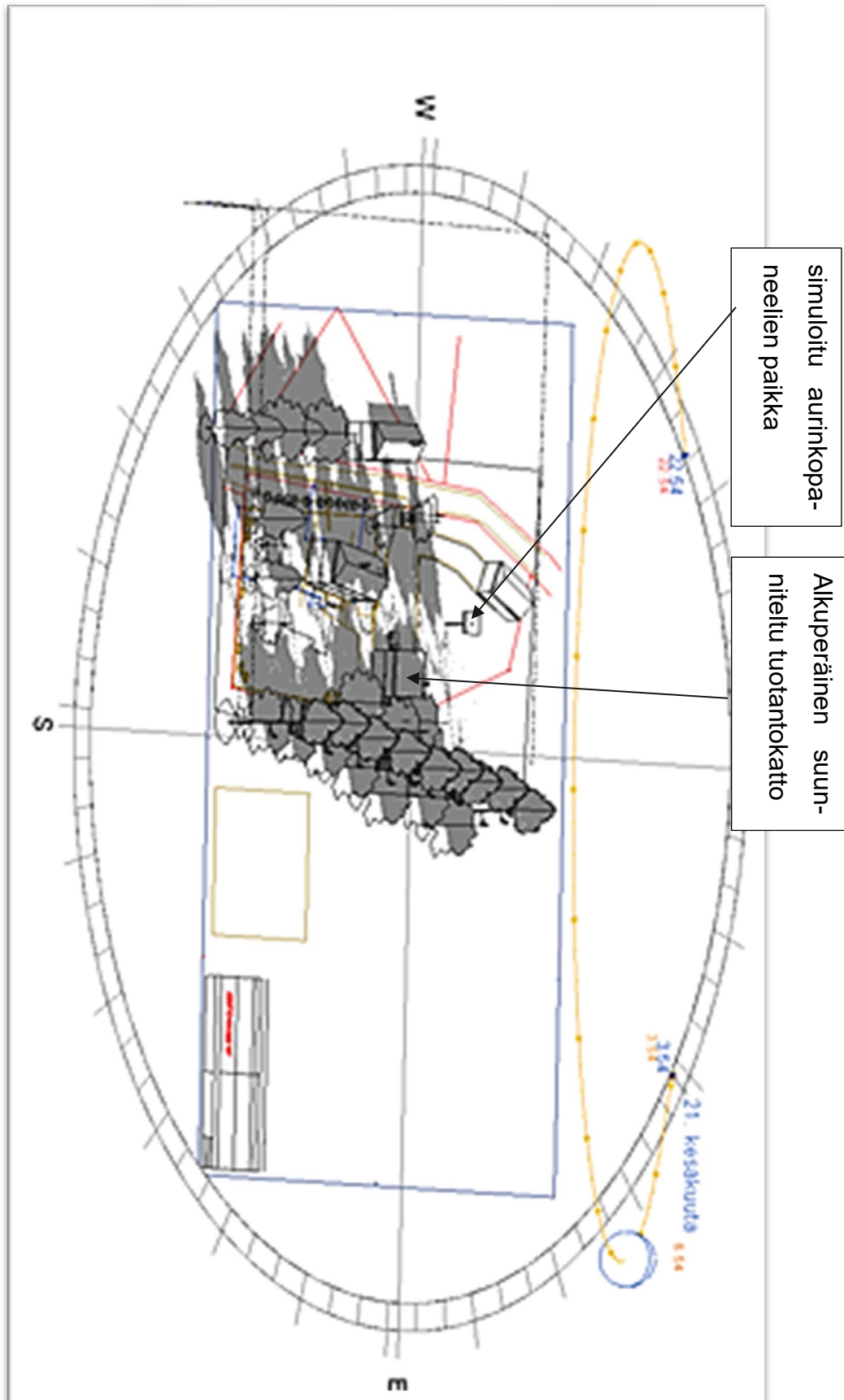
Liite 2. Aurinkopaneeli tuotanto ilmanseurantaa



## Liite 3. Aurinkopaneeli tuotanto aurinkoa seuraava järjestelmä



Liite 4. Varjostuksen vaikutus tuotantoon



## Liite 5. Jaksollistendiskontojenkertoimien taulukko

## Vuosittain toistuvien suoritus diskontaustekijä

Vuotta	Korko (%)														Vuotta	
	0	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	20	30		40
1	1,000	0,990	0,980	0,971	0,962	0,952	0,943	0,926	0,909	0,893	0,877	0,862	0,833	0,769	0,714	1
2	2,000	1,970	1,942	1,913	1,886	1,859	1,833	1,783	1,736	1,690	1,647	1,605	1,528	1,361	1,224	2
3	3,000	2,941	2,884	2,829	2,775	2,723	2,673	2,577	2,487	2,402	2,322	2,246	2,106	1,816	1,589	3
4	4,000	3,902	3,808	3,717	3,630	3,546	3,465	3,312	3,170	3,037	2,914	2,798	2,589	2,166	1,849	4
5	5,000	4,853	4,713	4,580	4,452	4,329	4,212	3,993	3,791	3,605	3,433	3,274	2,991	2,436	2,035	5
6	6,000	5,795	5,601	5,417	5,242	5,076	4,917	4,623	4,355	4,111	3,889	3,685	3,326	2,643	2,168	6
7	7,000	6,728	6,472	6,230	6,002	5,786	5,582	5,206	4,868	4,564	4,288	4,039	3,605	2,802	2,263	7
8	8,000	7,652	7,325	7,020	6,733	6,463	6,210	5,747	5,335	4,968	4,639	4,344	3,837	2,925	2,331	8
9	9,000	8,566	8,162	7,786	7,435	7,108	6,802	6,247	5,759	5,328	4,946	4,607	4,031	3,019	2,379	9
10	10,000	9,471	8,983	8,530	8,111	7,722	7,360	6,710	6,145	5,650	5,216	4,833	4,192	3,092	2,414	10
11	11,000	10,368	9,787	9,253	8,760	8,306	7,887	7,139	6,495	5,938	5,453	5,029	4,327	3,147	2,438	11
12	12,000	11,255	10,575	9,954	9,385	8,863	8,384	7,536	6,814	6,194	5,660	5,197	4,439	3,190	2,456	12
13	13,000	12,134	11,348	10,635	9,986	9,394	8,853	7,904	7,103	6,424	5,842	5,342	4,533	3,223	2,469	13
14	14,000	13,004	12,106	11,296	10,563	9,899	9,295	8,244	7,367	6,628	6,002	5,468	4,611	3,249	2,478	14
15	15,000	13,865	12,849	11,938	11,118	10,380	9,712	8,559	7,606	6,811	6,142	5,575	4,675	3,268	2,484	15
16	16,000	14,718	13,578	12,561	11,652	10,838	10,106	8,851	7,824	6,974	6,265	5,668	4,730	3,283	2,489	16
17	17,000	15,562	14,292	13,166	12,166	11,274	10,477	9,122	8,022	7,120	6,373	5,749	4,775	3,295	2,492	17
18	18,000	16,398	14,992	13,754	12,659	11,690	10,828	9,372	8,201	7,250	6,467	5,818	4,812	3,304	2,494	18
19	19,000	17,226	15,678	14,324	13,134	12,085	11,158	9,604	8,365	7,366	6,550	5,877	4,843	3,311	2,496	19
20	20,000	18,046	16,351	14,877	13,590	12,462	11,470	9,818	8,514	7,469	6,623	5,929	4,870	3,316	2,497	20
21	21,000	18,857	17,011	15,415	14,029	12,821	11,764	10,017	8,649	7,562	6,687	5,973	4,891	3,320	2,498	21
22	22,000	19,660	17,658	15,937	14,451	13,163	12,042	10,201	8,772	7,645	6,743	6,011	4,909	3,323	2,498	22
23	23,000	20,456	18,292	16,444	14,857	13,489	12,303	10,371	8,883	7,718	6,792	6,044	4,925	3,325	2,499	23
24	24,000	21,243	18,914	16,936	15,247	13,799	12,550	10,529	8,985	7,784	6,835	6,073	4,937	3,327	2,499	24
25	25,000	22,023	19,523	17,413	15,622	14,094	12,783	10,675	9,077	7,843	6,873	6,097	4,948	3,329	2,499	25
26	26,000	22,795	20,121	17,877	15,983	14,375	13,003	10,810	9,161	7,896	6,906	6,118	4,956	3,330	2,500	26
27	27,000	23,560	20,707	18,327	16,330	14,643	13,211	10,935	9,237	7,943	6,935	6,136	4,964	3,331	2,500	27
28	28,000	24,316	21,281	18,764	16,663	14,898	13,406	11,051	9,307	7,984	6,961	6,152	4,970	3,331	2,500	28
29	29,000	25,066	21,844	19,188	16,984	15,141	13,591	11,158	9,370	8,022	6,983	6,166	4,975	3,332	2,500	29
30	30,000	25,808	22,396	19,600	17,292	15,372	13,765	11,258	9,427	8,055	7,003	6,177	4,979	3,332	2,500	30
31	31,000	26,542	22,938	20,000	17,588	15,593	13,929	11,350	9,479	8,085	7,020	6,187	4,982	3,332	2,500	31
32	32,000	27,270	23,468	20,389	17,874	15,803	14,084	11,435	9,526	8,112	7,035	6,196	4,985	3,333	2,500	32
33	33,000	27,990	23,989	20,766	18,148	16,003	14,230	11,514	9,569	8,135	7,048	6,203	4,988	3,333	2,500	33
34	34,000	28,703	24,499	21,132	18,411	16,193	14,368	11,587	9,609	8,157	7,060	6,210	4,990	3,333	2,500	34
35	35,000	29,409	24,999	21,487	18,665	16,374	14,498	11,655	9,644	8,176	7,070	6,215	4,992	3,333	2,500	35
36	36,000	30,108	25,489	21,832	18,908	16,547	14,621	11,717	9,677	8,192	7,079	6,220	4,993	3,333	2,500	36
37	37,000	30,800	25,969	22,167	19,143	16,711	14,737	11,775	9,706	8,208	7,087	6,224	4,994	3,333	2,500	37
38	38,000	31,485	26,441	22,492	19,368	16,868	14,846	11,829	9,733	8,221	7,094	6,228	4,995	3,333	2,500	38
39	39,000	32,163	26,903	22,808	19,584	17,017	14,949	11,879	9,757	8,233	7,100	6,231	4,996	3,333	2,500	39
40	40,000	32,835	27,355	23,115	19,793	17,159	15,046	11,925	9,779	8,244	7,105	6,233	4,997	3,333	2,500	40
41	41,000	33,500	27,799	23,412	19,993	17,294	15,138	11,967	9,799	8,253	7,110	6,236	4,997	3,333	2,500	41
42	42,000	34,158	28,235	23,701	20,186	17,423	15,225	12,007	9,817	8,262	7,114	6,238	4,998	3,333	2,500	42
43	43,000	34,810	28,662	23,982	20,371	17,546	15,306	12,043	9,834	8,270	7,117	6,239	4,998	3,333	2,500	43
44	44,000	35,455	29,080	24,254	20,549	17,663	15,383	12,077	9,849	8,276	7,120	6,241	4,998	3,333	2,500	44
45	45,000	36,095	29,490	24,519	20,720	17,774	15,456	12,108	9,863	8,283	7,123	6,242	4,999	3,333	2,500	45
46	46,000	36,727	29,892	24,775	20,885	17,880	15,524	12,137	9,875	8,288	7,126	6,243	4,999	3,333	2,500	46
47	47,000	37,354	30,287	25,025	21,043	17,981	15,589	12,164	9,887	8,293	7,128	6,244	4,999	3,333	2,500	47
48	48,000	37,974	30,673	25,267	21,195	18,077	15,650	12,189	9,897	8,297	7,130	6,245	4,999	3,333	2,500	48
49	49,000	38,588	31,052	25,502	21,341	18,169	15,708	12,212	9,906	8,301	7,131	6,246	4,999	3,333	2,500	49
50	50,000	39,196	31,424	25,730	21,482	18,256	15,762	12,233	9,915	8,304	7,133	6,246	4,999	3,333	2,500	50
60	60,000	44,955	34,761	27,676	22,623	18,929	16,161	12,377	9,967	8,324	7,140	6,249	5,000	3,333	2,500	60
70	70,000	50,169	37,499	29,123	23,395	19,343	16,385	12,443	9,987	8,330	7,142	6,250	5,000	3,333	2,500	70
80	80,000	54,888	39,745	30,201	23,915	19,596	16,509	12,474	9,995	8,332	7,143	6,250	5,000	3,333	2,500	80
90	90,000	59,161	41,587	31,002	24,267	19,752	16,579	12,488	9,998	8,333	7,143	6,250	5,000	3,333	2,500	90
100	100,000	63,029	43,098	31,599	24,505	19,848	16,618	12,494	9,999	8,333	7,143	6,250	5,000	3,333	2,500	100
150	150,000	77,520	47,436	32,938	24,930	19,987	16,664	12,500	10,000	8,333	7,143	6,250	5,000	3,333	2,500	150
200	200,000	86,331	49,047	33,243	24,990	19,999	16,667	12,500	10,000	8,333	7,143	6,250	5,000	3,333	2,500	200
300	300,000	94,947	49,869	33,329	25,000	20,000	16,667	12,500	10,000	8,333	7,143	6,250	5,000	3,333	2,500	300
400	400,000	98,132	49,982	33,333	25,000	20,000	16,667	12,500	10,000	8,333	7,143	6,250	5,000	3,333	2,500	400
500	500,000	99,309	49,997	33,333	25,000	20,000	16,667	12,500	10,000	8,333	7,143	6,250	5,000	3,333	2,500	500