



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

KONSTA SANDBERG

Omakotitalokohteen energiakulutus ja lämmityksen tarkastelu

ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN
KOULUTUSOHJELMA
2021

Tekijä Sandberg, Konsta	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Helmikuu 2021
	Sivumäärä 37 + 6	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Omakotitalokohteen energiankulutus ja lämmityksen tarkastelu		
Tutkinto-ohjelma Energia- ja ympäristötekniikka		
<p>Tässä opinnäytetyössä lähdettiin tarkastelemaan Porissa sijaitsevan omakotitalokohteen energiankulutusta kohteen omistajan toiveesta. Tavoitteena oli saada selväksi kohteen todellinen kulutus ja kulutuksen jakautuminen. Tavoitteiksi asetettiin myös mahdollisen liian suuren kulutuksen syiden selvittäminen. Opinnäytetyöhön kuului lisäksi kohteeseen hiljattain asennetun ilmalämpöpumpun odotetun tuoton ja takaisinmaksuajan laskeminen, sekä optimaalisen aurinkosähköjärjestelmän mitoitus. Mitoitetulle aurinkosähköjärjestelmälle tehtiin myös odotettujen tuottojen ja takaisinmaksuajan laskenta. Viimeiseksi selvitettiin vielä olisiko kohdekiinteistön liittäminen kaukolämpöverkkoon kannattavaa.</p> <p>Kulutuksen selvittäminen perustui selvillä oleviin sähkön kokonaiskulutuksiin, sekä lähdekirjallisuudesta haettuihin vertailuarvoihin. Saatiin selville, että kohteen lämmityksen kulutus oli vuositasolla noin 2MW lähdekirjallisuuden vertailuarvoa suurempaa, ja syyksi tälle oletettiin olevan nykyisen lämmitysjärjestelmän energiatehoton kytkentä ja järjestelmän ikä. Ratkaisuksi ehdotettiin kohteen lämmitysvaraajan vaihtamista, ja vesikiertoisen lämmityksen katkaisemista ulkorakennukseen.</p> <p>Asennetulle ilmalämpöpumpulle laskettiin tuotot lähdekirjallisuuden avulla, ja saatiin selville ilmalämpöpumpun maksavan itsensä takaisin 3-4 vuodessa.</p> <p>Aurinkosähköjärjestelmä mitoitettiin vertaamalla eri paneelimäärien järjestelmien takaisinmaksuaikoja 30 vuoden pitoajalla. Järjestelmien tuotot ja omakäytön osuus perustuivat simulaatioihin ja opinnäytetyössä laskettuihin kulutuksiin. Eri aurinkosähköjärjestelmille tehtiin lisäksi herkkyystarkasteluja, joissa parhaaksi vaihtoehdoksi nousi toistuvasti 4,95 kW:n järjestelmä, jolle laskettiin takaisinmaksuajaksi 17 vuotta.</p> <p>Kaukolämpöön liittymiselle laskettiin takaisinmaksuajaksi noin 20 vuotta, joka perustui opinnäytetyössä laskettuun kohteen lämmitysenergian kulutukseen.</p>		
<u>Asiasanat</u> aurinkoenergia, energiankulutus (energiateknologia), lämpöpumput		

Author Sandberg, Konsta	Type of Publication Bachelor's thesis	Date February 2021
	Number of pages 37 + 6	Language of publication: Finnish
Title of publication Energy consumption and examination of heating system in detached house		
Degree program Energy- and environmental engineering		
<p>The goal of this thesis was to examine the energy consumption, and how the energy consumption was divided in a detached house by request of the property owner. If it would have been found that the consumption was more than normal, a reason was to be found. Additionally, the energy output and payback period of a recently installed air-to-air heat pump was also to be looked at, and optimized photovoltaic system was to be designed to the house. Energy output and payback period for said photovoltaic system would also be calculated. Lastly, would joining the house to district heating be profitable.</p> <p>Energy consumption was determined by looking at known electricity consumptions and reliable literature sources. It was found that the energy consumption in the target was roughly 2MW too high compared to similar properties, and the reason for this was determined to be the non-energy efficient heating installation, and the age of the system in general. Suggested solution for this was to change the boiler, and to cut the heating to the outbuilding.</p> <p>The expected energy output for the installed air-to-air heat pump was calculated by looking at literature sources, and the payback period was determined to be from 3 to 4 years.</p> <p>The sizing of optimal photovoltaic system was done by comparing the payback periods of different system sizes for 30-year system lifetime. Energy outputs and the portion of produces energy used at target were based on simulations and consumptions calculated in this thesis. Sensitivity analysis was done for each system, and the largest 4,95 kW system came up on top on each analysis with 17-year payback period.</p> <p>Payback period for joining the target property to district heating was determined to be roughly 20 years, which was based on the calculated energy consumptions in this thesis.</p>		
<u>Key words</u> energy consumption (energy technology), heat pumps, solar energy		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 KOHTEEN ESITTELY	6
3 KULUTUSARVIOINTI	7
3.1 Sähkönkulutus	7
3.2 Pilkkeen poltto	8
3.3 Veden kulutus	8
3.4 Kulutuksen jakautuminen.....	9
3.5 Kulutuksen vertailu	13
4 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ	15
4.1 Järjestelmän kuvaus	15
4.2 Pilkekattila	16
4.3 Varaaja	17
4.4 Saunan käyttövesi.....	18
4.5 Järjestelmän korjaus	18
5 ILMALÄMPÖPUMPPU	20
5.1 Ilmalämpöpumpun tiedot	20
5.2 Ilmalämpöpumpun arvioitu tuotto	21
5.3 Kohteen kulutus ilmalämpöpumpulla	23
5.4 Ilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika.....	24
6 AURINKOSÄHKÖ	25
6.1 PV-järjestelmän mitoitus.....	25
6.1.1 Mitoitus kulutuksen mukaan	25
6.1.2 Mitoitus katon mukaan.....	26
6.2 PV-järjestelmien tuotot	27
6.3 Aurinkopaneelien ja invertterien hinta.....	28
6.4 PV-järjestelmien asennettu hinta.....	29
6.5 Järjestelmien kannattavuus.....	30
6.6 Herkkyystarkastelu.....	32
6.7 PV-järjestelmän mallinnus	33
7 KAUKOLÄMPÖ	34
7.1 Kaukolämpöön liittyminen	35
7.2 Kaukolämmön kannattavuus.....	35
8 LOPPUTULOKSET	37
LÄHTEET	
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää omakotitalokohteen energiankulutus, ja kulutuksen jakautuminen, jotta voidaan tarkastella ja vertailla todellisia kulutuksia kirjallisuuslähteistä löydettyihin vertailukelpoisiin normaalikulutuksiin. Mikäli todellisen kulutuksen todetaan olevan normaalia suurempaa, pyritään selvittämään koonneelle kulutukselle syitä, ja ratkaisuja, joilla asia saataisiin korjattua.

Kun kulutustiedot on selvitetty, tehdään kohdekiinteistöön opinnäytetyön aikana asennetulle ilmalämpöpumpulle takaisinmaksuaikalaskelmat, joiden tekemistä varten pitää arvioida kyseisen ilmalämpöpumpun odotetut vaikutukset kiinteistön energiankulutukseen.

Ilmalämpöpumpun laskennan jälkeen pystytään arvioimaan minkälaista kiinteistön kulutuksen pitäisi olla lähitulevaisuudessa. Kun tämä tilanne on tiedossa, voidaan kohdekiinteistöön mitoittaa kiinteistön omistajan kanssa yhdessä päätetyt energiajärjestelmät. Kiinteistöön mitoitetaan optimaalinen aurinkosähköjärjestelmä, sekä tarkastellaan kaukolämpöön liittymistä. Molemmille lasketaan takaisinmaksuajat.

2 KOHTEEN ESITTELY

Opinnäytetyön kohdekiinteistö on Porin Pihlavassa sijaitseva 100m² omakotitalo. Kohdekiinteistössä asuu tällä hetkellä kaksi aikuista, sekä pieni lapsi. Talo on kaksikerroksinen puutalo, jonka kellarikerroksessa on sähkövastuksilla varustettu vesivaraaja. Asuinrakennuksen lämmityksen jako on toteutettu vesipattereilla. Talo on rakennettu 1950-luvulla, jonka jälkeen sitä on silloin tällöin remontoitu. Talon katto on muutaman asteen tarkkuudella etelään päin oleva peltikatto.

Varsinaisen asuinkiinteistön lisäksi kohteeseen kuuluu myös suurehko ulkorakennus, jossa ei ole lämmitystä. Ulkorakennuksessa on puusauna, sekä vanha pilkekattila, jota ollaan käytetty asuinrakennuksen lämmitykseen. Saunaan tulee pilkekattilassa lämmitettävä käyttövesi. Varsinaisen asuinrakennuksen kaikki kuuma käyttövesi tuotetaan vesivaraajan sähkövastuksilla.

Kuten kuvasta 1 voidaan havaita, kohdekiinteistön tontin länsi ja eteläpuolella kasvaa runsaasti puita, joiden mahdolliset vaikutukset huomioidaan aurinkosähköjärjestelmää mitoittaessa. Kuvassa punakattoinen rakennus on varsinainen asuinrakennus.

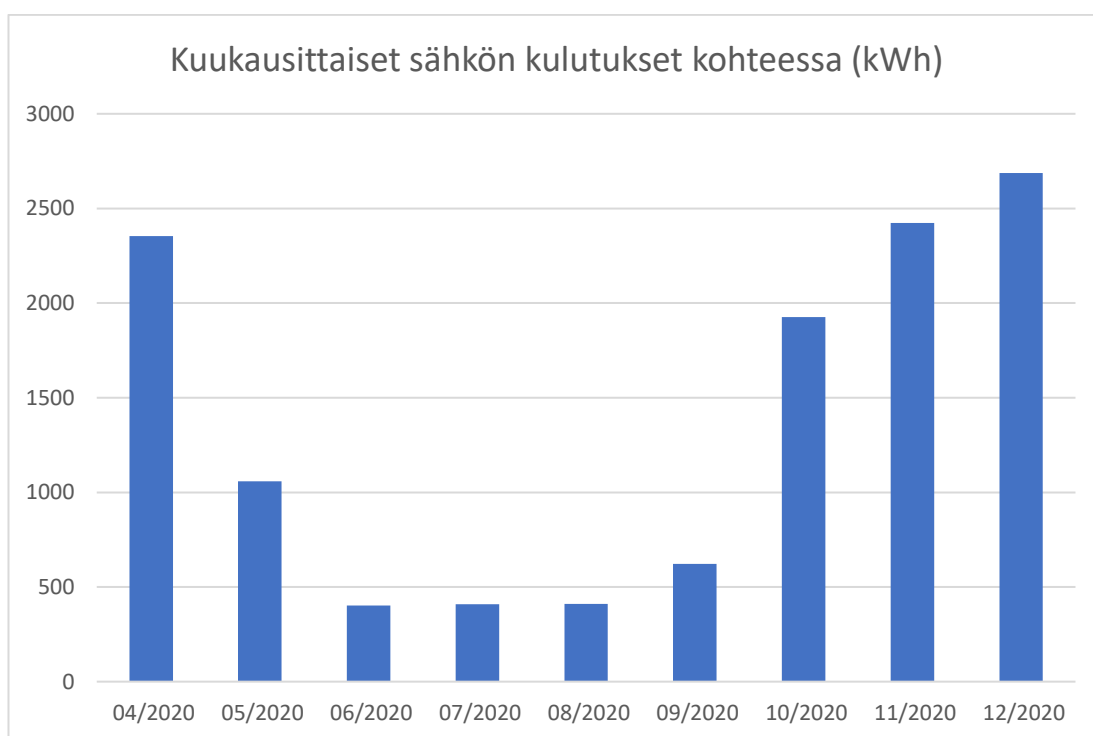


Kuva 1. Satelliittikuva kohdekiinteistöstä

3 KULUTUSARVIOINTI

Nykyiset asukkaat muuttivat kohdekiinteistöön huhtikuun 2020 alussa, jota edeltävältä ajalta ei ole tiedossa sähkön tarkkaa kulutusta. Huhtikuusta 2020 eteenpäin on saatavilla tuntikohtaiset kulutustiedot nykyhetkeen asti sähkönmyyjän kulutusseurantapalvelun kautta.

3.1 Sähkönkulutus



Kuvaaja 1. Kohdekiinteistön kuukausittaiset sähkön kokonaiskulutukset vuodelta 2020 (Oomi.fi)

Kuvaajassa 1 ollaan esitetty kohteen kuukausittaiset sähkön kokonaiskulutukset. Lämmitys ollaan kytketty pois päältä toukokuun puolivälin paikkeilla, jonka jälkeen kesäkuukausien kulutukset ovat hieman yli 400 kWh luokkaa. Syyskuussa sähkönkulutus oli 621,77 kWh, mutta koska kiinteistön lämmitys ei ollut vielä päällä, voidaan olettaa kohonneen kulutuksen johtuneen lisääntyneestä kotona oleskelusta ja sähkölaitteiden käytöstä. Lokakuussa lämmitys kytkettiin takaisin päälle, ja sen voikin nähdä kulutuksen selvästä noususta. Loppuvuoden kulutus kasvaa vielä entisestään ulkolämpötilojen laskiessa.

3.2 Pilkkeen poltto

Lämmitysjärjestelmään kytketyn pilkekattilan kuluttaman puun määrää ei pystytä laskemaan, sillä poltetun pilkkeen määrää aikaisemmilta vuosilta ei ole tiedossa, eikä kiinteistön nykyinen omistaja ole omien sanojensa mukaan polttanut kuin aivan muuttaman sylillisen kuluneen syksyn aikana. Pilkekattilaa ei olla käytetty, koska lämmitysjärjestelmä on alkanut takkuilla välittömästi pilkkeiden polton jälkeen. Lisäksi pilkekattilan vesisäiliö on alkanut kiehua helposti. Pilkekattila on todella vanha, eikä sen sähkövastus ole toiminut nykyisten asukkaiden aikana. Kulutuslaskelmien kannalta oletetaan pilkekattilan olleen poissa käytöstä koko tarkastelujakson aikana.

3.3 Veden kulutus

Nykyisten asukkaiden aikana kohteen veden kulutusta ei olla vielä vesilaitoksen puolesta tarkastettu, joten laskennassa täytyy näin ollen käyttää lähdekirjallisuudesta saatavia lukuarvoja, joita täydennetään kohteen asukkaiden käyttötottumuksiin perustuen. Oleellista energiatehokkuuden kannalta on käyttäjien kuluttaman lämpimän veden osuus, jota kohdekiinteistössä tuotetaan sähkövastuksilla.

Motivan teettämän kyselytutkimuksen, mukaan tyypillinen suomalainen kuluttaa vettä vuorokaudessa noin. 110 litraa/asukas. Kyselyssä mukana oli 1750 kotitaloutta. Keskimäärin 35 % tästä käytetystä vedestä on lämmitettyä ja loput kylmää. Kohdekiinteistössä asuu tällä hetkellä kaksi aikuista ja yksi pieni lapsi. Asukkaiden omien arvioiden mukaan heidän vedenkulutuksensa on pienempää kuin Motivan tutkimuksen tyypillinen arvo, ja yhdessä arvioimmekin, että kohdekiinteistössä kuluu vettä suurin piirtein 250 litraa päivässä.

Kotitalouksissa veden lämmittämiseen kuluvan energian määrän voi laskea, kun tiedetään kuinka kylmää vettä lämmitetään ja mihin lämpötilaan. Kohdekiinteistössä vettä lämmitetään tyypilliseen 55°C:seen, kiinteistöön vesilaitokselta tuleva kylmä

vesi on noin 5°C:sta. Näin ollen veden lämmittämiseen kuluva energia saadaan kaavalla:

$$Q = \frac{\rho * c_p * V * (t_2 - t_1)}{3600}$$

$$= \frac{1000 \frac{kg}{m^3} * 4,2 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} * (0,25 * 0,35)m^3 * (55^\circ C - 5^\circ C)}{3600} = 5,104 kWh$$

Viikossa veden kulutukseen kuluu näin ollen noin 35,7 kWh. Lämpimän veden tuottamiseen kuluva energia on yhtäläinen ympäri vuoden, ja koska pilkekattilaa ei kohteessa olla käytetty, kaikki lämmin vesi tuotetaan sähköllä.

(Motivan www-sivut 2021)

3.4 Kulutuksen jakautuminen

Kohteen kokonaissähkön kulutuksesta pitää saada eriteltyä sähkölaitteiden kulutus, käyttöveden kulutus ja lämmityksen kulutus. Kohteessa kulutettua lämpöenergiaa ei erikseen mitata, mutta selvitystä helpottaa se, että tiedetään viikot jolloin lämmitys ollaan kytketty pois päältä, ja jälleen takaisin päälle.



Kuvaaja 2. Kohdekiinteistön viikoittaiset sähkön kokonaiskulutukset vuodelta 2020 (Oomi.fi)

Kuvaajassa 2 ollaan esitetty vuoden 2020 viikoittaiset sähkön kokonaiskulutukset kohteessa. Kuvaajan ja kiinteistön omistajan omien sanojen mukaan lämmitys kytkettiin pois päältä viikolla 21, joten ensimmäinen lämmityksetön viikko on näin ollen viikko 22. Lämmitys kytkettiin takaisin päälle viikolla 42.

Viikoilla 22–41 kohteen sähkönkulutus koostui siis pelkästään käyttöveden lämmittämisestä ja sähkölaitteiden käytöstä. Koska käyttöveden osuus on arvioitu, voidaan se vähentää näiltä viikoilta, jolloin saadaan laskettua tyypillisen viikon sähkölaitteiden kulutus kohteessa.

Taulukko 1. Kohdekiinteistön viikoittaiset kulutusjakaumat lämmityksettömiltä viikoilta vuodelta 2020 (Oomi.fi)

Viikko	Kokonaiskulutus [kWh]	Käyttöveden osuus [kWh]	Sähkölaitteiden osuus [kWh]
22/2020	120,1	35,7	84,4
23/2020	101,7	35,7	66,0
24/2020	99,6	35,7	63,9
25/2020	79,1	35,7	43,4
26/2020	102,6	35,7	66,8
27/2020	81,7	35,7	46,0
28/2020	102,3	35,7	66,6
29/2020	69,9	35,7	34,2
30/2020	109,6	35,7	73,9
31/2020	92,5	35,7	56,8
32/2020	101,5	35,7	65,8
33/2020	99,2	35,7	63,4
34/2020	72,0	35,7	36,3
35/2020	94,2	35,7	58,4
36/2020	123,4	35,7	87,6
37/2020	150,9	35,7	115,1
38/2020	153,7	35,7	118,0
39/2020	146,3	35,7	110,6
40/2020	158,8	35,7	123,0
41/2020	179,7	35,7	144,0

Taulukossa 1 on esitetty kohdekiinteistön kulutusjakauman laskelmat lämmityksettömiltä viikoilta. Taulukosta näkee, että ilman lämmitystäkin viikoittaisissa kulutuksissa on mukana melko paljon vaihtelua. Vaihteluiden oletetaan johtuvan erilaisista käyttötottumuksista kesällä ja syksyllä. Esimerkiksi kesäkuukausina vietetään enemmän aikaa poissa kotoa, ja ulkona ylipäättään. Lisäksi kesällä ei tarvita yhtä paljon valaistusta kuin syksyllä. Jos mukaan otetaan kaikki taulukon 1 viikot, sähkölaitteiden viikoittaisen kulutuksen keskiarvoksi saadaan 76,2 kWh. Jos kesän viikot 23 – 35 jätetään pois, viikkokulutuksen keskiarvo nousee 111,8 kWh:iin. Koska lämmitettävien kuukausien kulutustottumukset vastaavat todennäköisemmin kesän ulkopuolisia tottumuksia, valitaan käytettäväksi arvoksi 111,8 kWh/vko.

Koska tammi-, helmi- ja maaliskuun todellisia kulutuksia ei tiedetä, pitää niiden kulutukset arvioida tunnettujen lämmitettävien kuukausien perusteella. Ilmatieteenlaitoksen www-sivuilta voidaan ladata ilman lämpötilat, joiden avulla voidaan arvioida kohdekiinteistön nykyisten asukkaiden käyttötottumusten mukaiset kulutukset vuoden kolmelle ensimmäiselle kuukaudelle. Alkuvuoden 2020 lämpötilat olivat onneksi melko lähellä marras-, ja joulukuun lämpötiloja, jolloin voidaan olettaa tulosten olevan melko samanlaisia, miten laskennassa kävikin.

Taulukko 2. Kohdekiinteistön vuoden 2020 kuukausittaiset kulutukset, lämmitys eritelty (Oomi.fi)

Kuukausi	Energia yhteensä (kWh)	Lämmitykseen kWh
tammi	2594	1941
helmi	2626	2015
maalis	2541	1888
huhti	2355	1722
touko	1058	615
kesä	402	0
heinä	409	0
elo	411	0
syys	622	0
loka	1926	1588
marras	2423	1791
joulu	2687	2034

Taulukkoon 2 on laskettu kullekin vuoden 2020 kuukaudelle kokonaiskulutukset, ja lämmityksen osuus. Lämmityksen osuus ollaan saatu vähentämällä arvioidusta tai tunnetusta kokonaiskulutuksesta arvioitu lämpimän veden ja arvioitu sähkölaitteiden osuus.

Taulukko 3. Kohdekiinteistön kokonaiskulutuksen jakautuminen vuonna 2020

Kokonaiskulutus kWh	20053
Lämmityksen osuus kWh	13594
Kuuma vesi kWh	1863
Muu sähkönkulutus kWh	4596

Taulukossa 3 on vielä lopulliset arvioidut kohdekiinteistön vuoden 2020 kulutukset. Koska vuotuiset sääolot vaihtelevat jonkin verran, tulee lämmityksen osuus kokonaiskulutuksesta vielä normittaa, jotta saadaan tyypillistä vuotta vastaava kulutusarvio.

Lämpöenergian normitus tehdään kaavalla

$$Q_{norm} = \frac{S_{N \text{ vpkunta}}}{S_{toteutunut \text{ vpkunta}}} * Q_{toteutunut}$$

, jossa $S_{N \text{ vpkunta}}$ ja $S_{toteutunut \text{ vpkunta}}$ ovat Ilmatieteenlaitoksen [www-sivuilla](http://www.sivuilla) saatavia lämmitystarvelukuja, ensimmäinen vertailukaudelta 1981-2010, ja toinen verrattavan vuoden 2020 luku. Näin ollen kaava saa arvot:

$$Q_{norm} = \frac{4161}{3199} * 13\,594 \text{ kWh} = 17\,682 \text{ kWh}$$

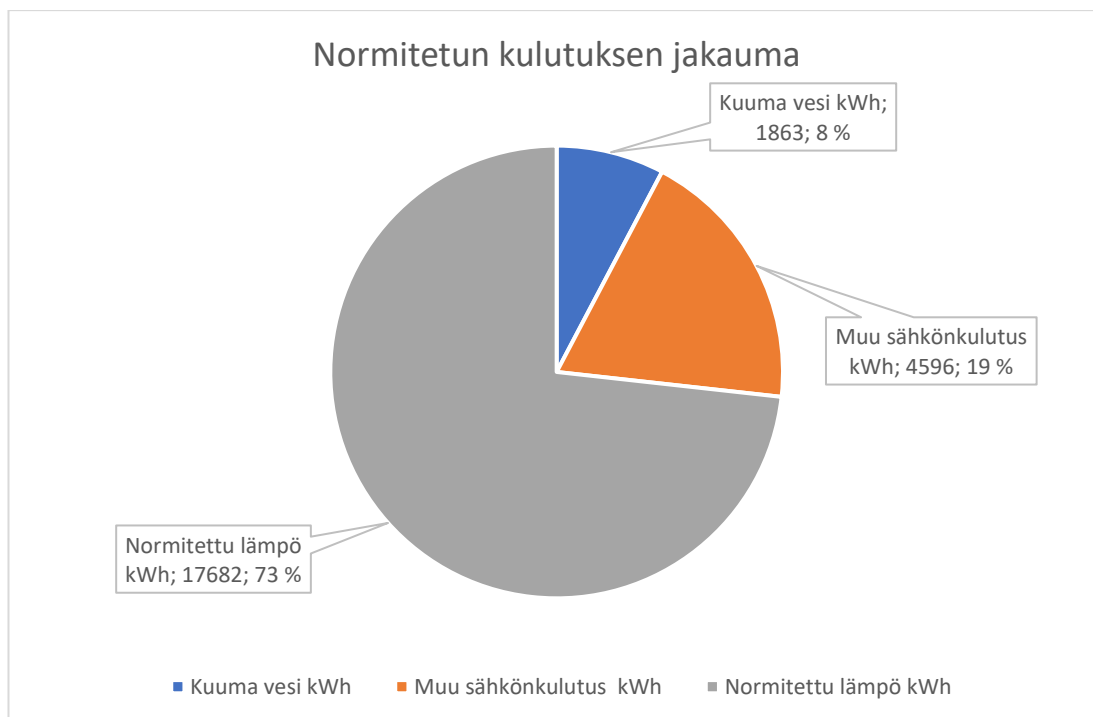
Kuten tuloksesta huomataan, vuosi 2020 oli huomattavan leuto, ja normaalina vuonna lämmitykseen olisi kulunut noin 4 MWh enemmän sähköä Porissa.

(Motivan ja Ilmatieteenlaitoksen [www-sivut](http://www.sivut) 2021)

3.5 Kulutuksen vertailu

Kaaviossa 1 ollaan vielä esitetty lopullinen normitettu kulutusjakauma kohdekiinteistössä. Lämmityksen osuudeksi tuli 73 % kokonaisenergiankulutuksesta, mikä vastaa jokseenkin Tilastokeskuksen vuoden 2019 asumisen energiakulutuksen tutkimusta, jossa vastaava luku oli 67 %. Käyttöveden osuus Suomessa oli 15 % luokkaa, kun kohteessa päästiin 8 %:iin. Sähkölaitteiden osuus kohteessa oli 19 %, kun Tilastokeskuksen mukaan vastaava luku olisi 13 %. Lievät vaihtelut osuuksissa voidaan selittää sillä, että osuudet vaihtelevat aika paljon käyttäjien tottumusten mukaan.

(Tilastokeskuksen [www-sivut](http://www.sivut) 2020)



Kaavio 1. Kohdekiinteistön normitettu vuotuinen kulutusjakauman arvio

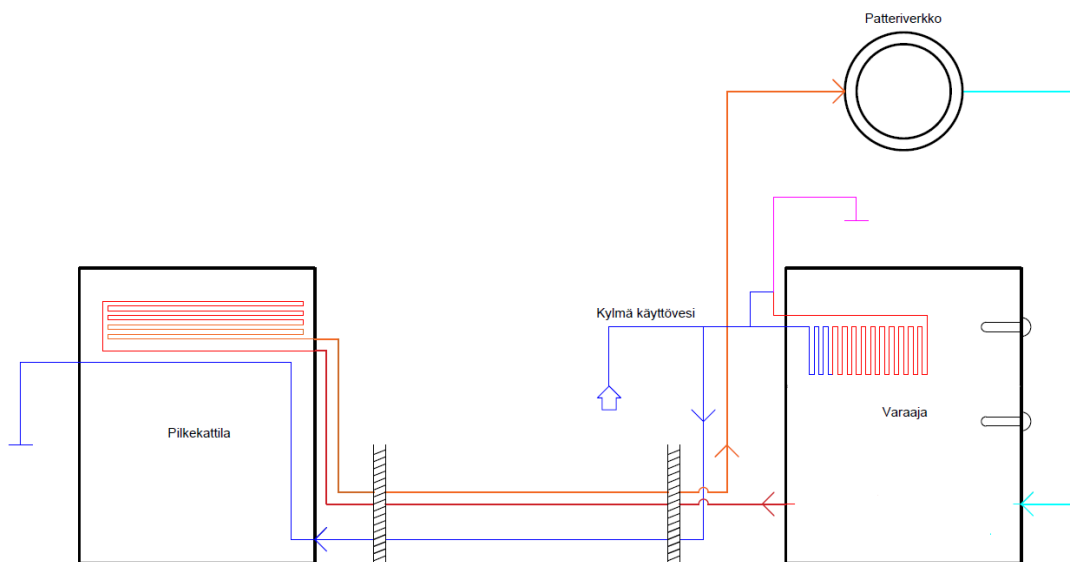
Yhteensä normitettu kokonaiskulutus olisi 24141 kWh vuodessa, eli kiinteistön kokonaisenergiankulutus on noin 241 kWh/m². Uudemmissa rakennuksissa tämä luku olisi selvästi liian korkea, passiivi- ja matalaenergiataloissa kokonaisenergiankulutus saattaa olla väliltä 60-115 kWh/m² (Energiatehokas Koti www-sivut 2020). Kohdekiinteistö on kuitenkin 1950-luvulla rakennettu puutalo, jolloin kokonaiskulutuksenkin voidaan olettaa olevan korkeampaa.

Motivan lämmitystapojen vertailulaskuri antaa kohteen tiedoilla lämmitysenergian vuosikulutukseksi 15600 kWh. Tämän perusteella kohteen lämmityksestä olisi mahdollista säästää noin 2100 kWh. Kohteeseen ostettavan sähkön hinta oli vuonna 2020 noin 0,12 €/kWh, jolloin kohteen vuotuisista lämmityskuluista olisi mahdollista säästää noin 250 € verran, jos päästäisiin Motivan vertailulaskurin arvoihin. Mahdollista syytä korkeaan lämmityksen kulutukseen selvitetään seuraavassa kappaleessa. (Motivan lämmitystapojen vertailulaskuri 2021)

4 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ

Koska kulutuslaskelmissa kävi ilmi, että lämmityksessä voi olla jotain ongelmaa, on syytä tarkastella nykyistä järjestelmää tarkemmin, jotta ongelma voidaan korjata, tai jotta saadaan vähintäänkin tietoon mistä korkea kulutus johtuu. Ongelmana järjestelmän tarkastelussa oli se, ettei komponentteihin päästy hyvin käsiksi, jotta niitä oltaisiin voitu tarkastella paremmin. Esimerkiksi varaaja oli eristetty niin tiukasti, ettei siitä pystytty arvioimaan muuta kuin väri.

4.1 Järjestelmän kuvaus



Kuva 3. Kohdekiinteistön lämmitysjärjestelmän kaaviokuva

Kuvassa 3 on esitettyä kohdekiinteistön nykyisen lämmitysjärjestelmän kaaviokuva yksinkertaistettuna. Oikealla kuvassa on asuinkiinteistön kellarikerroksessa oleva varaaja, jonka kaksi sähkövastusta lämmittävät käyttövettä ja patteriverkon vettä. Alun perin oletuksena oli, että pilkekattilasta tuleva vesi menisi varaajalle, jolloin siitä saataisiin parhaiten hyöty irti, mutta kohdekäynnillä kävi ilmi, että jostain syystä järjestelmä toimii päinvastoin. Varaajalla lämmennyt patteriverkon vesi meneekin pilkekattilalle, jonka läpi kuljettuaan se palaa pihan poikki ja menee sitten patteriverkolle, jossa se luovuttaa lämpöenergiaa kiinteistön käyttöön ja palaa sitten varaajalle. Käyttöveden osalta järjestelmästä ei todettu mitään erikoisia ominaisuuksia, ulkorakennukseen

menevä käyttövesi on kylmää, ja sitä lämmitettäisiin järjestelmän toimiessa pilkekattilalla. Kohteen käyttäjien mukaan lämmin käyttövesi kuitenkin loppuu liian nopeasti.

Järjestelmän komponentit ovat jo vanhoja, ja esimerkiksi varaajassa ei ollut automaattista lämpötilojen säätöä, minkä vuoksi käyttäjän tulee muuttaa lämmityksen menoveden lämpötilaa omatoimisesti ulkolämpötilojen mukaan, mikä vaikuttaa ainakin osin energiatehokkuuteen.

Suurempi ongelma on aivan selvästi se, että lämmitysvesi kulkee pihan poikki maan alla ensin noin 20 metrin matkan, menee sitten pilkekattilalle joka ei ole päällä, ja tulee sitten vielä takaisin saman 20 metrin matkan. Vaikka maan alla kulkevat putket ovat hyvin eristettyjä, meno- ja paluuputken välillä oli mittauksissa 1 – 2 °C lämpötila ero, joka siis tässä tapauksessa on hyödyntämätöntä lämpöhäviötä.

4.2 Pilkekattila

Ulkorakennuksessa oleva pilkekattila on Jämän Miniter 25K yhdistelmäkattila vuodelta 1979. Kattilan alkuperäinen teho puulla on väliltä 11-23 kW, mutta kuten jo aiemmin todettiin, kattilaa ei ole nykyisten omistajien aikana juuri käytetty. Silloin kun kattila ollaan sytytetty, sen vesi on alkanut kiehua, jos pesään ollaan ladottu enemmän kuin aivan muutama puu. Kiehuminen tarkoittaa sitä, että lämpö ei pääse siirtymään tarpeeksi tehokkaasti kattilan vesisäiliöstä putkistoon, mikä voi johtua esim. lämmönsiirtopintojen nokeentumisesta, tai siitä, ettei kattilan läpi kulje tarpeeksi vettä.

Kattila on joka tapauksessa yli 40 vuotta vanha, ja nykyinen omistaja on päättänyt, ettei kattilaa enää aleta huoltamaan. Näin ollen kattila kannattaisi irrottaa nykyisestä lämmityksestä, koska tällä hetkellä kattila aiheuttaa järjestelmään lämpöhäviöitä. Kohdekäynnillä olikin selvästi havaittavissa, että kattilahuoneessa oli muutaman asteen lämpimämpää kuin ulkorakennuksen viereisissä tiloissa.

Loogisin ratkaisu olisi palkata ammattimies tekemään sellainen liitântä varaajahuoneeseen, ettei lämmitysvesi kävisi ulkona lainkaan. Näin säästyttäisiin suuremmilta

lämpöhäviöiltä, ja lämmitysverkon kokonaispainehäviö myös laskisi jonkin verran, kun kaiken veden ei tarvitsisi käydä pilkekattilan läpi. Kun kiertopumpun ei tarvitsisi voittaa yhtä suurta painehäviötä, myös sen sähkönkulutus laskisi hieman.

Kohdekäynnin aikana ulkolämpötila oli merkittävän alhainen -25°C , jolloin patteriverkon asetusarvoksi oltiin asetettu 50°C . Varaajasta tulevan veden lämpötila oli mitauksissa noin 45°C . Varaajahuoneesta ulos lähtevän ja palaavan putken lämpötilaero oli noin 2°C , jolloin lämpöhäviö olisi noin 4,5%. Tilanne oli tietenkin vain pistemittaus, jolloin siitä ei kannata lähteä tekemään tarkempia laskelmia, mutta muutamankin prosentin lämpöhäviö selittäisi usean sadan kilowattitunnin kulutuksen.

4.3 Varaaja

Opinnäytetyön loppupuolella saatiin selville, että kohteen nykyinen varaaja on tiensä päässä, ja se aiotaan vaihtaa. Selville saatiin myös se, että kohteeseen oltiin ilmeisesti tehty vuonna 2017 lämmitykselle remontti, jonka hinta oli edellisten asukkaiden mukaan 8000€. Remontti tilattiin, koska lämmintä vettä ei tullut suihkussa tarpeeksi pitkään. Tilanne on opinnäytetyön tekohetkellä täysin sama kuin ennen remonttia.

Kohteen nykyinen omistaja on alustavasti tiedustellut tuttavaltaan, mitä uuden modernin varaajan hankkiminen maksaisi kohteeseen, ja hänelle esitettiin hinta-arvioksi 1500€. Varaaja pitää joka tapauksessa vaihtaa lähivuosina sen takkuilun vuoksi, joten 1500€ arvio on todella hyvä kauppa, ainakin parempi kuin edellinen remontti.

Vaikkei vielä tiedetäkään tarkasti millainen uusi varaaja on kyseessä, voidaan kuitenkin todeta, että vanhojen varaajien lämpöhäviöt ovat kohtuullisen suuria, vaikka kohteessa suurin osa lämpöhäviöstä voidaankin hyödyntää, sillä lämpö nousee katon läpi asuintiloihin. Uuden varaajan automatiikankin oletetaan vähentävän kulutusta selvästi vanhaan verrattuna.

4.4 Saunan käyttövesi

Jos lämmityksen kierto ulkorakennukseen katkaistaisiin, muodostuisi kuitenkin kokonaan uusi ongelma. Ulkorakennuksen saunalle menevän kylmän käyttövesiputken jäätyminen olisi melko todennäköistä, jos sen vierellä kulkeva lämmitysverkon kierto ei olisi pitämässä sitä sulana. Kohdekäynnillä saunan käyttövesi oli noin 1°C paikkeilla, joten jäätymisen vaara on olemassa nykyäänkin. Jos tulee pitkiä jaksoja, jolloin vesi seisoisi käyttämättömänä routaisessa maassa, se tulisi jäätymään lähes varmasti.

Jäätyminen pitää tietenkin pystyä välttämään jotenkin. Yksi ratkaisu tähän olisi kesämökeillä käytettävä sulanapitokaapeli, joka syötetään joko vesiputken sisälle, tai kierretään sen ympärille. Sähkövirralla toimiva lämmityskaapeli pitäisi veden jäätymispisteen yläpuolella talvikuukausina, jolloin pienellä sähkönkäytön kohotuksella välttyttäisiin suuremmalta katastrofilta.

Saunalla käytettävää vettä ollaan ennen lämmitetty pilkekattilan avulla, mutta nykyisten asukkaiden aikana vettä ollaan lämmitetty saunan yhteydessä erillisessä padassa. Jos järjestelmä uusitaan kokonaan, voidaan uusimisen yhteydessä saunalle vetää myös lämmin käyttövesi, mutta nykyisen järjestelmän kanssa padassa lämmitettävä vesi on asukkaille tarpeeksi hyvä ratkaisu.

4.5 Järjestelmän korjaus

Tarkkoja takaisinmaksuaikoja tai säästöpotentiaaleja ei ole mahdollista laskea, kun kohteen tarkkaa kulutusta, tai lämmityksen lämpöhäviöitä ei tiedetä, eikä osaan laitteista päästä käsiksi. Voidaan kuitenkin esittää arvio mahdollisesta säästöstä, jos oletetaan kohteen energiantehokkuuden olevan lämmitysjärjestelmää lukuun ottamatta sellaisessa kunnossa, kuin 1950-luvun talolta voidaan odottaa, eikä tällä hetkellä ole syytä epäillä toisin.

Kiinteistön omistajan kanssa käydyissä keskusteluissa todettiin, että yllä ehdotetut ratkaisut vaikuttivat parhailta vaihtoehdoilta. Jos kohteeseen hankitaan uusi moderni varaaja paremmalla kulutuksen ohjauksella ja eristyksellä, sekä irrotetaan pilkekattila järjestelmästä lämmityskulut putoaisivat tavoiteltavan 2100 kWh:n verran, vaikka

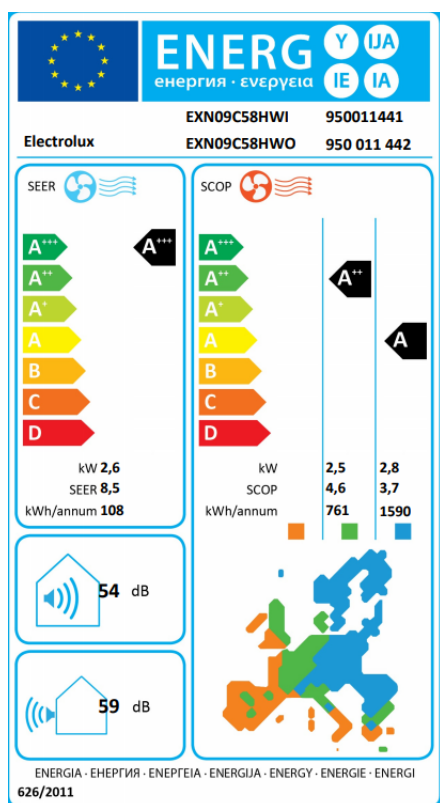
sulanapitokaapeli kuluttaisikin muutaman sadan kilowatin verran talvisin. Lisäksi järjestelmästä tulisi yksinkertaisempi, ja turvallisempi, kun ei tarvitsisi murehtia maan alla kulkevista lämmitysputkista, tai käyttöveden jäätymisestä, puhumattakaan siitä, että tarvitsisi pelätä vanhan varaajan hajoavan.

Mahdolliset saadut säästöt jakautuisivat lämmityskaudelle niin, että lämmityksen kulutus laskisi melko tasaisesti noin 12%, ja jos otetaan huomioon sulanapitokaapelin kulutus, lasku olisi arviolta noin 10%, eli lämmityksen vuotuinen normitettu kulutus olisi korjauksen jälkeen noin 15 900 kWh. Takaisinmaksuaikoja korjauksille ei tarvitse laskea, sillä ne pitää tehdä joka tapauksessa, korjaamattoman järjestelmän tuleva hajoaminen tulisi kohteen käyttäjille huomattavasti kalliimmaksi kuin korjaustoimenpiteiden kustannukset.

5 ILMALÄMPÖPUMPPU

Kun nyt ollaan selvitetty mahdollisimman tarkasti kohteen viimevuotinen kulutus, ja ollaan vielä laskettu lämmityksen korjauksen jälkeinen tilanne, voidaan alkaa tarkastelemaan ilmalämpöpumpun vaikutusta. Alun perin opinnäytetyöhön kuului kohteeseen ilmalämpöpumpun mitoittaminen, mutta kohdekiinteistön omistajat saivatkin lahjaksi ilmalämpöpumpun asennuksineen, joten ei ole syytä alkaa mitoittamaan uutta ILP:a, kun yksi on jo asennettuna. On kuitenkin syytä tarkastella kyseisen ILP:n vaikutus nykyiseen energiankulutukseen, eli arvioidaan kuinka paljon ILP:n voidaan odottaa tuottavan lämpöenergiaa, ja kuinka pian se maksaa itsensä takaisin.

5.1 Ilmalämpöpumpun tiedot



Kuva 4. Electrolux EXN09C58H:n energiamerkintä (Electroluxin www-sivut 2021)

Kohteeseen asennettu ilma-ilmalämpöpumppu on Electrolux EXN09C58H, jolle valmistaja antaa kuvan 4 kaltaisen energiamerkinnän.

Energiamerkinnästä voidaan lukea, että ILP:lle ollaan annettu kylmissä ilmastoissa energiatehokkuusluokan A- arvosana, ja että sen vuotuinen lämpökerroin (SCOP) on kylmissä ilmastoissa 3,7. Vuotuiseksi sähkönkulutukseksi kylmissä ilmastoissa ollaan ilmoitettu 1590 kWh.

Vuotuinen kylmäkerroin (SEER) puolestaan on 8,5, ja vuodessa pumpun ilmoitetaan kuluttavan 108 kWh jäähdytykseen. Jäähdytyksen kuluttama sähköteho jää siis selvästi pieneksi, vaikkei kohteessa jäähdytettäisiinkään vuotuisen maksimin verran. Kohteen asukkailla on aikomuksena käyttää ilmalämpöpumpun jäähdytystoimintoa, joten sen vaikutus kesän sähkönkäyttöön pitää ottaa huomioon, ja kun tarkempaa kulutusta ei tiedetä, voidaan käyttää energiamerkinnän antamaa 108 kWh arvoa kesäkuusille jaettuna (kesä-elo).

5.2 Ilmalämpöpumpun arvioitu tuotto

Käytännössä ilmalämpöpumppu ottaa sähköverkosta energiaa, jota se käyttää siirtämään ulkoilmasta lämpöä sisätiloihin. Ilmalämpöpumpun ottama sähköteho on pienempi, kuin mitä sen antama lämpöteho, jonka vuoksi se on energiatehokkuuden kannalta loistava ratkaisu pienentämään rakennusten energiankulutusta, erityisesti kohteen kaltaiset rakennukset, joissa lämpöä tuotetaan sähköllä. Näin ollen kaikki ilmalämpöpumpun tuottama lämpöenergia, joka ylittää sen verkosta ottavan energian on suoraa säästöä kohteessa.

Koska ilmalämpöpumppu asennettiin tammikuun 2021 alussa, ei sen vaikutusta pystytä tarkasti lukemaan muuttuneesta kulutuksesta. Jos ilmalämpöpumppu olisi ollut kohteessa jo pidempään, esim. vuoden verran, voitaisiin käyttää todellisia kulutuksia ja katsoa miten ilmalämpöpumpun asennus vaikutti niihin. Koska näin ei kuitenkaan ole, pitää ilmalämpöpumpun tuottaman säästön määrä arvioida energiatehokkuusmerkin tietojen perusteella, pitää mielessä, että todelliset säästöt eivät välttämättä vastaa

saatuja arvoja. Todellisuudessa ilmalämpöpumpulla saadut säästöt riippuvat käyttäjistä, ulko- ja sisälämpötiloista, ja siitä, miten ilmalämpöpumpun puhaltama lämmitetty ilma pääsee rakennuksen tiloissa liikkumaan. Yksinkertaisimmillaan ilmalämpöpumpun nettosäästö saadaan laskettua seuraavasti:

$$Q_{\text{säästö}} = Q_{\text{max}} * \left(1 - \frac{1}{SKER}\right)$$

, jossa Q_{max} on ilmalämpöpumpun energiamerkin arvoilla laskettu vuotuinen maksimituotto (kWh), ja se saadaan laskettua seuraavasti:

$$Q_{\text{max}} = SCOP * Q_{\text{sähkö/a}}$$

SKER puolestaan on ilmalämpöpumpun vuosikerroin, joka saadaan seuraavasti:

$$SKER = (SCOP - 0,3) * \eta_{\text{lämmönlvovutus}}$$

, jossa 0,3 on sisäyksikön äänirajoituksista johtuva vakiokorjaus, jolla huomioidaan ilmapvirtausten puolituksen vaikutus lämpökertoimeen. Ilmalämpöpumpun lämmönlvovutuksen kokonaishyötysuhdetta puolestaan kuvaa $\eta_{\text{lämmönlvovutus}}$, joka ottaa huomioon ilmalämpöpumpun käytöstä johtuvat lisääntyneet lämpöhäviöt. Hyötysuhde on arviolta 0,85.

Näin ollen $Q_{\text{säästö}}$ on:

$$(3,7 * 1590 \text{ kWh}) * \left(1 - \frac{1}{(3,7 - 0,3) * 0,85}\right) = 3847,36 \text{ kWh}$$

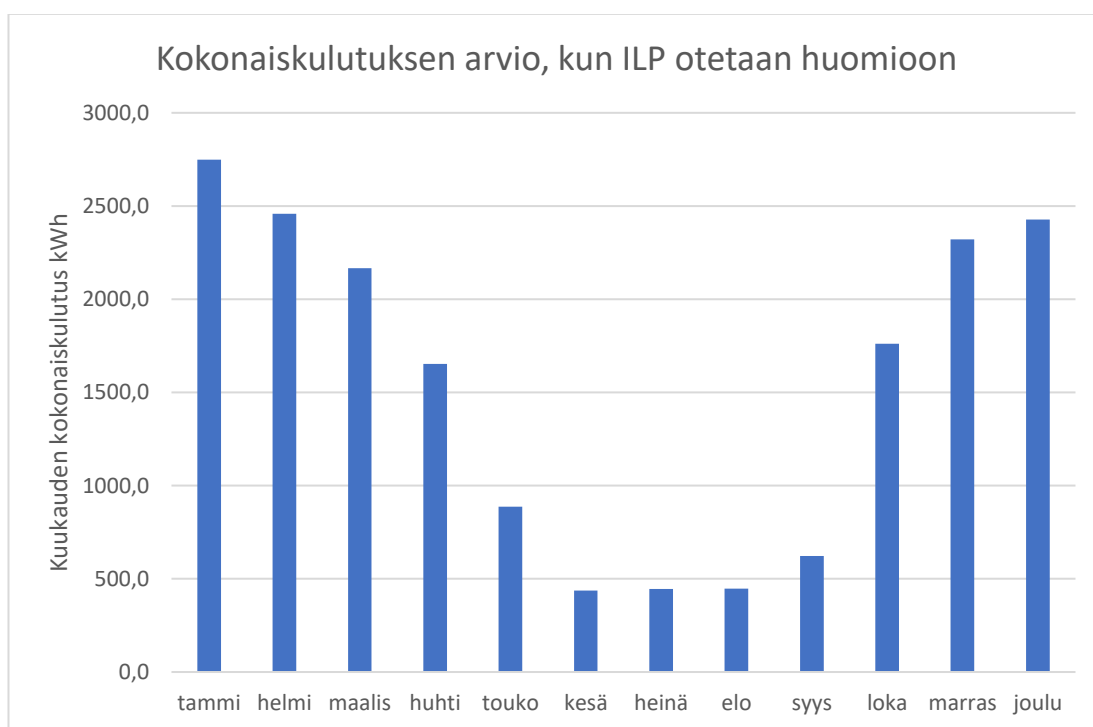
Kun säästöstä vähennetään vielä jäädytyksestä koituvat kulut, vuotuiseksi säästökseen ilmalämpöpumpulle jää noin 3700 kWh. Todellisuudessa säästö saattaa jäädä jonkin verran pienemmäksi, mutta koska on myös mahdollista, että säästö on suurempaa, oletetaan laskettu säästö tarpeeksi tarkaksi tätä opinnäytetyötä varten.

(Laitinen 2016)

5.3 Kohteen kulutus ilmalämpöpumpulla

Kun ollaan saatu arvioitua asennetun ilmalämpöpumpun vuotuinen vaikutus energiankulutukseen, tarkastellaan vielä tilannetta ilmalämpöpumpun kanssa kohteessa, kun oletetaan kappaleessa neljä ehdotettujen korjaustoimenpiteiden toimineen oletetulla tavalla. Ilmalämpöpumpun tuottaman lämmön määrä ei todellisuudessa jakaudu lämmityskaudelle tasaisesti, koska lämmitystarve ja lämmönlähteen (ulkoilman) lämpötila ovat jatkuvassa muutoksessa. Kylmimpinä talvipäivinä, jolloin lämmitystä tarvitaan eniten, ilmalämpöpumpun tuotto on vähäisintä. Tämän vuoksi on hankala lähteä arvioimaan, miten pumpun vuosittainen kokonaistuotto tulee jakautumaan eri kuukausille. Oleellista pitkällä aikavälillä on kuitenkin juuri tämä vuosittainen säästö.

Tarkempien todellisten tulosten puutteessa voidaan jakaa ilmalämpöpumpun laskettu vuosittainen lämmityksen säästö tasaisesti lämmitettäville kuukausille. Lämmityskausi ei tietenkään ole samanlainen joka vuosi, mutta voidaan olettaa lämmitettäväksi kuukausiksi kutakuinkin loka-huhtikuun välisen ajan, jolloin ilmalämpöpumpun tuotto jaettaisiin näille seitsemälle kuukaudelle. Kun otetaan vielä huomioon jäähdytyksestä koituvat lisäkulutukset kesälle, ja oletetaan aiemmin ehdotettujen korjaustoimenpiteiden toimivan oletetusti, saadaan seuraavan kuvaajan kaltainen kulutus.



Kuvaaja 3. Kohteen kokonaiskulutus, kun ilmalämpöpumpun vaikutus otetaan huomioon.

Kuvaajassa 3 ollaan esitetty kohteen arvioitu sähkön kokonaiskulutus kuukausittain normeerattuna, kun lämmitysjärjestelmälle ollaan tehty ehdotetut korjaukset, ja kun otetaan huomioon jo asennetun ilmalämpöpumpun vaikutukset.

5.4 Ilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika

Kohteeseen hankitun ilmalämpöpumpun hinta oli 900 €, ja sen asennus maksoi 690 €. Ilmalämpöpumpun asennus lasketaan kotitalousvähennyksen alaiseksi työksi. Kotitalousvähennys on vuonna 2021 enintään 2250 € henkilöä kohden, ja siihen kuuluu 100€ omavastuu osuus. Kotitalousvähennyksen määrä on 40% yritykseltä ostetusta työstä (Verohallinnon www-sivut 2021). Kohteeseen ostetun sähkön hinta on keskimäärin 0,12 €/kWh.

Takaisinmaksuajaksi muodostuu siis näin ollen:

$$\frac{1590 \text{ €} - (690 \text{ €} - 100 \text{ €}) * 0,4}{3700 \text{ kWh/vuosi} * 0,12 \text{ €/kWh}} = 3,0495 \text{ vuotta}$$

Kohteeseen asennetun ilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika on siis vain hieman yli kolme vuotta lasketulla säästöllä, jonka jälkeen sen tuottama lämpöenergia on puhdasta säästöä 444 € vuodessa. Vaikka asennetun ilmalämpöpumpun tuottamat säästöt olisivat vain 75% lasketuista säästöistä, ei sen takaisinmaksuaika nouse kuin vuodella.

6 AURINKOSÄHKÖ

Kohteen tämänhetkisen järjestelmän vuoksi oletuksena on, että kohteessa voitaisiin hyödyntää aurinkosähköä melko hyvin, ja kiinteistön omistajan pyynnöstä kohteeseen mitoitetaankin optimaalinen aurinkosähkö, eli PV-järjestelmä (*Photovoltaic*).

6.1 PV-järjestelmän mitoitus

Aurinkosähköjärjestelmän mitoittamisessa tärkeää on pyrkiä mahdollisimman suureen omakäyttöosuuteen, koska myytävästä sähköstä saadut voitot ovat yleensä melko marginaalisia, jonka vuoksi ylimitoitettujen järjestelmien takaisinmaksuaika nousee liian korkeaksi. Vastaavasti kulutuksen mukaan mitoitettuihin liian pienet järjestelmät eivät tuota tarpeeksi maksaakseen itseään takaisin, koska järjestelmän oheislaitteiden hinta nostaa järjestelmän kokonaishinnan korkeaksi.

Koska kohteeseen tuotetaan nykyään lämmintä vettä sähköllä, on kohteessa jatkuvaa sähkönkulutusta myös kesäisin, milloin PV-järjestelmät tuottavat parhaiten sähköä. Veden tuottaminen tapahtuu kuitenkin tarpeen mukaan piikkeinä, joiden ulkopuolella kulutus on melko vähäistä.

6.1.1 Mitoitus kulutuksen mukaan

Mitoitus kannattaa aloittaa tarkastelemalla niitä kuukausia, jolloin sähkönkäyttö kohteessa on pienintä, ja vastaavasti saatavissa oleva aurinkoenergia suurinta. Yleensä kyseinen kuukausi on joko kesä-, heinä- tai elokuu, ja kohteessa näiden kolmen kuukauden kulutus olikin lähes sama, eli noin 440 kWh. Kesäkuun 16 päivä aurinko nousee Porissa kello 3:50 ja laskee 23:18 (Vantaaweather [www-sivut](http://www.vantaaweather.fi) 2021). Tästä aikavälistä otetaan pois tunti molemmista päistä, jotta saadaan karsittua vähemmän tuottavat päivän tunnit pois, ja tarkastellaan kohteen päivittäistä keskimääräistä sähkönkulutusta

tältä aikaväliltä kesäkuun aikana, jonka mukaan sitten mitoitettaisiin sopiva PV-järjestelmä.

Parhaiten kulutuksen ja tuoton saisi vastaamaan toisiaan, jos järjestelmä mitoitettaisiin ns. ”pohjakulutuksen” mukaan, eli järjestelmän tehon ylärajaksi kohteen alin jatkuva kulutus. Kohteessa tämä pohjakulutus oli kesällä kuitenkin lähes koko ajan alle 200W, mikä pystyttäisiin kattamaan hyvin pienelläkin järjestelmällä. Kotitalouskohteissa vastaava pohjakulutus on tyypillistä, jonka vuoksi kotitalouksien PV-järjestelmät tulee mitoittaa joko keskimääräisen tai enimmäiskulutuksen mukaan kesältä.

Kohteessa sähkönkulutus kesäkuussa oli aikavälillä 05:00-22:00 keskimäärin 13,1 kWh joskin havaittavissa oli paljon vaihtelua. Vastaavasti PV-järjestelmän tuottoa on hankala arvioida, koska tuntikohtaiset tuotot voivat vaihdella hyvinkin paljon eri päivinä sään vuoksi. Tämän vuoksi on lähes mahdotonta alkaa arvioimaan omakäyttöosuutta tarkasti, kun pohjakulutus on pientä.

Lopullinen omakäyttöosuus ollaan laskettu vertaamalla kesäkuun tuntikohtaista arvoa, eli $13,1 \text{ kWh} / 18 \text{ h} = 0,73 \text{ kWh}$, jota sitten ollaan verrattu PVGIS www-sivujen (*Photovoltaic Geographical Information System*) antamaan kuukausikohtaiseen tuottoarvioon. Näin saadaan suuntaa antava omakäytön osuus. Muiden kuukausien omakäytön osuus on kesäkuuta suurempi, koska tuotto on pienempää, ja kulutus suurempaa, kuukausina, jolloin lämmitys on kohteessa päällä, voidaan olettaa omakäytön osuuden olevan hyvinkin korkea.

6.1.2 Mitoitus katon mukaan

Rajoittavaksi tekijäksi PV-järjestelmille muodostuu yleensä joko budjetti, tai asennusta varten riittävä tila. Koska tässä opinnäytetyössä ei mitoiteta jonkin budjetin mukaan, määräytyy järjestelmän koon yläraja näin ollen tilan perusteella. Kohteeseen ei haluta asentaa paneeleja maatasolle, eikä ulkorakennuksen katolle kannata asentaa paneeleja, koska kyseinen katto on todella pahasti varjossa. Paneelien suunnitelluksi paikaksi jää näin ollen asuinrakennuksen katto, vielä niin että valitaan käytettäväksi vain

etelään päin oleva lape. Pohjoispuolellekin toki voitaisiin asentaa paneeleja, mutta tuotto pohjoispuolelta on huomattavasti heikompaa kuin eteläpuolella, varsinkin koska katon harja varjostaisi osan ajasta pohjoispuolelle asennettavia paneeleja.

Kun etelälappeen reunoista otetaan puoli metriä joka sivulta pois, käytettäväksi alaksi jää 900 cm leveä ja 416 cm korkea ala.

Valitaan käytettäväksi Sinosolan 275W monikidepaneeli, jotka olivat opinnäytetyön kirjoittamisen hetkellä 119€ kpl (Kärkkäinen [www-sivut](#) 2021). Kyseisen paneelin mitat ovat 164 cm x 99,2 cm, mikä vastaa tyypillistä 1,6m² paneelia. Kohteen katolle valittuja paneeleja mahtuisi 18 kpl joko pystyyn tai vaakaan asennettuna, josta saadaan järjestelmän suurin koko. Tarkasteltavaksi otetaan 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 ja 18 paneelin järjestelmät.

6.2 PV-järjestelmien tuotot

Vaikka omakäytön osuuden oletetaan olevan suuri kesäkuukausien ulkopuolella, ei se kuitenkaan ole täysin 100%. Jotta tarkastelu olisi edes jokseenkin todenmukaista, oletetaan kaikille järjestelmille vähintään 5% ylituotto vuoden yli. Suuremmille järjestelmille ollaan lisäksi laskettu kesäkuukausina tapahtuvat selvät ylituotot mukaan.

Taulukko 4 - Eri PV-järjestelmien lasketut vuosituotot ja omakäytön osuudet

Paneeleita	4	6	8	10	12	14	16	18
Järjestelmän teho kW	1,1	1,65	2,2	2,75	3,3	3,85	4,4	4,95
Tuotto (kWh)	961,35	1459,26	1945,68	2429,09	2918,52	3404,95	3893,35	4377,77
Ylijäämä (kWh)	48,0675	72,963	97,284	121,4545	254,6188	484,0032	713,4753	942,7466
Omakäyttöosuus %	95 %	95 %	95 %	95 %	91 %	86 %	82 %	78 %

Taulukossa 4 ollaan esitetty eri järjestelmille lasketut tuotot PVGIS- ohjelmiston avulla. Asennuskulmana käytettiin katon todellista kulmaa 31°, ja paneelien suuntaus arvioitiin kompassin avulla olevan noin 3°, kun etelä on 0° ja itä on 90°. Systemin häviönä ollaan käytetty sivun tarjoamaa 14% vakiota.

Huomataan, että pienemmillä järjestelmillä ei synny ylituottoa kuin annetun 5% arvion verran, mutta kun ylitetään 10 paneelin raja, omakäytön osuus alkaa tippua selvästi.

6.3 Aurinkopaneelien ja invertterien hinta

Jotta saadaan laskettua kannattavuudet kullekin järjestelmälle, on arvioitava kunkin järjestelmän hinta. PV-järjestelmien investointiin kuuluu paneelien lisäksi invertteri, asennuksen hinta, ja muut mahdolliset kulut, kuten lupien hankinta.

Kaikissa järjestelmissä käytetään Sinosolan 275W paneeleja, joiden hankintahinta oli opinnäytetyötä kirjoittaessa 119 €/kpl. Hinta on nykypäivänä tyypillinen yhden aurinkopaneelin hinta.

Järjestelmien tuottama tasavirta pitää saada muutettua vaihtovirraksi, jotta sitä pystytään hyödyntämään ja myymään sähköverkkoon. Käytännössä tämä tapahtuu vaihtosuuntaajalla, eli invertterillä. Invertteri on joko 1- tai 3-vaiheinen, ja pienemmille järjestelmille ei yleensä tehdäkään kuin 1-vaiheisia invertterejä. Valitaan 4 ja 6 paneelin järjestelmiin käytettäväksi Fronius Galvo 1.5-1 invertterin, ja 8 paneelin järjestelmään Fronius Galvo 2.0-1 invertterin, jotka ovat molemmat 1-vaiheisia, ja niiden tehot ovat vastaavasti 1,5 ja 2,0 kW. Froniuksen invertterien ilmoitetun tehon voi ylittää 1,5-kertaisesti takuun alaisena, eikä PV-järjestelmien odotetakaan tuottavan maksimitehoaan kuin aivan muutamina hetkinä. 10, 12 ja 14 paneelin järjestelmiin valitaan 3-vaiheinen Fronius Symo 3.0-3-M, ja 16 ja 18 paneelin järjestelmiin Fronius Symo 4.5-3-M, joiden tehot ovat 3,0 kW ja 4,5 kW. Taulukkoon 5 on haettu valittujen invertterien tämänhetkiset hinnat.

Taulukko 5. Valittujen invertterien hinnat opinnäytetyön tekohetkellä (24solar www-sivut 2021)

Galvo 1.5-1	Galvo 2.0-1	Symo 3.0-3-M	Symo 4.5-3-M
907,20 €	930,99 €	1335,51 €	1546,64 €

6.4 PV-järjestelmien asennettu hinta

Invertterin ja paneelien lisäksi PV-järjestelmien hintaan kuuluu myös asennus. Asennuksen hinta vaihtelee suuresti, koska yleensä PV-järjestelmät tilataan ns. avaimet käteen pakettina, jolloin asennuksen hinta sisältyy pakettiin. Pienemmillä järjestelmillä asennuksen hinta voi olla puolet kokonaishinnasta, kun taas suuremmilla järjestelmillä se voi olla vain neljännes kokonaishinnasta.

Oletetaan kaikille mitoitettaville järjestelmille asennuksen hinnaksi 45% kokonaishinnasta. Aurinkoenergian asennustyöt kuuluvat kotitalousvähennyksen piiriin, joten otetaan myös se huomioon olettamalla, että asennuskustannuksista 80% on vähennettävissä olevaa työtä, ja loput asennuskustannukset koostuvat kiinnikkeistä ja muista tarvikkeista.

PV-järjestelmiä hankkiessa pitää ottaa myös huomioon paikalliset lupa-asiat, ja niistä koituvat mahdolliset kustannukset. Kohteen sijaitessa Porissa, sovelletaan Porin käytäntöjä. Porin kaupungin alueella aurinkokeräimet ja -paneelit eivät tarvitse erillistä lupaa, jos ne asennetaan lappeen suuntaisesti katon harjaa ylittämättä, mikä on tässä opinnäytetyössä valittu asennustapa. (Porin kaupungin rakennusjärjestys 2019, 17§).

Taulukko 6. PV-järjestelmien kokonaisinvestoinnit ja niiden koostumus

Paneelien määrä	Paneelien hinta	Invertterin hinta	Asennus + osat	Kotitalousvähennys	Investointi yhteensä
4	476,00 €	907,20 €	1 131,71 €	322,15 €	2 192,76 €
6	714,00 €	907,20 €	1 326,44 €	384,46 €	2 563,18 €
8	952,00 €	930,99 €	1 540,63 €	453,00 €	2 970,62 €
10	1 190,00 €	1 335,51 €	2 066,33 €	621,22 €	3 970,61 €
12	1 428,00 €	1 335,51 €	2 261,05 €	683,54 €	4 341,03 €
14	1 666,00 €	1 335,51 €	2 455,78 €	745,85 €	4 711,44 €
16	1 904,00 €	1 546,64 €	2 823,25 €	863,44 €	5 410,45 €
18	2 142,00 €	1 546,64 €	3 017,98 €	925,75 €	5 780,87 €

Taulukossa 6 on esitetty kaikkien mitoitettavien PV-järjestelmien lasketut kokonaiskustannukset. Järjestelmien hinnat liikkuvat jokseenkin avaimet käteen- pakettien hintaluokassa, joskin kyseisten pakettien hinnassa on paljon vaihtelua myyjästä riippuen. Esim. Motivan Aurinkosähköä kotiin kampanjan viimeisin 3-6 kW aurinkosähköjärjestelmien keskimääräinen hinta oli 1770 €/kW, johon verrattuna tässä opinnäytetyössä hinnoitellut järjestelmät ovat hieman alihintaisia (Motivan www-sivut 2019).

Tämä ero otetaan huomioon herkkyystarkastelussa, jossa katsotaan muun muassa miten järjestelmien kannattavuuteen vaikuttaa investointihinnan nouseminen.

6.5 Järjestelmien kannattavuus

Kun tiedetään eri järjestelmien odotetut tuotot, omakäyttöosuudet ja investointien kokonaiskustannukset, voidaan alkaa tarkastelemaan eri järjestelmien kannattavuutta. Laskennassa käytetään kohteen tämänhetkistä sähkön hintaa, joka oli vuonna 2020 keskimäärin 0,12 €/kWh. Sähkö ostetaan Pori Energialta sähkönmyyntiyhtiö Oomin kautta.

Sähköverkkoon syötetystä ylituotannosta ei kuitenkaan saa kuin tuotannon aikaisen pohjoismaisen sähköpörssin Nord Poolin Spot-hinnan. Vuonna 2020 Nord Poolin Spot hinta oli 0,028 €/kWh, kun taas vuonna 2019 se oli 0,044 €/kWh, joten havaittavissa on melko reipasta vaihtelua (Nord Pool [www-sivut](http://www.nordpool.net) 2021). Käytetään kuitenkin laskennassa viimeistä 0,028 €/kWh arvoa. Lisäksi Oomi perii käsittelykuluja 0,0012 €/kWh.

PV-järjestelmien tekninen käyttöikä on 25-30 vuotta, eikä järjestelmästä pitäisi syntyä sen toimiessa vakituisia huoltokuluja. Kannattavuuslaskenta suoritetaan 30 vuoden pitoajalla, jonka jälkeen järjestelmän jäännearvon oletetaan kustantavan vanhan järjestelmän purkamisen, eli jäännearvoksi otetaan 0€. Todellisuudessa järjestelmän teho laskee pikkuhiljaa ajan mittaan, eikä järjestelmässä välttämättä ole mitään suurta vikaa vielä 30 vuoden jälkeen. Teknologia kuitenkin kehittynee sen verran, ettei järjestelmä ole tuolloin enää kannattava, vaan se uusitaan.

Invertterille löytyy eri lähteistä käyttöikäksi 10-15 vuotta, jonka jälkeen se tulisi uusida. Otetaan kannattavuuslaskennassa siis huomioon jokaiselle järjestelmälle invertterin uusiminen kerran järjestelmän pitoajan aikana 15 vuoden kohdalla.

Taulukkoon 7 ollaan laskettu jokaisen tarkasteltavan järjestelmän suora takaisinmaksuaika, eli oletetaan, että järjestelmä hankitaan kertaostoksena tarkastelun alussa,

jonka jälkeen järjestelmien tuotosta riippuen lähestytään negatiivista arvoa, eli hetkeä jolloin järjestelmän oletettaisiin maksavan itsensä takaisin. Taulukossa vuodet jolloin järjestelmä ei ole vielä maksanut itseään takaisin on korostettu punaisella, ja vuodet jolloin järjestelmä on maksanut itsensä takaisin ja tuottaa näin ollen säästöjä ovat korostettuna vihreällä.

Taulukko 7. PV-järjestelmien suorat takaisinmaksuajat

	4	6	8	10	12	14	16	18
Vuosi								
0	2 192,76 €	2 563,18 €	2 970,62 €	3 970,61 €	4 341,03 €	4 711,44 €	5 410,45 €	5 780,87 €
1	2 081,87 €	2 394,85 €	2 746,18 €	3 690,42 €	4 014,48 €	4 347,86 €	5 009,60 €	5 343,21 €
2	1 970,98 €	2 226,53 €	2 521,75 €	3 410,22 €	3 687,94 €	3 984,28 €	4 608,75 €	4 905,55 €
3	1 860,09 €	2 058,20 €	2 297,31 €	3 130,03 €	3 361,40 €	3 620,70 €	4 207,90 €	4 467,89 €
4	1 749,20 €	1 889,87 €	2 072,88 €	2 849,83 €	3 034,86 €	3 257,11 €	3 807,06 €	4 030,24 €
5	1 638,30 €	1 721,55 €	1 848,45 €	2 569,63 €	2 708,31 €	2 893,53 €	3 406,21 €	3 592,58 €
6	1 527,41 €	1 553,22 €	1 624,01 €	2 289,44 €	2 381,77 €	2 529,95 €	3 005,36 €	3 154,92 €
7	1 416,52 €	1 384,90 €	1 399,58 €	2 009,24 €	2 055,23 €	2 166,37 €	2 604,51 €	2 717,27 €
8	1 305,63 €	1 216,57 €	1 175,14 €	1 729,05 €	1 728,68 €	1 802,79 €	2 203,66 €	2 279,61 €
9	1 194,74 €	1 048,25 €	950,71 €	1 448,85 €	1 402,14 €	1 439,21 €	1 802,81 €	1 841,95 €
10	1 083,84 €	879,92 €	726,28 €	1 168,66 €	1 075,60 €	1 075,62 €	1 401,96 €	1 404,30 €
11	972,95 €	711,59 €	501,84 €	888,46 €	749,06 €	712,04 €	1 001,11 €	966,64 €
12	862,06 €	543,27 €	277,41 €	608,27 €	422,51 €	348,46 €	600,27 €	528,98 €
13	751,17 €	374,94 €	52,97 €	328,07 €	95,97 €	- 15,12 €	199,42 €	91,32 €
14	640,28 €	206,62 €	- 171,46 €	47,87 €	- 230,57 €	- 378,70 €	- 201,43 €	- 346,33 €
15	1 436,59 €	945,49 €	535,09 €	1 103,19 €	778,39 €	593,23 €	944,36 €	762,65 €
16	1 325,69 €	777,17 €	310,66 €	822,99 €	451,85 €	229,64 €	543,51 €	324,99 €
17	1 214,80 €	608,84 €	86,23 €	542,80 €	125,31 €	- 133,94 €	142,66 €	- 112,66 €
18	1 103,91 €	440,52 €	- 138,21 €	262,60 €	- 201,23 €	- 497,52 €	- 258,19 €	- 550,32 €
19	993,02 €	272,19 €	- 362,64 €	- 17,59 €	- 527,78 €	- 861,10 €	- 659,04 €	- 987,98 €
20	882,13 €	103,86 €	- 587,08 €	- 297,79 €	- 854,32 €	- 1 224,68 €	- 1 059,89 €	- 1 425,63 €
21	771,24 €	- 64,46 €	- 811,51 €	- 577,98 €	- 1 180,86 €	- 1 588,26 €	- 1 460,73 €	- 1 863,29 €
22	660,34 €	- 232,79 €	- 1 035,94 €	- 858,18 €	- 1 507,41 €	- 1 951,85 €	- 1 861,58 €	- 2 300,95 €
23	549,45 €	- 401,11 €	- 1 260,38 €	- 1 138,38 €	- 1 833,95 €	- 2 315,43 €	- 2 262,43 €	- 2 738,61 €
24	438,56 €	- 569,44 €	- 1 484,81 €	- 1 418,57 €	- 2 160,49 €	- 2 679,01 €	- 2 663,28 €	- 3 176,26 €
25	327,67 €	- 737,76 €	- 1 709,25 €	- 1 698,77 €	- 2 487,03 €	- 3 042,59 €	- 3 064,13 €	- 3 613,92 €
26	216,78 €	- 906,09 €	- 1 933,68 €	- 1 978,96 €	- 2 813,58 €	- 3 406,17 €	- 3 464,98 €	- 4 051,58 €
27	105,89 €	- 1 074,42 €	- 2 158,12 €	- 2 259,16 €	- 3 140,12 €	- 3 769,75 €	- 3 865,83 €	- 4 489,23 €
28	- 5,01 €	- 1 242,74 €	- 2 382,55 €	- 2 539,35 €	- 3 466,66 €	- 4 133,34 €	- 4 266,68 €	- 4 926,89 €
29	- 115,90 €	- 1 411,07 €	- 2 606,98 €	- 2 819,55 €	- 3 793,21 €	- 4 496,92 €	- 4 667,52 €	- 5 364,55 €
30	- 226,79 €	- 1 579,39 €	- 2 831,42 €	- 3 099,74 €	- 4 119,75 €	- 4 860,50 €	- 5 068,37 €	- 5 802,20 €

Taulukon 7 perusteella kaikkien järjestelmien hankinta olisi kannattavaa 30 vuoden pitoajalla. Järjestelmien tuottamat säästöt kasvavat tasaisesti paneelien määrää kasvatettaessa, vaikka järjestelmissä on erihintaisia invertterejä. Koska mitoitettavien järjestelmien kustannuksissa ja tuotoissa käytettiin paljon arviointeja hyväksi, pitää järjestelmille toteuttaa ns. herkkyystarkastelua, eli selvittää miten takaisinmaksuaikoihin

vaikuttaisi, jos esim. investointien hinta olisikin suurempi kuin odotettiin, tai jos omakäytön osuus pienenesi.

Opinnäytetyötä varten luotiin aurinkosähköinvestoinneille laskentapohja, jossa herkkyystarkasteluun otettiin seuraavat arvot: tuotto, omakäytön osuus, ostosähkön hinta, myytävän sähkön hinta ja alkuinvestointi.

6.6 Herkkyystarkastelu

Tarkastellaan ensin tilannetta, jossa järjestelmien odotettu tuotto onkin vain 75% alkuperäisestä, omakäytön osuus 75% odotetusta, mutta sähkön ostohinta nousee 20% ja samoin myyntihinta. Investointi pysyy samana. Esimerkin 1 tilanteessa pienin järjestelmä ei ole enää kannattava, mutta muut pystyvät maksamaan itsensä takaisin. Parhaiten selviytyi suurin järjestelmä, jonka kokonaissästäöksi 30 vuoden pitoajalla saatiin vielä 2332,90 €. (Liite 1)

Esimerkissä 2 katsotaan miten käy, jos investointien hinta onkin 40 % suurempi ja tuotto on vain 80% odotetusta. Muut arvot pysyvät alkuperäisinä. Tämä oli tärkein herkkyystarkastelu, koska investointihintaan liittyy monia muuttujia, ja hankinnan hinta voikin olla huomattavasti odotettua suurempaa, eikä tuottokaan välttämättä ole yhtä hyvää kuin toivotaan. Näillä muutoksilla kolme järjestelmää putoaa pois kannattavuuden piiristä, mutta tällöinkin suurin järjestelmä tuottaa vielä parhaiten, koko tarkasteluajalla 863,92 €. (Liite 2)

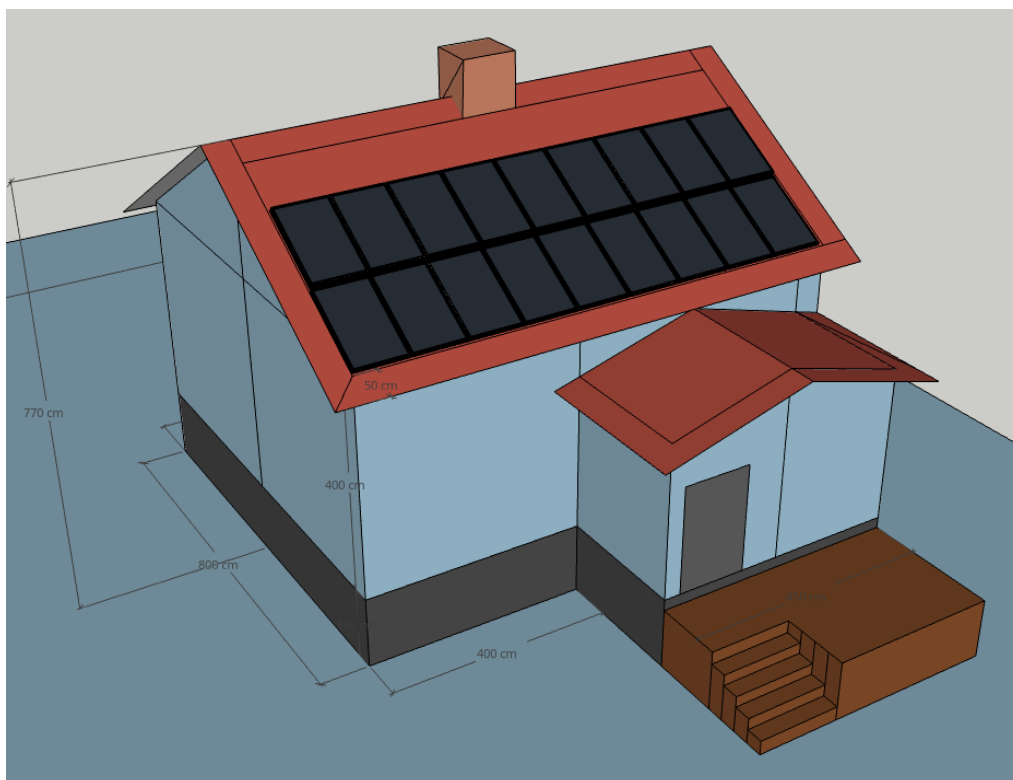
Tarkastellaan vielä tilannetta, jossa tuotto onkin 10% odotettua suurempaa, ja sähkön osto ja myyntihinta nousevat 20 %. Investointien hinta on 75% alkuperäisestä ja omakäytön osuus on alkuperäinen. Tällöin kaikki järjestelmät maksaisivat itsensä takaisin, parhaiten kuitenkin selvisi tässäkin tapauksessa suurin 18 paneelin järjestelmä 11 448,93€ säästöllä. (Liite 3)

Viimeiseksi katsotaan, miten käy, jos invertteri pitääkin vaihtaa kahdesti pitoajan aikana, muiden arvojen pysyessä samana. Odotetusti kaikkien järjestelmien

takaisinmaksuajat kärsivät, mutta parhaaksi vaihtoehdoksi jää jälleen suurin järjestelmä 4255,56 € säästöllä. (Liite 4)

6.7 PV-järjestelmän mallinnus

Kun ollaan selvitetty, että 18 paneelin järjestelmä on tarkastelluista vaihtoehdoista paras, tehdään vielä 3D-mallinnus siitä, miltä kyseinen järjestelmä näyttäisi kohteessa. Mallinnuksella pystytään myös varmistamaan, ettei paneeleihin kohdistu liiallisia varjostuksia, jotka tiputtaisivat järjestelmän tuottoa. Mallinnus toteutettiin SketchUp sovelluksella, johon pystytään syöttämään paikkatiedot, joilla saadaan todelliset varjostukset eri ajanhetkillä.

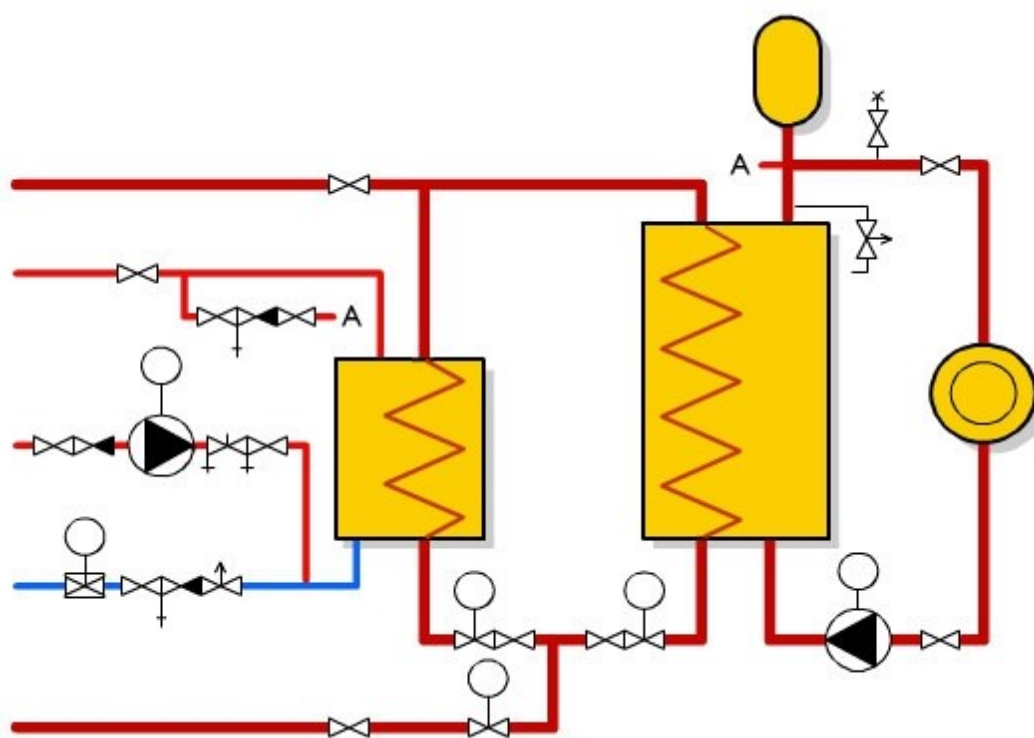


Kuva 5. Aurinkopaneelijärjestelmän mallinnus

Kuvassa 5 on ehdotuksena vaihtoehto paneelien asennukselle. Paneelien yläpuolelle jää tarvittaessa hieman tilaa, jolloin paneelit voitaisiin tarvittaessa asentaa myös ylemmäs. Näin saataisiin hieman vähennettyä tontin eteläpuolella kasvavien puiden varjostusta, jota syntyi muutamina tunteina aivan paneelien alarajaan. Toisaalta herkkyystarastelun perusteella järjestelmän tuotolla on varaa tippua hieman.

7 KAUKOLÄMPÖ

Käydään vielä viimeiseksi läpi, miltä kohdekiinteistön kytkentä kaukolämpöverkkoon näyttäisi. Kohde sijaitsee aivan Pori Energian kaukolämpöverkon runkolinjan vieressä, ja naapuritaloon tulee Pori Energian www-sivujen mukaan kaukolämpöä, joten kohteessakin olisi näin ollen mahdollisuus kaukolämmölle.



Kuva 6. Kaukolämmön alajakokeskuksen peruskytkentä (Talotekniikan opetussivusto [www-sivut 2021](http://www.sivut.2021))

Kuvassa 6 ollaan esitetty kaukolämmön alajakokeskuksen peruskytkentä, ja se vastaa kytkentää mikä tulisi kohteeseen, mikäli kaukolämpöverkkoon päätettäisiin liittyä. Käyttöveden ja lämmitykseen menevän veden lämmittäminen toteutetaan erillisillä lämmönsiirtimillä, joiden läpi virtaavaa kaukolämpöveden tehoa mitataan. Laskutus-teho perustuu todelliseen kulutukseen.

Jos kohteen omistaja päättäisi liittyä kaukolämpöön, ei nykyistä varaajaa tarvitsisi vaihtaa uuteen. Uuden varaajan hinta voitaisiin näin ollen ajatella vähennettävän kaukolämpöön liittymisen hinnasta, mutta tehdään kuitenkin laskut täydelle hinnalle.

7.1 Kaukolämpöön liittyminen

Pori Energia tarjoaa kaukolämpöön liittymiseen valmiita avaimet käteen paketteja, jolloin asiakkaan ei tarvitse huolehtia osien ja asentajien hankinnasta. Paketin hintaan sisältyy kaikki asiakkaan tarvitsema kaukolämpötekniikka, kuten lämmönsiirtimet, perusautomaatiikka, pumpput ja muut komponentit, sekä kaikki asennustyöt ja asiakkaiden ohjeistukset.

Laitteiston lisäksi kaukolämpöön liittyjän pitää maksaa liittymismaksu, jonka hintaan sisältyy kiinteistön liittäminen kaukolämpöverkkoon, eli maahan vedettävien putkien ja niiden asennuksesta koituvat kustannukset. Liittymismaksu on Pori Energialla 3100 € pientaloille, ja avaimet käteen pakettiin kuuluvan 2-piirisen kaukolämpölaitteiston hinta on 6000 €. Avaimet käteen paketin hinnasta 1800 – 2300 € on kotitalousvähennyksen piiriin kuuluvaa asennustyötä. Liittymisen kokonaishinnaksi tulee näin ollen:

$$6000 \text{ €} + 3100 \text{ €} - (2050 \text{ €} - 100 \text{ €}) * 0,4 = 8320 \text{ €}$$

(Pori Energia www-sivut 2021)

7.2 Kaukolämmön kannattavuus

Koska kaukolämpöön liittyminen maksaa melko paljon, täytyy kaukolämmöllä näin ollen saada reippaita säästöjä nykyiseen järjestelmään verrattuna. Lasketaan kaukolämmöstä saatavaksi lämmön määräksi se teho, mitä kohteessa kulutetaan arviolta ilmalämpöpumpun kanssa, normeerattuna, ja korjaustoimenpiteiden jälkeen. Sähköä kuluisi siis kaukolämmön kanssa veden lämmittämiseen, lämmitykseen, ilmalämpöpumpun toimintaan ja muihin sähkölaitteisiin. Kaukolämpötehoa kulutettaisiin vuodessa noin 15,5 MWh, jolla korvattaisiin sähkön kulutusta.

Kaukolämmön käytönaikainen hinta muodostuu tehomaksusta, energiamaksusta ja arvonlisäverosta. Tehomaksu on pientaloille 10kW liittymällä 518,69 €/vuosi (sis. alv 24%). 10 kW liittymäteho on Pori Energian oma arvio pientaloille. Liittymäteho määräytyy sen mukaan, mikä on kiinteistön tarvitsema lämpöteho ulkolämpötilan ollessa

-26°C. Tammikuussa 15.01.2021 oltiinkin tällaisissa lämpötiloissa, ja tuolloin kiinteistön kokonaissähkönkulutus ylitti vain muutamina hetkinä 10kW rajan, joten 10kW liittymä riittää vallan mainiosti kohteeseen, sillä -26°C pakkaset ovat Porissa hyvin harvinaisia ja hetkellisiä.

Energiamaksu Porin runkoverkon alueella on 59,62 €/MWh (sis. alv 24 %). Sähkön hinta, mikä oli kaikkineen noin 120 €/MWh vuonna 2020 sisältää kaikki laskennassa käytettävät osat (energia, siirto, verot). Kaukolämmöllä saatavat vuotuiset säästöt saadaan siis laskettua seuraavasti:

$$15,5 \text{ MWh} * 120 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} - 15,5 \text{ MWh} * 59,62 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} - 518,69 \text{ €} = 417,2 \text{ €}$$

Kaukolämpöön vaihtamisen suora takaisinmaksuaika olisi näin ollen:

$$\frac{8320 \text{ €}}{417,2 \text{ €/vuosi}} = 19,94 \text{ vuotta} \approx 20 \text{ vuotta}$$

Pori Energian oman laskurin mukaan takaisinmaksuaika olisi vain 13 vuotta, mutta kyseinen arvo perustuu lähes 700 € vuosittaisiin säästöihin. Todennäköisesti laskurin käyttämät oletukset vääristävät tulosta, esim. kulutuksen jakautuminen on luultavasti erilaista kuin todellisuudessa. (Pori Energia [www-sivut](http://www.porienergia.fi) 2021)

20 vuoden takaisinmaksuaika ei ole kuitenkaan aivan kohtuuton, varsinkin kun ajatellaan laitteiston tuovan vakautta lämmitykseen, lämpimästä vedestä ei kaukolämmön kanssa pitäisi olla puutetta. Takaisinmaksuaika on kuitenkin erittäin riippuvainen kaukolämmön hinnan kehityksestä. Energiateollisuus ry:n kaukolämpötilastoja tarkastelemalla huomaa, että kaukolämmön keskihinta on Suomessa lähes kaksinkertaistunut vuoden 2005 tasosta, joskin hinnan nousu on ollut viimeisimpinä vuosina huomattavasti loivempaa. Hinta kuitenkin tulee mitä todennäköisemmin kasvamaan entisestään, joten 20 vuoden takaisinmaksuaika kaukolämpöön liittymiselle saattaa venyä entisestään. Toisaalta jos kaukolämmöllä korvataan sähkön kulutusta, ja myös sähkön hinta nousee, voi takaisinmaksuaika pysyä lasketulla tasolla. (Energiateollisuus ry [www-sivut](http://www.energiateollisuus.fi) 2021).

8 LOPPUTULOKSET

Opinnäytetyön alkuperäinen suunnitelma muuttui sitä tehdessä muutaman kerran uusien ongelmien ja seikkojen löytyessä, mutta loppujen lopuksi onnistuttiin pääsemään alkuperäisiin tavoitteisiin.

Suurimpana työnä oli kohteen kulutuksen selvittäminen, ja kulutuksen jakautuminen, mistä koitui jonkin verran päänvaivaa. Kohteen ollessa omakotitalo, jossa lämmitystä ei erikseen mitattu, ja josta ei ollut saatavilla aiempien vuosien kulutusta, jouduttiin tekemään jonkin verran arviointeja. Arvioit kuitenkin perustuvat todellisiin tuloksiin, ja luotettaviin kirjallisuuslähteisiin, joten niiden oletetaan osuneen ainakin osittain kohdilleen.

Lämmitysjärjestelmä on kohteen asukkaille eniten päänvaivaa tuottava ominaisuus, ja opinnäytetyön aikana ja ulkopuolella järjestelmän ongelmat aukesivat niin opinnäytetyön tekijälle, kuin itse asukkaillekin. Ongelmiin on kehitetty ratkaisut, ja kohteen asukkaat aikovatkin korjata lämmitysjärjestelmänsä pikimmiten. Korjauksista oletetaan koituvan säästöä noin 2100 kWh vuodessa, ja niillä pitäisi saada vähennettyä lämmityksen kanssa koettuja ongelmia.

Ilmalämpöpumppu piti alun perin mitoittaa kohteeseen, mutta jo hankitulle pumpulle onnistuttiin tekemään tuottoarviot ja takaisinmaksuajan laskenta. Ilmalämpöpumpun pitäisi maksaa itsensä takaisin kolmessa vuodessa lasketulla tuotolla, eikä laskenta ole kovin herkkä tuoton tippuessakaan.

Lisäksi mitoitettiin kohteeseen aurinkosähköjärjestelmä, ja todettiin koolla olevan merkitystä, suurin järjestelmä tuotti parhaat säästöt ja sen takaisinmaksuaika oli 17 vuotta. Herkkyystarkastelussa selvisi, että kyseinen järjestelmä pysyy kannattavana suurienkin muutosten alla, ja sillä saatiin parhaat säästöt kaikissa tarkasteluissa.

Viimeisänä tarkasteltiin kaukolämpöön liittymistä. Kaukolämpö olisi kohteen asukkaille kaikkein vaivattomin vaihtoehto, ja kaukolämpöön liittymiselle saatiin takaisinmaksuajaksi noin 20 vuotta.

LÄHTEET

24solar www-sivut 2021. Viitattu 28.01.2021. <https://24solar.fi/fi/solar/invert-terit/fronius/>

Electroluxin www-sivut 2021. Viitattu 26.01.2021. <https://www.electrolux.fi/vacuums-home-comfort/air-comfort/air-to-air-heatpumps/air-to-air-heat-pump/exn09c58hwo2/>

Energiatehokas Koti www-sivut 2020. Viitattu 19.01.2021. https://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/hyva_tietaa/suuntaa-antavia_ohjearvoja

Energiateollisuus ry:n www-sivut 2021. Viitattu 05.02.2021. <https://energia.fi/uutis-huone/materiaalipankki/kaukolampotilasto.html>

Ilmatieteenlaitoksen www-sivut 2021. Viitattu 18.01.2021. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>

Laitinen Ari. 2016. Ilma-ilmalämpöpumppujen energiankulutusvaikutukset pientaloissa. Viitattu 26.01.2021. https://www.motiva.fi/files/12022/Ilma-ilmalampopumppujen_energiankulutusvaikutukset_pientaloissa.pdf

Motiva: Aurinkosähköä kotiin kampanja. 2019. Viitattu 01.02.2021. https://www.motiva.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2019/aurinkosahkoa_kotiin_-kampanja_alkaa_aurinkosahkon_hinnat_laskeneet.13974.news

Motiva: Kulutuksen normitus. 2021. Viitattu 18.01.2021. https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus

Motiva: Vedenkulutuksen kyselytutkimus. 2020. Viitattu 14.01.2021. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/vedenkulutus

Nord Pool www-sivut 2021. Viitattu 28.01.2021. <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/FI/Yearly/?view=table>

Oomi sähköyhtiön www-sivut 2021. Viitattu 02.02.2021. <https://oomi.fi/>

Pori Energia www-sivut 2021. Viitattu 29.01.2021. <https://www.porienergia.fi/lampo/kaukolampo/palvelut/avaimet-kateen--palvelu>

Porin kaupungin rakennusjärjestys 2019. Viitattu 28.01.2021. https://www.pori.fi/sites/default/files/atoms/files/rakennusjarjestys_2019_1.pdf

PVGIS www-sivut 2021. Viitattu 28.01.2021. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP

Sinosola 275W monikide aurinkopaneeli. 2021. Viitattu 27.01.2021. <https://www.karkkainen.com/verkkokauppa/sinosola-275w-monikide-aurinkopaneeli>

Talotekniikan opetussivusto www-sivut 2021. Viitattu 02.02.2021. http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/lvi/aiho3/harjoitus6_kaavio.htm

Tilastokeskuksen www-sivut 2020. Viitattu 19.01.2021. https://www.stat.fi/til/asen/2019/asen_2019_2020-11-19_tie_001_fi.html

Vantaaweather www-sivut 2021. Viitattu 27.01.2021. <https://vantaaweather.info/sun.phtml?day=15&month=6&year=now&loc=UG9yaQ%3D%3D>

Verohallinnon www-sivut 2021. Viitattu 27.01.2021. <https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/verokortti-ja-veroilmoitus/tulot-ja-vahennykset/kotitalousvahennys/>

LIITE 1

	4	6	8	10	12	14	16	18
Vuosi								
0	2 192,76 €	2 563,18 €	2 970,62 €	3 970,61 €	4 341,03 €	4 711,44 €	5 410,45 €	5 780,87 €
1	2 112,07 €	2 440,69 €	2 807,30 €	3 766,72 €	4 102,88 €	4 445,34 €	5 116,23 €	5 458,85 €
2	2 031,38 €	2 318,21 €	2 643,99 €	3 562,83 €	3 864,73 €	4 179,24 €	4 822,00 €	5 136,84 €
3	1 950,69 €	2 195,72 €	2 480,68 €	3 358,95 €	3 626,59 €	3 913,13 €	4 527,78 €	4 814,82 €
4	1 869,99 €	2 073,24 €	2 317,36 €	3 155,06 €	3 388,44 €	3 647,03 €	4 233,55 €	4 492,81 €
5	1 789,30 €	1 950,75 €	2 154,05 €	2 951,17 €	3 150,29 €	3 380,93 €	3 939,33 €	4 170,80 €
6	1 708,61 €	1 828,27 €	1 990,74 €	2 747,28 €	2 912,15 €	3 114,82 €	3 645,10 €	3 848,78 €
7	1 627,92 €	1 705,78 €	1 827,43 €	2 543,39 €	2 674,00 €	2 848,72 €	3 350,88 €	3 526,77 €
8	1 547,23 €	1 583,30 €	1 664,11 €	2 339,50 €	2 435,86 €	2 582,62 €	3 056,65 €	3 204,76 €
9	1 466,53 €	1 460,81 €	1 500,80 €	2 135,61 €	2 197,71 €	2 316,52 €	2 762,43 €	2 882,74 €
10	1 385,84 €	1 338,33 €	1 337,49 €	1 931,72 €	1 959,56 €	2 050,41 €	2 468,20 €	2 560,73 €
11	1 305,15 €	1 215,84 €	1 174,17 €	1 727,84 €	1 721,42 €	1 784,31 €	2 173,98 €	2 238,72 €
12	1 224,46 €	1 093,36 €	1 010,86 €	1 523,95 €	1 483,27 €	1 518,21 €	1 879,75 €	1 916,70 €
13	1 143,76 €	970,87 €	847,55 €	1 320,06 €	1 245,12 €	1 252,11 €	1 585,53 €	1 594,69 €
14	1 063,07 €	848,39 €	684,23 €	1 116,17 €	1 006,98 €	986,00 €	1 291,30 €	1 272,68 €
15	1 889,58 €	1 633,10 €	1 451,91 €	2 247,79 €	2 104,34 €	2 055,41 €	2 543,72 €	2 497,30 €
16	1 808,89 €	1 510,62 €	1 288,60 €	2 043,90 €	1 866,19 €	1 789,31 €	2 249,49 €	2 175,29 €
17	1 728,20 €	1 388,13 €	1 125,28 €	1 840,01 €	1 628,05 €	1 523,20 €	1 955,26 €	1 853,28 €
18	1 647,50 €	1 265,65 €	961,97 €	1 636,13 €	1 389,90 €	1 257,10 €	1 661,04 €	1 531,26 €
19	1 566,81 €	1 143,17 €	798,66 €	1 432,24 €	1 151,75 €	991,00 €	1 366,81 €	1 209,25 €
20	1 486,12 €	1 020,68 €	635,35 €	1 228,35 €	913,61 €	724,90 €	1 072,59 €	887,24 €
21	1 405,43 €	898,20 €	472,03 €	1 024,46 €	675,46 €	458,79 €	778,36 €	565,22 €
22	1 324,74 €	775,71 €	308,72 €	820,57 €	437,31 €	192,69 €	484,14 €	243,21 €
23	1 244,04 €	653,23 €	145,41 €	616,68 €	199,17 €	- 73,41 €	189,91 €	- 78,80 €
24	1 163,35 €	530,74 €	- 17,91 €	412,79 €	- 38,98 €	- 339,51 €	- 104,31 €	- 400,82 €
25	1 082,66 €	408,26 €	- 181,22 €	208,90 €	- 277,12 €	- 605,62 €	- 398,54 €	- 722,83 €
26	1 001,97 €	285,77 €	- 344,53 €	5,02 €	- 515,27 €	- 871,72 €	- 692,76 €	- 1 044,84 €
27	921,28 €	163,29 €	- 507,85 €	- 198,87 €	- 753,42 €	- 1 137,82 €	- 986,99 €	- 1 366,86 €
28	840,58 €	40,80 €	- 671,16 €	- 402,76 €	- 991,56 €	- 1 403,93 €	- 1 281,21 €	- 1 688,87 €
29	759,89 €	- 81,68 €	- 834,47 €	- 606,65 €	- 1 229,71 €	- 1 670,03 €	- 1 575,44 €	- 2 010,88 €
30	679,20 €	- 204,17 €	- 997,79 €	- 810,54 €	- 1 467,86 €	- 1 936,13 €	- 1 869,66 €	- 2 332,90 €

Kuva 7. Herkkyystarkastelu 1, jossa järjestelmien odotettu tuotto onkin vain 75% alkuperäisestä, omakäytön osuus 75% odotetusta, mutta sähkön ostohinta nousee 20% ja samoin myyntihinta.

Vihreät solut kuvaavat vuosia, jolloin järjestelmä tuottaa säästöjä. Vaakariveillä on eri järjestelmät paneelimäärien mukaan, ja pystyryiveillä katsotaan vuosia. Laskentakaavana ollaan käytetty seuraavan kaltaista yhtälöä:

$X - ((A * O) + (B * M))$, jossa: X on edellisen vuoden investoinnin maksamaton osuus, A on itse käytetyn tuotetun sähkön osuus kWh, O on ostosähkön hinta €/kWh, B on verkkoon myytävän tuotetun sähkön määrä kWh, ja M on verkkoon myytävän sähkön hinta €/kWh. 15 vuoden kohdalla yhtälöön lisätään invertterin hinta. Laskennassa edellä mainitut arvot haettiin soluista, joiden arvoa pystyttiin muuttamaan eri kertoimilla herkkyystarkastelua varten.

LIITE 2

	4	6	8	10	12	14	16	18
Vuosi								
0	3 069,87 €	3 588,45 €	4 158,86 €	5 558,86 €	6 077,44 €	6 596,02 €	7 574,63 €	8 093,21 €
1	2 981,15 €	3 453,79 €	3 979,32 €	5 334,70 €	5 816,20 €	6 305,15 €	7 253,95 €	7 743,09 €
2	2 892,44 €	3 319,13 €	3 799,77 €	5 110,54 €	5 554,97 €	6 014,29 €	6 933,27 €	7 392,96 €
3	2 803,73 €	3 184,47 €	3 620,22 €	4 886,39 €	5 293,73 €	5 723,42 €	6 612,59 €	7 042,83 €
4	2 715,01 €	3 049,81 €	3 440,67 €	4 662,23 €	5 032,50 €	5 432,56 €	6 291,91 €	6 692,71 €
5	2 626,30 €	2 915,14 €	3 261,13 €	4 438,07 €	4 771,27 €	5 141,69 €	5 971,24 €	6 342,58 €
6	2 537,59 €	2 780,48 €	3 081,58 €	4 213,92 €	4 510,03 €	4 850,83 €	5 650,56 €	5 992,46 €
7	2 448,87 €	2 645,82 €	2 902,03 €	3 989,76 €	4 248,80 €	4 559,96 €	5 329,88 €	5 642,33 €
8	2 360,16 €	2 511,16 €	2 722,49 €	3 765,61 €	3 987,56 €	4 269,09 €	5 009,20 €	5 292,21 €
9	2 271,45 €	2 376,50 €	2 542,94 €	3 541,45 €	3 726,33 €	3 978,23 €	4 688,52 €	4 942,08 €
10	2 182,73 €	2 241,84 €	2 363,39 €	3 317,29 €	3 465,09 €	3 687,36 €	4 367,84 €	4 591,96 €
11	2 094,02 €	2 107,18 €	2 183,84 €	3 093,14 €	3 203,86 €	3 396,50 €	4 047,16 €	4 241,83 €
12	2 005,31 €	1 972,52 €	2 004,30 €	2 868,98 €	2 942,63 €	3 105,63 €	3 726,48 €	3 891,70 €
13	1 916,59 €	1 837,86 €	1 824,75 €	2 644,82 €	2 681,39 €	2 814,77 €	3 405,80 €	3 541,58 €
14	1 827,88 €	1 703,20 €	1 645,20 €	2 420,67 €	2 420,16 €	2 523,90 €	3 085,12 €	3 191,45 €
15	2 646,37 €	2 475,74 €	2 396,64 €	3 532,02 €	3 494,43 €	3 568,55 €	4 311,09 €	4 387,97 €
16	2 557,65 €	2 341,08 €	2 217,10 €	3 307,86 €	3 233,20 €	3 277,68 €	3 990,41 €	4 037,84 €
17	2 468,94 €	2 206,42 €	2 037,55 €	3 083,71 €	2 971,96 €	2 986,82 €	3 669,73 €	3 687,72 €
18	2 380,23 €	2 071,76 €	1 858,00 €	2 859,55 €	2 710,73 €	2 695,95 €	3 349,05 €	3 337,59 €
19	2 291,51 €	1 937,10 €	1 678,45 €	2 635,39 €	2 449,50 €	2 405,09 €	3 028,37 €	2 987,47 €
20	2 202,80 €	1 802,44 €	1 498,91 €	2 411,24 €	2 188,26 €	2 114,22 €	2 707,69 €	2 637,34 €
21	2 114,09 €	1 667,78 €	1 319,36 €	2 187,08 €	1 927,03 €	1 823,35 €	2 387,01 €	2 287,21 €
22	2 025,37 €	1 533,12 €	1 139,81 €	1 962,93 €	1 665,79 €	1 532,49 €	2 066,33 €	1 937,09 €
23	1 936,66 €	1 398,46 €	960,26 €	1 738,77 €	1 404,56 €	1 241,62 €	1 745,65 €	1 586,96 €
24	1 847,95 €	1 263,80 €	780,72 €	1 514,61 €	1 143,32 €	950,76 €	1 424,97 €	1 236,84 €
25	1 759,23 €	1 129,13 €	601,17 €	1 290,46 €	882,09 €	659,89 €	1 104,29 €	886,71 €
26	1 670,52 €	994,47 €	421,62 €	1 066,30 €	620,86 €	369,03 €	783,62 €	536,59 €
27	1 581,81 €	859,81 €	242,08 €	842,14 €	359,62 €	78,16 €	462,94 €	186,46 €
28	1 493,09 €	725,15 €	62,53 €	617,99 €	98,39 €	- 212,70 €	142,26 €	- 163,66 €
29	1 404,38 €	590,49 €	- 117,02 €	393,83 €	- 162,85 €	- 503,57 €	- 178,42 €	- 513,79 €
30	1 315,67 €	455,83 €	- 296,57 €	169,67 €	- 424,08 €	- 794,43 €	- 499,10 €	- 863,92 €

Kuva 8. Herkkyystarkastelu 2, jossa investointien hinta onkin 40 % suurempi ja tuotto on vain 80% odotetusta.

Vihreät solut kuvaavat vuosia, jolloin järjestelmä tuottaa säästöjä. Vaakariveillä on eri järjestelmät paneelimäärien mukaan, ja pystyryiveillä katsotaan vuosia. Laskentakaavana ollaan käytetty seuraavan kaltaista yhtälöä:

$X - ((A * O) + (B * M))$, jossa: X on edellisen vuoden investoinnin maksamaton osuus, A on itse käytetyn tuotetun sähkön osuus kWh, O on ostosähkön hinta €/kWh, B on verkkoon myytävän tuotetun sähkön määrä kWh, ja M on verkkoon myytävän sähkön hinta €/kWh. 15 vuoden kohdalla yhtälöön lisätään invertterin hinta. Laskennassa edellä mainitut arvot haettiin soluista, joiden arvoa pystyttiin muuttamaan eri kertoimilla herkkyystarkastelua varten.

LIITE 3

	4	6	8	10	12	14	16	18
Vuosi								
0	1 644,57 €	1 922,38 €	2 227,96 €	2 977,96 €	3 255,77 €	3 533,58 €	4 057,84 €	4 335,65 €
1	1 498,19 €	1 700,19 €	1 931,71 €	2 608,10 €	2 824,73 €	3 053,65 €	3 528,72 €	3 757,94 €
2	1 351,82 €	1 478,00 €	1 635,46 €	2 238,24 €	2 393,70 €	2 573,73 €	2 999,60 €	3 180,23 €
3	1 205,44 €	1 255,81 €	1 339,20 €	1 868,38 €	1 962,66 €	2 093,80 €	2 470,48 €	2 602,53 €
4	1 059,06 €	1 033,62 €	1 042,95 €	1 498,53 €	1 531,62 €	1 613,87 €	1 941,36 €	2 024,82 €
5	912,69 €	811,43 €	746,70 €	1 128,67 €	1 100,59 €	1 133,94 €	1 412,24 €	1 447,11 €
6	766,31 €	589,24 €	450,44 €	758,81 €	669,55 €	654,01 €	883,12 €	869,41 €
7	619,93 €	367,05 €	154,19 €	388,95 €	238,51 €	174,09 €	354,00 €	291,70 €
8	473,56 €	144,86 €	- 142,06 €	19,09 €	- 192,52 €	- 305,84 €	- 175,13 €	- 286,01 €
9	327,18 €	- 77,33 €	- 438,32 €	- 350,76 €	- 623,56 €	- 785,77 €	- 704,25 €	- 863,72 €
10	180,80 €	- 299,52 €	- 734,57 €	- 720,62 €	- 1 054,60 €	- 1 265,70 €	- 1 233,37 €	- 1 441,42 €
11	34,42 €	- 521,71 €	- 1 030,82 €	- 1 090,48 €	- 1 485,63 €	- 1 745,63 €	- 1 762,49 €	- 2 019,13 €
12	- 111,95 €	- 743,90 €	- 1 327,07 €	- 1 460,34 €	- 1 916,67 €	- 2 225,55 €	- 2 291,61 €	- 2 596,84 €
13	- 258,33 €	- 966,09 €	- 1 623,33 €	- 1 830,20 €	- 2 347,71 €	- 2 705,48 €	- 2 820,73 €	- 3 174,54 €
14	- 404,71 €	- 1 188,28 €	- 1 919,58 €	- 2 200,05 €	- 2 778,74 €	- 3 185,41 €	- 3 349,85 €	- 3 752,25 €
15	356,12 €	- 503,27 €	- 1 284,84 €	- 1 234,40 €	- 1 874,27 €	- 2 329,83 €	- 2 332,33 €	- 2 783,32 €
16	209,74 €	- 725,45 €	- 1 581,10 €	- 1 604,26 €	- 2 305,31 €	- 2 809,75 €	- 2 861,45 €	- 3 361,03 €
17	63,36 €	- 947,64 €	- 1 877,35 €	- 1 974,12 €	- 2 736,34 €	- 3 289,68 €	- 3 390,57 €	- 3 938,73 €
18	- 83,02 €	- 1 169,83 €	- 2 173,60 €	- 2 343,98 €	- 3 167,38 €	- 3 769,61 €	- 3 919,69 €	- 4 516,44 €
19	- 229,39 €	- 1 392,02 €	- 2 469,86 €	- 2 713,83 €	- 3 598,41 €	- 4 249,54 €	- 4 448,81 €	- 5 094,15 €
20	- 375,77 €	- 1 614,21 €	- 2 766,11 €	- 3 083,69 €	- 4 029,45 €	- 4 729,47 €	- 4 977,93 €	- 5 671,86 €
21	- 522,15 €	- 1 836,40 €	- 3 062,36 €	- 3 453,55 €	- 4 460,49 €	- 5 209,39 €	- 5 507,05 €	- 6 249,56 €
22	- 668,52 €	- 2 058,59 €	- 3 358,62 €	- 3 823,41 €	- 4 891,52 €	- 5 689,32 €	- 6 036,17 €	- 6 827,27 €
23	- 814,90 €	- 2 280,78 €	- 3 654,87 €	- 4 193,27 €	- 5 322,56 €	- 6 169,25 €	- 6 565,29 €	- 7 404,98 €
24	- 961,28 €	- 2 502,97 €	- 3 951,12 €	- 4 563,13 €	- 5 753,60 €	- 6 649,18 €	- 7 094,41 €	- 7 982,68 €
25	- 1 107,66 €	- 2 725,16 €	- 4 247,38 €	- 4 932,98 €	- 6 184,63 €	- 7 129,11 €	- 7 623,53 €	- 8 560,39 €
26	- 1 254,03 €	- 2 947,35 €	- 4 543,63 €	- 5 302,84 €	- 6 615,67 €	- 7 609,03 €	- 8 152,65 €	- 9 138,10 €
27	- 1 400,41 €	- 3 169,54 €	- 4 839,88 €	- 5 672,70 €	- 7 046,71 €	- 8 088,96 €	- 8 681,77 €	- 9 715,81 €
28	- 1 546,79 €	- 3 391,73 €	- 5 136,13 €	- 6 042,56 €	- 7 477,74 €	- 8 568,89 €	- 9 210,89 €	- 10 293,51 €
29	- 1 693,16 €	- 3 613,92 €	- 5 432,39 €	- 6 412,42 €	- 7 908,78 €	- 9 048,82 €	- 9 740,01 €	- 10 871,22 €
30	- 1 839,54 €	- 3 836,11 €	- 5 728,64 €	- 6 782,27 €	- 8 339,82 €	- 9 528,74 €	- 10 269,13 €	- 11 448,93 €

Kuva 9. Herkkyystarkastelu 3, jossa tuotto onkin 10% odotettua suurempaa, ja sähkön osto ja myyntihinta nousevat 20 %. Investointien hinta on 75% alkuperäisestä ja omakäytön osuus on alkuperäinen.

Vihreät solut kuvaavat vuosia, jolloin järjestelmä tuottaa säästöjä. Vaakariveillä on eri järjestelmät paneelimäärien mukaan, ja pystyryiveillä katsotaan vuosia. Laskentakaavana ollaan käytetty seuraavan kaltaista yhtälöä:

$X - ((A * O) + (B * M))$, jossa: X on edellisen vuoden investoinnin maksamaton osuus, A on itse käytetyn tuotetun sähkön osuus kWh, O on ostosähkön hinta €/kWh, B on verkkoon myytävän tuotetun sähkön määrä kWh, ja M on verkkoon myytävän sähkön hinta €/kWh. 15 vuoden kohdalla yhtälöön lisätään invertterin hinta. Laskennassa edellä mainitut arvot haettiin soluista, joiden arvoa pystyttiin muuttamaan eri kertoimilla herkkyystarkastelua varten.

LIITE 4

	4	6	8	10	12	14	16	18
Vuosi								
0	2 192,76 €	2 563,18 €	2 970,62 €	3 970,61 €	4 341,03 €	4 711,44 €	5 410,45 €	5 780,87 €
1	2 081,87 €	2 394,85 €	2 746,18 €	3 690,42 €	4 014,48 €	4 347,86 €	5 009,60 €	5 343,21 €
2	1 970,98 €	2 226,53 €	2 521,75 €	3 410,22 €	3 687,94 €	3 984,28 €	4 608,75 €	4 905,55 €
3	1 860,09 €	2 058,20 €	2 297,31 €	3 130,03 €	3 361,40 €	3 620,70 €	4 207,90 €	4 467,89 €
4	1 749,20 €	1 889,87 €	2 072,88 €	2 849,83 €	3 034,86 €	3 257,11 €	3 807,06 €	4 030,24 €
5	1 638,30 €	1 721,55 €	1 848,45 €	2 569,63 €	2 708,31 €	2 893,53 €	3 406,21 €	3 592,58 €
6	1 527,41 €	1 553,22 €	1 624,01 €	2 289,44 €	2 381,77 €	2 529,95 €	3 005,36 €	3 154,92 €
7	1 416,52 €	1 384,90 €	1 399,58 €	2 009,24 €	2 055,23 €	2 166,37 €	2 604,51 €	2 717,27 €
8	1 305,63 €	1 216,57 €	1 175,14 €	1 729,05 €	1 728,68 €	1 802,79 €	2 203,66 €	2 279,61 €
9	1 194,74 €	1 048,25 €	950,71 €	1 448,85 €	1 402,14 €	1 439,21 €	1 802,81 €	1 841,95 €
10	1 083,84 €	879,92 €	726,28 €	1 168,66 €	1 075,60 €	1 075,62 €	1 401,96 €	1 404,30 €
11	972,95 €	711,59 €	501,84 €	888,46 €	749,06 €	712,04 €	1 001,11 €	966,64 €
12	862,06 €	543,27 €	277,41 €	608,27 €	422,51 €	348,46 €	600,27 €	528,98 €
13	751,17 €	374,94 €	52,97 €	328,07 €	95,97 €	- 15,12 €	199,42 €	91,32 €
14	640,28 €	206,62 €	- 171,46 €	47,87 €	- 230,57 €	- 378,70 €	- 201,43 €	- 346,33 €
15	2 343,79 €	1 852,69 €	1 466,08 €	2 438,70 €	2 113,90 €	1 928,74 €	2 491,00 €	2 309,29 €
16	2 232,89 €	1 684,37 €	1 241,65 €	2 158,50 €	1 787,36 €	1 565,15 €	2 090,15 €	1 871,63 €
17	2 122,00 €	1 516,04 €	1 017,22 €	1 878,31 €	1 460,82 €	1 201,57 €	1 689,30 €	1 433,98 €
18	2 011,11 €	1 347,72 €	792,78 €	1 598,11 €	1 134,28 €	837,99 €	1 288,45 €	996,32 €
19	1 900,22 €	1 179,39 €	568,35 €	1 317,92 €	807,73 €	474,41 €	887,60 €	558,66 €
20	1 789,33 €	1 011,06 €	343,91 €	1 037,72 €	481,19 €	110,83 €	486,75 €	121,01 €
21	1 678,44 €	842,74 €	119,48 €	757,53 €	154,65 €	- 252,75 €	85,91 €	- 316,65 €
22	1 567,54 €	674,41 €	- 104,95 €	477,33 €	- 171,90 €	- 616,34 €	- 314,94 €	- 754,31 €
23	1 456,65 €	506,09 €	- 329,39 €	197,13 €	- 498,44 €	- 979,92 €	- 715,79 €	- 1 191,97 €
24	1 345,76 €	337,76 €	- 553,82 €	- 83,06 €	- 824,98 €	- 1 343,50 €	- 1 116,64 €	- 1 629,62 €
25	1 234,87 €	169,44 €	- 778,26 €	- 363,26 €	- 1 151,52 €	- 1 707,08 €	- 1 517,49 €	- 2 067,28 €
26	1 123,98 €	1,11 €	- 1 002,69 €	- 643,45 €	- 1 478,07 €	- 2 070,66 €	- 1 918,34 €	- 2 504,94 €
27	1 013,09 €	- 167,22 €	- 1 227,13 €	- 923,65 €	- 1 804,61 €	- 2 434,24 €	- 2 319,19 €	- 2 942,59 €
28	902,19 €	- 335,54 €	- 1 451,56 €	- 1 203,84 €	- 2 131,15 €	- 2 797,83 €	- 2 720,04 €	- 3 380,25 €
29	791,30 €	- 503,87 €	- 1 675,99 €	- 1 484,04 €	- 2 457,70 €	- 3 161,41 €	- 3 120,88 €	- 3 817,91 €
30	680,41 €	- 672,19 €	- 1 900,43 €	- 1 764,23 €	- 2 784,24 €	- 3 524,99 €	- 3 521,73 €	- 4 255,56 €

Kuva 10. Herkkyystarkastelu 4, jossa ollaan tarkasteltu, miten järjestelmien kannattavuuteen vaikuttaisi, jos invertteri pitäisikin vaihtaa kahdesti 30 vuoden pitoajalla.

Vihreät solut kuvaavat vuosia, jolloin järjestelmä tuottaa säästöjä. Vaakariveillä on eri järjestelmät paneelimäärien mukaan, ja pystyriveillä katsotaan vuosia. Laskentakaavana ollaan käytetty seuraavan kaltaista yhtälöä:

$X - ((A * O) + (B * M))$, jossa: X on edellisen vuoden investoinnin maksamaton osuus, A on itse käytetyn tuotetun sähkön osuus kWh, O on ostosähkön hinta €/kWh, B on verkkoon myytävän tuotetun sähkön määrä kWh, ja M on verkkoon myytävän sähkön hinta €/kWh. 15 vuoden kohdalla yhtälöön lisätään invertterin hinta. Laskennassa edellä mainitut arvot haettiin soluista, joiden arvoa pystyttiin muuttamaan eri kertoimilla herkkyystarkastelua varten.