

Otto Niemi

Pientalon luonnosvaiheen energialaskelmat ja järjestelmävertailut

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

19.4.2018

Tekijä Otsikko	Otto Niemi Pientalon luonnosvaiheen energialaskelmat ja järjestelmävertailut
Sivumäärä Aika	43 sivua + 6 liitettä 19.4.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-tekniikka
Ohjaaja	yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Insinööriyön tavoitteena oli mallintaa luonnossuunnitteluvaiheessa olevan pientalon vuotuinen energiatase tuntikohtaisesti käyttämällä hyväksi Vantaan energialaskennan normaali vuoden säätietoja, FINVAC ry:n sähkönkulutusprofiileja asuinrakennukselle sekä erilaisia excel-pohjaisia laskurityökaluja. Työssä tarkasteltiin myös tapoja vaikuttaa pientalon energiankulutukseen aikaisessa suunnitteluvaiheessa. Tilojen jäähdytysjärjestelmät rajattiin työn ulkopuolelle. Työ toteutettiin teoreettisena tutkielmana ilman konkreettisia mittauksia tai testauksia.</p> <p>Tarkasteltavaan kohteeseen tehtiin laskelma vuotuisesta energiantarpeesta, sekä vertailtiin erilaisia lämmitystapoja. Lämmitystavaksi valittiin lämpöpumppu, jonka sähkönkulutus arvioitiin tuntikohtaisesti. Kohteeseen laskettiin vuoden joka tunnille kokonaissähkönkulutus taloteknisten laitteiden, valaistuksen sekä kuluttajalaitteiden sähkönkulutuksen summana. Lopuksi laskettiin kohteeseen suunniteltavan aurinkosähköjärjestelmän energiantuotto tuntikohtaisesti. Tuntikohtaista energiatasetta käytettiin aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden arviointiin. Työssä vertailtiin valitun toimittajan kolmea eri kokoista järjestelmää, ja lisäksi tarkasteltiin parasta niistä, kun koko paneelipinta-ala on suunnattu etelään tai puolet siitä itään ja puolet länteen. Kannattavuutta arvioitiin myös tilanteessa, jossa ladattiin sähköautoa säännöllisesti.</p> <p>Olenaisina tuloksina selvisi, että aurinkoenergiaa hyödyntävän pientalon energiankulutukseen voidaan suunnitteluvaiheessa vaikuttaa esimerkiksi rakennuksen muodoilla, lämpimän käyttöveden varaajan logiikkaohjauksen suunnittelulla tai kuluttajalaitteiden käytön painottamisella aurinkosähkön tuotannon ajankohtiin. Logiikkaohjausta tai kuluttajalaitteiden käytön painotusta ei vielä sovellettu insinööriyön kohteessa. Valitun aurinkosähkötöimittajan optimaalisesti mitoitettu järjestelmä oli kohteessa heikosti kannattava. Etelään suunnattu järjestelmä oli kannattavampi kuin itä-länsi-suuntainen. Sähköauton säännöllinen lataus vähensi optimaalisen järjestelmän takaisinmaksuaikaa noin 5 vuotta. Kohteeseen alun perin liian iso järjestelmä muuttui alun perin sopivimman kokoista järjestelmää kannattavammaksi, kun sähköauton lataus huomioitiin. Ylijäämänsähkön myyntituottojen poistaminen laskelmasta teki aurinkosähköstä kannattamattoman investoinnin. Saatuja tuloksia voidaan hyödyntää jatkossa, kun tarkasteltavan kohteen suunnittelu etenee.</p>	
Avainsanat	pientalo, lämpöpumppu, aurinkosähkö

Author Title	Otto Niemi Draft-phase Energy Calculations and System Comparison for a Detached House
Number of Pages Date	43 pages + 6 appendices 19 April 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC engineering
Instructors	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to model the annual energy balance of a detached house in a draft-planning phase. The methods used were literary review and theoretical calculations without physical measurements or testing.</p> <p>The annual energy demand of the building was calculated on an hourly basis, comparing different heating options. The total electricity consumption, which became also the total energy consumption, was calculated. Finally, the electricity production of a photovoltaics system was approximated on an hourly basis. The hourly energy balance was used to calculate the profitability of the photovoltaics system. Different systems were compared and the best one was also simulated in different orientations. The profitability was also calculated in a situation where an electrical vehicle was recharged regularly.</p> <p>The results showed that the most suitable photovoltaics system from the selected supplier was poorly profitable. A south-facing installation was more profitable than a half-east and half-west facing installation. The most suitable for the building when vehicle recharging process was included in calculations was one that was originally deemed too large. Removing the sales profits of surplus solar energy made all photovoltaics systems unprofitable in the calculation period. The results of thesis can be utilized when the design process for the building continues.</p>	
Keywords	detached house, heat pump, photovoltaics

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tutkimuskohteen esittely	2
2.1	Koko ja muoto	2
2.2	Rakenteet ja tekniset ominaisuudet	3
2.3	Lämmitystarpeen laskentaperusteet	5
2.4	Energiatehokkuuden huomiointi rakennussuunnittelussa	5
3	Kohteen lämmitysenergian kulutus	7
3.1	Lämmitysenergian tarpeen laskentamenetelmä	7
3.2	Tilojen, käyttöveden ja ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian tarve	8
3.3	Kohteeseen sopivien lämmitysjärjestelmien vertailu	9
3.4	Lämmitysjärjestelmän valinta kohteen energialaskelmaa varten	14
4	Kohteen sähköenergian kulutus	15
4.1	Lämmitysjärjestelmän sähköenergian tarve	15
4.2	Ilmanvaihdon lämmityksen ja puhaltimien sähköenergian tarve	21
4.3	Lisälämmityksen ja lämmityksen apulaitteiden sähköenergian tarve	22
4.4	Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähköenergian tarve	23
4.5	Kohteen kokonaissähkökulutus ja energiansäästöpotentiaali	25
5	Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus	26
5.1	Järjestelmän vuosituotannon laskenta	26
5.2	Järjestelmän kannattavuus	30
5.3	Sähköauton lataus aurinkosähköllä	32
6	Tulokset	32
7	Yhteenveto	37
	Lähteet	40

Liitteet

Liite 1. Toimittajan mitoituslaskelma maalämpöpumpulle

Liite 2. Toimittajan mitoituslaskelma ilma-vesilämpöpumpulle

Liite 3. Toimittajan mitoituslaskelma poistoilmalämpöpumpulle

Liite 4. Lämpöpumppujen energialaskentaoppaan säätiedot säävyöhykkeille I & II

Liite 5. Esimerkinäkymä laaditusta energialaskurista

Liite 6. Laskennassa käytetyt sähkönkulutusprofiilit

Lyhenteet

COP	<i>Coefficient of performance.</i> Lämpökerroin, joka kuvaa lämpöpumpun hyötysuhdetta. COP-luku on tuotetun energian suhde käytettyyn energiaan. COP-luku määritellään standardin EN14511 mukaisesti.
huipputeho	Lämmitysjärjestelmän mitoitusteho, joka tarvitaan ulkolämpötilan mitoitusolosuhteissa.
IAM	<i>Incident Angle Modifier.</i> Tulokulman aiheuttama kerroin. Auringon säteen ja aurinkopaneelin välinen suuri kohtauskulma aiheuttaa heijastuksia, jotka heikentävät paneelin tehoa.
kW _p	<i>Kilowatt-peak.</i> Aurinkosähköjärjestelmän huipputeho kilowatteina. Teho mitataan standardiolosuhteissa, jossa auringonsäteilyn teho on 1000 W/m ² ja paneelin lämpötila +25 °C.
LKV	Lämmin käyttövesi.
LTO	Lämmöntalteenotto.
q ₅₀	Rakennusvaipan ilmanvuotoluku.
SCOP	<i>Seasonal coefficient of performance.</i> Vuotuinen lämpöpumpun lämpökerroin, joka on vuotuisen lämmitysenergian tarpeen suhde vuotuisen lämmitysjärjestelmän energiantarpeeseen. SCOP-luku määritellään standardin EN14825 mukaisesti.
SFP	<i>Specific fan power.</i> Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho.
TRY2012	Rakennusten energialaskennassa käytettävä sääaineisto, joka perustuu vuosien 1980–2009 säähavaintoihin.
U-arvo	Lämmönläpäisykerroin. Kertoo lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen.

1 Johdanto

Tämä insinööri työ sai alkunsa tekijän kiinnostuksesta energiaomavaraisuutta kohti pyrkivään pientaloasumiseen. Energiaomavaraisuuteen pyrkiväksi asuinmuodoksi voidaan käsittää toisessa ääripäässä hirsimökki, jossa on alkeellinen puulämmitys sekä painovoimainen ilmanvaihto ja toisessa ääripäässä passiivitalo, joka kuluttaa mitättömän vähän lämmitysenergiaa ja tuottaa suurimman osan tarvitsemastaan sähkö- ja lämmitysenergiasta uusiutuvien energiamuotojen tai asumisen hukkalämmön avulla. Tässä työssä pyritään kulkemaan näiden ääripäiden välillä käyttäen esimerkkeinä keskimääräisiä ja yleisesti käytössä olevia ratkaisuja.

Asumisen energiatehokkuuteen liittyvinä järjestelminä nähdään nykypäivänä usein lämpöpumppu- ja aurinkosähköjärjestelmät. Kun kuluttaja lähtee etsimään tietoa näistä järjestelmistä, hän saattaa kohdata teknisten käsitteiden ja myyntipuheiden viidakon. Hänen voi olla vaikea tehdä objektiivista päätöstä siitä, mikä olisi paras energiatehokkuuden kokonaisratkaisu uudessa pientalossa. Tässä työssä pyritään kartoittamaan, millä keinoilla pientalon energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa luonnossuunnitteluvaiheessa perehtymällä lämpöpumppujen ja aurinkosähköjärjestelmien energiantuottoon ja -kuluksiin.

Insinööri työnsä tavoitteena on suunnitella ja mitoittaa Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisesti toteutettavaan pientaloon investointi- ja energiakustannuksiltaan sopivin lämmitysjärjestelmä sekä aurinkosähköjärjestelmä. Lämmitysjärjestelmän valinnassa otetaan huomioon myös energiaomavaraisuuden tavoittelu. Rakennuksen arvioidusta energiankulutuksesta ja -tuotannosta tehdään vuositason tuntikohtainen laskelma, jolla voidaan tarkasti arvioida rakennuksen energiatasetta lämmitysenergian ja sähkön osalta. Lopuksi tarkastellaan tilannetta, jossa käytössä on myös sähköauto, jota ladataan kiinteistössä yhtenä arkipäivänä ja viikonloppuisin. Työssä tarkasteltava rakennus on luonnosvaiheessa, ja tarkoitus on tehdä aikaisen vaiheen energialaskelma lämmityksen ja aurinkosähkön tuotannon osalta. Työssä ei käsitellä tilojen jäähdytysjärjestelmiä.

Insinööri työnsä aineistona käytetään rakennus- ja talotekniikka-alan kirjallisuutta sekä verkkoaineistoja. Olennaisena osana tutkimusmateriaalia ovat myös rakentamista koskeva lainsäädäntö ja rakentamismääräykset.

Pientalojen lämpöpumpuista haetaan tietoa lämpöpumppujen toimittajalta. Rakennuksen energiankulutusta tarkastellaan erilaisilla Microsoft Excel -pohjaisilla laskureilla sekä IDA ICE -ohjelmistolla. Insinööriyössä hyödynnettyjä olemassa olevia laskureita ovat Eksergia-verkkosivuston Rakennusten energialaskuri 1.3 (Laukkanen 2015) sekä Fin-Solar-hankkeen Aurinkosähkön kannattavuuslaskurin versio 13.6.2017 (Auvinen & Juntunen 2017). Pientalon lämmitysmuotoja on vertailtu Lämmitystapojen vertailulaskurilla (Motiva Oy). Insinööriyön lopputuote on rakennuksen tuntikohtainen energialaskelma, joka perustuu Vantaan energialaskennan testivuosi 2012 -säätietoihin ja joka on rakennettu testivuoden Excel-tiedoston tietoihin pohjautuen.

Insinööriyön raportin rakenne on seuraava: Ensin esitellään tutkimuskohde ja lasketaan sen vuotuinen energiantarve. Tämän jälkeen valitaan lämmitysjärjestelmä ja mallinnetaan lämmitysenergian tarvetta valitun lämmitysjärjestelmän kannalta. Seuraavaksi lasketaan taloteknisten järjestelmien sähköenergian tarve sekä valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähköenergian tarve. Lopuksi mitoitetaan aurinkosähköjärjestelmä ja lasketaan sähköauton latauksen sähköenergian tarve, kun latausteho mitoitetaan aurinkosähköjärjestelmän kannalta sopivaksi. Tulokset-osassa verrataan erilaisia järjestelmävaihtoehtoja kannattavuuden näkökulmasta. Lopuksi tehdään yhteenveto insinööriyössä tehdyistä havainnoista.

2 Tutkimuskohteen esittely

2.1 Koko ja muoto

Insinööriyössä tarkasteltava pientalo on kaksikerroksinen, pohjaratkaisultaan neliön muotoinen rakennus. Ulkoseinien sisäpituudet ovat 7,75 m, matalin korkeus alapohjasta yläpohjaan on 4,5 m ja pisin korkeus 7,75 m. Lämmitetty nettoala on 120 m² ja huoneistoala noin 115 m². Lämmitetyllä nettoalalla (m²) tarkoitetaan lämmitettyjen kerrostasojen summaa kerrostasoja ympäröivien ulkoseinien sisäpintojen mukaan laskettuna (Ympäristöministeriön asetus 2017: 2). Huoneistoalalla tarkoitetaan pinta-alaa, joka lasketaan huoneistoon kuuluvien tilojen sekä ei-kantavien seinien rakennusosa-alojen summana (SFS 5139: 9). Pientaloteollisuus ry:n mukaan keskimääräinen vuonna 2016 valmistunut omakotitalo oli huoneistoalaltaan 144 m².

Vuonna 2016 kaikkien suomalaisten olemassa olevien omakotitalojen keskimääräinen huoneistoala oli 111,5 m² (Keskimääräinen omakotitalo 2016). Kuvassa 1 on esitetty rakennuksen muoto mallinnettuna IDA ICE -ohjelmistolla.



Kuva 1. Insinööriyössä tarkasteltava rakennus mallinnettuna IDA ICE -ohjelmistolla. Kuvassa näkyvä harjakaton lape osoittaa etelään.

2.2 Rakenteet ja tekniset ominaisuudet

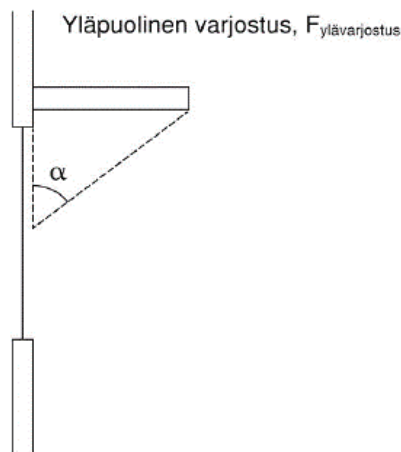
Insinööriyössä tarkastellaan puurunkoista rakennusta, jossa on maanvarainen betoni-
nen alapohja. 69 % vuonna 2016 valmistuneista omakotitaloista oli runkomateriaaliltaan
puuta (Omakotitalojen runkomateriaali 2017). Rakennusvaipan U-arvot, ilmanvaihdon
lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde, ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho
(SFP) sekä ilmanvuotoluku (q_{50}) on valittu Ympäristöministeriön energiatehokkuusase-
tuksen vertailuarvojen perusteella. Vertailuarvot on esitetty taulukossa 1.

Ikkunoiden pinta-alaksi on arvioitu asetuksen mukaisesti 15 % rakennuksen kerrosta-
soalasta eli n. 20 m² (Ympäristöministeriön asetus 2017: 11–12).

Taulukko 1. Rakennusosien U-arvot, LTO:n vuosihyötysuhde ja ilmanvuotoluku.

Rakennusosa	U-arvo (W/m ² K)
Ulkoseinä	0,17
Yläpohja	0,09
Alapohja (maanvastainen)	0,16
Ikkuna, Ovi	1
LTO:n vuosihyötysuhde	55 %
Ilmanvaihtokoneen SFP-luku	1,8 kW/(m ³ /s)
Ilmanvuotoluku q₅₀	2 m ³ /h m ²

Ikkunoiden ala jakautuu siten, että itä- ja länsiseinällä on kummallakin 6,5 m² ikkunoita ja eteläseinällä 7 m². Rakennuksen eteläseinällä on lasinen pihaovi, joka on auringon lämpökuormien laskennassa laskettu ikkunaksi. Tällöin eteläseinän ikkunapinta-alaksi saadaan yhteensä 10 m². Pääovi sijaitsee länsisivustalla. Rakennuksen eteläseinän ikkunoiden ja oven yläpuolella sijaitsee liiallisen kesäaikaisen auringonsäteilyn välttämiseksi yläpuolinen varjostus, jonka ulkoreunasta ikkunan keskipisteeseen piirretty kuvitteellinen suora muodostaa 60⁰:n kulman (kulma α) ikkunapinnan kanssa. (Kuva 2)



Kuva 2. Eteläseinän ikkunoiden yläpuolinen varjostus (Ohje – Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2017).

2.3 Lämmitystarpeen laskentaperusteet

Rakennuksen lämmitystarve lasketaan tässä insinööriyössä soveltaen pääosin ympäristöministeriön asetusta uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (2017) sekä ympäristöministeriön ohjetta rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaan (2017). Laskennan tuloksena saadaan rakennuksen energiankulutuksen lisäksi laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluku, E-luku.

Tässä insinööriyössä E-luvulla ei sinänsä ole käyttöä, mutta E-luvun laskentatavan mukaan laskettu energiankulutus on vertailukelpoinen muiden rakennusten vastaavalla tavalla laskettujen energiankulutusten kanssa. Energiatehokkuusasetuksen 13 §:n mukaan ”yhden käyttötarkoituksen rakennuksen E-luvun laskennassa voidaan koko rakennus laskea yhtenä laskentavyöhykkeenä” (Ympäristöministeriön asetus 2017: 8). Tämän takia esimerkiksi tilaohjelmaa ei insinööriyössä tarkasteltavalle rakennukselle tarvitse luonnosvaiheessa tehdä.

Rakennuksen lämmitystarpeen sekä auringon säteilyenergian laskentaa varten Suomi on jaettu neljään säävyöhykkeeseen, joilla on erilaiset lämmitystarvetta mitoittavat ulkoilman lämpötilat. (Ympäristöministeriön asetus 2017: 17–19). E-luku lasketaan (rakennuksen sijainnista huolimatta) säävyöhykkeen I ulkolämpötilan mukaisesti tulosten vertailukelpoisuuden vuoksi. Vyöhykkeellä I mitoittava ulkolämpötila on -26 °C (Ympäristöministeriön asetus 2017: 6, 17). Insinööriyössä tarkasteltava kohde ajatellaan sijoitettavaksi joka tapauksessa vyöhykkeelle I, joten edellä mainittu seikka ei aiheuta eroavaisuuksia laskennallisen ja todellisen energiankulutuksen välille.

2.4 Energiatehokkuuden huomiointi rakennussuunnittelussa

Rakennuksen muoto on haettu energiatehokkuus huomioiden. Energiatehokkuuteen vaikuttaminen alkaa jo rakennussuunnitteluvaiheessa. Energiatehokkuuden parantamiseen on käytetty apukeinoina painotettua muotokerrointa sekä aurinkoenergian passiivista hyödyntämistä. Painotettu muotokerroin kertoo, mikä on rakennusvaipan painotettu ala A_v suhteessa ohjelma-alaan. Tällä kuvataan tilojen lämmitystarpeen suhdetta hyödynnettävän tilan suuruuteen (Energiatehokas asuinrakennus- kohti lähes nollaenergiarakentamista 2015: 74–75).

Mitä pienempi painotettu muotokerroin on, sitä energiatehokkaampi rakennus on. Koska tilaohjelmaa ei ole rakennukseen vielä tehty, käytetään ohjelma-alan sijasta arvioitua huoneistoalaa A_h , joka on 115 m^2 . Painotettu muotokerroin lasketaan yhtälöllä 1.

$$\frac{A_v'}{A_h} = \frac{A_{katto} * U_{katto} + A_{ulkoseinät} * U_{ulkoseinät} + A_{lattia} * U_{lattia} + A_{ikkunat+ovet} * U_{ikkunat+ovet}}{A_h} \quad (1)$$

A_v'/A_h	painotettu muotokerroin
A_n	rakennusosan n pinta-ala, m^2
U_n	rakennusosan n U-arvo, $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
A_h	rakennuksen huoneistoala, m^2

Rakennusosien U-arvoina käytetään ympäristöministeriön energiatehokkuusasetuksen vertailuarvoja. (Ympäristöministeriön asetus 2017: 11). U-arvot on esitetty taulukossa 1. Painotetulla muotokertoimella voidaan verrata keskenään esimerkiksi yksi- ja kaksikerroksista rakennusta, joilla on sama huoneistoala. On huomioitava, että kaksikerroksisen rakennuksen huoneistoala suhteessa nettoalaan on lähtökohtaisesti pienempi, koska kaksikerroksisessa rakennuksessa portaiden viemä pinta-ala tulee vähentää kertaalleen huoneistoalasta. Portaiden arvioidaan vievän tilaa 5 m^2 . Yksikerroksisen rakennuksen huoneistoalana käytetään vertailussa arvoa 120 m^2 . Laskelman mukaan kaksikerroksisen rakennuksen muotokerroin on 0,61, kun yksikerroksisen rakennuksen muotokerroin on 0,72. Tässä tapauksessa kaksikerroksinen rakennus on siis vastaavan kokoista yksikerroksista rakennusta energiatehokkaampi siitäkin huolimatta, että kaksikerroksisen rakennuksen huoneistoalasta on vähennetty arvioitu portaiden viemä tila 5 m^2 .

Toinen suunnittelun apukeino on passiivinen aurinkoenergian hyödyntäminen. Rakennukseen suunnitellaan ikkunat siten, että auringonvaloa ja auringon lämpöenergiaa saataisiin hyödynnettyä mahdollisimman suuri osa päivästä tilojen yllälämpenemistä välttämällä. Eteläjulkisivulle on ikkunoiden yläpuolelle suunniteltu varjostava rakenne (kuva 1), jolla voidaan hillitä rakennuksen yllälämpenemistä kesäisin, kun aurinko paistaa korkealta. Rakennukseen ei oleteta tulevan ulkoisia varjostuksia esimerkiksi kasvillisuudesta tai muista rakennuksista.

3 Kohteen lämmitysenergian kulutus

3.1 Lämmitysenergian tarpeen laskentamenetelmä

Rakennuksen vuotuisen lämmitysenergian tarpeen laskenta tehdään käyttäen hyödyksi Energialaskennan testivuoden TRY2012 Vantaan säätietoja (2012). Säätiedoissa on lueteltu normaalivuoden jokaisen tunnin ulkolämpötila. Rakennukselle lasketaan tilojen ja vuotoilman lämpöhäviötehot ja tuloilman lämmittämisen tehontarve ympäristöministeriön energiatehokkuusasetuksen 24 §–26 §:ien avulla (2017: 11–13) ja tarvittaessa rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskentaohjeen luvun 3 (2017: 17–27) mukaisesti. Asetusta ja ohjetta sovelletaan siten, että lämmitysenergian tuntikohtainen tarve lasketaan sisälämpötilan +21 °C ja normaalivuoden säätietojen tuntikohtaisen ulkolämpötilan mukaisesti. Rakennuksen kylmäsiltojen lämpöhäviö arvioidaan likimääräisesti käyttämällä arvoa, joka on 10 % muun rakennusvaipan lämpöhäviöistä.

Lämmitysenergian tarpeesta vähennetään tuntikohtaisesti lämmityksessä hyödynnettävät ihmisistä, laitteista ja auringosta aiheutuvat lämpökuormat, jolloin saadaan lämmitysenergian nettotarve. Lämpökuormien laskenta on esitetty energiatehokkuusasetuksessa 11 § (Ympäristöministeriön asetus 2017: 7), ja lämmityksessä hyödynnettävien lämpökuormien laskenta rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeen kappaleessa 5 (2017: 31–38). Lämpökuormat on laskettu insinööriyössä siten, että joka kuukaudelle on laskettu keskimääräinen lämpökuorma (kWh), joka on jaettu tasaisesti kuukauden tuntien lukumäärän mukaan kyseisen kuukauden joka tunnille. Todellisuudessa esimerkiksi auringon aiheuttama lämpökuorma on suurempi päiväsaikaan kuin öisin, mutta insinööriyössä lämpökuormien ajatellaan varastoituvan rakennusmassaan ja lämmön vapautuvan tiloihin tasaisesti. Lämmitysenergian nettotarpeen laskennassa ajatellaan, että tiloihin kesäisin mahdollisesti syntyvä yllämpö poistetaan tiloista erikseen määrittelemättömällä tavalla. Mikäli lämmitysenergian tarpeesta saadaan laskennassa negatiivinen luku (yllämpö), se korvataan arvolla 0. Lämmitysjärjestelmän ajatellaan olevan toiminnassa, kun ulkolämpötila on alle +12 °C. Käytännössä tämä huomioidaan laskemalla tilalämmityksen olevan pois toiminnasta toukokuun viimeisen päivän ja syyskuun ensimmäisen päivän välillä. Tällä aikavälillä lämmitystarpeeksi asetetaan 0.

3.2 Tilojen, käyttöveden ja ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian tarve

Lämmön jakelun ajatellaan tapahtuvan matalalämpöisellä vesikiertoisella lattialämmityksellä. Verkoston lämpötilojen meno- ja paluupuolen suunnitteluarvoina käytetään lämpötiloja +35 °C ja +30 °C (Vesikiertoinen lattialämmitys 1996: 4). Lattialämmityksen hyötysuhde otetaan huomioon energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaohjeen mukaisesti lämmönjakotavan hyötysuhteella 0,8 (2017: 41). Lämmitysenergian nettotarve jaetaan lämmönjakotavan hyötysuhteella, jolloin saadaan tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve. Tilojen lämmityksen lämpöenergian tarpeeksi saadaan 6 788 kWh/vuosi. Tilojen lämmityksen huipputeho lasketaan ympäristöministeriön ohjeen luvun 10 avulla, jolloin tehontarpeeksi saadaan 4,5 kW mitoitusulkolämpötilassa –26 °C (2017: 63–69).

Rakennus suunnitellaan neljää asukasta varten. Asukkaiden käyttöveden lämmitysenergian nettotarve lasketaan lämpimän käyttöveden standardikäytön mukaan, joka on energiatehokkuusasetuksen (2017: 8) mukaan 4 200 kWh/vuosi. Lämmitysjärjestelmään suunnitellaan 200 litran puskurivaraaja (Seppänen 2001: 253). Varaajan vuotuinen lämpöhäviö 100 mm:n eristeellä on 500 kWh. Käyttöveden siirron hyötysuhteeksi ajatellaan 0,89. Lämmitysenergian nettotarve ja varaajan lämpöhäviöt jaetaan siirron hyötysuhteella, jolloin lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve on yhteensä 5 219 kWh (Ohje – Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2017: 44, 69). Käyttöveden lämpöenergian tarve jaetaan tasaisesti vuoden joka tunnille, koska varaajan käytön takia käyttövettä voidaan ajatella lämmitettävän tasaisin väliajoin käyttöveden kulutusajoista huolimatta.

Rakennuksessa on koneellinen tulo-poisto-ilmanvaihto, jonka tulo- ja poistoilmavirrat ovat $0,4 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$. Ilmanvaihtokoneessa on LTO, jonka tuloilman vuosihyötysuhteeksi on arvioitu energiatehokkuusasetuksen mukaisesti 55 % (Ympäristöministeriön asetus 2017: 6,13). LTO:n teho on laskettu siten, että hetkellisenä hyötysuhteena on käytetty vuosihyötysuhdetta. LTO:n huurtumisen eston ja tuloilman yllälämpenemisen eston vaikutusta ei ole otettu huomioon. Tuloilman lämmityksen sekä LTO:n ajatellaan olevan pois päältä toukokuun viimeisen päivän ja syyskuun ensimmäisen päivän välillä. Tällä aikavälillä tuloilman lämmitystarpeeksi asetetaan arvo 0. Tuloilma lämmitetään ilmanvaihtokoneen sähkövastuksella, ja sen vuotuiseksi energiantarpeeksi saadaan laskennassa 2 065 kWh/vuosi.

Mikäli tuloilman lämmitystarpeen arvoksi saadaan negatiivinen luku (ts. tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen ennen sisäänpuhallusta on suurempi kuin määritelty sisäänpuhalluslämpötila), ajatellaan sen vähentävän tilojen lämmitystarvetta. Edellä kuvattuja tilanteita esiintyy huhtikuussa ja syyskuussa, kun tuloilman lämmitys ja lämmöntalteenotto ovat toiminnassa.

3.3 Kohteeseen sopivien lämmitysjärjestelmien vertailu

Kohteeseen parhaiten sopivista lämmitystavoista tehdään vertailulaskelma. Rakennuksen päälämmitysjärjestelmäksi on alustavasti suunniteltu lämpöpumppua. Perustietoa lämpöpumpuista löytyy esimerkiksi Energiategokas koti -sivustolta (Ilmalämpö- ja maalämpöpumput 2016). Lämpöpumppu vaatii toimiakseen ainoastaan sähköä, ja lisäksi sitä voidaan ohjata toimimaan aurinkosähköllä silloin, kun energiaa on saatavilla (NIBE F1255 lisätarvikkeet). Lämpöpumpun toimintaperiaatetta ei käsitellä erikseen tässä insinööriyössä, vaan pääpaino on lämpöpumpun energiankulutuksen ajallisella tarkastelulla. Vaihtoehtoisesti tiloja voidaan lämmitellä esimerkiksi sähköpattereilla ja käyttövettä sähkövaraajalla. Sähkölämmityksen kannattavuutta voi tulevaisuudessa haitata mahdollinen tehomaksu, jossa asiakas maksaisi verkkoyhtiölle aiheuttamistaan kulutuspiikeistä. Tehomaksu on jo työn kirjoitushetkellä käytössä esimerkiksi Lahden seudulla LE Sähköverkko Oy:n alueella sekä Helsingin seudulla Helen Sähköverkko Oy:n alueella, jossa tehomaksu koskee lähinnä sähkölämmitteisiä pientaloja (Lämmitätkö sähköllä? Verkkoyhtiö voi alkaa laskuttaa sinua kulutuspiikeistä 2017). Käyttämällä lämpöpumppuja, joilla on kapasiteettia hoitaa lämmitys myös ulkoilman mitoitusolosuhteissa, voidaan sähkön huipputehon tarvetta vähentää. Lämpöpumppujen kapasiteettia käsitellään tarkemmin insinööriyön luvussa 4.1.

Varalämmitysjärjestelmäksi valitaan varaava tulisija, josta ajatellaan olevan hyötyä sähkökatkosten aikana, kun lämpöpumppu ei toimi. Lisäksi kovien pakkasten aikana voidaan tulisijalla vähentää lämmityksen huipputehon tarvetta. Tulisijan lämmönluovutusta ei kuitenkaan käsitellä erikseen tässä insinööriyössä eikä sitä oteta huomioon lämmitysmuotojen vertailussa, koska sen käytön ajatellaan olevan epäsäännöllistä.

Insinööriyön lämmitysjärjestelmien vertailussa ei oteta huomioon kaikkia mahdollisia pientalon lämmitysmuotoja. Pelletti- ja öljylämmitys rajataan vertailun ulkopuolelle, koska fyysistä polttoainetta ei haluta varastoida kohteessa tulisijan käyttämän polttopuun lisäksi. Kaukolämpöä ei valita vertailuun, koska kaukolämmön asiakas on lähtökohtaisesti sidottu paikalliseen lämmöntarjoajaan ja on täten täysin mahdollisten lämpöenergian hinnanmuutosten armoilla. Ilmalämpöpumppu rajataan vertailun ulkopuolelle, koska kyseessä on sähkölämmityksen tukijärjestelmä, joka ei toimi kovilla pakkasilla.

Lämpöpumppujen investointi- ja energiakustannuksia sähkölämmitykseen verrattuna tutkitaan lämmitystapojen vertailulaskurilla (Motiva Oy). Vertailulaskelmassa on korostettava, että vesikiertoisen lattialämmityksen hyötysuhteeksi arvioidaan 0,8 ja suoran sähköpatterilämmityksen hyötysuhteeksi 0,95 (Ohje – Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2017: 41), jolloin lämmitysjärjestelmän tarvitsema energiamäärä lämmönjakoverkoston häviöiden jälkeen on vesikiertoisella lattialämmityksellä todellisuudessa suurempi kuin sähkölämmityksellä. Tätä ei ole erikseen huomioitu laskelmassa. Alustavaa vertailua varten lämpöpumpputoimittajalta pyydettiin mitoituslaskelmat kohteeseen sopivista maa-, ilma-vesi-, sekä poistoilmalämpöpumpuista. Mitoitusta varten annetut tiedot ovat taulukossa 2.

Taulukko 2. Rakennuksen tiedot lämpöpumpun mitoitusta varten.

Lämmitetty nettoala	120 m ²
Lämmitysenergian tarve	12000 kWh
Käyttöveden lämmityksen osuus lämmitysenergian tarpeesta	5200 kWh
Tilojen lämmityksen huipputehontarve (-26 °C)	4,5 kW
Sijainti	Vyöhyke I
Ilmanvaihdon ilmavirrat (vain poistoilmalämpöpumpussa)	Tulo 48 l/s, poisto 48 l/s

Mitoitukset pyydettiin NIBE Energy Systems Oy:ltä, koska kyseessä on yksi Pohjoismaiden suurimmista lämpöpumppujen toimittajista, ja valmistajan tuotteista on helppo löytää tietoa. Toimittajalta saatiin mitoituslaskelmat (liitteet 1–3), joiden tietoja on koottu taulukoon 3. Taulukossa 3 lyhenne SCOP (*Seasonal coefficient of performance*) on lämpöpumpun vuotuinen lämpökerroin, joka on vuotuisen lämmitysenergian tarpeen suhde vuotuisen lämmitysjärjestelmän energiantarpeeseen. SCOP-arvo määritellään standardin EN14825 (2017: 40) mukaisesti. Pelkän lämpöpumpun SCOP-arvo ottaa huomioon lämpöpumpun kompressorin sähkönkäytön. Järjestelmän SCOP-arvo lisää mukaan lämpöpumpun apulaitteiden (kuten lämmitysverkoston pumpun) sähkönkäytön sekä sähkövastuksien sähkönkäytön, mikäli lämpöpumppu ei kykene tuottamaan koko vuoden tarvittavaa lämmitysenergiaa pelkän kylmäprosessin avulla.

Lisäksi usein käytetään termiä SPF (*Seasonal Performance Factor*), joka tarkoittaa samaa asiaa kuin SCOP, mutta SPF-arvoa ei ole määritelty standardeissa. SPF-arvo on määritelty esimerkiksi Ympäristöministeriön lämpöpumppujen energialaskentaoppaassa (2012: 32).

Taulukko 3. Lämpöpumpputoimittajan mitoituslaskelmien tietoja eri lämpöpumpputyypeille.

Tyyppi	Maalämpöpumppu	Ilma-vesilämpöpumppu	Poistoilmalämpöpumppu
Ehdotettu malli	F1255-6	F2120-8 (NIBE Polar)	F750
Lämpöpumpun tuottama osuus kohteen vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta	100%	98%	91%
Lämpöpumpun vuosilämpökerroin (SCOP)	3.8	3.0	3.8
Järjestelmän vuosilämpökerroin (SCOP)	3.6	2.7	2.6
Lämpöpumpun investointikustannus (sis. alv. 24%, keskimääräinen ei-tarjous-hinta verkkokaupoista)	7200 €	9250 €	9000 €

Laskelman mukaan ulkoilma-vesilämpöpumppu ja poistoilmalämpöpumppu eivät insinööriyden kohteessa kykene tuottamaan koko vuoden lämpöenergian tarvetta lämpöpumppuprosessin avulla. Nämä lämpöpumput käyttävät apunaan sähköistä lisälämmitystä, kun lämpöpumpun oma lämmitysteho ei riitä. Maalämpöpumppu ei tarvitse lisälämmitystä. Poistoilmalämpöpumppua käytettäessä lämmitetään myös tuloilma vesikiertoisella patterilla.

Lämmitystapojen vertailulaskelmissa laskentaparametrit on rajattu taulukossa 4 esitettyjen arvojen mukaan. Sähkön kokonaishinnaksi on valittu 0,15 €/kWh, joka on haettu sähkön hintatilastoista vuoden 2017 keskiarvona (Sähkön hintavertailu: Hintatilastot 2018). Sähkön kokonaishinta muodostuu sähköenergian hinnasta, siirtomaksusta sekä sähkö- ja arvonlisäveroista (Sähkön hinta 2018).

Taulukko 4. Lämmitysmuotojen vertailun parametrit.

Rakennuksen tiedot	Kts. taulukko 2
Energian (sähkön) kokonaishinta	0,15 €/kWh
Energianhintojen nousu vuodessa	0 %
Investoinnin reaalin korko	2 %
Laskenta/laina-aika	25 vuotta
Lämpöpumppujen vuosilämpökerroin	Järjestelmän vuosilämpökerroin

Lämmitystapoja vertailtaessa on otettava huomioon myös lämmönjakelutavan aiheuttamat investointikustannukset. Loukola (2017: 53) on opinnäytetyössään arvioinut erilaiset lämmitystapojen investointikustannuksia, joita käytetään tässä kustannuslaskelmassa. Arvioidut investointikustannukset on esitetty taulukossa 5. Asennus- ja huoltokustannusten on yksinkertaistamisen vuoksi arvioitu olevan saman suuruisia kaikilla lämmitysjärjestelmillä, ja niitä ei ole huomioitu laskelmassa erikseen.

Taulukko 5. Lämmitystapojen kokonaisinvestointikustannukset.

Lämmitystapa	Suora sähkölämmitys	Maalämpöpumppu	Ilma-vesilämpöpumppu	Poistoilmalämpöpumppu
Lämmönjakelutapa	Sähköpatterit & käyttövesivaraaja	Vesikiertoinen lattialämmitys	Vesikiertoinen lattialämmitys	Vesikiertoinen lattialämmitys
Lisäkustannukset	Patterit 10 kpl (150 €/kpl) + varaaja 2000 €/kpl =3500 €	Lämpökaivo, arvioitu pituus 100 m (33 €/m) =3300 € + Lattialämmitys 115 m ² (28 €/m ²) =3220 €	Lattialämmitys 115 m ² (28 €/m ²) =3220 €	Lattialämmitys 115 m ² (28 €/m ²) =3220 €
Lämpöpumppu	-	7200 €	9250 €	9000 €
Kokonaisinvestointikustannukset	3500 €	13 720 €	12 470 €	12 220 €

Motiva Oy:n Lämmitystapojen vertailulaskuri laskee eri lämmitysmuodoille vuotuiset investointikustannukset vuosikustannusmenetelmällä (yhtälö 2).

$$A_n = \frac{(1 + \frac{p}{100})^n * \frac{p}{100}}{((1 + \frac{p}{100})^n - 1)} * N_n \quad (2)$$

- A_n lämmitystavan n vuosittain maksettava tasaerä eli annuiteetti
 p reaalinen korkokanta, %/vuosi
 n laina-aika, vuotta
 N_n lämmitystavan n kokonaisinvestointikustannukset, €

Vuotuiset energiakustannukset lämpöpumpuille lasketaan yhtälöllä 3.

$$E_{osto,lämmitys,LP} = Q_{lämmitys,tilat,lkv} * \left(\frac{\alpha_{LP}}{SCOP} * \epsilon_{sähkö} + \frac{100\% - \alpha_{LP}}{\eta_{sähkö}} * \epsilon_{sähkö} \right) \quad (3)$$

$E_{osto,lämmitys,LP}$ lämmityksen ostoenergian vuotuiset kustannukset lämpöpumpulla, €/vuosi

$Q_{lämmitys, tilat, lkv}$ lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh

α_{LP} lämpöpumpun tuottama osuus lämpöenergian tarpeesta, %

SCOP lämpöpumpun (järjestelmän) vuosilämpökerroin

$\eta_{sähkö}$ sähkölämmityksen hyötysuhde

$\epsilon_{sähkö}$ sähköenergian hinta, €/kWh

Vuotuiset energiakustannukset sähkölämmitykselle lasketaan yhtälöllä 4.

$$E_{osto,lämmitys,sähkö} = \frac{Q_{lämmitys,tilat,lkv}}{\eta_{sähkö}} * \epsilon_{sähkö} \quad (4)$$

$E_{osto,lämmitys,sähkö}$ lämmityksen ostoenergian vuotuiset kustannukset sähkölämmityksellä, €/vuosi

Vuotuiset kokonaiskustannukset lämpöpumpuille lasketaan yhtälöllä 5.

$$E_{kokonais,LP} = A_{lämpöpumppu} + E_{osto,lämmitys,LP} \quad (5)$$

$E_{kokonais, LP}$ vuotuiset kokonaiskustannukset lämpöpumpulla lämmitettäessä, €/vuosi

Vuotuiset kokonaiskustannukset sähkölämmitykselle lasketaan yhtälöllä 6.

$$E_{kokonais,sähkö} = A_{sähkölämmitys} + E_{osto,lämmitys,sähkö} \quad (6)$$

$E_{kokonais,sähkö}$ vuotuiset kokonaiskustannukset sähköllä lämmitettäessä, €/vuosi

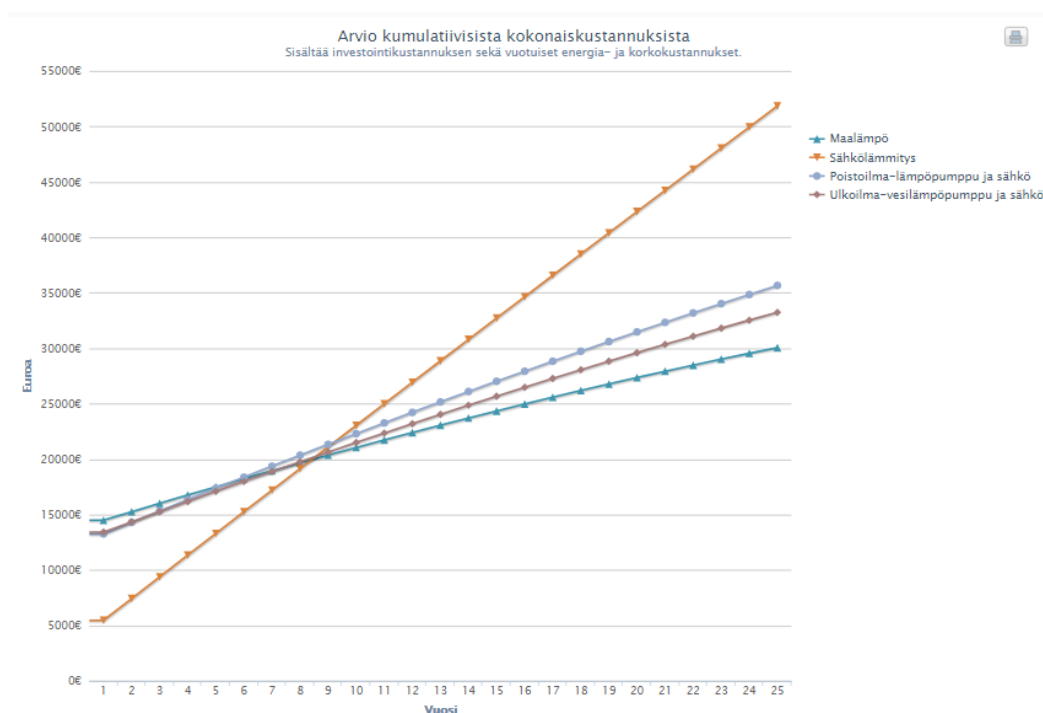
Edellä mainitulla laskentatavalla saadaan lämmitysvaihtoehdoille kumulatiiviset kokonaiskustannukset 25 vuoden ajalta, jotka on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Lämmitystapojen kumulatiiviset kokonaiskustannukset 25 vuoden laskenta-ajalla.

Lämmitystapa	Kumulatiivinen kokonaiskustannus
Maalämpö	30 055 €
Sähkölämmitys	51 848 €
Poistoilmalämpöpumppu ja sähkö	35 659 €
Ulkoilma-vesilämpöpumppu ja sähkö	33 230 €

3.4 Lämmitysjärjestelmän valinta kohteen energialaskelmaa varten

Edellisessä kappaleessa tehdystä vertailulaskelmasta huomataan, että insinööriyössä tarkasteltavassa kohteessa erityyppiset lämpöpumput ovat kannattavampia lämmitystapoja kuin sähkölämmitys. Ero on siinä määrin selkeä, että vesikiertoisen lämmönjaon ja suoran sähkölämmityksen hyötysuhde-eron ei arvioida vaikuttavan tulokseen oleellisesti. Eri lämpöpumpputyypin väliset kokonaiskustannuserot ovat pieniä ja niitä ei tule painottaa liikaa luonnossuunnitteluvaiheessa. Myös tulisijan käyttö parantaa esimerkiksi poistoilma- ja ilma-vesilämpöpumpun kannattavuutta maalämpöön nähden, koska koviilla pakkasilla tulisijalla voidaan korvata lämpöpumpun sähkövastusten käyttöä ja säästää täten sähköä. Kuvassa 3 on graafisesti esitetty lämmitysjärjestelmien arvioidut kumulatiiviset kokonaiskustannukset Motiva Oy:n lämmitystapojen vertailulaskurissa.



Kuva 3. Lämmitysjärjestelmien kumulatiiviset kokonaiskustannukset 25 vuoden laskenta-ajalla Motiva Oy:n lämmitystapojen vertailulaskurissa.

Lämpöpumppujen keskinäinen paremmuusvertailu on haastavaa, koska erityyppisten lämpöpumppujen toiminta-arvot ilmoitetaan eri tavoilla ja yleensä vain muutamassa eri toimintapisteessä. Tähän perehdytään lisää osassa 4.1. Lisäksi lämpöpumppujen investointikustannus vaikuttaa suuresti lämpöpumpun kannattavuuteen pientalokohteessa. Kuluttajat voivat usein ostaa lämpöpumpun tarjoushintaan tai erilaisten kokonaisratkaisujen yhteydessä. Tässä insinööriyössä lämpöpumpun tyyppin valinta ei ole lopputuloksen kannalta määräävä tekijä, joten lämpöpumpun tyyppin tai mallin valintaa ei tehdä kannattavuuslaskelman perusteella. Insinööriyössä tarkasteltavan kohteen energialaskennan seuraaviin vaiheisiin valitaan lämpöpumpuksi maalämpöpumppu F1255-6, koska maalämmöllä voidaan hyödyntää maapiiriä myös jäähdytyskäytössä. Valittu lämpöpumppu kykenee valmistajan mukaan täyttämään koko vuoden lämmitystehontarpeen, jolloin sähköistä lisälämmitystä ei tarvita. Erikseen ei selvitetty, kykeneekö lämpöpumppu tuottamaan 58–asteista käyttöväettä ilman sähkövastuksia. F1255-6 -mallissa on myös taajuusmuuttajalla ohjattu kompressori, joka säätää kierrosnopeuttaan lämmöntarpeen mukaan. Kompressori voi toimia antotehoalueella 1,5 kW–6 kW, joka on sopiva työssä käsiteltävää kohdetta ajatellen. (NIBE F1255 tekniset tiedot)

4 Kohteen sähköenergian kulutus

4.1 Lämmitysjärjestelmän sähköenergian tarve

Kohteen lämmitysjärjestelmäksi on valittu maalämpöpumppu NIBE F1255-6. Lämpöpumpun sähkönkulutus riippuu ulkolämpötilasta, koska lämpöpumpun COP-lämpökerroin heikkenee ulkolämpötilan jäähtymisen mukaan. Kohteeseen suunnitellaan aurinkosähköjärjestelmä, jonka tuottamaa sähköenergiaa lämpöpumppu voi käyttää. Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta arvioitaessa on merkityksellistä, arvioidaanko lämpöpumpun sähkönkulutus käyttämällä vuoden keskimääräisen ulkolämpötilan määräämää COP-arvoa vai lasketaanko COP-arvot tunneittain tuntikohtaisen ulkolämpötilan mukaan. Tuntikohtaisesti laskettuna lämpöpumppu vie kylmemmällä säällä, jolloin aurinkosähköä on vähemmän saatavilla, enemmän sähköä kuin lämpimällä säällä.

Eri tyyppisten lämpöpumppujen (keskenään) vertailu on monimutkaista, koska lämpöpumppujen toiminta-arvoja ei teknisissä esitteissä useasti ilmoiteta tarpeeksi monessa eri ulkolämpötilassa. Maalämpöpumpun COP-lämpökerroin ilmoitetaan, kun lämpöpumpulle tulevan keruuliuksen lämpötila on 0 °C ja lämmitysverkostoon menevän veden

lämpötila on +35 °C, +45 °C, +55 °C tai +65 °C lämmitysverkoston lämpötilasta riippuen. Keruuliuksen todellinen lämpötila riippuu mm. rakennuksen maantieteellisestä sijainnista ja maapiirin pituudesta. Ilma-vesi-lämpöpumppujen COP-lämpökerroin ilmoitetaan, kun ulkolämpötila on +7 °C. Poistoilmalämpöpumpun COP-lämpökerroin ilmoitetaan, kun poistoilman lämpötila on +20 °C. Ilma-vesi- ja poistoilmalämpöpumpulla lämmitysverkoston lämpötilat ilmoitetaan kuten maalämpöpumpulla (SFS-EN-14511-2: 9–14).

Vertailuun lisähaastetta tuovat valmistajan poikkeavat tavat ilmoittaa COP-arvoja, esimerkiksi NIBE F750 -poistoilmalämpöpumpusta on ilmoitettu COP-arvo, kun poistoilmavirta on 25 l/s tai kun poistoilmavirta on 70 l/s (F750 asentajan opas: 55–56). Tämä tarkoittaa, että lämpöpumpun hankkijan tulee itse tai asiantuntijan avustuksella laskea toiminta-arvot eri ulkolämpötiloissa, mikäli halutaan tietää lämpöpumpun sähkönkulutus lämpöpumpun myyjän mahdollisesti antamaa mitoituslaskelmaa yksityiskohtaisemmin.

Lämpöpumpun sähkönkulutus koostuu tilojen ja käyttöveden lämmittämisen sekä sähköisen lisälämmityksen sähkönkulutuksesta. Lämpöpumpputoimittajan mitoituslaskelmassa F1255-6-mallin vuotuiseksi sähkönkulutukseksi insinööriyön kohteessa on laskettu 3 160 kWh (liite 1). Insinööriyössä lämpöpumpun sähkönkulutus on laskettu jakamalla tuntikohtainen tilojen lämmityksen sekä käyttöveden lämmityksen lämpöenergian tarve lämpöpumpun tilojen lämmityksen ja käyttöveden lämmityksen COP-arvoilla, jotka vaihtelevat lämmitysverkoston menoveden, lämpimän käyttöveden sekä maapiiriin palaavan keruunesteen lämpötilan mukaan. Lämpöpumpun COP-arvot eri lämpötiloissa on laskettu Lämpöpumppujen energialaskentaoppaan lämpötilakorjausmenetelmän avulla (2012).

Lämpöpumpun lämpökerroin COP_{tp} eri ulkolämpötiloissa saadaan yhtälöllä 7.

$$COP_{tp} = COP_C * f_T \quad (7)$$

COP_{tp}	lämpöpumpun lämpökerroin toimintapisteessä
COP_C	lämpöpumpun Carnot-lämpökerroin toimintapisteessä
f_t	lämmitysprosessin häviöt huomioon ottava häviökerroin

Lämmitysprosessin häviöt huomioon ottava häviökerroin f_t saadaan yhtälöllä 8. Häviökerroin ei yleensä pysy vakiona koko lämpöpumpun toiminta-alueella, mutta koska tässä

laskelmassa tiedetään ainoastaan yksi mitattu COP-arvo, käytetään myös häviökertoimenä samaa arvoa koko toiminta-alueella (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012: 21).

$$f_T = \frac{COP_M}{COP_C} \quad (8)$$

COP_M lämpöpumpun mitattu tai muulla tavoin varmennettu lämpökerroin

Lämpöpumpun teoreettisesti ideaalinen Carnot-lämpökerroin COP_C saadaan yhtälöllä 9.

$$COP_C = \frac{T_L}{T_L - T_H} \quad (9)$$

T_L lämpöpumpun höyrystymislämpötila, K

T_H lämpöpumpun lauhtumislämpötila, K

Höyrystymis- ja lauhtumislämpötilat voidaan laskea yhtälöiden 10 ja 11 avulla. Lämpötilakorjausmenetelmässä höyrystymis- ja lauhtumislämpötilat oletetaan vakioksi.

$$T_L = T_{H1} + \Delta T_L \quad (10)$$

$$T_H = T_{H1} - \Delta T_H \quad (11)$$

T_{H1} lauhduttimen läpi virtaavan veden lämpötila, K

ΔT_L kylmäaineen ja veden lämpötilaero lauhduttimessa, °C

T_{H1} höyrystimen läpi virtaavan keruuliuoksen lämpötila, K

ΔT_H keruuliuoksen ja kylmäaineen lämpötilaero höyrystimessä, °C

Laskennassa on käytetty lämpöpumppujen energialaskentaoppaassa annettuja arvoja, jotka on esitetty taulukossa 7:

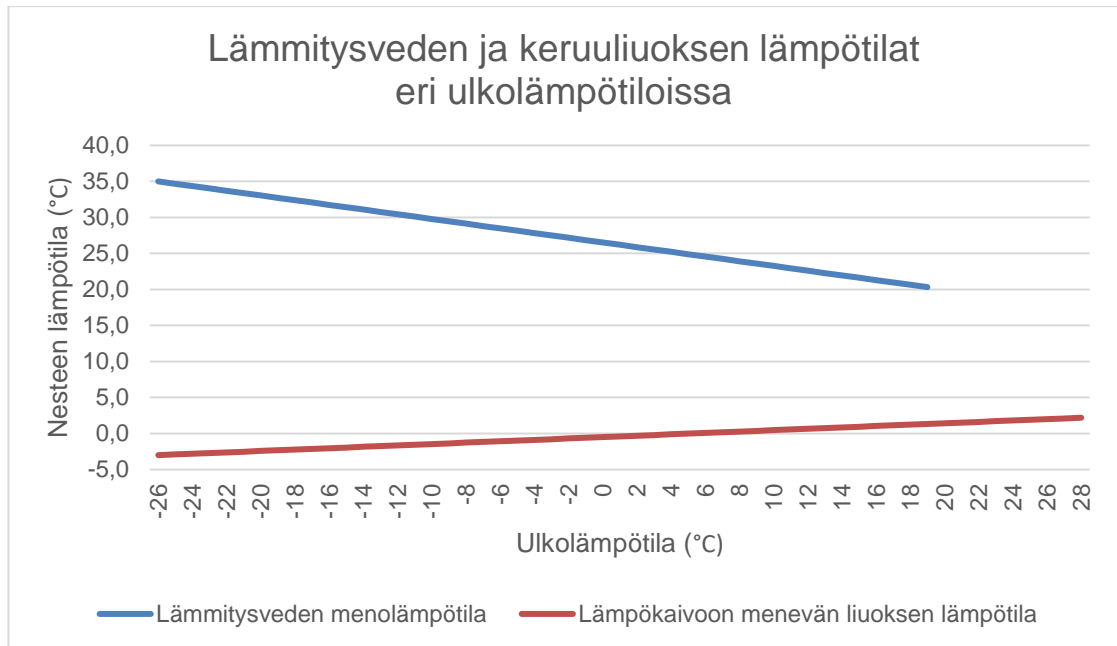
Taulukko 7. Maalämpöpumpun toiminta-arvot.

Maalämpöpumppu	$\Delta T_L, \Delta T_H, K$
Lauhdutin (vesipiiri)	10
Höyrystin (liuospiiri)	5

Lämmitysverkoston menoveden lämpötilan arvioidaan olevan $+35\text{ °C}$, kun ulkolämpötila on -26 °C , ja $+20\text{ °C}$, kun ulkolämpötila on $+20\text{ °C}$ (kuva 4). Tämän perusteella on laskettu arvot lämmitysveden menolämpötiloille eri ulkolämpötiloissa. Näitä käytetään laskennassa arvoina T_{L1} . Lämpöpumpputoimittaja on asentajan käsikirjassaan ilmoittanut maalämpöpumpulle $COP_{(0/35)}$ -arvon standardin EN14511 mukaisesti, kun lämpöpumpulle tulevan keruuliuksen lämpötila on 0 °C ja lämmitysverkostoon menevän veden lämpötila on $+35\text{ °C}$. Lämpöpumpun ilmoitettu $COP_{(0/35)}$ -arvo on 4,72 (F1255 asentajan käsikirja: 67). Kun lämmitysverkostoon menevän veden lämpötila on $+35\text{ °C}$, on ulkolämpötila -26 °C . Mitattu $COP_{(0/35)}$ -arvo on sijoitettu laskelmaan ulkolämpötilan -26 °C kohdalle, mutta tätä arvoa käytetään ainoastaan häviökertoimen f_t laskennassa koska ulkolämpötila -26 °C ei esiinny Vantaan testivuoden 2012 aikana kertaakaan. Tämä mitattu COP-arvo vastaa COP_M -arvoa yhtälössä 8.

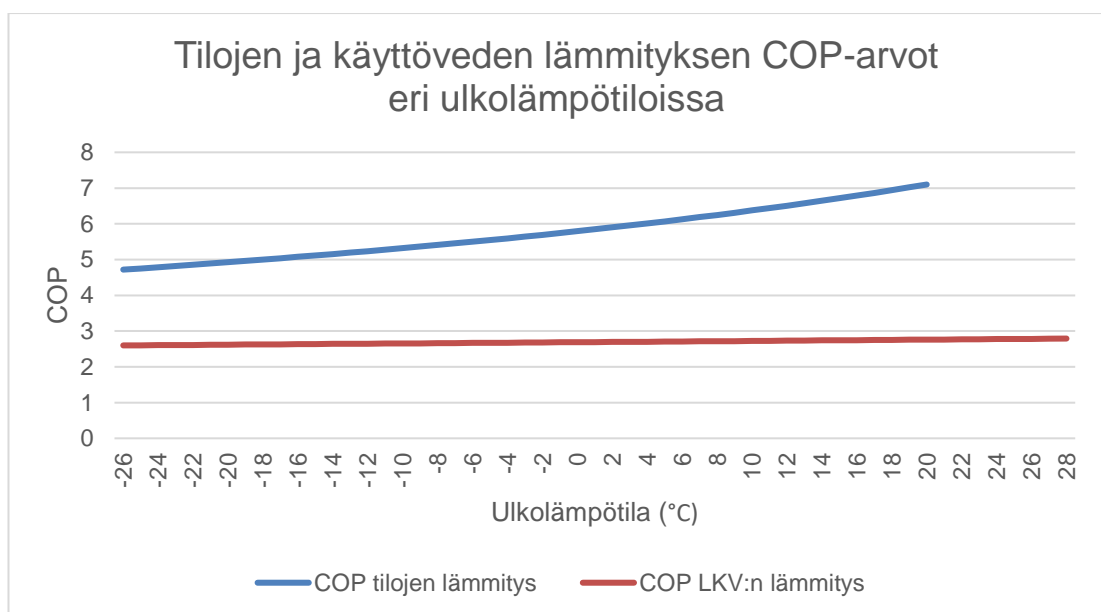
Lämpöpumpun COP-arvojen lämpötilakorjauksessa keruuliuksen lämpötila eri ulkolämpötiloissa joudutaan loppujen lopuksi arvioimaan, koska kaikkia tarvittavia lähtötietoja ole saatavilla. Keruupiirin meno- ja paluunesteen lämpötilaero arvioidaan olevan aina 3 K (Perälä 2009: 64). Edellisessä kappaleessa pääteltiin, että mitoituslämpötilassa -26 °C lämmitysverkoston veden lämpötila on $+35\text{ °C}$, kaivosta tulevan keruuliuksen lämpötila on 0 °C ja käyttäen lämpötilaeroa 3 K on lämpökaivoon menevän keruuliuksen lämpötila -3 °C .

Toimittajan mitoituslaskelmassa on ilmoitettu lämpökaivoon menevän liuksen arvioidun vuotuisen keskilämpötilan olevan 0 °C . Lämmönkeruuliuksen lämpötila ulkolämpötilassa $+20\text{ °C}$ saadaan interpoloimalla lämmönkeruunesteen lämpötiloja tuntikohtaisten ulkolämpötilojen mukaan ja laskemalla vuoden jokaisen tunnin yhteinen keskiarvo kaivoon menevälle nesteelle, kunnes saadaan vuoden keskiarvoksi 0 °C . Tällä menetelmällä lämpökaivoon menevän keruuliuksen lämpötilan arvioidaan olevan n. $+2,19\text{ °C}$, kun ulkolämpötila on $+28\text{ °C}$, joka on Vantaan normaalivuoden maksimilämpötila. Ulkolämpötilassa $+20\text{ °C}$ kaivoon menevän nesteen lämpötila on tällöin n. $+1,43\text{ °C}$. Tämän perusteella on arvioitu ulkolämpötilan mukaan määräytyvät lämpökaivoon menevän keruuliuksen lämpötilat, jota käytetään laskennassa arvona T_{H1} . Lämmitysverkoston ja keruuliuksen lämpötilat eri ulkolämpötiloissa on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Lämmitysveden ja keruuliuoksen arvioidut lämpötilat eri ulkolämpötiloissa.

Käyttöveden lämmityksen ilmoitettu lämpökerroin COP_{DHW} on 2,6 (F1255 asentajan käsikirja: 68), ja se on ilmoitettu standardin EN16147 (2017: 14) mukaan, kun lämpöpumpulle tulevan keruuliuoksen lämpötila on 0 °C. LKV:n lämpötilana on laskelmassa käytetty arvoa +58 °C. Käyttöveden lämmityksen COP-arvot on arvioitu kuten tilojen lämmityksen COP-arvot. Lasketut COP-arvot eri ulkolämpötiloissa on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Tilojen ja käyttöveden lämmityksen COP-arvot eri ulkolämpötiloissa.

Kuvaajasta huomataan, että lämpötilakorjausmenetelmän mukaan laskettuna käyttöveden lämmityksen COP-arvo muuttuu vain vähän ulkolämpötilan muuttuessa, mutta tilojen lämmityksen COP muuttuu huomattavasti ulkolämpötilasta riippuen. Mikäli energialaskennassa käytettäisiin esimerkiksi vuoden keskimääräistä COP-arvoa tilojen lämmityksen energiankulutuksen laskennassa, saataisiin huippupakkasilla lämpöpumpun sähköenergian kulutukselle liian pieniä arvoja ja lämpimällä säällä liian suuria arvoja. Tilojen lämmityksen vuotuinen sähkönkulutus saattaisi keskimääräisellä COP-arvolla laskettuna pysyä jokseenkin saman suuruisena insinööriyön laskelmaan verrattuna, mutta aurinkosähkön hyödyntämispotentiaalista lämpöpumpulla saataisiin virheellinen kuva.

Lämpöpumpun sähköenergian kulutuksen laskemiseksi eri ulkolämpötiloissa lasketut COP_{tp} -arvot sijoitetaan tuntikohtaiseen energialaskelmaan vastaamaan sen hetkistä ulkolämpötilaa. Kunkin tunnin osalta lämmitysjärjestelmän ja käyttöveden lämpöenergian tarve jaetaan lämmitysjärjestelmän ja käyttöveden COP_{tp} -arvolla, jolloin saadaan lämpöpumpun tuntikohtainen sähkönkulutus. Tämä voidaan tehdä, koska valitulla lämpöpumpulla ei laskennallisesti tarvita sähköistä lisälämmitystä. Mikäli sähköistä lisälämmitystä tarvittaisiin, tulisi käyttää toista laskutapaa. Tilojen ja käyttöveden lämmityksen sähkönkulutus aikavälillä (laskelmassa yksi tunti) saadaan yhtälöillä 12 ja 13.

$$W_{LP,tilat} = \frac{Q_{It,tilat}}{COP_{tp,tilat}} \quad (12)$$

$W_{LP,tilat}$ lämpöpumpun sähkönkulutus aikavälillä tilojen lämmityksessä, kWh
 $Q_{It,tilat}$ aikavälin lämmöntarve tiloille, kWh
 $COP_{tp,tilat}$ lämpökerroin toimintapisteessä tilojen lämmitykselle

$$W_{LP,lkv} = \frac{Q_{It,lkv}}{COP_{tp,lkv}} \quad (13)$$

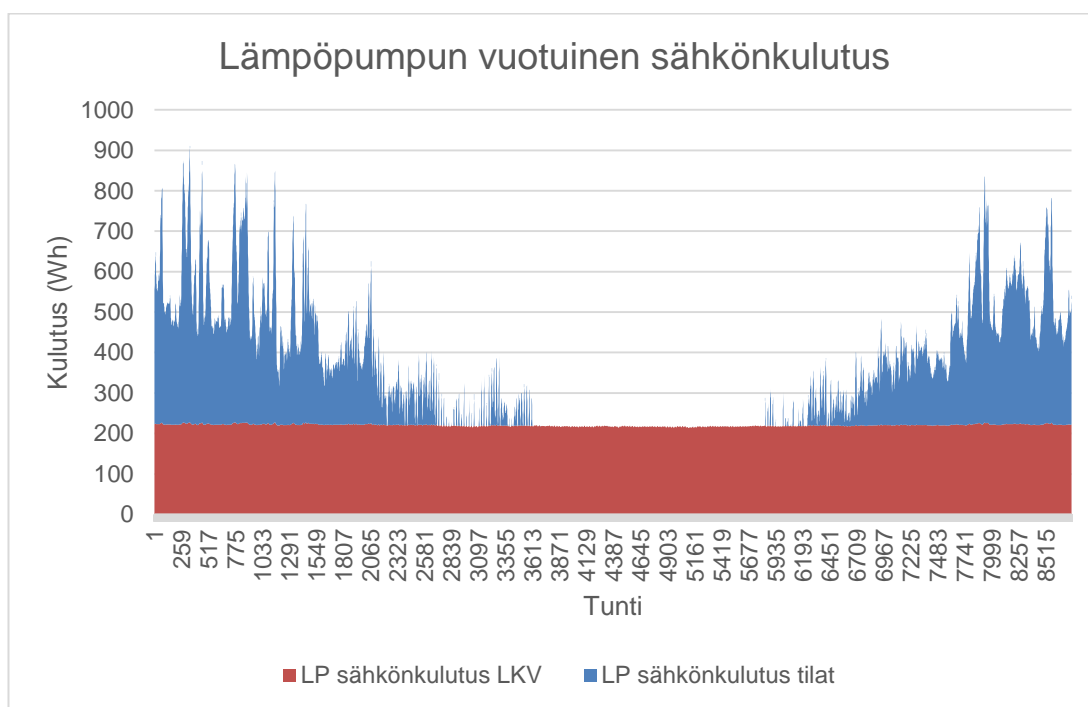
$W_{LP,lkv}$ lämpöpumpun sähkönkulutus aikavälillä LKV:n lämmityksessä, kWh
 $Q_{It,lkv}$ aikavälin lämmöntarve käyttövedelle, kWh
 $COP_{tp,lkv}$ lämpökerroin toimintapisteessä käyttöveden lämmitykselle.

Esimerkilaskelma sähkönkulutuksen laskemisesta on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Lämpöpumpun sähkönkulutus tuntikohtaisesti arvioituna, esimerkkinä päivä 14.10. klo 17–18.

pvm	klo	ulkolämpötila	lämmitys-tarve, tilat	lämmitys-tarve, lkv	COP _{tp, tilat}	COP _{tp, lkv}	W _{LP, tilat}	W _{LP, lkv}
		°C	Wh	Wh			Wh	Wh
14.10	1700	+6,5	717,1	595,8	6,12	2,70	117,0	219,9

Edellä kuvatulla laskentamenetelmällä lämpöpumpun vuotuisesti sähköenergian kulu-
tukseksi saadaan yhteensä 3 136 kWh, joka on lähellä lämpöpumpputoimittajan mitoi-
tuslaskelman tulosta (3 160 kWh). Ei voida olla varmoja, kuinka lähellä lämpöpumpun
todellinen sähkönkulutus tulee olemaan laskelmaan verrattuna. Tämä kertoo lämpö-
pumppujen energialaskennan haasteellisuudesta. Insinööriyön energialaskelman kan-
nalta on kuitenkin riittävää, että sähkönkulutuksessa ollaan oikeassa suuruusluokassa
ja että sähkönkulutus on painotettu vuorokauden aikojen ja vuodenaikojen mukaan.
Lämpöpumpun sähkönkulutuksen ajallinen jakautuminen on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Lämpöpumpun vuotuinen sähkönkulutus.

4.2 Ilmanvaihdon lämmityksen ja puhaltimien sähköenergian tarve

Ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve on 2 065 kWh ja tuloilma lämmitetään sähkö-
vastuksella, jonka hyötysuhteeksi ajatellaan arvo 1. Tällöin ilmanvaihdon lämmityksen

sähkönenergian tarve on myös 2 065 kWh. Ilmanvaihdon lämmityksen ajatellaan olevan pois päältä toukokuun viimeisen ja syyskuun ensimmäisen päivän välillä. Ilmanvaihdon puhaltimien sähköntarve vakioilmavirralla lasketaan energialaskentaohjeen avulla yhtälöllä 14. SFP-luvussa on otettu huomioon sekä tulo- että poistopuhaltimien sähköteho (Ohje – Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2017: 56).

$$W_{ilmanvaihto} = \Sigma SFP * q_v * \Delta t + W_{iv, muut} \quad (14)$$

$W_{ilmanvaihto}$	ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
ΣSFP	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, kW/(m ³ /s)
q_v	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m ³ /s
Δt	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen käyttöaika laskentajaksolla, h
$W_{iv, muu}$	muu ilmanvaihdon sähkönkulutus, kWh

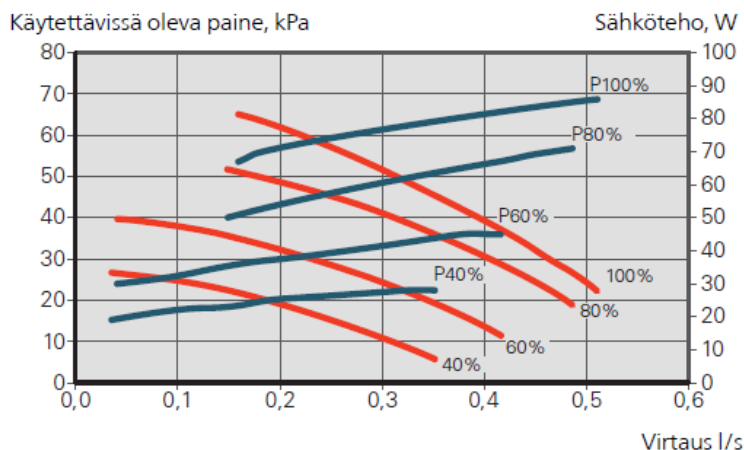
Energiatehokkuusasetuksen 30 §:n (2017: 14) mukaisella SFP-luvulla 1,8 ja käyttöajalla 8 760 h/vuosi puhaltimien vuotuinen sähköenergian tarve on 757 kWh. Kohteessa ei oleteta olevan muuta ilmanvaihdon sähkönkulutusta. Ilmanvaihdon puhaltimien sähkönkulutus jaetaan tasaisesti vuoden jokaiselle tunnille.

4.3 Lisälämmityksen ja lämmityksen apulaitteiden sähköenergian tarve

Kohteeseen valitulla lämpöpumpulla ei laskennallisesti tarvita sähköistä lisälämmitystä. Lämmityksen apulaitteiden sähköenergian kulutus lämmitysjärjestelmän kiertopumpun osalta on sisällytetty lämpöpumppujärjestelmän SCOP-lukuun, joten sitä ei tarvitse huomioida enää tässä vaiheessa. Maapiirin lämmönkeruupumppua ei ole otettu huomioon lämpöpumpun energiankulutuksen laskennassa. Lämpöpumpun asentajan ohjeessa on määritelty keruupiirin pumpun toiminta-arvot, jotka on esitetty kuvassa 7.

— Käytettävissä oleva paine, kPa
 —_p Sähköteho, W

F1255 -6 kW



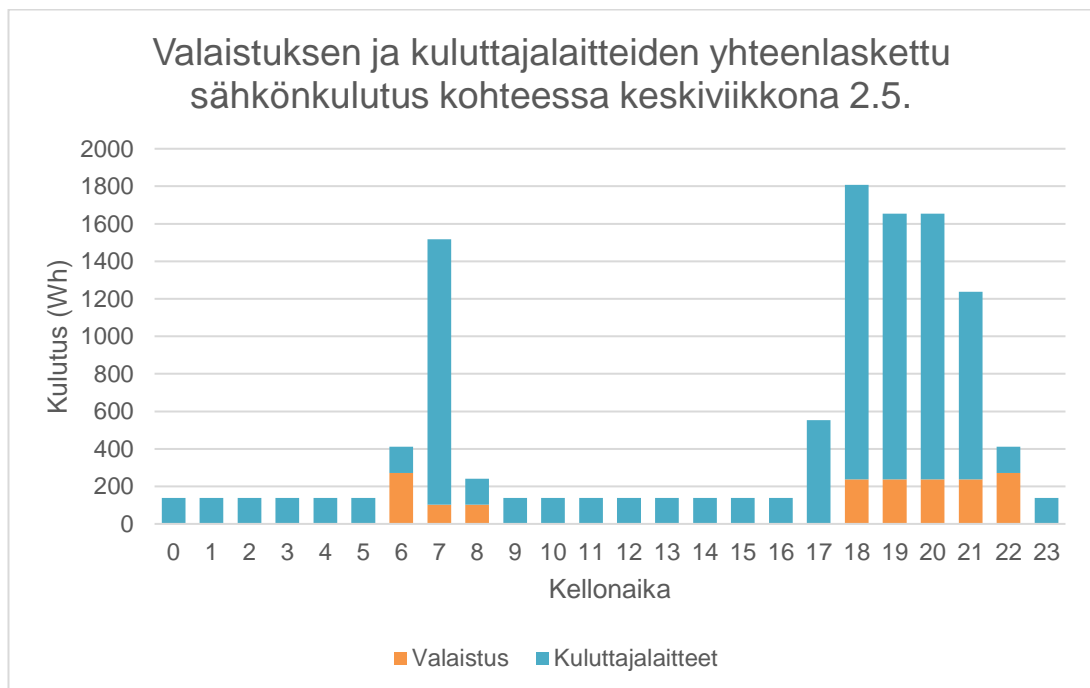
Kuva 7. F1255-6-lämpöpumpun keruupiirin pumpun toiminta-arvot.

Koska luonnosvaiheessa ei vielä ole tarkkaa tietoa keruupiirin ominaisuuksista, arvioidaan karkeasti keruupiirin pumpun vuosittaiseksi sähkönkulutukseksi 300 kWh. Tämä kulutussumma jaetaan tasaisesti vuoden joka tunnille.

4.4 Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähköenergian tarve

Rakennuksen käyttösähkö koostuu kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähkönkulutuksesta. Energiatehokkuusasetuksen 11 §:n (2017: 7) mukaisessa standardikäytössä kuluttajalaitteiden sähkönkulutukseksi saadaan 2 523 kWh/vuosi. Energiateollisuus ry:n mukaan nelihenkisen perheen keskimääräinen laitesähkönkulutus vuonna 2011 on ollut 4 280 kWh, kun autolämmitystä ei huomioida. Ympäristöministeriön energialaskentaohjeen (2017: 28) mukaan arvioituna saadaan kuluttajalaitteiden sähkönkulutukseksi 3 236 kWh/vuosi. Insinööriyön laskelmissa arvioidaan kuluttajalaitteiden sähkönkulutuksen olevan 3 600 kWh/vuosi. Energiatehokkuusasetuksen 11 §:n (2017: 7) mukaisessa standardikäytössä laskettuna valaistuksen sähkönkulutukseksi saadaan 631 kWh/a. Energiateollisuus ry:n mukaan nelihenkisen perheen valaistuksen sähkönkulutus vuonna 2011 on ollut 1 120 kWh. Insinööriyön laskelmassa arvioidaan valaistuksen sähkönkulutuksen olevan 739 kWh/vuosi.

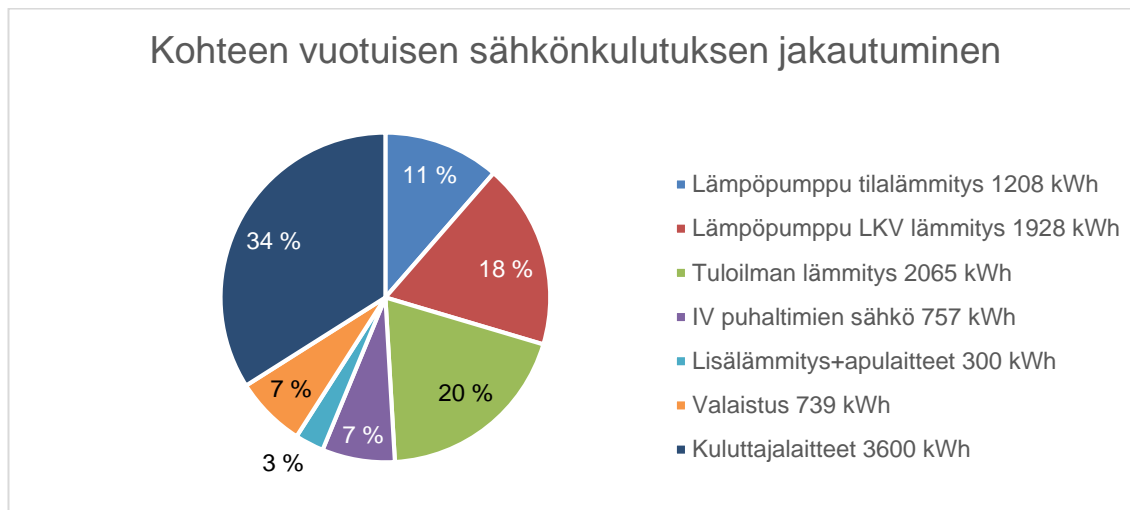
Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus on ajoitettu tuntikohtaisesti FINVAC ry:n asuinrakennuksen sähkökäyttöprofiilin mukaisesti (liite 6). Profiilista on otettu huomioon 1 kahden hengen makuuhuone, 2 yhden hengen makuuhuonetta, olohuone, keittiö sekä kodinhoituhuone. Lisäksi valaistuksen kuukausittainen sähkönkulutus on kerrottu sähkökäyttöprofiilin kuukausikertoimilla, jotka vähentävät valaistuksen tarvetta valoisampina kuukausina (liite 6). Laitesähkön kulutusta ei ole painotettu kuukausikohtaisesti, koska ajatellaan, että laitteita käytetään vuodenajasta riippumatta yhtä paljon. Käyttöprofiilissa esitettyjä kulutuksia ei ole käytetty laskelmissa suoraan, vaan niistä on muodostettu vuorokausikohtaiset painotuskertoimet. Jos käytettäisiin suoraan profiilissa esitettyjä arvoja, saataisiin vuotuiseksi valaistuksen energiankulutukseksi n. 549 kWh ja kuluttajalaitteiden sähkönkulutukseksi n. 582 kWh ilman kuukausipainotuksia. Nämä arvot eivät ole etenkään kuluttajalaitteiden osalta samassa suuruusluokassa muiden käytettyjen lähteiden kanssa, joten siksi sähkökäyttöprofiilista huomioidaan vain kulutuksen ajallinen jakautuminen. Profiilissa esitetty tuntikohtainen sähkönkulutus on jaettu vuorokauden tuntikohtaisten kulutusten keskiarvolla. Saatu tulos on vuorostaan kerrottu aiemmin esitetyillä arvioituilla vuotuisen laitesähkön ja valaistuksen energiankulutuksen tuntikohtaisilla arvoilla. Näin koko vuoden kulutussumma on jaettu ja painotettu tuntikohtaisesti. Valaistuksen ja kuluttajasähkön yhteenlaskettua käyttöä esimerkkipäivänä 2.5. (keskiviikko) on havainnollistettu kuvassa 8.



Kuva 8. Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden yhteenlaskettu sähkönkulutus kohteessa keskiviikkona 2.5.

4.5 Kohteen kokonaissähkönkulutus ja energiansäästöpotentiaali

Kohteen vuotuisen sähkönkulutuksen jakautuminen on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Kohteen vuotuisen kokonaissähkönkulutuksen jakautuminen.

Kuvasta voidaan havaita, että suurimmat energiansäästönsä mahdollisuudet ovat kuluttajalaitteiden, lämpimän käyttöveden sekä tuloilman lämmityksen sähkönkulutuksen optimoinnissa.

Kuluttajalaitteiden käytön synkronoiminen aurinkosähkön tuotannon mukaisesti on harvoin mahdollista asuinrakennuksissa. Potentiaalisia käyttökohteita ovat esimerkiksi pesukoneiden ajastettu käyttö päiväsaikaan, kun aurinkosähköä on saatavilla. Näissä tilanteissa piilee tosin vesivahinkojen riski, jos pesukone hajoaa kesken käynnin ja kotona ei ole ketään paikalla.

Käyttöveden lämmitystä voidaan optimoida aurinkosähkön tuotannon mukaan, jos käytössä on tilavuudeltaan riittävän suuri varaaja. Lämpimän käyttöveden varaaja voidaan ohjelmoida lämmittämään käyttövettä päiväsaikaan. Huoman (2015: 16–23) on kandidaatintyössään tutkinut lämminvesivaraajan logiikkaohjausta. Simuloidussa tutkimuksessa havaittiin, että logiikkaohjatulla 300 litran sähkövaraajalla ja 5 kilowatin (kW_p) tehoisella aurinkosähköjärjestelmällä voitiin vähentää kesäkuukausien ostosähköä 39 % ja myyntiin menevää ylijäämäistä aurinkosähköä 59 % termostaattiohjattuun varaajaan verrattuna.

Tässä insinööriyössä ei tarkastella lämminvesivaraajan ohjausta, koska alustavasti kohteeseen suunniteltuun lämpöpumppuun sisältyy sisäänrakennettu varaaja. Tämä varaaja ei luultavasti ole tarpeeksi suuri edellä kuvattuun lämpimän käyttöveden varaamiseen.

Tuloilman sähköisen lämmityksen muuttaminen lämpöpumpulla lämmitettäväksi vesikiertoiseksi patteriksi on potentiaalinen energiansäästötoimenpide, koska tuloilman lämmityksen sähköntarve pienenee lämpöpumpun lämpökertoimen mukaisesti. Tarvittavien putkistojen ja vesipattereiden asennuskustannukset on aina katsottava tapauskohtaisesti. Kustannukset riippuvat usein valitusta lämpöpumpun tyypistä. Myös ilmanvaihtokoneen todellinen vuosihyötysuhde vaikuttaa lämmitystavan valintaan. Jos laskelmissa käytettäisiinkin esimerkiksi Vallox 096 -ilmanvaihtokoneen ilmoitettua vuosihyötysuhdetta 75 % energiatehokkuusasetuksessa ilmoitetun 55 %:n sijaan, saataisiin tuloilman lämmityksen sähköenergian tarve pienentettyä arvoon 644 kWh, joka on vain 31 % alkuperäisessä laskelmassa saadusta sähkökulutuksesta 2 065 kWh (Vallox). Luonnosuunnitteluvaiheessa ei ole vielä järkevää tarkastella tuloilman lämmitystapaa.

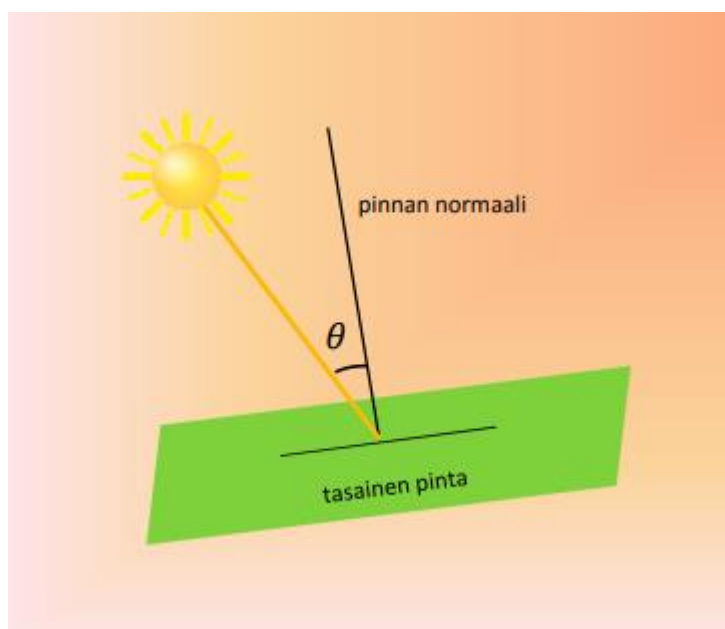
5 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus

5.1 Järjestelmän vuosituotannon laskenta

Energiaomavaraisuuden lisäämiseksi rakennukseen suunnitellaan aurinkosähköjärjestelmä harjakatolle, jonka kaltevuus on 40 astetta. Tässä insinööriyössä ei käsitellä aurinkosähköjärjestelmien teknologiaa, vaan keskitytään kannattavuuden laskentaan. Kallistuskulmaltaan 35...45-asteinen katto on optimaalinen aurinkosähköenergian suurimman vuosituoton saamiseksi, kun katon lappeet ovat pohjoiseen ja etelään suunnatut. Motiva Oy:n mukaan 15 asteen poikkeama optimikulmasta vähentää vuosituotantoa noin 5 %. Katon kallistuskulma vaikuttaa sähkön tuotannon vaihteluun seuraavasti: loiva kulmalla tuotanto painottuu keskikesälle ja jyrkällä kulmalla tuotanto saadaan tasaisemmin keväästä syksyyn. Rakennuksen pohjaratkaisu on neliön muotoinen, koska insinööriyössä halutaan tutkia myös lappeiltaan itä-länsi-suuntaisen harjakaton käyttämistä aurinkosähkön tuotantoon. Neliön muotoisella pohjaratkaisulla katon lapetta voidaan suunnitteluvaiheessa kääntää pääilmansuuntien mukaan ilman että rakennukseen tarvitsee

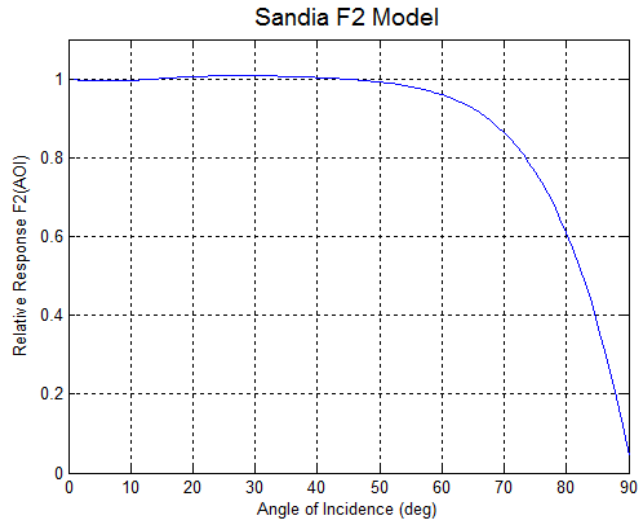
tehdä merkittäviä arkkitehtonisia muutoksia. Jos rakennuksen sähkönkulutushuiput osuvat aamuun ja iltaan, saattaa aurinkopaneelien suuntaaminen itään ja länteen olla perusteltua (Aurinkopaneelien asentaminen 2016).

Aurinkosähköjärjestelmän tuoton laskentamalli on luotu energialaskennan testivuoden TRY2012 Vantaan sääaineiston perusteella (2012). Testivuoden aineistossa on ilmoitettu tuntikohtainen suora auringonsäteily säteilyä vastaan kohtisuoralle pinnalle sekä auringon hajasäteily vaakapinnalle. Laskentamallissa on laskettu suora säteily sekä hajasäteily kiinteälle kallistetulle pinnalle (aurinkopaneelille). Näiden summana on saatu kokonaissäteily kiinteälle kallistetulle pinnalle. Suoran säteilyn tehokerroin kallistetulle pinnalle on saatu laskemalla trigonometrisesti auringonsäteen ja aurinkopaneelin pinnan normaalin tuntikohtainen kohtauskulma eli tulokulma. Tulokulma on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Auringonsäteen tulokulma (kuvassa kulma θ) (Nurmiainen 2017).

Lisäksi on laskettu auringonsäteen suuren tulokulman aiheuttamien lisäheijastusten häviö $\alpha_{tulokulma}$ Sandia IAM Model -kuvaajan avulla. Lisäheijastukset heikentävät paneelin tuottoa ja niitä esiintyy kuvaajan mukaan silloin, kun tulokulma on yli 50 astetta. Sandia IAM Model -kuvaaja on esitetty kuvassa 11 (Sandia IAM Model 2018).



Kuva 11. Sandia IAM Model -kuvaaja tulokulman kertoimelle. Kuvassa nimellä F2 Model. Angle of incidence tarkoittaa auringonsäteen tulokulmaa paneeliin ja Relative Response on heijastuksien aiheuttama häviökerroin. (Sandia IAM Model 2018)

Sandia IAM Model -kuvaajasta johdetut häviökerroimen arvot on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Sandia IAM Model -kuvaajasta johdettu tulokulman heijastuskerroin.

Auringonsäteen tulokulma paneeliin (astetta)	Tulokulman aiheuttama kerroin $\alpha_{tulokulma}$
>0–55	1
>55–60	1
>60–70	0,9
>70–80	0,75
>80–90	0,3

Kohtauskulman ja heijastuksen aiheuttaman häviön tulon avulla saadaan yhtälöllä 16 säteilyn tehokerroin.

$$\alpha_{teho} = \cos(\text{hor. kulmaero}) * \cos(\text{ver. kulmaero}) * \alpha_{tulokulma} \quad (16)$$

α_{teho}	tehokerroin kiinteäasenteiselle pinnalle
hor. kulmaero	paneelin pinnan normaalin ja auringon tuntikulman välinen horisontaalinen kulmaero, astetta
ver. kulmaero	paneelin pinnan normaalin ja auringon korkeuskulman välinen vertikaalinen kulmaero, astetta
$\alpha_{tulokulma}$	Sandia IAM -mallin perusteella arvioitu tulokulman heijastuskerroin

Suoran säteilyn voimakkuus kiinteäasenteiselle pinnalle on laskettu yhtälöllä 17.

$$E_{suora} = E_{suora,ks} * \alpha_{teho} \quad (17)$$

E_{suora} Suora säteily kiinteäasenteiselle pinnalle, W/m²

$E_{suora, ks}$ Suora säteily säteilyä vastaan kohtisuoraan olevalle pinnalle, W/m²

Hajasäteilyn voimakkuus kiinteäasenteiselle pinnalle on laskettu Simple Sandia Sky Diffuse Model -yhtälöllä (2018), joka on esitetty yhtälössä 18.

$$E_{haja} = E_{haja,vp} * \left(\frac{1 + \cos(\theta_T)}{2} \right) + E_{kok,vp} * \frac{(0,012 * \theta_z - 0,04) * (1 - \cos(\theta_T))}{2} \quad (18)$$

E_{haja} hajasäteily kiinteäasenteiselle pinnalle, W/m²

$E_{haja, vp}$ hajasäteily vaakapinnalle, W/m²

$E_{kok, vp}$ kokonaissäteily vaakapinnalle, W/m²

θ_T pinnan kallistuskulma, astetta

θ_z auringon zenittikulma, astetta

Kokonaissäteilyn voimakkuus kiinteäasenteiselle pinnalle saadaan yhtälöllä 19.

$$E_{kok} = E_{suora} + E_{haja} \quad (19)$$

E_{kok} kokonaissäteily kiinteäasenteiselle paneelille, W/m²

Aurinkosähköjärjestelmän tuotto on laskettu ympäristöministeriön Aurinko-oppaassa (2012: 20–22) esitetyjä hyötysuhteita käyttäen yhtälöllä 20.

$$E_{s,pv,out} = \frac{E_{kok} * K_{max} * A * F_{käyttö}}{I_{ref}} \quad (20)$$

$E_{s,pv,out}$ aurinkosähkökennojen tuottama sähköteho, W

E_{kok} aurinkosähkökennoon kohdistuva säteily, W/m²

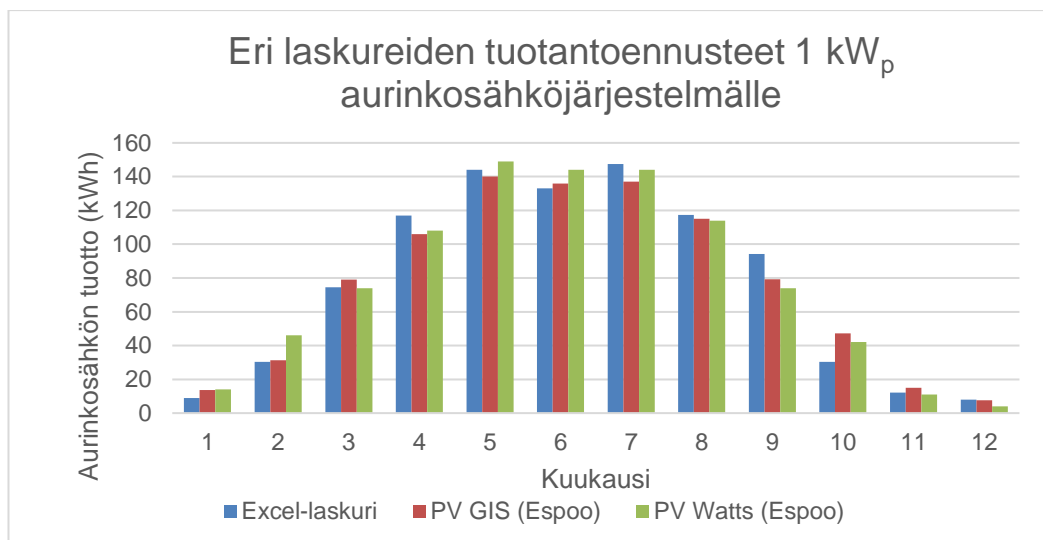
K_{max} huipputehokerroin, kW/m²

A aurinkosähkökennon pinta-ala, m²

$F_{käyttö}$ käyttötilanteen toimivuuskerroin

I_{ref} referenssisäteilytilanne (1 kW/m²)

Huipputehokertoimena on käytetty arvoa $0,16 \text{ kW/m}^2$, joka vastaa piipohjaisen aurinkopaneelin tehoa. Aurinkosähkökennon pinta-ala määräytyy huipputehon mukaan, jolloin huipputeho 1 kW_p vastaa pinta-alaltaan $6,8 \text{ m}^2$:n kokoista järjestelmää (Auvinen & Juntunen 2017). Käyttötilanteen toimivuuskertoimena on käytetty arvoa $0,75$, joka vastaa hieman tuuletettua moduulia. Laskurilla saadaan vuosittaiseksi energiatuotoksi $60,2$ leveyspiirillä 40 asteen kulmassa etelään suunnatuilla paneeleilla 1 kW_p :n tehoisella järjestelmällä 918 kWh . Excel-laskurilla saatua tulosta verrattiin yleisesti käytetyillä PV GIS -laskurilla (European Joint Research Community 2017) sekä PV Watts -laskurilla (National Renewable Energy Laboratory) saatuun kuukausikohtaiseen tuottoon vastaavilla järjestelmäparametreilla. PV GIS -laskurin vuosituotoksi Espoon sijainnilla ($60,2$ leveyspiiri) saatiin 907 kWh ja PV Watts -laskurilla 924 kWh . Kuukausikohtainen vertailu on esitetty kuvassa 11.



Kuva 12. 1 kW_p aurinkosähköjärjestelmän tuottovertailu insinööriyössä laaditulla Excel-laskurilla, PV GIS -laskurilla sekä PV Watts -laskurilla.

5.2 Järjestelmän kannattavuus

Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus on laskettu käyttäen FinSolar-hankkeen aurinkosähkön kannattavuuslaskuria (Auvinen & Juntunen 2017). Laskuri laskee aurinkosähköjärjestelmän nettonykyarvon 30 vuoden investoinnin pitoajalla yhtälöllä 21.

$$NNA = -C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (21)$$

NNA	investoinnin nettonykyarvo
C_0	investoinnin hinta
C_t	vuotuinen nettotuotto
i	reaalinen laskentakorko
t	investoinnin pitoaika

Reaalisenä laskentakorkona käytetään insinööriyössä arvoa 2 %. Investoinnille ei aseteta tuottovaatimusta. Vuotuinen nettotuotto saadaan kaavalla 22.

$$C_t = \text{Tuotannon arvo ja myyntituotot} - \text{investointi ja ylläpitokustannukset} \quad (22)$$

Sähkötuotannon vuotuinen arvo saadaan kertomalla järjestelmän vuosituotanto aurinkosähkön oman käytön osuudella ja kertomalla saatu tulo ostosähkön kokonaishinnalla. Näin saadaan omalla tuotannolla korvatus ostosähkön arvo. Oman käytön osuus saadaan jakamalla vuosittain omassa käytössä hyödynnetty aurinkosähkö järjestelmän vuosituotannolla. Vuosittain omassa käytössä hyödynnetty aurinkosähkö saadaan laskemalla yhteen tuntikohtaiset tuotantomäärät niiltä tunneilta, kun tuotanto on pienempi kuin sähköntarve, ja tuntikohtaiset sähköenergian tarpeet niiltä tunneilta, kun tuotanto on suurempi kuin sähköntarve. Järjestelmän tuotannon oletetaan heikkenevän 0,5 % vuodessa ensimmäisestä vuodesta lähtien. Ostosähkön hinnaksi on oletettu 0,15 €/kWh, kuten aiemmassa lämmitysjärjestelmien vertailulaskennassa. Sähköenergian hinnan oletetaan pysyvän vakiona. Myyntituotot saadaan kertomalla omassa käytössä käyttämättä jäävä sähköntuotannon osuus myyntisähkön hinnalla. Myyntisähkön hinnaksi on oletettu 0,05 €/kWh (Auvinen & Jalas 2017).

Investointi- ja ylläpitokustannukset lasketaan seuraavasti: Laskentajakson alussa suoritetaan investointikustannus, joka on järjestelmän arvo, josta on vähennetty kotitalousvähennys. Kotitalousvähennyksenä voidaan huomioida 45 % asennuskustannuksista. Insinööriyössä on arvioitu, että tämä vastaa 15 %:n vähennystä järjestelmän avaimet käteen -hinnasta (Auvinen & Liuksiala 2016). Ensimmäisen vuoden jälkeen vuosittaisten ylläpitokustannuksien oletetaan olevan 0,1 % investointikustannuksista. Lisäksi 15. vuoden kohdalla tehdään invertterin uusinta, jonka kustannus on 10 % alkuinvestoinnista, mikäli järjestelmän koko on pienempi kuin 2 kW_p, ja 8 % alkuinvestoinnista, mikäli järjestelmän koko on 2 kW_p tai suurempi.

Investoinnin takaisinmaksuaika saadaan laskemalla yhteen ne vuodet, joiden nettonykyarvo on negatiivinen. Jos nettonykyarvo on negatiivinen vielä 30. vuoden kohdalla tai sen jälkeen, laskuri ilmoittaa takaisinmaksuajan olevan 30 vuotta.

5.3 Sähköauton lataus aurinkosähköllä

Insinööriyössä tutkitaan, miten sähköauton lataaminen aurinkosähköllä kohteessa vaikuttaa aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuteen. Suomalaisten keskimääräinen työmatka yhteen suuntaan vuonna 2010 on ollut n. 14 kilometriä (Suomen ympäristökeskus 2016). Insinööriyössä tarkasteltavassa kohteessa ajatellaan, että maanantaisin, tiistaisin, torstaisin ja perjantaisin autolla ajetaan päivittäin 50 km ja yksi päivä arkiviikosta (keskiviikko) on etätyöpäivä, jolloin autolla ei ajeta. Lauantaina ajetaan 25 km.

Oletetaan, että käytetty auto on tuleva Tesla Model 3, jossa on kapasiteetiltaan n. 50 kWh:n akku. Tälle akulle ilmoitettu kantama on 354 km (Electrek 2017). Oletetaan, että todellinen kantama on esimerkiksi 300 km. Tämä tarkoittaa, että akun täyttämiseksi latauspäivän jälkeisiä ajoja varten akkua tulee ladata keskiviikkoisin n. 33 % ja viikonloppuisin kumpanakin päivänä n. 21 % kapasiteetista. Akkua ladataan keskipäivällä.

6 Tulokset

Rakennuksen kokonaissähkönkulutus ilman sähköautoa on 10597 kWh vuodessa. Tarkastellaan aurinkosähkön kannattavuutta ilman sähköauton lataamista tuntikohtaisen energiankulutuksen perusteella käyttäen aurinkosähköjärjestelmien esimerkkihintoina Vattenfall Oy:n tarjoamien järjestelmien hintoja, jotka sisältävät asennustyön (Aurinkopaneelipakettien hinnat 2017). Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuteen kuluttajahan-kinnoissa vaikuttaa suuresti investointikustannus. Järjestelmän voi mahdollisesti hankkia tarjoushintaan, ja eri toimittajien keskenään saman kokoisten järjestelmien hinnat voivat poiketa toisistaan. Tässä insinööriyössä ei ole tarkoitus ottaa kantaa aurinkosähkön kannattavuuteen yleisesti, vaan osoittaa eroavaisuudet kannattavuuksissa erilaisilla asennustavoilla sekä ottamalla huomioon sähköauton lataus kohteessa. Insinööriyössä Vattenfall Oy valittiin järjestelmän toimittajaksi, koska yritys tarjoaa useita erikokoisia järjestelmiä ja lisäksi itä-länsi-suuntaisen asennusvaihtoehdon yhdelle järjestelmäkoolle. Esimerkkilaskelma etelään suunnatulle järjestelmälle on taulukossa 10.

Taulukko 10. Erikokoisten aurinkosähköjärjestelmien (toimittaja Vattenfall Oy) kannattavuuksia kohteessa ilman säännöllistä sähköauton latausta.

Järjestelmän teho	2,6 kW _p	3,64 kW _p	5,2 kW _p
Järjestelmän koko	n. 17,7 m ²	n. 24,8 m ²	n. 35,4 m ²
Hinta asennettuna (kotitalousvähenys -15% tehtynä)	5092 €	6367 €	8458 €
Hinta/W _p	1,96 €	1,75 €	1,63 €
Vuosituotanto-arvio	2386 kWh	3340 kWh	4771 kWh
Oman käytön osuus	59 %	50 %	41 %
Takaisinmaksuaika	>30 vuotta	29 vuotta	>30 vuotta
Nettonykyarvo 30 v	-81 €	57 €	-148 €

Tuloksista huomataan, että käytettäessä tuntikohtaista laskentatapaa 3,64 kW_p:n kokoinen järjestelmä on annetuista vaihtoehdoista insinööriyössä käsiteltävään kohteeseen sopivimman kokoinen, vaikka kannattavuuserot eri järjestelmäkokojen välillä ovat pienet.

Pienimmällä järjestelmäkoolla oman käytön osuus on suurin, mutta järjestelmän hinta saatua tehoa kohden on kalliimpi. Vattenfall tarjoaa 3,64 kW_p järjestelmästä myös vaihtoehdon itä-länsisuuntaisia asennuksia varten. Tutkitaan seuraavaksi järjestelmän kannattavuutta, kun puolet paneeleista asennetaan katon itälapeelle ja puolet länsilapeelle (taulukko 11).

Taulukko 11. Etelä- ja itä-länsisuuntaisten 3,64 kW_p:n järjestelmien vertailu.

Järjestelmän teho	3,64 kW _p (etelä)	3,64 kW _p (itä-länsi)
Hinta asennettuna (kotitalousvähenys -15% tehtynä)	6367 €	6801 €
Hinta/W _p	1,75 €	1,87 €
Vuosituotanto-arvio	3340 kWh	1254 kWh +1085 kWh =2339 kWh
Oman käytön osuus	50 %	76 %
Takaisinmaksuaika	29 vuotta	>30 vuotta
Nettonykyarvo 30 v	57 €	-790 €

Laskelmasta huomataan, että etelän suuntainen järjestelmä on kannattavampi kuin itä-länsi-suuntainen järjestelmä, vaikka itä-länsisuuntaisessa järjestelmässä oman käytön osuus on suurempi. Seuraavaksi tutkitaan, miten sähköauton lataus vaikuttaa aurinkosähkön kannattavuuteen. Kun kohteessa ladataan sähköautoa luvussa 5.3 kuvatulla tavalla, vuotuinen kokonaissähkönkulutus on 11 948 kWh. Sähköauton kolmivaiheinen latausteho määritellään yhtälössä 23.

$$P_L = \sqrt{3} * U * I_L \quad (23)$$

P_L	kolmivaiheinen latausteho, W
U	pääjännite, V
I_L	latausvirta, A

Suomessa pääjännite on 400 V. Tarkastelemalla rakennuksen tuntikohtaista energialaskelmaa huomataan, että koko vuoden maksimiarvo tuntikohtaiselle aurinkosähkön ylijäämäenergiamäärälle 3,64 kW_p:n järjestelmällä on 2,7 kWh. Tästä voidaan arvioida tunnin keskimääräisen tehon perusteella, että sähköautoa ei kannata missään vaiheessa ladata yli 2,7 kW:n latausteholla, koska ylimenevä tehontarve otetaan sähköverkosta. Tämä latausteho vastaa n. 4 ampeerin latausvirtaa. Pienintä sopivaa latausvirtaa rajoittaa latauksen kesto. Jos autoa päätetään ladata esimerkiksi 1,5 A:n latausvirralla, kestää keskiviikkoinen 33 %:n akkukapasiteetin lataus noin 11 tuntia. Tällöin ainakin osa latauksesta tulee todennäköisesti tapahtumaan silloin, kun aurinko ei ole horisontin yläpuolella. Laskelmaa varten tarkastellaan aurinkosähkön kannattavuutta kohteen kokonaissähkökulutuksella, johon on lisätty sähköauton lataaminen kohteessa kolmella eri latausvirran vaihtoehdolla (taulukko 12).

Taulukko 12. Järjestelmän kannattavuus, kun ladataan sähköautoa eri latausvirroilla.

Järjestelmän koko	3,64 kW _p	3,64 kW _p	3,64 kW _p
Sähköauton latausvirta	3 A	2 A	1,5 A
Oman käytön osuus	64 %	65 %	64 %
Takaisinmaksuaika	24 vuotta	24 vuotta	24 vuotta
Nettonykyarvo 30 v	1038 €	1088 €	990 €

Huomataan, että optimaalisin latausvirta tarkastelluista vaihtoehdoista on 2 A, jolloin autoa ladataan keskiviikkoisin 8,25 h ja lauantaisin ja sunnuntaisin 5,25 h. Sähköauton lataaminen vähentää 3,64 kW_p aurinkosähkölaitteiston takaisinmaksuaikaa insinöörityössä tarkasteltavassa kohteessa noin 5 vuotta. Tarkastellaan seuraavaksi tapausta, jossa kohteeseen valittaisiinkin 5,2 kW_p:n järjestelmä. Vertailu on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Erikokoisten järjestelmien vertailu, kun ladataan sähköautoa.

Järjestelmän koko	3,64 kW _p	5,2 kW _p	5,2 kW _p
Sähköauton latausvirta	2 A	ei autoa	2 A
Oman käytön osuus	65 %	41 %	53 %
Takaisinmaksuaika	24 vuotta	>30 vuotta	25 vuotta
Nettonykyarvo 30 v	1088 €	-148 €	1111 €

Laskelmasta huomataan, että sähköauton lataus nostaa 5,2 kW_p:n järjestelmän nettonykyarvon 30 vuoden laskenta-ajalla niukasti yli 3,64 kW_p:n järjestelmän nettonykyarvon. Tarkastellaan vielä tapausta, jossa autolla ajettaisiinkin 100 km neljänä päivänä viikossa ja autoa ladattaisiin 4 A:n latausvirralla 8,75 tuntia keskiviikkoisin ja 5 tuntia lauantaisin ja sunnuntaisin. Vertailu on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 14. Järjestelmien kannattavuuden vertailu 100 km ajomatalla.

Järjestelmän koko	3,64 kW _p	5,2 kW _p
Sähköauton latausvirta	4 A	4 A
Oman käytön osuus	69 %	61 %
Takaisinmaksuaika	23 vuotta	23 vuotta
Nettonykyarvo 30 v	1360 €	1826 €

Suuremmilla ajomatkoilla 5,2 kW_p:n järjestelmän parempi kannattavuus 3,64 kW_p:n järjestelmään alkaa erottua selkeämmin. Lopuksi tarkastellaan tilannetta, jossa autolla ajettaisiin 50 km neljänä päivänä viikossa ensimmäisen esimerkin mukaisesti, mutta ylijäämäsähköä ei saataisi myytyä verkkoon (taulukko 15).

Taulukko 15. Järjestelmien kannattavuuden vertailu 50 km ajomatalla, kun ylijäämäsähköä ei myydä verkkoon.

Järjestelmän koko	3,64 kW _p	5,2 kW _p
Sähköauton latausvirta	2 A	2 A
Oman käytön osuus	65 %	53 %
Takaisinmaksuaika	>30 vuotta	>30 vuotta
Nettonykyarvo 30 v	-117 €	-1174 €

Ylijäämäsähkön myyntimahdollisuuden poistuminen vaikuttaa radikaalisti järjestelmien kannattavuuteen ja tekee 3,64 kW_p:n järjestelmästä 5,2 kW_p:n järjestelmää kannattavamman, vaikka kohteessa ladattaisiinkin sähköautoa. Myyntisähkön tuottojen poistaminen tekee kummastakin järjestelmästä kannattamattoman 30 vuoden laskenta-ajalla.

Insinöörityöprosessin aikana rakennetulla laskurilla voidaan myös tehdä vertailu aurinkosähkötoimittajan omaan laskuriin. Vattenfall Oy:llä on oma aurinkosähkölaskurinsa, jolla voidaan tutkia aurinkosähköjärjestelmällä saatuja vuotuisia säästöjä. Määrittämällä laskuriin insinöörityössä käsiteltävän kohteen tiedot, ehdottaa laskuri sopivaksi järjestelmäksi suurinta katolle mahtuvaa järjestelmää, joka on teholtaan 5,2 kW_p (katon lappeen pinta-ala on n. 39 m²). Tällä järjestelmällä saatu vuotuinen energiansäästö olisi 4 940 kWh ja rahallinen säästö 593 € vuodessa.

Laskelma perustuu sähköntuotannon arvoon 950 kWh/kW_p ja ostosähkön hintaan 0,12 €/kWh. Laskurissa oletetaan, että kaikki aurinkosähkön tuotanto saadaan hyödynnettyä. Ylijäämäsähkön myyntiä ei oteta huomioon. Tällaisen järjestelmän korollinen takaisinmaksuaika 2 %:n reaalikorolla ja 15 %:n kotitalousvähennyksen kanssa olisi noin 17 vuotta. Järjestelmän heikkenemistä, ylläpitokuluja ja invertterin vaihtoa ei oteta huomioon (Aurinkopaneelilaskuri). Lasketaan seuraavaksi, paljonko kyseisen järjestelmän takaisinmaksuaika olisi käyttäen FinSolar-kannattavuuslaskuria. Oletetaan, että 100 % tuotannosta saadaan hyödynnettyä omassa käytössä. Järjestelmän vuosituotto 1 kW_p:n järjestelmällä, reaalin laskentakorko, kotitalousvähennys, järjestelmän tehon heikkeneminen, ylläpitokulut ja invertterin vaihtokustannukset on määritelty kuten osiossa 5.2. Lähtötiedot laskentaan on esitetty taulukossa 16.

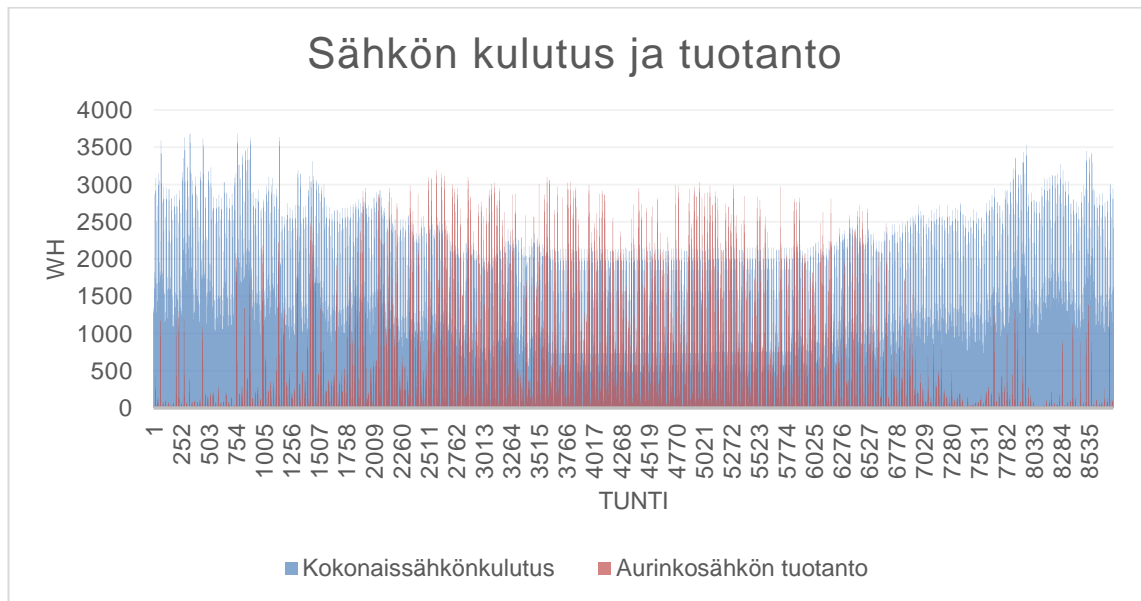
Taulukko 16. Lähtötiedot aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden laskentaan ottaen huomioon ylläpitokulut, tehon heikkenemisen ja invertterin vaihdon. Oman käytön osuus on 100 %.

Välitulos: aurinkosähkön vertailuhinta eli aurinkosähkön vaihtoehtokustannus	12,0	snt/kWh
Arvio vertailuhinnan noususta	0,0%	%/vuosi
Aurinkosähkön asennuskohteen (kiinteistö/ kiinteistöryhmä) sähkönkulutus	10622,2	kWh/v
Tiedot hankittavasta aurinkosähköjärjestelmästä ja sen investointikustannuksista:		
Aurinkosähköjärjestelmän koko tehona Wp	5,20	kWp
Välitulos: järjestelmän koko paneelien pinta-alana noin m ²	35,36	neliometriä
Aurinkosähköjärjestelmän avaimet käteen -investointikustannus € (laitteet ja asennus, myös mahdollinen ALV)	€9 950	euroa
Välitulos: Järjestelmän vertailuhinta ilman tukia	1 913 €	euroa/kWp
Mahdollinen investointituki, kotitalousvähennys tms. alkuinvestoinnista, %	15 %	
Oma mainos-, brändi- tai ympäristötuki investoinnille €	€0	euroa
Välitulos: Järjestelmän investointikustannus sisältäen mahdolliset tuet €	8 458 €	euroa
Rahoituksen korko	2,0%	
Investoinnin tuottovaatimus	0,0%	
Välitulos: Investoinnin laskentakorko	2,0%	
Aurinkosähkön oman käytön osuus, %	100 %	
Aurinkosähkön myyntihinta verkkoon snt/kWh	0,0	snt/kWh
Invertterin vaihdon kustannus, osuus alkuinvestoinnista. Oletettu tapahtuvan kerran aurinkosähköjärjestelmän elinaikana 15. vuotena.	8 %	
Vuotuiset ylläpitokulut (vakuutukset, huolto tms. kulut) % alkuinvestoinnista	0,1 %	
Aurinkosähkön vuosituotto järjestelmän sijainnin mukaan	918	kWh/kWp
Välitulos: aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto alussa	4774	kWh
Aurinkovoimalan vuosittainen sähköntuotannon vähenemä %/v	-0,5%	%

Takaisinmaksuajaksi saadaan taulukon 18 lähtötiedoilla 20 vuotta. Ylläpitokulut, invertterin vaihto ja järjestelmän tehon heikkeneminen eivät vaikuta takaisinmaksu-aikaan suuressi. Jos käytetään kuitenkin insinööriyössä aiemmin käytettyjä vertailuarvoja sähkön osto- ja myyntihinnalle ja asetetaan oman käytön osuudeksi 41 % (taulukko 10), tulee investoinnista kannattamaton 30 vuoden laskenta-ajalla.

Aurinkosähkötoimittaja toteaa laskelmiensa yhteydessä, että laskurissa esitetyn energiansäästön toteutumista ei tulla takaamaan.

Kuvassa 13 on esitetty vuotuinen sähkönkulutus ja -tuotanto, kun käytössä on 3,64 kW_p:n aurinkosähköjärjestelmä. Sähkönkulutuksessa ei ole mukana sähköauton latauksen energiamäärää. Kuvan tarkkuus on viitteellinen.



Kuva 13. Vuotuinen sähkönkulutus ja -tuotanto 3,64 kW_p:n aurinkosähköjärjestelmällä. Kuvan tarkkuus on viitteellinen.

7 Yhteenveto

Insinööriyön lopputuloksena saatiin laskettua luonnossuunnitteluvaiheessa olevan pientalon arvioitu vuotuinen sähkönkulutus sekä aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotanto tunnin aika-askeleella. Tätä laskelmaa voidaan käyttää hyväksi sähkönkäytön ja -tuotannon ajallisessa yhteensovittamisessa taloudellisten hyötyjen maksimoimiseksi. Työssä tarkasteltiin myös suunnitteluvaiheessa olevan pientalon energiatehokkuuteen vaikuttavia asioita, mitoitettiin alustavasti kohteeseen sopiva lämmitysjärjestelmä lasketun energiankulutuksen perusteella sekä tarkasteltiin aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta, kun asumisen sähkönkulutuksen lisäksi kohteessa ladataan säännöllisesti sähköautoa.

Pientalon energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa jo rakennussuunnitteluvaiheessa rakennuksen muotokertoimella ja aurinkoenergian passiivisen hyödyntämisen maksimoinnilla. Painotetun muotokertoimen avulla voidaan verrata esimerkiksi samankokoisten, mutta kerroslukumäärältään erilaisten rakennusten energiatehokkuutta. Aurinkoenergian passiivisen hyödyntämisen suunnittelussa tulee huomioida kesäaikainen tilojen yllä lämpeneminen. Tässä insinööriyössä ei tarkasteltu yllä lämpenemisen hallintaa muuten kuin olettamalla, että yllä lämmöstä hankkiudutaan eroon erikseen määrittämättömällä tavalla.

Kohteeseen valittiin maalämpöpumppu tuottamaan tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia. Lämpöpumpun sähköenergian kulutuksen melko tarkka tuntikohtainen laskeminen on mahdollista olemassa olevien työkalujen avulla, mutta vaatii sen, että lämpöpumpun toiminta-arvot on mitattu ja ilmoitettu mahdollisimman monessa eri ulkolämpötilassa. Näin ei usein ole, ja energialaskentaa varten toiminta-arvoja saatetaan joutua korjaamaan erilaisten laskukaavojen avulla. Tämä saattaa vääristää lopputulosta. Eri lämpöpumpputyyppeiden keskinäinen vertailu on haastavaa, koska toiminta-arvot ilmoitetaan lämpöpumpusta riippuen eri tavoilla: esimerkiksi lämmönkeruuliuksen lämpötilaan perustuen, ulkolämpötilaan perustuen tai rakennuksen poistoilman lämpötilaan perustuen.

Kohteeseen mitoitettiin aurinkosähköjärjestelmä tuntikohtaisen sähköntarpeen ja sähköntuotannon taselaskennalla. Tämä antoi havainnollisen kuvan siitä, mikä on aurinkosähkön hyödyntämisaste tarkastellussa kohteessa erikokoisilla järjestelmillä. Huomattiin, että tarkasteltavassa kohteessa valitun toimittajan teholtaan sopivin aurinkosähköjärjestelmä oli 30 vuoden laskenta-ajalla heikosti kannattava. Aurinkopaneelit asennettiin oletuksena etelän suuntaisesti. Laskentamallin avulla saatiin myös tarkasteltua tilanetta, jossa aurinkopaneelit asennettaisiin itä-länsisuuntaisesti vastaamaan paremmin kohteen sähkönkulutushuippuja. Omakäyttöaste saatiin näin suuremmaksi, mutta vuosituotanto oli etelän suuntaista järjestelmää pienempi. Etelän suuntainen järjestelmä oli edelleen kannattavampi. Järjestelmätoimittajan oma aurinkosähkön tuottolaskuri oletti, että kaikki aurinkosähkön tuotanto saataisiin hyödynnettyä omassa käytössä, ja antoi mahdollisesti liian optimistisen kuvan järjestelmän kannattavuudesta.

Sähkön kokonaiskulutukseen lisättiin sähköauton latauksen viemä energiamäärä. Sähköauton latauksella saatiin kohteeseen alun perin liian suuri 5,2 kW_p:n tehoinen järjestelmä 30 vuoden nykyarvoltaan kannattavammaksi kuin alun perin sopivan kokoinen 3,64 kW_p:n järjestelmä. Huomattiin myös, että ylijäämänsähkön myynti vaikutti suuresti

kannattavuuteen; kun ylijäämänsähkön myyntituotot poistettiin laskelmasta, kumpikaan järjestelmä ei enää ollut kannattava 30 vuoden laskenta-ajalla. Lisäksi 5,2 kW_p:n järjestelmän nettonykyarvo jäi kauas 3,64 kW_p:n järjestelmän taakse, vaikka sähköauton lataus kohteessa laskettiin edelleen mukaan sähkönkulutukseen.

Insinööriyön laskentamallia voitaisiin kehittää laskemalla kohteeseen sopivan jäähdytysjärjestelmän tuntikohtainen energiankulutus. Jäähdytysjärjestelmän energiantarve osuu monesti aurinkoenergian tuotannon kanssa yhteen, jolloin maapiirillä voidaan saada edullista jäähdytystehoa. Tämä parantaa myös aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta. Toinen jatkotutkimuskohde on kohteeseen sopivan kokoisen lämminvesivaraajan mitoittaminen siten, että varaajalla voitaisiin täyttää käyttäjien vuorokautinen lämpimän veden tarve lämmittämällä vesi päiväsaikaan aurinkosähköllä.

Lähteet

Aurinko-opas 2012. 2011. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskoelma/Energiatehokkuus>. Luettu 15.2.2018.

Aurinkopaneelien asentaminen. 2016. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen>. Päivitetty 15.11.2016. Luettu 17.10.2017.

Aurinkopaneelilaskuri. Verkkoaineisto. Vattenfall Oy. <<https://aurinkopaneeli.vattenfall.fi/>>. Luettu 5.3.2018.

Aurinkopaneelipakettien hinnat. 2017. Verkkoaineisto. Vattenfall Oy. <https://www.vattenfall.fi/globalassets/55350_vattenfall_aurinkopaneelit_hinnasto_5_17_a4.pdf>. Luettu 15.2.2018.

Auvinen, Karoliina & Jalas, Mikko. 2017. Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Verkkoaineisto. FinSolar-hanke. <<http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>>. Päivitetty 24.3.2017. Luettu 15.2.2018.

Auvinen, Karoliina & Juntunen, Jouni. 2017. Aurinkosähkön kannattavuuslaskuri. Verkkoaineisto. FinSolar-hanke. <<http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/kannattavuuslaskurit/>>. Luettu 14.2.2018.

Auvinen, Karoliina & Liuksiala, Lotta. 2016. Aurinkoenergiainvestointien tuet. Verkkoaineisto. FinSolar-hanke. <<http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/lait-ja-saadokset/haettavat-tuet-aurinkoenergialle/>>. Päivitetty 7.3.2016. Luettu 15.2.2018.

Energialaskennan testivuosi 2012. Säätiötiedot Vantaa. Suomen rakentamismääräyskoelma. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus>. Luettu 12.2.2018.

Ilmalämpö- ja maalämpöpumput. 2016. Verkkoaineisto. Energiatehokas koti. <http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/ilmalampo_ja_maalampopumput>. Päivitetty 5.2.2016. Luettu 14.2.2018.

Huoman, Kimmo. 2015. Lämminvesivaraajan ohjaus automaatiolla aurinkosähköä tuotavassa kotitaloudessa. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, LUT School of Energy Systems. Doria-tietokanta.

Keskimääräinen omakotitalo 2016. 2017. Verkkoaineisto. Pientaloteollisuus ry. <http://www.pientaloteollisuus.fi/fin/tutkittua_tietoa/keskimaarainen_omakotitalo_2016/>. Luettu 16.10.2017.

Kotien sähkökäytössä merkittäviä eroja. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/asiakkaat/energiatehokkuus/kodin_sahkonkaytto>. Luettu 12.2.2018.

Laukkanen, Maaria. 2015. Rakennusten energialaskuri 1.3. 2015. Verkkoaineisto. <<http://eksergia.fi/category/laskurit-testit-tyokalut/>>. Luettu 14.2.2018.

Loukola, Niklas. 2017. Laskentatyökalu lämmitysmuotojen kustannusvertailuun. Opin- näytetyö. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Vesikiertoinen lattialämmitys. 1996. LVI-13-10261. Rakennustieto Oy.

Lämmitystapojen vertailulaskuri. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <<http://lammitysver- tailu.eneuvonta.fi/>>. Luettu 15.2.2018.

Lämpöpumppujen energialaskentaopas. 2012b. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakenta- mismaarayskokoelma/Energiatehokkuus>. Luettu 15.2.2018.

NIBE F1255 asentajan käsikirja. Verkkoaineisto. NIBE Energy Systems Oy. <<https://www.nibe.fi/nibedocuments/24314/331299-4.pdf>>. Luettu 15.2.2018.

NIBE F1255 lisätarvikkeet: Nibe PV 3031. Verkkoaineisto. NIBE Energy Systems Oy. <<https://www.nibe.fi/tuotteet/maalampopumput/nibe-f1255/#accessories>>. Luettu 14.2.2018.

NIBE F1255 tekniset tiedot. Verkkoaineisto. NIBE Energy Systems Oy. <<https://www.nibe.fi/tuotteet/maalampopumput/nibe-f1255/#technical>>. Luettu 14.2.2018.

NIBE F750 asentajan käsikirja. Verkkoaineisto. NIBE Energy Systems Oy. <<https://www.nibe.fi/nibedocuments/23355/431409-1.pdf>>. Luettu 15.2.2018.

Nurmiainen, Riikka. 2017. Auringon säteilyn tulokulmia yms. (Teoriaa, esimerkkejä ja tehtäviä). Luentoaineisto. Metropolia-ammattikorkeakoulu. Luettu 24.3.2018.

Ohje – Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2017. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakenta- mismaarayskokoelma/Energiatehokkuus>. Luettu 8.1.2018.

Omakotitalojen runkomateriaali. 2017. Verkkoaineisto. Pientaloteollisuus ry. <http://www.pientaloteollisuus.fi/fin/tutkittua_tietoa/keskimaarainen_omakoti- talo_2016/runkomateriaali/>. Luettu 17.10.2017.

Perälä, Rae. 2009. Lämpöpumput, Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestel- mistä. Helsinki: Alfamer Oy.

Photovoltaic geographical information system. 2017. Verkkoaineisto. European Joint Research Community. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html>. Päivitetty 21.9.2017. Luettu 22.2.2018.

PV Watts Calculator. Verkkoaineisto. National Renewable Energy Laboratory. <<http://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>>. Luettu 23.2.2018.

Energiatehokas asuinrakennus- kohti lähes nollaenergiarakentamista. 2015. RIL 249-2015. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Sandia IAM Model. 2018. Verkkoaineisto. PV performance modeling collaborative. <<https://pvpmc.sandia.gov/modeling-steps/1-weather-design-inputs/shading-soiling-and-reflection-losses/incident-angle-reflection-losses/sandia-model/>>. Luettu 15.2.2018.

Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. 2. painos. Jyväskylä: Suomen LVI-liitto ry.

Simple Sandia Sky Diffuse Model. 2018. Verkkoaineisto. PV performance modeling collaborative. <<https://pvpmc.sandia.gov/modeling-steps/1-weather-design-inputs/plane-of-array-poa-irradiance/calculating-poa-irradiance/poa-sky-diffuse/simple-sandia-sky-diffuse-model/>> Luettu 15.2.2018.

SFS-5139. Rakennusten pinta-alat. 2011. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 14511-2. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling. Part 2: Test Conditions. 2013. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 16147. Heat pumps with electrically driven compressors. Testing, performance rating and requirements for marking of domestic hot water units. 2017. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Sähkön hinta. 2018a. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <<https://www.energiavirasto.fi/sahkon-hinta>>. Luettu 22.2.2018.

Sähkön hintavertailu. Hintatilastot. 2018b. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <<https://www.sahkonhinta.fi/summariesandgraphs>>. Luettu 15.2.2018.

Tesla Model 3 battery packs have capacities of ~50 kWh and ~75 kWh, says Elon Musk. 2017. Verkkoaineisto. Electrek. <<https://electrek.co/2017/08/08/tesla-model-3-battery-packs-50-kwh-75-kwh-elon-musk/>>. Luettu 15.2.2018.

Tilakohtaiset lähtötiedot jäähdytystarpeen mitoitukselle sekä yksityiskohtaisille energialaskelmille. Käyttöprofiilit. 2014. Verkkoaineisto. FINVAC ry. <<https://www.finvac.org/>>. Luettu 12.2.2018.

Työmatkan keskipituus kasvanut 14 kilometriin. 2016. Verkkoaineisto. Suomen Ympäristökeskus SYKE. <[http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Yhdyskuntarakenne/Tyomatkan_keskipituus_kasvanut_14_kilome\(28635\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Yhdyskuntarakenne/Tyomatkan_keskipituus_kasvanut_14_kilome(28635))>. Päivitetty 21.7.2016. Luettu 15.2.2018.

Vallox 096 MV. Tekniset tiedot. Verkkoaineisto. <https://www.vallox.com/tuotteet/vallox_ilmanvaihtokoneet/vallox_096_mv.html>. Luettu 17.2.2018.

Lämmitätkö sähköllä? Verkkoyhtiö voi alkaa laskuttaa sinua kulutuspiikeistä. 2017. Verkkoaineisto. Yle Uutiset. <<https://yle.fi/uutiset/3-9794329>>. Päivitetty 25.8.2017. Luettu 22.2.2018.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. 1010/20.12.2017.

Liite 1. Toimittajan mitoituslaskelma maalämpöpumpulle



Tekninen myynti
Viktor Grönman
NIBE Energy Systems Oy
Juurakkotie 3
01510 Vantaa
0927469737
viktor.gronman@nibe.fi

MUISTIINPANOJA
Annettu tehontarve 4,5kW

Laskelmasta

Energialaskelma perustuu lämpöpumpun standardien mukaisiin testiarvoihin ja arvioon laitteen käyttöympäristöstä ja -tavasta rakennusmääräysten mukaisissa sääolosuhteissa. Lopullisessa asennuksessa energiankulutus vaihtelee sääolosuhteiden, rakennuksen ja lämmitysjärjestelmän toteutuksen ja käytön mukaan ja voitsten polketa laskelmasta.

Lämmönlähteen ollessa energialakentä (yli 3 kpi kalvoja) on aktiivisyvyyden laskenta suuntaa antava ja se on tarkennettava kalvojen suunnittelijan kanssa.

Lisätietoja saat joko ottamalla yhteyttä tai vieraillemalla www.nibe.fi.

ASIAKAS

NIBE proj.nr 180170 120m uudis /Otto Niemi

ENERGIALASKELMA

KOHTEEN TIEDOT

Tilojen lämmityksen tarve	12067 kWh/vuosi
- josta käyttöveden osuus	5200 kWh/vuosi
Nykyinen lämmityksen pumppu	236 kWh/vuosi
Lämmitystehontarve	5,1 kW

ENNEN LÄMPÖPUMPUN ASENNUSTA

Ostoenergia -Sähkö	12303 kWh/vuosi
--------------------	-----------------

LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKEEN

Ostoenergia -Sähkö	3348 kWh/vuosi
--------------------	----------------

SÄÄSTÖT

Energiansäästö	8955 kWh/vuosi
CO2 säästöt	1782 kg/vuosi

SÄÄTIEDOT

Vuoden keskilämpötila	5,3 °C
Mitoitettava ulkolämpötila, MUT	-26,0 °C

RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

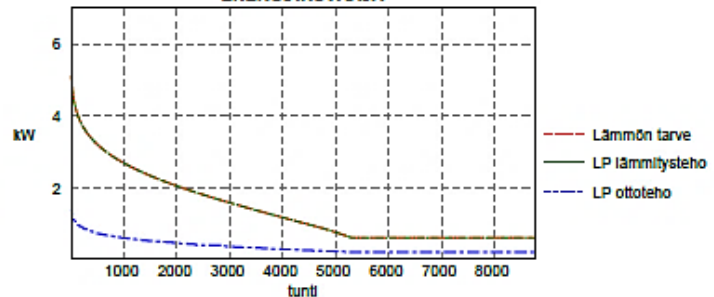
Sisälämpötila	21,0 °C
Tilojen lämmitys pysähtyy	8,5 °C
Lämmitys meno MUT:ssa	35 °C
Lämmitys paluu MUT:ssa	30 °C

ENERGIALASKENNAN TULOKSET

-Lämpöpumppu NIBE F1255-6

LP:n tuottama energia	12067 kWh/vuosi
LP:n kuluttama energia	3160 kWh/vuosi
Lisäenergia, hyötysuhdekorjattu	0 kWh/vuosi
Lämmityksen kiertopumppu	189 kWh/vuosi
Energianpelto	100 %
Vuosilämpökerroin, LP	3,8
Vuosilämpökerroin, järjestelmä	3,6
Kilinteä tai vaihteleva lauhdutus	Vaihteleva
Lämpöpumpun teho MUT:ssa	5,1 kW
Ottoteho MUT:ssa	1,4 kW
Laskennallinen lisäteho	0,0 kW
Tehopelto	100 %

ENERGIAKUVAAJA



ENERGIAKAIVO

Aktiivinen poraussyvyys	95 m
Energian otto	96 kWh/m
Tehon otto	24 W/m
Lambda kallio	3,0 W/mK
Tulevan keruuluokuksen keskilämpötila	0,0 °C

Liite 2. Toimittajan mitoituslaskelma ilma-vesilämpöpumpulle



Tekninen myynti
Viktor Grönman
NIBE Energy Systems Oy
Juurakkoite 3
01510 Vantaa
0927469737
viktor.gronman@nibe.fi

MUISTIINPANOJA

Annettu tehontarve 4,5kW

Laskelmasta

Energialaskelma perustuu lämpöpumpun standardien mukaisiin testiarvoihin ja arvioon laitteen käyttöympäristöstä ja -tavasta rakennusmääräysten mukaisissa sääolosuhteissa. Lopullisessa asennuksessa energiankulutus vaihtelee sääolosuhteiden, rakennuksen ja lämmitysjärjestelmän toteutuksen ja käytön mukaan ja voi siten poiketa laskelmasta.

Lämmönlähteen olessa energialkentä (yli 3 kpl kaivoja) on aktiivisuuden laskenta suuntaa antava ja se on tarkennettava kalvokenttäsuunnitelijan kanssa.

Lisätietoja saat joko ottamalla yhteyttä tai vieraillemalla www.nibe.fi.

ASIAKAS

NIBE proj.nr 180170 120m uudis /Otto Niemi

ENERGIALASKELMA

KOHTEEN TIEDOT

Tilojen lämmityksen tarve	12067 kWh/vuosi
- josta käyttöveden osuus	5200 kWh/vuosi
Nykyinen lämmityksen pumppu	236 kWh/vuosi
Lämmitystehontarve	5,1 kW

ENNEN LÄMPÖPUMPUN ASENNUSTA

Ostoenergia -Sähkö	12303 kWh/vuosi
--------------------	-----------------

LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKEEN

Ostoenergia -Sähkö	4438 kWh/vuosi
--------------------	----------------

SÄÄSTÖT

Energiansäästö	7865 kWh/vuosi
CO2 säästöt	1598 kg/vuosi

SÄÄTIEDOT

Vuoden keskilämpötila	5,3 °C
Mitoitettava ulkolämpötila, MUT	-26,0 °C

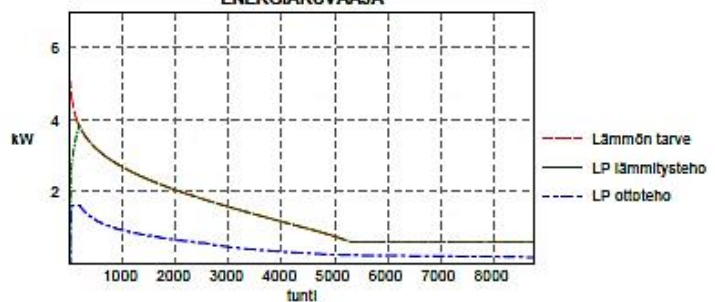
RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

Sisälämpötila	21,0 °C
Tilojen lämmitys pysähtyy	8,5 °C
Lämmitys meno MUT:ssa	35 °C
Lämmitys paluu MUT:ssa	30 °C

ENERGIALASKENNAN TULOKSET

-ilma-vesilämpöpumppu NIBE F2120-8	
LP:n tuottama energia	11809 kWh/vuosi
LP:n kuluttama energia	3960 kWh/vuosi
Lisäenergia, hyötysuhdekorjattu	258 kWh/vuosi
Lämmityksen kiertopumppu	220 kWh/vuosi
Energianpelto	98 %
Vuosilämpökerroin, LP	3,0
Vuosilämpökerroin, Järjestelmä	2,7
Kilntä tai vaihteleva lauhdutus	Vaihteleva
Lämpöpumpun teho MUT:ssa	0,0 kW
Ottoteho MUT:ssa	0,0 kW
Laskennallinen lisälähe	5,1 kW
Tehopelto	0 %

ENERGIAKUVAAJA



Liite 3. Toimittajan mitoituslaskelma poistoilmalämpöpumpulle



Tekninen myynti
Viktor Grönman
NIBE Energy Systems Oy
Juurakkoitie 3
01510 Vantaa
0927469737
viktor.gronman@nibe.fi

MUISTIINPANOJA
Annettu tehontarve 4,5kW
IV tulopöytä 48lit

Laskelmasta

Energialaskelma perustuu lämpöpumpun standardien mukaisiin testiarvoihin ja arvioon laitteen käyttöympäristöstä ja -tavasta rakennusmääräysten mukaisissa sääolosuhteissa. Lopullisessa asennuksessa energiankulutus vaihtelee sääolosuhteiden, rakennuksen ja lämmitysjärjestelmän toteutuksen ja käytön mukaan ja voi siten poiketa laskelmasta.

Lämmönlähteen ollessa energialähteenä (yli 3 kpl kalvoja) on aktiivisuuden laskenta suuntaa antava ja se on tarkennettava kalvojen kehittäsuunnittelijan kanssa.

Lisätietoja saat joko ottamalla yhteyttä tai vieraillemalla www.nibe.fi.

ASIAKAS

NIBE proj.nr 180170 120m uudis /Otto Niemi

ENERGIALASKELMA

KOHTEEN TIEDOT

Tilojen lämmityksen tarve	12020 kWh/vuosi
- josta käyttöveden osuus	5200 kWh/vuosi
- josta tuloilman lämmitys	8149 kWh/vuosi
Nykyinen lämmityksen pumppu	236 kWh/vuosi
Lämmitystehontarve	7,5 kW

ENNEN LÄMPÖPUMPUN ASENNUSTA

Ostoenergia -Sähkö	12256 kWh/vuosi
--------------------	-----------------

LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKÄÄN

Ostoenergia -Sähkö	4334 kWh/vuosi
--------------------	----------------

SÄÄSTÖT

Energiansäästöt	7922 kWh/vuosi
CO2 säästöt	1732 kg/vuosi

SÄÄTIEDOT

Vuoden keskilämpötila	5,3 °C
Mitoitettava ulkolämpötila, MUT	-26,0 °C

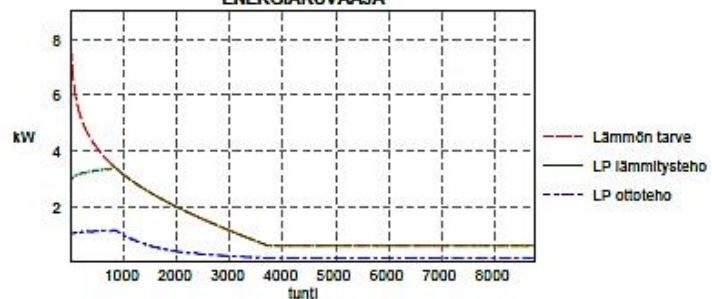
RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

Sisälämpötila	21,0 °C
Tilojen lämmitys pysähtyy	3,3 °C
Lämmitys meno MUT:ssa	35 °C
Lämmitys paluu MUT:ssa	30 °C

ENERGIALASKENNAN TULOKSET

-Poistoilmalämpöpumppu NIBE F750	
LP:n tuottama energia	10930 kWh/vuosi
LP:n kuluutama energia	2869 kWh/vuosi
Lisäenergia, hyötysuhdekorjattu	1090 kWh/vuosi
Lämmityksen kiertopumppu	375 kWh/vuosi
Energianpeitto	91 %
Vuosilämpökertoimen, LP	3,8
Vuosilämpökertoimen, järjestelmä	2,6
Kilntä tai vaihteleva lauhdutus	Vaihteleva
Lämpöpumpun teho MUT:ssa	3,0 kW
Ottoteho MUT:ssa	1,0 kW
Laskennallinen lisäteho	4,5 kW
Tehopeitto	40 %

ENERGIAKUVAAJA



POISTOILMAN

Poistoilmavirta	172,8 m³/h
Painehäviö poistoilmakanavassa	150,0 Pa
Puhallinenergia	319,3 kWh
Ulospuhallusilman minimilämpötila	-14,9 °C

Liite 4. Lämpöpumppujen energialaskentaoppaan säätiedot säävyöhykkeille I & II

Energialaskentaoppaassa (Ympäristöministeriö 2012) vastaavasti liitteenä 2.

Säävyöhykkeet I ja II

Ulkoilman lämpötila Tu, °C	Lämpötilavälin kesto h	Kumulatiivinen lämpötilavälin kesto h	DH (20 °C) astetunnit °Ch	Kumulatiivinen DH (20 °C) kumulatiiviset astetunnit °Ch
-22	0	0	0	0
-21	7	7	287	287
-20	19	26	771	1058
-19	23	49	888	1946
-18	21	70	799	2745
-17	30	100	1102	3847
-16	55	155	1987	5834
-15	83	238	2913	8747
-14	63	301	2144	10891
-13	72	373	2370	13262
-12	52	425	1654	14916
-11	49	474	1521	16436
-10	49	523	1472	17908
-9	76	599	2210	20118
-8	124	724	3483	23601
-7	146	870	3950	27551
-6	169	1039	4396	31947
-5	174	1213	4358	36305
-4	193	1406	4625	40930
-3	214	1620	4916	45846
-2	237	1856	5203	51050
-1	301	2158	6328	57378
0	519	2676	10372	67750
1	494	3170	9387	77137
2	460	3630	8278	85415
3	354	3984	6016	91432
4	280	4264	4485	95917
5	301	4566	4520	100437
6	279	4844	3900	104337
7	300	5144	3895	108232
8	280	5424	3364	111595
9	285	5709	3132	114727
10	290	5999	2900	117627
11	293	6292	2641	120268
12	293	6585	2341	122608
13	322	6907	2257	124865
14	297	7204	1782	126647
15	291	7495	1454	128101
16	309	7804	1237	129338
17	209	8014	628	129966
18	180	8194	361	130327
19	160	8354	160	130487
20	142	8496	0	130487
21	98	8594	0	130487
22	48	8643	0	130487
23	41	8684	0	130487
24	29	8713	0	130487
25	33	8746	0	130487
26	6	8752	0	130487
27	3	8755	0	130487
28	5	8760	0	130487

Liite 5. Esimerkinäkymä laaditusta energialaskurista

Alla on kuvattu insinööriyössä laaditun Microsoft Excel -pohjaisen energialaskelman tuntinäkymä Vantaan normaalivuotena 3.10. päivämäärällä, 3,64 kW_p aurinkosähköjärjestelmällä sekä sähköauton latausvirralla 2 A (laskurissa 3.10. määritelty keskiviikoksi). Todellisuudessa eri näkymät 1-3 sijaitsevat keskenään samoilla riveillä, mutta katseluteknisistä syistä näkymät on jaettu kolmeen allekkaiseen osaan. Lyhenteiden selitteet:

Askel	tunnin pituinen askel, aika-askel 1 vastaa ajanhetkeä 1.1. klo 00.00 Suomen normaaliaikaa
Vuosi	normaalivuoden 2012 aineistoon valittu vaihtuva tyyppivuosi
KK	kuukauden järjestysnumero
Päivä	päivän järjestysnumero kuukauden alusta
Pv nr.	päivän järjestysnumero vuoden alusta
Aika	kellonaika muodossa ttmm
t(Co)	ulkolämpötila, °C
Läm. tarve	lämpöhäviöiden mukaan laskettu tilojen lämmitystarve, Wh
Kuormat	kuukausikohtaisesti painotetut lämmityksessä hyödynnettävät tuntikohtaiset lämpökuormat, Wh
Läm. en.	lämmitysjärjestelmän lämpöenergian tarve, Wh
LKV en.	käyttöveden lämmityksen energiantarve, Wh
IV läm. säh.	tuloilman lämmityksen sähköenergian tarve, Wh
Puh. säh	puhaltimien sähköenergian tarve, Wh
Lisäläm.+apul.	lisälämmityksen ja apulaitteiden sähköenergian tarve, Wh
Val.	valaistuksen sähköenergian tarve, Wh
K. lait.	kuluttajalaitteiden sähköenergian tarve, Wh
Auto	sähköauton latauksen sähköenergian tarve, Wh
LP säh. Tilat	lämpöpumpun sähköenergian tarve tilalämmityksessä, Wh
LP säh. LKV	lämpöpumpun sähköenergian tarve käyttöveden lämmityksessä, Wh
Kok. säh. tarve	kokonaissähkötarve, Wh
Aur. säh.	aurinkosähkön tuotanto, Wh
Hyöd. en.	omassa käytössä hyödynnetty aurinkosähköenergia, Wh
Ylijäämä-sähkö	ylijäämäinen aurinkosähkön tuotanto, Wh

Näkymä 1/3.

Askel	Vuosi	KK	Päivä	Pvnr.	Aika	t(Co)	Läm. tarve	Kuormat	Läm. en.	LKV en.
6601	1981	10	3	276	0	11,2	941,66	699,0	303,3	595,8
6602	1981	10	3	276	100	10,4	998,01	699,0	373,7	595,8
6603	1981	10	3	276	200	9,7	1047,32	699,0	435,4	595,8
6604	1981	10	3	276	300	9,2	1082,54	699,0	479,4	595,8
6605	1981	10	3	276	400	8,8	1110,72	699,0	514,6	595,8
6606	1981	10	3	276	500	8,3	1145,94	699,0	558,6	595,8
6607	1981	10	3	276	600	8,6	1124,81	699,0	532,2	595,8
6608	1981	10	3	276	700	9	1096,63	699,0	497,0	595,8
6609	1981	10	3	276	800	9,3	1075,50	699,0	470,6	595,8
6610	1981	10	3	276	900	10,7	976,88	699,0	347,3	595,8
6611	1981	10	3	276	1000	12,1	878,27	699,0	224,0	595,8
6612	1981	10	3	276	1100	13,5	779,65	699,0	100,8	595,8
6613	1981	10	3	276	1200	13,5	779,65	699,0	100,8	595,8
6614	1981	10	3	276	1300	13,6	772,60	699,0	92,0	595,8
6615	1981	10	3	276	1400	13,6	772,60	699,0	92,0	595,8
6616	1981	10	3	276	1500	13,5	779,65	699,0	100,8	595,8
6617	1981	10	3	276	1600	13,5	779,65	699,0	100,8	595,8
6618	1981	10	3	276	1700	13,4	786,69	699,0	109,6	595,8
6619	1981	10	3	276	1800	13,5	779,65	699,0	100,8	595,8
6620	1981	10	3	276	1900	13,5	779,65	699,0	100,8	595,8
6621	1981	10	3	276	2000	13,6	772,60	699,0	92,0	595,8
6622	1981	10	3	276	2100	13,3	793,74	699,0	118,4	595,8
6623	1981	10	3	276	2200	13	814,87	699,0	144,8	595,8
6624	1981	10	3	276	2300	12,7	836,00	699,0	171,2	595,8

Näkymä 2/3.

IV läm. säh.	Puh. säh.	Lisäläm. +apul.	Val.	K.lait.	Auto	LP säh. Tilat	LP säh LKV
81,2	86,4	34,2	0,00	138,5	0	50,0	217,1
102,0	86,4	34,2	0,00	138,5	0	61,7	217,1
120,1	86,4	34,2	0,00	138,5	0	71,8	217,1
133,1	86,4	34,2	0,00	138,5	0	79,1	217,1
143,4	86,4	34,2	0,00	138,5	0	84,9	217,1
156,4	86,4	34,2	0,00	138,5	0	92,2	217,1
148,6	86,4	34,2	343,23	138,5	0	87,8	217,1
138,2	86,4	34,2	128,71	1415,6	0	82,0	217,1
130,5	86,4	34,2	128,71	138,5	346,41	77,6	217,1
94,2	86,4	34,2	0,00	138,5	1385,64	57,3	217,1
57,9	86,4	34,2	0,00	138,5	1385,64	37,0	217,1
21,6	86,4	34,2	0,00	138,5	1385,64	16,6	217,1
21,6	86,4	34,2	0,00	138,5	1385,64	16,6	217,1
19,0	86,4	34,2	0,00	138,5	1385,64	15,2	217,1
19,0	86,4	34,2	0,00	138,5	1385,64	15,2	217,1
21,6	86,4	34,2	0,00	138,5	1385,64	16,6	217,1
21,6	86,4	34,2	0,00	138,5	1385,64	16,6	217,1
24,2	86,4	34,2	0,00	553,9	0	18,1	217,1
21,6	86,4	34,2	300,33	1569,5	0	16,6	217,1
21,6	86,4	34,2	300,33	1415,6	0	16,6	217,1
19,0	86,4	34,2	300,33	1415,6	0	15,2	217,1
26,8	86,4	34,2	300,33	1000,1	0	19,5	217,1
34,6	86,4	34,2	343,23	138,5	0	23,9	217,1
42,3	86,4	34,2	0,00	138,5	0	28,2	217,1

Näkymä 3/3.

Kok. säh. tarve	Aur.säh.	Hyöd. en.	Ylijäämä sähkö
607,5	0,0	0,0	0,0
639,8	0,0	0,0	0,0
668,1	0,0	0,0	0,0
688,3	0,0	0,0	0,0
704,5	0,0	0,0	0,0
724,7	0,0	0,0	0,0
1055,8	0,0	0,0	0,0
2102,3	27,9	27,9	0,0
1159,4	521,8	521,8	0,0
2013,3	1106,3	1106,3	0,0
1956,7	1531,3	1531,3	0,0
1900,1	1687,2	1687,2	0,0
1900,1	1898,7	1898,7	0,0
1896,0	2101,2	1896,0	205,1
1896,0	769,3	769,3	0,0
1900,1	379,8	379,8	0,0
1900,1	290,9	290,9	0,0
933,9	170,9	170,9	0,0
2245,7	30,0	30,0	0,0
2091,9	1,8	1,8	0,0
2087,8	0,0	0,0	0,0
1684,5	0,0	0,0	0,0
877,9	0,0	0,0	0,0
546,8	0,0	0,0	0,0

Valaistuksen kuukausipainotus

Eri kuukausien tuntikohtaiset valaistuksen sähkönkulutukset on kerrottu kuukauden mukaan määräytyvällä valaistuksen painotuskertoimella.

Kuukausipainotus (valaistukselle)	
Kuukausi	Painotuskerroin
1	0,99
2	0,93
3	0,84
4	0,76
5	0,69
6	0,66
7	0,67
8	0,71
9	0,79
10	0,87
11	0,95
12	1