

Alexi Granfors

AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN EUROPORTS RAUMA
OY:LLÄ

Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma
2018

AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN EUROPORTS RAUMA OY:LLÄ

Granfors, Aleksi
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma
Lokakuu 2018
Sivumäärä: 30
Liitteitä: 2

Asiasanat: aurinkoenergia, aurinkosähköjärjestelmä, mitoitus

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä selvitys aurinkoenergian hyödyntämisestä Euroports Rauma Oy:lle. Työssä mitoitettiin aurinkosähköjärjestelmä sekä tarkasteltiin järjestelmän kannattavuutta. Aurinkosähköjärjestelmä suunniteltiin Rauman satamassa sijaitsevaan yrityksen varastohalliin 17. Varastossa 17 sähköä kuluu vain valaistukseen.

Järjestelmän mitoitus tehtiin tarkastelemalla varaston sähkönkulutustietoja viimeisten kolmen vuoden ajalta. Varaston valaisimet uusittiin vuoden 2018 kesän aikana, joten varaston sähkönkulutus uudella valaistuksella tuli selvittää mitoitusta varten. Mitoituksen tavoitteena oli mitoittaa järjestelmä siten, että aurinkosähkön omakäytön osuus olisi mahdollisimman suuri. Tämän takia järjestelmän nimellisteho mitoitettiin niin, että järjestelmän kesäpäivinä tuottama suurin teho vastaa varaston valaisimien sähkötehoa. Järjestelmän nimellistehoksi mitoitettiin 34 kWp. Aurinkopaneelien suuntauskulma on -9 astetta ja kallistuskulmaksi valittiin 15 astetta. Järjestelmän arvioitu vuosituotto on 32 293 kWh.

Mitoituksen jälkeen tarkasteltiin järjestelmän kannattavuutta. Kannattavuuslaskentaa varten arvioitiin järjestelmän investointikustannuksia pyytämällä tarjouksia aurinkosähköjärjestelmiä myyviltä yrityksiltä. Kannattavuuslaskennan tuloksena saatiin järjestelmän nettonykyarvoksi 23 042 e, sekä tuotetun aurinkosähkön LCOE-hinnaksi 4,2 snt/kWh. Investoinnin takaisinmaksuaika on 17 vuotta.

Laskennan tuloksien perusteella investointi arvioitiin taloudellisesti kannattavaksi, eritoten silloin, jos investoinnille myönnetään Työ- ja elinkeinoministeriön myöntämä energiatuki.

UTILIZATION OF SOLAR ENERGY AT EUROPORTS RAUMA OY

Granfors, Aleksi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Energy and Environmental engineering

October 2018

Number of pages: 30

Appendices: 2

Keywords: solar energy, solar PV system, sizing

The aim of this thesis was to research the utilization of solar energy for Euroports Rauma Oy. In the thesis a solar PV system was designed and its profitability was evaluated. The solar PV system was designed for the company's storage hall number 17, located in the port of Rauma. At storage hall 17, electricity is used only for lighting.

The sizing of the solar PV system was done by examining the storage's electricity consumption data from the last three years. All of the storage's lights were replaced with LED-lights during the summer of 2018, so the storage's electricity consumption with the new lighting had to be calculated for the sizing of the PV system. The goal of the sizing was to maximize the self-usage of the produced electricity. Because of this, the system was sized so, that it produces the same amount of power than the lighting uses during summer days. The peak power of the system was sized to be 34 kWp. The azimuth of the solar panels is -9 degrees and the angle of the solar panels was chosen to be 15 degrees. The estimated annual production of the PV system is 32 293 kWh.

After the sizing of the system its profitability was evaluated. For the profitability calculations, offers were asked from companies that sell PV systems to evaluate the capital costs of the system. As a result of the profitability calculations, the net present value of the investment was found to be 23 042 euros, and the LCOE-price of the produced electricity was calculated to be 4,2 cents/kWh. The payback period of the investment is 17 years.

As a result of the calculations the investment was evaluated to be profitable, especially if the investment is given the energy aid granted by the Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	SUUNNITTELUKOHTTEEN ESITTELY.....	6
2.1	Euroports Rauma Oy.....	6
2.2	Asennuskohteen esittely.....	6
2.3	Sähkönkulutus.....	7
2.4	Sähkön mittarointi.....	9
3	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN MITOITUS.....	10
3.1	Yleistä mitoituksesta.....	10
3.2	Varaston 17 sähkönkulutustiedot.....	11
3.3	Varaston 17 sähkönkulutusprofiili.....	13
3.4	Varaston 17 tuntikohtainen sähkönkulutus.....	14
3.5	Paneelien kallistuskulma ja atsimuutti.....	15
3.6	Järjestelmän huipputehon mitoitus.....	16
3.7	Invertteri.....	18
3.8	Asennuskohteen ympäristöolosuhteiden arviointi.....	19
3.9	Tuoton arviointi.....	20
3.10	Omavaraisuuden arviointi.....	21
4	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUSLASKENTA.....	23
4.1	Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus.....	23
4.2	Investointikustannukset.....	23
4.3	Energiatuki.....	24
4.4	Rahoitusmallit.....	24
4.5	Kannattavuuslaskenta.....	26
5	TULOSTEN ARVIOINTI.....	28
	LÄHTEET.....	30
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Aurinkosähköjärjestelmien kannattavuus paranee koko ajan aurinkopaneelien jatkuvan hinnanlaskun myötä. Aurinkosähkön tuomat säästöt ja aurinkoenergian vihreys houkuttelevat entistä enemmän myös yrityksiä investoimaan aurinkosähköjärjestelmiin.

Tämä opinnäytetyö tehdään osana Satakunnan Ammattikorkeakoulun vetämää SataMari-projektia. SataMarin päätavoitteena on kehittää ja pilotoida energiatehokkaita ratkaisuja Satakunnan meriklusterin yrityksille. SataMari innoitti Rauman satamassa toimivaa Euroports Rauma Oy:ta selvittämään aurinkosähköinvestoinnin kannattavuutta. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella aurinkosähköjärjestelmä Euroports Rauma Oy:lle ja arvioida sen kannattavuutta.

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelukohde on Euroports Rauma Oy:n omistama varastohalli numero 17. Järjestelmä asennettaisiin toteutuessaan varaston katolle ja sen tuotto käytettäisiin varaston sähkötaloudessa. Työn tavoitteena on mitoittaa kohteeseen taloudellisesti mahdollisimman kannattava aurinkosähköjärjestelmä sekä arvioida sen tuottoa. Lopuksi tehdään päätelmiä investoinnin kannattavuudesta käyttäen erilaisia kannattavuuslaskennan menetelmiä.

2 SUUNNITTELUKOHTTEEN ESITTELY

2.1 Euroports Rauma Oy

Euroports Rauma Oy on Rauman satamassa toimiva yritys, joka sijaitsee osoitteessa Hakunintie 23, 26100, Rauma. Euroports Rauma Oy:n toimialoja ovat ulkomaankuljetukset, ahtaus, huolinta sekä varastointipalvelut (Rauman sataman www-sivut 2018). Yrityksen kautta kulkee rahtia muun muassa Pohjois-Afrikkaan, Amerikan itärannikolle sekä Manner-Eurooppaan. Euroports Rauma Oy:n tuonti ja vienti on vuosittain noin 6 miljoonaa tonnia. Yrityksen kautta kulkevat yleisimmät artikkelit ovat kemiallisen ja mekaanisen metsäteollisuuden tuotteet, kontit, projektikuljetukset sekä bulkkitavara. Yrityksessä työskentelee noin 550 työntekijää. (Euroports Finland Oy 2018)



Kuva 1 Ilmakuva Euroports Rauma Oy:n alueesta (Rauman Meriteollisuuskiinteistöt Oy)

2.2 Asennuskohteen esittely

Aurinkosähköjärjestelmä suunniteltiin Euroports Rauma Oy:n omistamaan varastohalliin numero 17. Varasto 17 sijaitsee Rauman satamassa lähellä Euroports Rauma Oy:n

toimistorakennusta. Varasto on mitoiltaan 100 metriä leveä ja 140 metriä pitkä ja sen räystääskorkeus on 13,15 metriä. Rakennuksen katto on rakenteeltaan kaksinkertainen mineritlevykatto (Sähköposti Suvanto 28.6.2018).



Kuva 2 Varastohalli 17

Varastoa käytetään pääasiassa paperirullien sekä joskus myös sellun varastointiin (Sähköposti Suvanto 19.9.2018). Varaston käyttöaste on korkea, sillä siellä työskennellään kolmessa vuorossa seitsemänä päivänä viikossa.

2.3 Sähkönkulutus

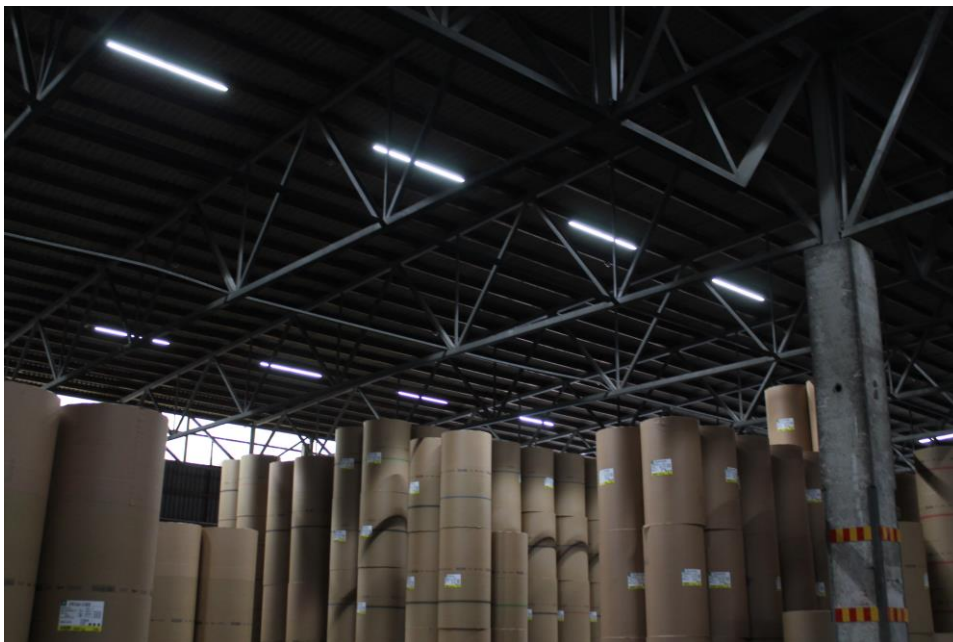
Varastohallissa 17 sähköä kuluu pelkästään varaston valaistukseen. Varastossa on valaisimia yhteensä 178, joista 151 on sisävalaisimia. Sisävalaisimia ohjaavat liiketunnistimet, jotka on asennettu varaston jokaisen oven viereen. Liiketunnistimet sammuttavat sisävalot 15 minuutin kuluttua liikkeen loppumisesta varastossa. Sisävalaisimet ovat yksittäistehoiltaan 137 W niiden kokonaistehon ollessa 20,7 kW. Varaston sisävalaistukseen kuuluu myös varaston junarataosuuden valaistus. Näitä ratavalaisimia on 5 kappaletta ja ne ovat yksittäistehoiltaan 130 W. Ratavalistus on turvallisuus-

syistä aina päällä, joten se muodostaa varasto 17 sähkönkulutuksen peruskuorman. Lisäksi varastossa on myös 22 kappaletta 150 W tehoisia ulkovalaisimia, jotka toimivat hämäräkytkimellä. (Suvanto henkilökohtainen tiedonanto 8.6.2018)



Kuva 3 Varaston junarataosuuden valaistus

Varaston 17 valaisimet vaihdettiin kaikki vähemmän sähköä kuluttaviin LED-valaisimiin vuoden 2018 kesän aikana. Tämän seurauksena varaston sähkönkulutus laski huomattavasti, mikä tuli huomioida aurinkosähköjärjestelmää mitoitettaessa. Vaihdon yhteydessä valaisimien lukumäärä pysyi samana.



Kuva 4 Varaston uusittu sisävalaistus

2.4 Sähkön mittarointi

Aurinkosähköjärjestelmä vaatii sähkömittarilta kaksisuuntaisen mittauksen, jotta järjestelmän verkkoon syöttämää sähköä voidaan mitata. Varaston 17 sähkömittarilta ulos lähtevä sähkö menee Rauman Energia Oy:n omistamaan sähköverkkoon. Rauman Energia Oy vastaa alueen siirtoyhtiönä myös sähkön mittaroinnista. Rauman Energia vastaa siitä, että varaston 17 sähkömittari on kykenevä kaksisuuntaiseen mittaukseen.

Rauman Energialla on käytössä vaihekohtaisesti mittaavat sähkömittarit, jotka mittaavat jokaisen vaiheen kulutetun ja tuotetun sähkötehon omiin rekistereihinsä. (Sähköposti REO asiakaspalvelu 25.6.2018) Aurinkosähköjärjestelmässä vaihekohtainen mittaus voi johtaa tilanteeseen, jossa yksi vaihe ostaa sähköä verkosta toisen vaiheen myydessä. Tämä on ongelma etenkin pienemmissä, yksivaiheista invertteriä käyttävissä järjestelmissä, jossa aurinkosähköä syötetään vain yhteen vaiheeseen. Kolmivaiheisessa aurinkosähköjärjestelmässä sähkön samanaikaista ostoa sekä myymistä voi tapahtua tilanteessa, jossa vain kahdessa vaiheessa on sähkölaitteita päällä, jolloin ilman kuormaa olevaan vaiheeseen syötetty sähkö siirtyy verkkoon. Tämä vähentää tuotetun aurinkosähkön omakäytön osuutta, mikä taas huonontaa järjestelmän kannattavuutta. Sähkön samanaikainen osto sekä myynti voidaan välttää varmistamalla, että

kiinteistön jokaisessa vaiheessa on sähkönkulutusta aurinkosähköjärjestelmän tuottaessa sähköä. (Tahkokorpi ym. 2016, 145) Varaston 17 valaisimet ovat liitetty tasaisesti jokaiseen kolmeen vaiheeseen, joten sähkön samanaikaista ostoa ja myymistä ei pitäisi tapahtua.

3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN MITOITUS

3.1 Yleistä mitoituksesta

Aurinkosähköjärjestelmän oikea mitoitus on todella olennaista järjestelmän kannattavuuden kannalta. Järjestelmien hinnat nimellistehoa kohden laskevat järjestelmän koon suurentuessa, joten on kannattavinta mitoittaa järjestelmä mahdollisimman suureksi, kuitenkin ylimitoitusta välttämällä.

Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa lähdetään ensisijaisesti kohteen sähkötukituksen tarkastelusta. Sähkön kulutustietojen avulla järjestelmä voidaan mitoittaa siten, että järjestelmän tuotto vastaa asennuskohteen sähkönkulutusta valoisana aikana, jonka huippu sijoittuu Suomessa kesäajan keskipäivään (Tahkokorpi ym. 2016, 178). Mitoituksen tavoitteena on, että mahdollisimman suuri osa aurinkosähköjärjestelmän tuottamasta energiasta käytettäisiin itse, jolloin ostosähkön energian hinnan lisäksi säästyy myös sähkön siirtomaksu sekä verot. Verkkoon syötetty sähkö heikentää järjestelmän kannattavuutta, sillä sähköverkkoon syötetystä energiasta verkkoyhtiöt eivät maksa kuin sähköenergian hinnan, jonka yhtiöt usein määrittävät sähkön markkinahinnan perusteella. (Motivan www-sivut 2018)

Ylimääräinen tuotto on mahdollista ottaa talteen asentamalla akusto aurinkosähköjärjestelmään. Akustot eivät kuitenkaan vielä ole kustannustehokkaita verkkoon kytetyissä järjestelmissä. Akusto vaatii huoltoa ja tarkkailua ja se tarvitsee myös vaihtaa tasaisin väliajoin. Tulevaisuudessa akustojen hintojen lasku sekä teknologian kehittyminen tulevat lisäämään niiden käyttöä verkkoon kytketyissä järjestelmissä. (ST-käsikirja 40 2017, 55)

3.2 Varaston 17 sähkönkulutustiedot

Aurinkosähköjärjestelmän mitoitusta varten otettiin tarkasteluun varaston 17 kolmen viimeisen vuoden kuukausikohtaiset sähkönkulutustiedot.

Taulukko 1 Varaston 17 sähkönkulutus vuosina 2015-2017

	2015 (kWh)	2016 (kWh)	2017 (kWh)
Tammikuu	21345	19096	21397
Helmikuu	18344	17139	17762
Maaliskuu	19636	16272	18541
Huhtikuu	17700	15739	18720
Toukokuu	16136	17662	18836
Kesäkuu	13577	16634	16478
Heinäkuu	15661	17575	19235
Elokuu	16869	17671	19108
Syyskuu	15194	17764	19309
Lokakuu	17447	18547	19922
Marraskuu	16500	20246	19135
Joulukuu	16473	18311	18417
yht.	204882	212656	226860

Taulukosta 1 voidaan havaita, että varaston sähkönkulutus on pysynyt melko samanalaisena tarkasteltujen vuosien aikana. Varaston valaisimien vaihto LED-valaisimiin kuitenkin muuttaa varaston sähkönkulutusta huomattavasti, sillä vaihdon myötä valaistuksen kokonaissähköteho laski 36,7 kilowatista 24,3 kilowattiin. Kun vanhojen sekä uusien valaisimien kokonaissähköteho oli tiedossa, voitiin laskea, kuinka paljon sähköä olisi kulunut kolmena edellisenä vuonna, jos LED-valaisimet olisivat olleet käytössä. Kun sähkönkulutus tietyllä aikavälillä jaettiin valaisimien kokonaisteholla, saatiin tulokseksi valaisimien huipun käyttöaika. Tämän jälkeen huipun käyttöaika kerrottiin uusitun valaistuksen kokonaisteholla, josta saatiin tulokseksi sähkönkulutus uudella valaistuksella valitulla aikavälillä. Sähkönkulutus uusitulla valaistuksella laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$E_u = \frac{E_v}{P_v} \times P_u$$

, jossa

E_u = sähkönkulutus uudella valaistuksella (kWh)

E_v = sähkönkulutus vanhalla valaistuksella (kWh)

P_v = vanhojen valaisimien kokonaissähköteho (kW)

P_u = uusien valaisimien kokonaissähköteho (kW)

Esimerkkilaskuna vuoden 2017 tammikuun sähkönkulutuksen laskeminen uudella valaistuksella:

$$\frac{21397 \text{ kWh}}{36,702 \text{ kW}} \times 24,327 \text{ kW} = 14182 \text{ kWh}$$

Näin saatiin varaston nykyistä sähkötehoa vastaavat kulutustiedot, jotka ovat nähtävissä taulukossa 2.

Taulukko 2 Varaston 17 sähkönkulutus vuosina 2015-2017, jos LED-valaisimet olisivat olleet käytössä

	2015 (kWh)	2016 (kWh)	2017 (kWh)
tammikuu	14148	12657	14182
helmikuu	12159	11360	11773
maaliskuu	13015	10785	12289
huhtikuu	11732	10432	12408
toukokuu	10695	11707	12485
kesäkuu	8999	11025	10922
heinäkuu	10381	11649	12749
elokuu	11181	11713	12665
syyskuu	10071	11774	12798
lokakuu	11564	12293	13205
marraskuu	10937	13420	12683
joulukuu	10919	12137	12207
yht.	135801	140954	150368

Aurinkosähköjärjestelmän mitoitusta varten laskettiin vuosien 2015-2017 sähkönkulutuksen kuukausittaiset keskiarvot uusitulla valaistuksella. Keskiarvoiset kulutustiedot näkyvät taulukossa 3.

Taulukko 3 Varaston 17 keskiarvoinen kuukausittainen sähkönkulutus uudella valaistuksella

Sähkönkulutus (kWh)	
Tammikuu	13663
Helmikuu	11764
Maaliskuu	12030
Huhtikuu	11524
Toukokuu	11629
Kesäkuu	10316
Heinäkuu	11593
Elokuu	11853
Syyskuu	11548
Lokakuu	12354
Marraskuu	12346
Joulukuu	11754
Yhteensä	142374

3.3 Varaston 17 sähkönkulutusprofiili

Keskiarvoisia kuukausikulutustietoja analysoitaessa taulukosta 3 voidaan huomata, että sähkönkulutus pysyy kuukausitasolla melko samanlaisena. Tämän selittää varaston yksinkertainen sähkökuorma: sähköä kuluu vain valaistukseen. Suurin osa hallin sähkökuormasta tulee sisävalaisimista, joten varaston käyttöaste korreloi suoraan sähkönkulutuksen kanssa. Taulukkoa 3 luettaessa voidaan huomata, että kesällä, varsinkin kesäkuussa, sähkönkulutus on hieman pienempi kuin muulloin. Hämäräkytkimen takia ulkovalaisimet eivät ole tällöin juuri lainkaan päällä. Talvikuukausina ulkovalojen päällä olo taas hieman suurentaa varaston sähkönkulutusta.

Kaiken kaikkiaan voidaan todeta varaston sähkökuorman olevan kuukausitasolla melko tasainen. Pienet erot talvi- ja kesäajan välillä johtuvat ulkovalaisimien sähkönkulutuksesta, joka on hämäräkytkimen takia suurempi talvella. Tästä voidaan päätellä varaston käyttöasteen pysyvän tasaisena läpi vuoden.

3.4 Varaston 17 tuntikohtainen sähkönkulutus

Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksen kannalta täytyy sähkönkulutusta arvioida myös tuntikohtaisesti. Tuntikohtaisen kulutuksen arvioinnissa tulee tarkastella varsinkin sisävalaisimien päällä oloa, sillä ne muodostavat valtaosan varaston sähkökuormasta valoisa aikana, jolloin myös aurinkosähköjärjestelmällä on tuotantoa. Sisävalaisimet ovat aina silloin päällä, kun varastossa työskennellään. Jos varastossa ei työskennellä, sisävalaisimet menevät automaattisesti pois päältä 15 minuutin kuluttua liikkeen loppumisesta. Valoisana aikana varastossa ei ole sisävalaisimien sammuttua muuta sähkönkulutusta kuin varaston rataosuuden valaistus. (Suvanto henkilökohtainen tiedonanto 8.6.2018)

Varaston sisävalaistuksen päällä oloa on seurattu käyttötuntimittarilla älyvalaistuksen käyttöönoton jälkeen. Päivämäärien 22.3.2012 ja 25.6.2018 välillä sisävalaisimet olivat päällä 40572 tuntia. Tästä voidaan laskea, että sisävalaisimet ovat olleet päällä keskimäärin 17,75 tuntia vuorokaudessa. Varastotyöntekijöillä on taukoja kahden tunnin välein, jolloin sisävalaistus sammuu hetkeksi aikaa. Tällöin varastossa sähköä kuluu vain ratavalaistukseen, jolloin sähkönkulutus on todella pientä: vain 360 W. Tämän takia sähkön hetkittäiseltä sähköverkkoon syöttämiseltä ei voida välttyä pienelläkään järjestelmällä. Sisävalaisimien käyttötunneista voidaan kuitenkin todeta, että sisävalaistuksen sammumiset ovat melko lyhyitä, noin puolen tunnin pituisia, jos oletetaan näiden sammumisten jakautuvan tasaisesti työvuorojen taukojen välillä. Oikein mitoitettulla järjestelmällä tuotetun sähkön omakäyttöaste pysyy siis korkeana.

Varaston sähkökuorma on aurinkosähköjärjestelmän kannalta edullinen, sillä taukoja lukuun ottamatta varastossa on hyvin kulutusta aina, kun järjestelmä tuottaa sähköä. Sähkön kulutus pysyy myös lähes samanlaisena ympäri vuoden, eikä suuria hetkittäisiä tehokuormia ole, joten sähkökuorma on hyvin ennustettavissa.

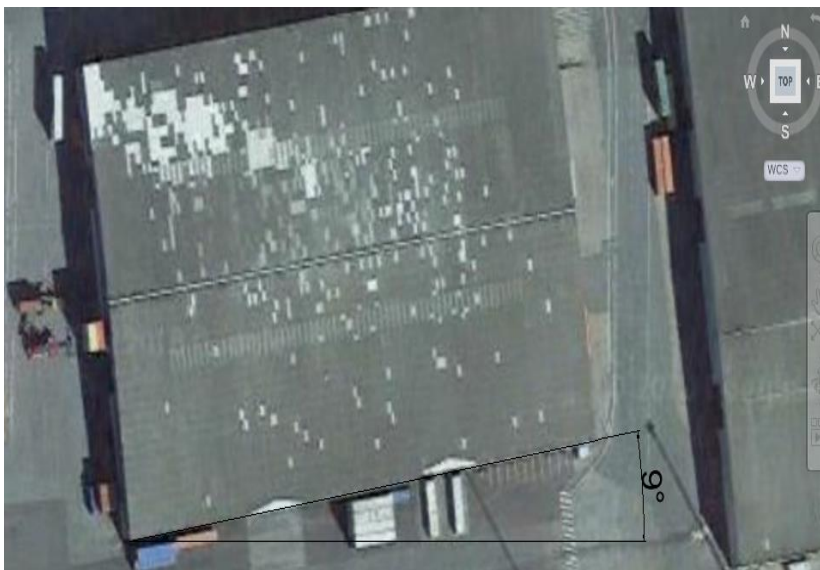
3.5 Paneelien kallistuskulma ja atsimuutti

Ennen aurinkosähköjärjestelmän koon mitoitusta määritettiin järjestelmälle kallistuskulma sekä atsimuutti. Suomen leveysasteella vuosittaisen kokonaistuoton kannalta paneelien optimaalisin kallistuskulma on noin 45 astetta. Paneelien tuotto kuitenkin pienenee melko hitaasti kallistuskulman muuttuessa optimista. Yli 45 asteen kulmat lisäävät paneelien tuotantoa talvella, kun taas pienemmät kulmat lisäävät kesäajan tuotantoa. (Tahkokorpi ym. 2016, 18,180)

Varaston 17 katto on lähes tasakatto pienellä kallistuskulmalla, joten jos paneelien tuottoa halutaan optimoida, pitää ne suunnata telineillä suurempaan kulmaan. Kallistuskulman valinnassa täytyy kuitenkin ottaa huomioon muitakin seikkoja. Tasakatolle asentaessa tulee aina arvioida järjestelmän tuulikuormat sekä katon rakenteellisesta kestävyydestä tulee varmistua. Tarvittaessa kattorakenteita täytyy vahvistaa aurinkosähköjärjestelmän asennusta varten. Asennuspaikan sijainti meren äärellä lisää aurinkopaneelisiin kohdistuvaa tuulikuormaa, joka suurenee aurinkopaneelien kallistuskulman kasvaessa. Tämä vuoksi paneelien asentaminen optimaaliseen kallistuskulmaan ei välttämättä ole mahdollista tässä kohteessa. Paneelien asentaminen pienempään kulmaan vähentäisi tuulen aiheuttamaa kuormitusta. Pienemmällä kallistuskulmalla myös järjestelmän asennuskustannukset pienenevät, mikä taas parantaa järjestelmän kannattavuutta. Myös peräkkäisten paneelien toisiaan varjostava vaikutus vähenee asennuskulman pienentyessä. (Tahkokorpi ym. 2016, 181)

Näiden asioiden perusteella valittiin aurinkopaneelien kallistuskulmaksi 15 astetta, kun otetaan huomioon myös katon oma kallistuskulma. Kulman pieneminen optimikulmasta 15 asteeseen pienentää järjestelmän vuosittaista tuottoa vain noin 10 prosenttia (Tahkokorpi ym. 2016, 180).

Atsimuutti ilmaisee paneelien suuntauksen poikkeaman etelästä. Etelään suunnatun järjestelmän atsimuutti on 0° , kun taas länteen suunnatun atsimuutti on $+90^\circ$ ja itään suunnatun -90° . Aurinkopaneelien vuosittaisen kokonaistuoton kannalta optimaalisin atsimuutti on 0° . Kuitenkaan pienet poikkeamat eivät vaikuta merkittävästi vuosittaiseen tuottoon. 45 asteen poikkeamat itään tai länteen alentavat järjestelmän vuosittaista kokonaistuottoa vain noin seitsemän prosenttia. (Tahkokorpi ym. 2016, 17-18)



Kuva 5 Varaston 17 poikkeama etelästä (Google Earth 2018)

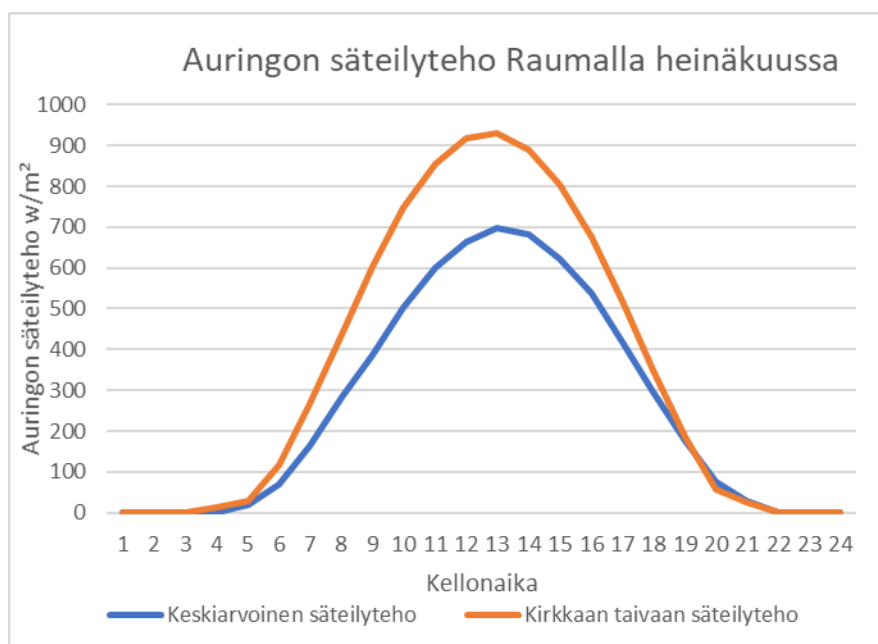
Varaston 17 atsimuutti voidaan nähdä kuvasta 5. Kun aurinkopaneelit asennetaan varaston eteläiselle katolle, on poikkeama etelästä todella pieni. Varaston 17 atsimuutti on noin -9° , eli lievästi itään päin kallistunut. Näin pieni poikkeama vaikuttaa hyvin vähän järjestelmän tuottoon, joten atsimuutti on todella lähellä optimaalista.

3.6 Järjestelmän huipputehon mitoitus

Sähkökulutuksen sekä kulutusprofiilin analysoinnin perusteella voitiin järjestelmän koko mitoittaa sopivaksi. Järjestelmän kokoa ei rajoita käytettävissä oleva kattopinta-ala, sillä varaston 17 pinta-ala on suuri, 1,4 hehtaaria. Jos mitoituksessa otettaisiin huomioon vain sähkökulutus, voitaisiin aurinkosähköjärjestelmä mitoittaa melko suureksi, sillä sähköä kuluu varastossa valaistuksen uusimisenkin jälkeen noin 142 000 kWh vuodessa. Varaston 17 tapauksessa täytyy kuitenkin tarkastella sähkön kulutuskohteita, valaisimia. Valaisimet ovat päällä suuren osan ajasta, mutta niiden käyttämä sähköteho on verrattain pieni. Jos järjestelmä mitoitettaisiin pelkästään kulutuksen perusteella, olisi tuloksena järjestelmä, joka kevään ja kesän aurinkoisina päivinä syöttäisi ison osan tuottamastaan energiasta sähköverkkoon, sillä järjestelmän tuotto ylittäisi varaston käyttämän sähkötehon. Tämä taas laskisi järjestelmän kannattavuutta. Tämän perusteella voitiin järjestelmän maksimitehon ylärajaksi ottaa varaston käyt-

tämä kokonaissähköteho. Tehotarpeesta voitiin mitoitus varten poistaa ulkovalaisimien käyttämä teho, sillä hämäräkytkimen takia ne kuluttavat sähköä paneelien tuoton ollessa käytännössä nolla. Sisävalaistuksen ja ratavalaisimien yhteenlaskettu teho on 21 kW, joten tarvittavan maksimitehon ylärajaksi valittiin 21 kW. Tällöin suurin osa tuotetusta energiasta saadaan omaan käyttöön. Ainoastaan silloin, kun hallin sisävalaisimet ovat pois päältä, syötetään sähköverkkoon energiaa.

Todellisuudessa Suomen olosuhteissa aurinkopaneelit eivät saavuta huipputehoaan. Aurinkopaneelien nimellisteho eli huipputeho tarkoittaa tehoa, joka saavutetaan standardiolosuhteissa säteilytehon ollessa 1000 W / m^2 ja paneelin lämpötilan ollessa $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (Tahkokorpi ym. 2016, 197). Käyttöolosuhteissa teho on yleensä pienempi paneelien korkean lämpötilan aiheuttaman hyötysuhteen laskun tai heikomman auringon säteilytehon takia. Tämän takia järjestelmän nimellisteho voidaan mitoittaa yllä mainittua maksimitehon ylärajaa suuremmaksi. Tarkastelemalla Rauman alueen kuukausittaisten säteilytehojen keskiarvojen huippuja voitiin määrittää paneelien käytännössä tuottama suurin mahdollinen teho. Tarkastelussa käytettiin PVGIS-ERA5-säteilytietokannan tietoja.



Kuva 6 Vuorokauden keskiarvoinen säteilyteho Raumalla heinäkuussa kallistuskulman ollessa 15 astetta ja suuntauskulman -9 astetta (PVGIS 2018)

Kuvasta 6 voidaan lukea, että heinäkuussa aurinkopaneelien vastaanottama keskiarvoinen säteilyteho on parhaina tunteina noin 700 W/m^2 . Aurinkoisena päivänä säteilyteho on jopa 930 W/m^2 .

Käyttämällä kesäkuukausien säteilyn huipputuntien säteilytehoja, voitiin laskea riittäväällä tarkkuudella aurinkosähköjärjestelmän verkkoon tuottama teho näinä huipputunteina. Laskuissa käytettiin oletuksena aurinkopaneelien kokonaishyötysuhteen olevan 15 %. Kaapeleista ja vaihtosuuntaajasta johtuvien häviöiden oletettiin olevan 14 %. Järjestelmän syöttämä sähköteho laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$W_p = W_a \times n_p \times A_p \times (1 - n_j)$$

, jossa

W_p = järjestelmän verkkoon syöttämä teho (W)

W_a = auringon säteilyteho aurinkopaneelien kallistus- ja suuntauskulman tasossa (W/m^2)

n_p = aurinkopaneelien hyötysuhde

A_p = aurinkopaneelien ala (m^2)

n_j = johtojen ja vaihtosuuntaajan häviöt

(Tahkokorpi ym. 2016, 142)

Näin todettiin, että paneelit syöttävät verkkoon kesäkuukausina säteilyn huipputunteina keskimäärin noin 21 kW:n tehon, kun järjestelmän nimellisteho on 34 kWp. Näin aurinkosähköjärjestelmän kooksi valittiin 34 kWp.

3.7 Invertteri

Vaihtosuuntaajan eli invertterin päätehtävä on muuttaa paneelien tuottama tasasähkö (DC) verkkosähköksi (AC). Invertteri on merkittävä komponentti aurinkosähköjärjestelmissä niiden toiminnan sekä investointikustannusten kannalta. 34 kWp:n järjestelmässä invertterin osuus järjestelmän kokonaisinvestoinnista on noin 10 %. (Sallinen 2017, 46)

Invertteri tulee aina mitoittaa tapauskohtaisesti aurinkosähköjärjestelmän koon mukaan. Invertterin maksimiteho voidaan mitoittaa pienemmäksi kuin järjestelmän nimellisteho, sillä aurinkopaneelien tuotto vasta harvoin niiden nimellistehoa (Sallinen 2017, 32). Tässä työssä mitoitetulle 34 kWp:n järjestelmälle sopii esimerkiksi ABB:n valmistama PRO-33.0-TL-OUTD 33 kW:n verkkoinvertteri, jonka hyötysuhde on korkea: 98 % (ABB:n www-sivut 2018).



Kuva 7 ABB:n 33 kW verkkoinvertteri (ABB:n www-sivut 2018)

3.8 Asennuskohteen ympäristöolosuhteiden arviointi

Aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa tulee aina arvioida tapauskohtaisesti asennuskohteen ympäristöä sekä sääolosuhteita, sillä ne vaikuttavat järjestelmän tuottoon ja toimivuuteen.

Asennuspaikan varjostusten arviointi on tärkeää paneelien tuotannon kannalta, sillä jo osittainen paneelien varjostus laskee merkittävästi järjestelmän tuotantoa (Tahkokorpi ym. 2016, 182). Tämän takia paneelien asettelussa on otettava huomioon myös paneelien aiheuttamat varjostukset, jotteivät ne varjosta toisiaan. Varaston 17 läheisyydessä ei ole huomattavia varjostustenlähteitä, joka voidaan havaita esimerkiksi kuvista 5 ja 8. Ympäristön varjostusten ei pitäisi siis vaikuttaa järjestelmän tuotantoon.



Kuva 8 Varaston 17 eteläinen sivu

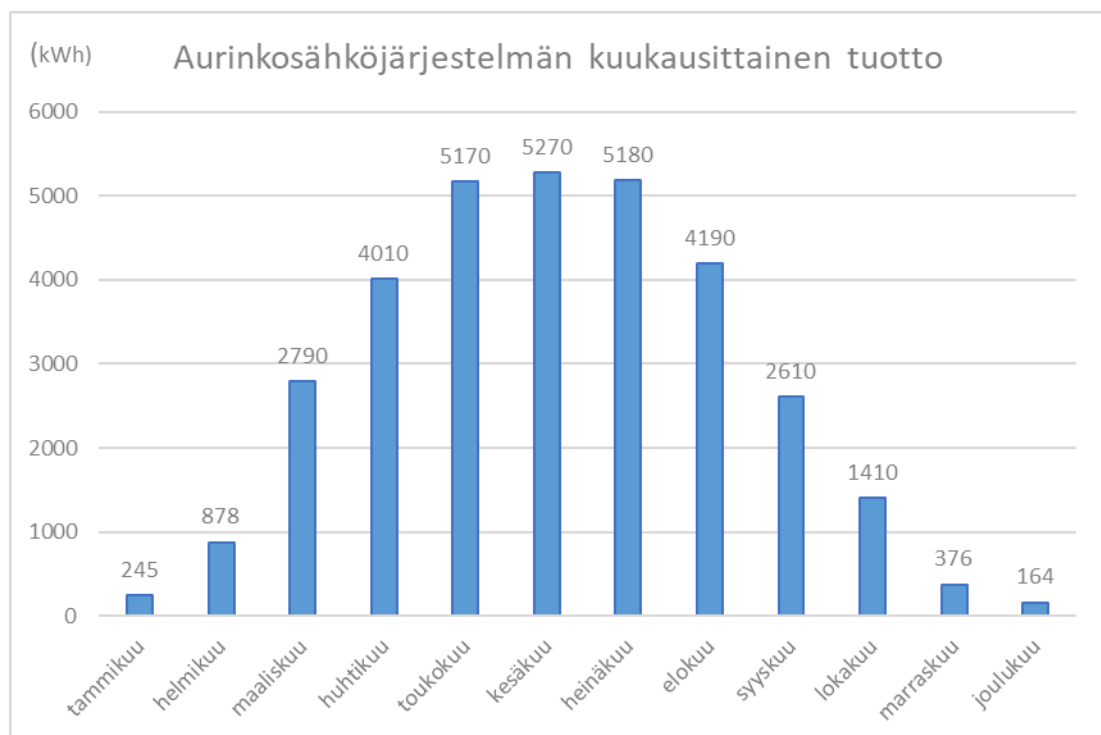
Tuuliolosuhteilla on myös vaikutusta järjestelmän tuotantoon. Kuten aiemmin todettiin, asennuskohteen sijainti aivan meren rannalla lisää paneelien tuulesta aiheutuvaa kuormitusta. Tuulella on kuitenkin myös myönteinen vaikutus järjestelmälle, sillä tuuli viilentää aurinkopaneeleja, joka taas parantaa paneelien hyötysuhdetta. Tämä lisää järjestelmän tuottoa vuositasolla. (PVGIS 2018) Kun paneelien lämpötila ylittää 25 astetta, niin niiden hyötysuhde laskee keskimäärin noin 0,4 prosenttia astetta kohti. Paneelien lämpötilan lasku alle 25 asteen vastaavasti nostaa niiden hyötysuhdetta. (Tahkokorpi ym. 2016, 140)

3.9 Tuoton arviointi

Aurinkosähköjärjestelmän tuottoja voidaan arvioida monilla erilaisilla ohjelmistoilla. Tässä työssä tuoton arviointiin käytettiin Euroopan komission yhteisen tutkimuskeskuksen (Joint Research Centre) kehittämää ilmaista PVGIS 5-ohjelmaa. Sillä voidaan arvioida aurinkopaneelien keskimääräistä kuukausituottoa. Ohjelmaan tulee syöttää lähtöarvoiksi järjestelmän sijainti, huipputeho, aurinkopaneelien tyyppi, paneelien kallistuskulma ja atsimuutti sekä järjestelmän kokonaishäviöt. PVGIS ottaa tuoton laskennassa huomioon myös tuuliolosuhteet.

Aurinkosähköjärjestelmissä syntyy aina häviöitä, joiden takia sähköverkkoon syötetty teho on aina jonkin verran paneelien tuottamaa tehoa pienempi. Häviöt muodostuvat muun muassa sähköjohtojen häviöistä sekä vaihtosuuntaajan häviöistä. Tuottojen arvioinnissa oletettiin järjestelmän kokonaishäviöiksi 14 %.

Syöttämällä tässä työssä mitoitettut arvot ohjelmaan saatiin aurinkosähköjärjestelmän arvioitu kuukausittainen tuotto, joka on nähtävissä kuvassa 9.



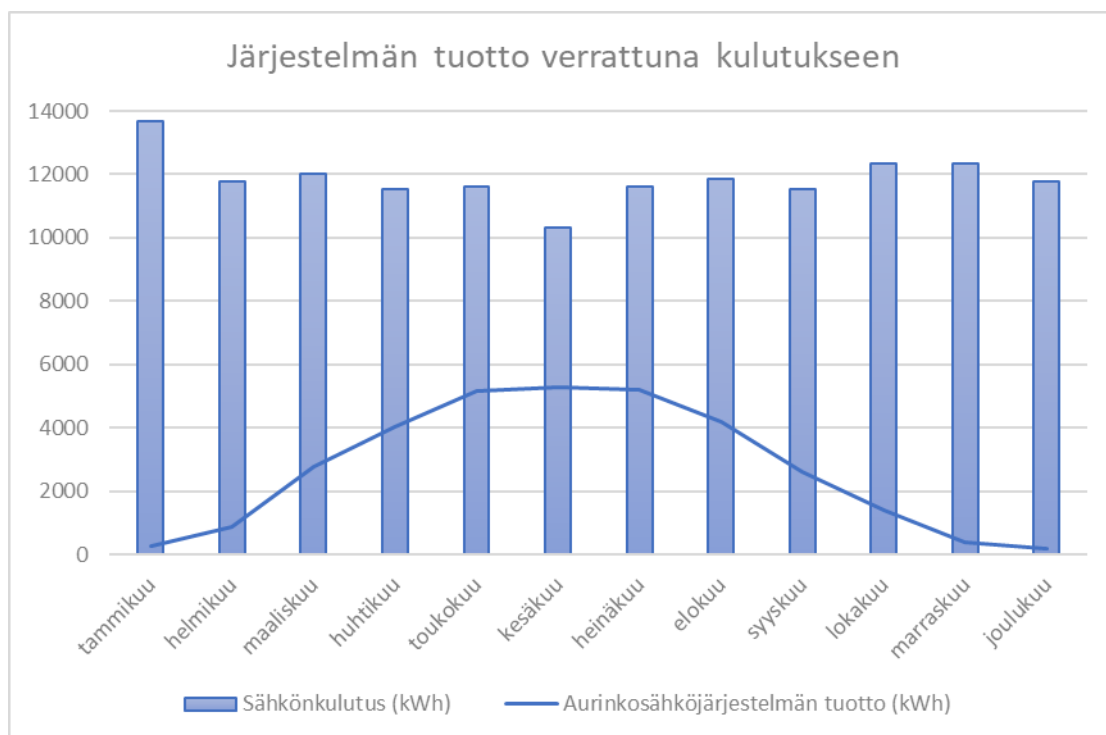
Kuva 9 Mitoitetun aurinkosähköjärjestelmän arvioitu vuosittainen tuotto Raumalla kallistuskulman ollessa 15 astetta ja atsimuutin -9 astetta (PVGIS 2018)

Järjestelmän arvioitu vuosittainen kokonaistuotto on 32 293 kWh. Säteilietokantana käytettiin PVGIS-ERA5- tietokantaa. (PVGIS 2018)

3.10 Omavaraisuuden arviointi

Kun verrattiin aurinkosähköjärjestelmän arvioitua tuottoa varaston 17 sähkökulutukseen, voitiin laskea, kuinka suuri osa varaston sähkökulutuksesta saadaan tuotettua aurinkosähköjärjestelmällä. Varaston vuosittaisen sähkökulutuksen ollessa 142 374

kWh, voitiin laskea aurinkosähköjärjestelmän tuoton vastaavan noin 23 % varaston 17 vuosittaisesta sähkönkulutuksesta. Kaikkea tuotettua sähköä ei kuitenkaan saada käytettyä itse, joten tuotetun sähkön omakäytön osuutta tuli arvioida. Tuotetun sähkön omakäytön osuuden arvioitiin luvun 3.4 perusteella olevan 90 %. Tällöin vuosittain tuotetusta sähköstä saataisiin itse hyödynnettyä 29 064 kWh. Näin laskettiin, että aurinkosähköjärjestelmällä saadaan korvattua noin 20 prosenttia varaston 17 vuosittaisesta sähkönkulutuksesta.



Kuva 10 Aurinkosähköjärjestelmän tuotto verrattuna varaston 17 sähkönkulutukseen

4 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUSLASKENTA

4.1 Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus

Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuteen vaikuttavat useat tekijät, kuten järjestelmän ja ostoenergian hinta sekä järjestelmän oikea mitoitus kohteen kulutukseen nähden. Aurinkosähkö on Suomessa kannattavinta silloin, kun se käytetään tuotantopaikalla, jolloin sillä korvataan kalliimpaa ostoenergiaa. Kun tuotettu sähkö käytetään tuotantopaikalla, välttyään sähköverkosta ostetun sähkön siirtomaksuilta ja sähköverolta. Verkkoon syötetystä sähköstä maksetaan vain sähköenergian hinta, joka on vain murto-osa verkosta ostetun sähkön kokonaishinnasta. (ST-käsikirja 40 2017, 60)

Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta tulee arvioida koko sen elinkaaren ajalta. Aurinkopaneelien käyttöikä on yleensä noin 30 vuotta ja niiden toimintavarmuus on hyvä. Tämän takia takaisinmaksuaika ei ole yksin sopiva mittari aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden arvioimiseen. Takaisinmaksuaika ei ota huomioon investoinnin käyttöikää eikä sen jäännösarvoa. Ensisijaisesti kannattaa vertailla järjestelmällä tuotetun energian hintaa muiden mahdollisten energialähteiden kustannuksiin koko järjestelmän 30 vuoden käyttöiän ajalta. Investoinnin kannattavuutta voidaan arvioida myös nettonykyarvon avulla. Nettonykyarvo on investoinnin koko elinkaaren tulo- ja menovirtojen nykyarvojen erotus. Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden määrittämisen avuksi on saatavilla useita ilmaisia laskureita, esimerkkinä FinSolar-hankkeessa laadittu aurinkosähkön kannattavuuslaskuri. (Auvinen, K. ym., 2016, 32)

4.2 Investointikustannukset

Aurinkosähköjärjestelmän investointikustannuksia voidaan arvioida esimerkiksi tarkastelemalla toteutuneiden vastaavan kokoisten järjestelmien investointikustannuksia. Toteutuneiden järjestelmien hintoja vertaillaessa on hyvä kiinnittää huomiota aurinkopaneelien jatkuvaan hinnanlaskuun. Esimerkiksi vuosina 2008-2014 aurinkosähköjärjestelmien LCOE (levelized cost of energy)-hinnat laskivat 42-64 %. Aurinkosähkön LCOE-hinta tarkoittaa järjestelmän tuottaman energian hintaa, kun otetaan huomioon

järjestelmän alkuinvestointi, järjestelmän tuotanto koko sen käyttöiän ajalta sekä järjestelmän ylläpitokulut (Auvinen, K. ym., 2016, 34).

Aurinkosähköjärjestelmien hintaeroihin vaikuttavat useat tekijät, kuten järjestelmän koko, asennusalusta, asennustyön määrä sekä komponenttien laatu. Yleisesti ottaen isompi järjestelmä on yksikkökustannuksiltaan edullisempi kuin pieni järjestelmä. (Auvinen, K. ym., 2016, 33)

Järjestelmän kokonaishinta (ALV 0 %)	
Pienet mökkijärjestelmät alle 10 kW (akustolliset)	3000–5000 € / kW
Pienet järjestelmät alle 10 kW (pakettiratkaisut)	1300–2000 € / kW
Keskisuuret järjestelmät 10 kW – 250 kW	1000–1300 € / kW
Suuret järjestelmät 250 kW – ...	900–1300 € / kW

Kuva 11 Aurinkosähköjärjestelmien kokonaishankintahinnat tehoyksikköä kohden vuonna 2016 (ST-käsikirja 40 2018, 60)

Tässä työssä mitoitettun aurinkosähköjärjestelmän investointikustannusten tarkempaa arviointia varten pyydettiin mitoitetusta järjestelmästä tarjouksia aurinkosähköjärjestelmiä myyviltä yrityksiltä. Tarjous saatiin yhteensä kolmesta eri yrityksestä.

4.3 Energiatuki

Yritysten on mahdollista saada työ- ja elinkeinoministeriön myöntämää energiataukea uusiutuvan energian investointeihin. Aurinkosähköhankkeisiin on mahdollista saada tukea enintään 25 % investoinnin kokonaismäärästä. Energiataukea haetaan toimittamalla tukihakemus Innovaatorahoituskeskus Business Finlandin sähköisen asioinnin kautta. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2018)

4.4 Rahoitusmallit

Aurinkoenergiajärjestelmän rahoittamiselle on olemassa useita erilaisia malleja. Oman pääoman käyttö tai laina ovat yleisiä rahoitustapoja, mutta aurinkoenergiajärjestelmä on myös mahdollista hankkia erilaisilla osamaksu- tai leasing-ratkaisuilla.

Osamaksukaupassa aurinkosähköjärjestelmän hinta maksetaan järjestelmän myyjälle tai rahoittajalle ennalta sovituissa maksuerissä. Tyypillisesti maksuajan pituus on 8-15 vuotta. Osamaksukaupassa järjestelmän omistusoikeus säilyy rahoittajalla, kunnes sovittu osa aurinkosähköjärjestelmän maksueristä on maksettu. (Auvinen, K. ym., 2016, 55)

Rahoitusleasing on samankaltainen rahoitusmalli kuin osamaksukauppa, mutta toisin kuin osamaksukaupassa, rahoitusleasingissa aurinkosähköjärjestelmä pysyy rahoittajan omistuksessa koko sopimuskauden. Kun sopimuskausi päättyy, siirtyy järjestelmä käyttäjän omistukseen järjestelmän jäännösarvoa vastaan. Toisin kuin osamaksukaupassa, rahoitusleasingilla tehty järjestelmähankinta ei näy käyttäjän taseessa. (Auvinen, K. ym., 2016, 56)

Käyttöleasingrahoitus on rahoitusmalli, jossa aurinkovoimala vuokrataan pitkäaikaisesti. Tässä mallissa kustannukset koostuvat vuokrasta, joka on usein tietty osuus aurinkosähköjärjestelmän hankintahinnasta. Käyttöleasing-mallissa järjestelmän rahoittajalla on omistusoikeus järjestelmään koko sopimuskauden ajan, eikä järjestelmä yleensä siirry käyttäjän omistukseen sopimuksen päätyttyä. (Auvinen, K. ym., 2016, 56)

Pitkäaikainen aurinkoenergian ostosopimusmalli vastaa rahoitukseltaan suurelta osin käyttöleasingrahoitusta, mutta ostosopimuksen tapauksessa aurinkosähköjärjestelmän rahoittaja vastaa yleensä sen käytöstä ja kunnossapidosta. Aurinkoenergian ostosopimus takaa parhaiten asiakkaalle järjestelmän laadun ja toimivuuden, sillä järjestelmän tuotantoriski on tässä mallissa aurinkosähköjärjestelmän rahoittajalla. (Auvinen, K. ym., 2016, 56)

Taulukko 4 Aurinkosähköjärjestelmän hankinta- ja rahoitusmallien vertailu asiakkaan näkökulmasta (Auvinen, K. ym., 2016, 58)

Hankinta- ja rahoitusmalli	Sopimukset	Voimalan omistajuus	Ylläpito-vas- tuu	Rahoitus- ja palvelukulut (arvio)
Oma pää-oma	Hankintasopimus (pituus voimalan rakennusaika noin 1-3 kk)	Asiakkaalla	Asiakkaalla	
Lainarahoitus	Hankintasopimuksen lisäksi lainasopimus (pituus yleensä 10–15 vuotta)	Asiakkaalla	Asiakkaalla	Lainan korkokulut 0–2 %
Rahoitusleasing	Leasingsopimus (yleensä 8-15 vuotta, voi jatkaa)	Säilyy rahoittajan omistuksessa sopimuskauden, siirtyy asiakkaalle jäänösarvolla	Asiakkaalla, rahoittajalla tai toimittajalla sopimuksesta riippuen	Rahoituksen korkokulut kunnat 0,7–2% – muut 10%
Osamaksukauppa	Osamaksusopimus (8-15 vuotta)	Siirtyy osamaksujen myötä rahoittajalta asiakkaalle	Asiakkaalla	Rahoituksen korkokulut noin 10 %
Energian ostosopimus (PPA)	Kiinteähintainen energian ostosopimus (10–20 vuotta)	Siirtyy vaiheittain tai jäänösarvolla asiakkaalle	Rahoittajalla tai toimittajalla	Ylläpito ja rahoituskulut noin 10 %

4.5 Kannattavuuslaskenta

Tässä työssä mitoitettujen järjestelmien kannattavuuden arvioinnissa käytettiin apuna FinSolar-hankkeessa kehitettyä aurinkosähkön kannattavuuslaskuria. Laskurin ovat kehittäneet Jouni Juntunen, Mikko Jalas ja Karoliina Auvinen. Laskurilla voidaan arvioida aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta. Se laskee järjestelmälle muun muassa investoinnin nettonykyarvon, tuotetun sähkön omakustannushinnan sekä järjestelmän takaisinmaksuajan järjestelmän koko 30 vuoden käyttöajan ajalta.

Lähtötiedoiksi laskuriin syötettiin asennuskohteen sähköenergian kokonaishinta, asennuskohteen kokonaissähkönkulutus sekä järjestelmän koko kilowatteina. Laskuriin

syötettiin myös aurinkosähkön arvioitu oman käytön osuus ja verkkoon syötetyn aurinkosähkön myyntihinta. Tuotetun sähkön omakäytön osuutena käytettiin aiemmin arvioitua 90 prosenttia.

Laskuri laskee aurinkosähköjärjestelmän arvioidun hinnan sekä vuosituotannon, mutta laskennassa laskuriin syötettiin PVGIS-laskurista saatu vuosittainen tuotantoarvio sekä keskiarvoinen investointikustannusarvio saaduista tarjouksista, jolloin laskennan tarkkuutta saatiin parannettua. Laskenta tehtiin ensin olettaen investoinnin saavan täyden energiatuen, jonka jälkeen laskenta suoritettiin vertailun vuoksi ilman energiatukea. Kaikki laskennassa käytetyt hinnat ovat alv 0 %-hintoja.

Taulukko 5 Laskennassa käytetyt lähtöarvot

Tiedot aurinkosähköjärjestelmän asennuskohteesta ja vertailukustannuksista:		
Ostosähkön kokonaishinta (alv 0 %)	7,03	snt/kWh
Arvio vertailuhinnan noususta	1,0%	%/vuosi
Asennuskohteen sähkönkulutus	142374	kWh/v
Tiedot hankittavasta aurinkosähköjärjestelmästä ja sen investointikustannuksista:		
Aurinkosähköjärjestelmän koko tehona Wp	34,0	kWp
Aurinkosähköjärjestelmän investointikustannus (alv 0 %)	€43 000	euroa
<i>Välitulos: Järjestelmän vertailuhinta ilman tukia</i>	1 265 €	euroa/kWp
Mahdollinen investointituki, kotitalousvähennys tms. alkuinvestoinnista, %	25 %	
<i>Välitulos: Järjestelmän investointikustannus tukien kanssa</i>	32 250 €	euroa
Investoinnin laskentakorko	1,0%	
Aurinkosähkön oman käytön osuus, %	90 %	
Aurinkosähkön myyntihinta verkkoon snt/kWh	4,0	snt/kWh
Invertterin vaihdon kustannus, osuus alkuinvestoinnista.	10 %	
Vuotuiset ylläpitokulut (vakuutukset, huolto tms. kulut) %	0,1 %	
Aurinkosähkön vuosituotto alussa	32293	kWh
Aurinkovoimalan vuosittainen sähköntuotannon vähenemä	-0,5%	%

Taulukosta 5 voidaan nähdä laskennassa käytetyt lähtöarvot, jotka näkyvät taulukossa punaisena. Tuotto- ja talouslaskelmataulukot löytyvät kokonaisuudessaan liitteistä 1 ja 2.

FinSolar-kannattavuuslaskurista saatiin laskennan tuloksena investoinnin nettonykyarvo, aurinkosähkön LCOE-tuotantohinta 30 vuoden pitoajalla sekä investoinnin takaisinmaksuaika. Tulokset ovat luettavissa taulukoista 6 ja 7.

Taulukko 6 Kannattavuuslaskennan tulokset 25 % energiatuen kanssa

Investoinnin netto nykyarvo 30 vuoden käyttöiällä	23042	€
Investoinnin takaisinmaksuaika	17	vuotta
Aurinkosähkön omakustannushinta 30 vuoden pitoajalla	4,2	snt/kWh

Taulukko 7 Kannattavuuslaskennan tulokset ilman energiatukea

Investoinnin netto nykyarvo 30 vuoden käyttöiällä	12124	€
Investoinnin takaisinmaksuaika	23	vuotta
Aurinkosähkön omakustannushinta 30 vuoden pitoajalla	5,4	snt/kWh

5 TULOSTEN ARVIOINTI

Kannattavuuslaskennan perusteella voitiin todeta mitoitettun aurinkosähköjärjestelmän olevan taloudellisesti kannattava, kun kannattavuutta tarkastellaan järjestelmän koko käyttöiän ajalta. Myönnetty energiatuki lisää investoinnin kannattavuutta huomattavasti. Ilmankin energiatukea järjestelmä on vielä kannattava, mutta investoinnin houkuttelevuus pienenee takaisinmaksuajan venyessä 23 vuoteen ja aurinkosähkön LCOE-hinnan noustessa lähemmäksi ostosähkön hintaa.

Energiatuen kanssa järjestelmän netto nykyarvo on yli puolet järjestelmän investointikustannuksista. Aurinkosähkön omakustannushinta järjestelmän koko elinkaaren ajalta on 4,2 snt/kWh, kun taas kiinteistön ostosähkön nykyinen hinta on 7,03 snt/kWh. Ostosähkön hinnankorotuksella on suuri merkitys järjestelmän kannattavuudelle tulevaisuudessa. Sähkön hinnan muutoksia tulevaisuudessa ei kuitenkaan voida luotettavasti ennustaa. Joka tapauksessa järjestelmällä tuotettun aurinkosähkön LCOE-hinta on huomattavasti pienempi kuin tämänhetkinen kiinteistöön sähköverkosta ostettun sähkön hinta, mikä puoltaa järjestelmän hankintaa.

Investoinnin takaisinmaksuaika energiatuen kanssa on 17 vuotta, mikä on melko pitkä takaisinmaksuaika tämän kokoluokan aurinkosähköjärjestelmälle. Takaisinmaksuajan

tarkastelussa täytyy ottaa huomioon aurinkosähköjärjestelmien pitkä käyttöikä. Laskennassa käytetty investoinnin käyttöikä on 30 vuotta, mutta järjestelmä voi hyvin olla toimintakuntoinen vielä tämänkin ajan jälkeen.

Euroports Rauma Oy:n varasto 17 on kaiken kaikkiaan otollinen kohde aurinkosähköjärjestelmälle. Varaston katolla on hyvin tilaa aurinkopaneeleille, eikä sinne kohdistu merkittäviä varjostuksia. Siellä kuluu vuositasona paljon sähköä ja varaston yksinkertainen ja tasainen sähkökuorma mahdollistaa järjestelmän mitoituksen tarkasti siten, että aurinkosähkön omakäyttöaste pysyy korkeana. Tällöin tuloksena on taloudellisesti mahdollisimman kannattava järjestelmä, jolla pystytään tuottamaan merkittävä osa varaston vuosittaisesta sähkönkulutuksesta.

LÄHTEET

ABB:n www-sivut. 2018. Viitattu 16.9.2018. new.abb.com

Auvinen, K., Lovio, R., Jalas, M., Juntunen, J., Liuksiala, L., Nissilä, H., Müller, J. 2016. FinSolar: Aurinkoenergian markkinat kasvuun Suomessa. Viitattu 8.9.2018. <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/20264>

Euroports Finland Oy. 2018. Toimintamme Raumalla. Viitattu 14.9.2018. <http://www.euroports.fi/company.php?udpview=toimintamme-raumalla>

FinSolar aurinkosähkön kannattavuuslaskuri. 2017. Juntunen J., Jalas M., Auvinen K.

Rauman Meriteollisuuskiinteistöt Oy. 2018. Ilmakuva Rauman satamasta.

Google Earth. 2018. Google.

Motivan www-sivut. 2018. Viitattu 5.10.2018. www.motiva.fi

PVGIS (Version 5). 2018. Euroopan komissio.

Rauman Sataman www-sivut. 2018 Viitattu 22.9.2018. <http://www.portofrauma.com/>

REO asiakaspalvelu VS: Viesti asiakaspalveluun henkilöltä Aleks Granfors. Vastaanottaja: Aleks Granfors. Lähetetty 25.6.2018 klo 13.12. Viitattu 7.10.2018

Sallinen, T. 2017. Aurinkosähköinvertterin teknistaloudellinen optimointi Etelä-Savon aurinkosäteilyolosuhteissa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 16.9.2018. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/134444/Diplomity%C3%B6_Timo%20Sallinen.pdf?sequence=2

ST-käsikirja 40. Aurinkosähkölaitteiden suunnittelu ja toteutus. 2017. Espoo: Sähkötieto ry. <http://www.sahkoinfo.fi/severi?>

Suvanto, A. 2018. Construction manager, Euroports Rauma Oy. Pori. Henkilökohtainen tiedonanto 8.6.2018.

Suvanto, A. RE: Hallin 17 katto. Vastaanottaja: Aleks Granfors. Lähetetty: 28.6.2018 klo 11.58. Viitattu 22.9.2018.

Suvanto, A. RE: Opinnäyetyöstä. Vastaanottaja: Aleks Granfors. Lähetetty: 19.9.2018 klo 8.48. Viitattu 22.9.2018.

Tahkokorpi, M., Erat. B., Hänninen, P., Nyman, C., Rasinkoski, A., Wiljander, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: into.

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2018. Energiatuki. Viitattu 15.9.2018. <https://tem.fi/energiatuki>

TUOTTO- JA TALOUSLASKELMAT ENERGIATUEN KANSSA

Järjestelmän elinka vuosina	Oman sähkötuotannon arvo ja myyntituotot €	Investointi- ja ylläpito- kustannukset €	Kassavirta €/v	Investoinnin sisäisiä korokantoja % (IRR)	Investoinnin kumulatiivinen tuotto €/v (0% korko)	Investoinnin nettonykyvarvoja (NPV) valitulla laskentakorolla	Takaisinmaksuaika investoinnin laskentakorolla	Ostosähkön hinta [eur/MWh]	Myyntiin menevän ylijäämäsähkön hinta	Aurinkosähkön tuotanto kWh/v	Aurinkosähkön tuotantohinta [COE [eur/kWh]]
0	0,0 €	-32 250,0 €	-€32 250		-32 250 €			0,07 €		0	
1	2 172,4 €	-32,3 €	€2 140	-93,4%	-30 110 €	-29 833 €	1	0,07 €	0,04 €	32 293	0,50 €
2	2 183,1 €	-32,3 €	€2 151	-70,6%	-27 959 €	-27 745 €	1	0,07 €	0,04 €	32 132	0,50 €
3	2 193,9 €	-32,3 €	€2 162	-51,3%	-25 797 €	-25 668 €	1	0,07 €	0,04 €	31 971	0,34 €
4	2 204,8 €	-32,3 €	€2 173	-37,6%	-23 625 €	-23 601 €	1	0,07 €	0,04 €	31 811	0,25 €
5	2 215,7 €	-32,3 €	€2 183	-28,0%	-21 441 €	-21 544 €	1	0,07 €	0,04 €	31 652	0,20 €
6	2 226,7 €	-32,3 €	€2 194	-21,0%	-19 247 €	-19 497 €	1	0,07 €	0,04 €	31 494	0,17 €
7	2 237,7 €	-32,3 €	€2 205	-15,8%	-17 042 €	-17 460 €	1	0,07 €	0,04 €	31 336	0,15 €
8	2 248,7 €	-32,3 €	€2 216	-11,9%	-14 825 €	-15 434 €	1	0,08 €	0,04 €	31 180	0,13 €
9	2 259,9 €	-32,3 €	€2 228	-8,9%	-12 597 €	-13 417 €	1	0,08 €	0,04 €	31 024	0,11 €
10	2 271,1 €	-32,3 €	€2 239	-6,4%	-10 359 €	-11 410 €	1	0,08 €	0,04 €	30 869	0,10 €
11	2 282,3 €	-32,3 €	€2 250	-4,5%	-8 109 €	-9 414 €	1	0,08 €	0,04 €	30 714	0,09 €
12	2 293,6 €	-32,3 €	€2 261	-2,9%	-5 847 €	-7 427 €	1	0,08 €	0,04 €	30 561	0,09 €
13	2 305,0 €	-32,3 €	€2 273	-1,6%	-3 575 €	-5 450 €	1	0,08 €	0,05 €	30 408	0,08 €
14	2 316,4 €	-32,3 €	€2 284	-0,5%	-1 290 €	-3 482 €	1	0,08 €	0,05 €	30 256	0,07 €
15	2 327,8 €	-4 332,3 €	-€2 004	-1,5%	-3 295 €	-5 191 €	1	0,08 €	0,05 €	30 105	0,08 €
16	2 339,4 €	-32,3 €	€2 307	-0,4%	-988 €	-3 243 €	1	0,08 €	0,05 €	29 954	0,07 €
17	2 350,9 €	-32,3 €	€2 319	0,5%	1 331 €	-1 305 €	1	0,08 €	0,05 €	29 804	0,07 €
18	2 362,6 €	-32,3 €	€2 330	1,2%	3 661 €	624 €	0	0,08 €	0,05 €	29 655	0,07 €
19	2 374,3 €	-32,3 €	€2 342	1,8%	6 003 €	2 543 €	0	0,08 €	0,05 €	29 507	0,06 €
20	2 386,0 €	-32,3 €	€2 354	2,4%	8 357 €	4 453 €	0	0,08 €	0,05 €	29 359	0,06 €
21	2 397,8 €	-32,3 €	€2 366	2,8%	10 723 €	6 354 €	0	0,09 €	0,05 €	29 213	0,06 €
22	2 409,7 €	-32,3 €	€2 377	3,2%	13 100 €	8 245 €	0	0,09 €	0,05 €	29 067	0,06 €
23	2 421,6 €	-32,3 €	€2 389	3,6%	15 489 €	10 127 €	0	0,09 €	0,05 €	28 921	0,05 €
24	2 433,6 €	-32,3 €	€2 401	3,9%	17 891 €	11 999 €	0	0,09 €	0,05 €	28 777	0,05 €
25	2 445,7 €	-32,3 €	€2 413	4,2%	20 304 €	13 862 €	0	0,09 €	0,05 €	28 633	0,05 €
26	2 457,8 €	-32,3 €	€2 426	4,4%	22 730 €	15 717 €	0	0,09 €	0,05 €	28 490	0,05 €
27	2 469,9 €	-32,3 €	€2 438	4,6%	25 167 €	17 561 €	0	0,09 €	0,05 €	28 347	0,05 €
28	2 482,2 €	-32,3 €	€2 450	4,8%	27 617 €	19 397 €	0	0,09 €	0,05 €	28 205	0,04 €
29	2 494,4 €	-32,3 €	€2 462	5,0%	30 080 €	21 224 €	0	0,09 €	0,05 €	28 064	0,04 €
30	2 506,8 €	-32,3 €	€2 475	5,1%	32 554 €	23 042 €	0	0,09 €	0,05 €	27 924	0,04 €
YHTEENSÄ	59 463,7 €	-37 517,5 €					17			901 723	

TUOTTO- JA TALOUSLASKELMAT ILMAN ENERGIATUKEA

Järjestelmän elinka vuosina	Oman sähkötuotannon arvo ja myyntituotot €	Investointi- ja ylläpito- kustannukset €	Kassavirta €/v	Investoinnin sisäisiä korokannoja % (IRR)	Investoinnin kumulatiivinen tuotto €/v (0% korko)	Investoinnin nettonykyvarvoja (NPV) valittuilla laskentakorolla	Takaisinmaksuaika ka investoinnin laskentakorolla	Ostosähkön hinta [eur/kWh]	Myyntiin menevän ylijäämäsähkön hinta	Aurinkosähkön tuotanto kWh/v	Aurinkosähkön tuotantohinta LCOE [eur/kWh]
0	0,0 €	-43 000,0 €	-43 000 €		-43 000 €			0,07 €		0	
1	2 172,4 €	-43,0 €	€2 129	-95,0%	-40 871 €	-40 487 €	1	0,07 €	0,04 €	32293	0,67 €
2	2 183,1 €	-43,0 €	€2 140	-75,1%	-38 731 €	-38 410 €	1	0,07 €	0,04 €	32132	0,67 €
3	2 193,9 €	-43,0 €	€2 151	-56,8%	-36 580 €	-36 343 €	1	0,07 €	0,04 €	31971	0,45 €
4	2 204,8 €	-43,0 €	€2 162	-43,2%	-34 418 €	-34 286 €	1	0,07 €	0,04 €	31811	0,34 €
5	2 215,7 €	-43,0 €	€2 173	-33,5%	-32 245 €	-32 239 €	1	0,07 €	0,04 €	31652	0,27 €
6	2 226,7 €	-43,0 €	€2 184	-26,2%	-30 062 €	-30 202 €	1	0,07 €	0,04 €	31494	0,23 €
7	2 237,7 €	-43,0 €	€2 195	-20,8%	-27 867 €	-28 176 €	1	0,07 €	0,04 €	31336	0,19 €
8	2 248,7 €	-43,0 €	€2 206	-16,6%	-25 661 €	-26 159 €	1	0,08 €	0,04 €	31180	0,17 €
9	2 259,9 €	-43,0 €	€2 217	-13,3%	-23 444 €	-24 152 €	1	0,08 €	0,04 €	31024	0,15 €
10	2 271,1 €	-43,0 €	€2 228	-10,7%	-21 216 €	-22 155 €	1	0,08 €	0,04 €	30869	0,14 €
11	2 282,3 €	-43,0 €	€2 239	-8,6%	-18 977 €	-20 168 €	1	0,08 €	0,04 €	30714	0,13 €
12	2 293,6 €	-43,0 €	€2 251	-6,8%	-16 726 €	-18 190 €	1	0,08 €	0,04 €	30561	0,12 €
13	2 305,0 €	-43,0 €	€2 262	-5,4%	-14 464 €	-16 222 €	1	0,08 €	0,05 €	30408	0,11 €
14	2 316,4 €	-43,0 €	€2 273	-4,1%	-12 191 €	-14 264 €	1	0,08 €	0,05 €	30256	0,10 €
15	2 327,8 €	-43,0 €	€2 284	-3,3%	-9 918 €	-12 316 €	1	0,08 €	0,05 €	30105	0,10 €
16	2 339,4 €	-43,0 €	€2 296	-3,9%	-7 645 €	-10 377 €	1	0,08 €	0,05 €	29954	0,10 €
17	2 350,9 €	-43,0 €	€2 308	-2,9%	-5 372 €	-8 438 €	1	0,08 €	0,05 €	29804	0,09 €
18	2 362,6 €	-43,0 €	€2 320	-2,0%	-3 100 €	-6 499 €	1	0,08 €	0,05 €	29654	0,09 €
19	2 374,3 €	-43,0 €	€2 331	-1,2%	-8 951 €	-8 284 €	1	0,08 €	0,05 €	29507	0,08 €
20	2 386,0 €	-43,0 €	€2 343	-0,6%	-2 608 €	-6 382 €	1	0,08 €	0,05 €	29359	0,08 €
21	2 397,8 €	-43,0 €	€2 355	-0,1%	-253 €	-4 491 €	1	0,09 €	0,05 €	29213	0,07 €
22	2 409,7 €	-43,0 €	€2 367	0,4%	2 114 €	-2 608 €	1	0,09 €	0,05 €	29067	0,07 €
23	2 421,6 €	-43,0 €	€2 379	0,8%	4 492 €	-735 €	1	0,09 €	0,05 €	28921	0,07 €
24	2 433,6 €	-43,0 €	€2 391	1,2%	6 883 €	1 130 €	0	0,09 €	0,05 €	28777	0,07 €
25	2 445,7 €	-43,0 €	€2 403	1,6%	9 286 €	2 984 €	0	0,09 €	0,05 €	28633	0,06 €
26	2 457,8 €	-43,0 €	€2 415	1,8%	11 700 €	4 830 €	0	0,09 €	0,05 €	28490	0,06 €
27	2 469,9 €	-43,0 €	€2 427	2,1%	14 127 €	6 667 €	0	0,09 €	0,05 €	28347	0,06 €
28	2 482,2 €	-43,0 €	€2 439	2,4%	16 566 €	8 495 €	0	0,09 €	0,05 €	28205	0,06 €
29	2 494,4 €	-43,0 €	€2 451	2,6%	19 018 €	10 314 €	0	0,09 €	0,05 €	28064	0,06 €
30	2 506,8 €	-43,0 €	€2 464	2,8%	21 482 €	12 124 €	0	0,09 €	0,05 €	27924	0,05 €
YHTEENSÄ	59 463,7 €	-48 590,0 €					23			901723	