



Asuinkerrostalon energiatehokkuuden parantamismahdollisuudet – Case As Oy Antellinpuisto

Jesse Petäys

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2019

Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka

PETÄYS, JESSE:

Asuinkerrostalon energiatehokkuuden parantamismahdollisuudet – Case As Oy Antellinpuisto

Opinnäytetyö 68 sivua, joista liitteitä 7 sivua
Huhtikuu 2019

Tämä opinnäytetyö tehtiin Vaasassa sijaitsevaan kohteeseen, tarkoituksena antaa työn teettäjälle paremmat valmiudet energiatehokkuusurakoiden suunnitteluun sekä antamaan työn esimerkkikohteen edustajille tarkempaa tietoa mahdollisista energiatehokkuuden parantamismenetelmistä. Työn tarkoituksena oli selvittää, mitkä olisivat energiataloudellisesti kannattavimmat toimenpiteet kohteen energiatehokkuuden parantamiseksi.

Työssä tutkittiin Vaasassa sijaitsevaa 48 asunnon kerrostaloa, jossa on koneellinen poistoilmanvaihto ja lämmitysmuotona kaukolämpö. Tutkittavina järjestelminä kohteessa olivat poistoilman lämmöntalteenotto lämpöpumpulla sekä ilmanvaihtojärjestelmän muuttaminen asuntokohtaiseksi, jolloin joka asuntoon tulisi oma LTO:lla varustettu ilmanvaihtokone. Työssä selvitettiin myös, miten energiatehokkuus muuttuisi, jos PILP-järjestelmään liitettäisiin kaksi maalämpökaivoa. Lisäksi työssä sivuttiin patteriverkoston vesivirtojen säätämistä, -sekä käyttöveden potentiaalisia säästömahdollisuuksia.

Tehtyjen tutkimusten ja HögforsGST Oy:n laskelmien perusteella voitiin todeta, että eniten säästettäisiin energiaa käyttämällä PILP + maalämpö -järjestelmää. Järjestelmän todettiin tuottavan suurimmat energiataloudelliset säästöt sekä myös järjestelmän ympäristövaikutukset olisivat suurimmat. Halvin investointi olisi pelkkä PILP-järjestelmä, joka myös aikaansaisi mittavat säästöt energiankulutuksessa. Kuitenkin pitkällä aikavälillä ajateltuna voitiin todeta investointimielessä energiakaivojen maksavan itsensä useita kertoja takaisin. Lisäksi todettiin olevan kannattavaa tarkistaa patteriverkoston vesivirrat, -sekä käyttöveden kuluttajien käyttötottumukset.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
HVAC Building Services Engineering

PETÄYS JESSE

Possibilities of Improving The Energy Efficiency of A Block of Flats – Case As
Oy Antellinpuisto

Bachelor's thesis 68 pages, appendices 7 pages
April 2019

The purpose of this thesis was to investigate the potential opportunities to improve energy efficiency of a block of flats. Another goal was to create a tool for the thesis commissioner that would assist in planning energy efficient projects in the future. Furthermore, one of the aims of the thesis was to provide information concerning energy efficient measures that can be used by the building's stakeholders. The building is located in Vaasa, Finland.

The examined building has 48 apartments and is warmed using district heating. Three main solutions were studied to examine the possibilities of improving the energy efficiency. Firstly, adding extract air heat recovery using a heat pump Secondly, adding extract air heat recovery using a heat pump combined with two geothermal wells and finally, by replacing the air conditioning system to a property specific unit with heat recovery cells.

Considering energy efficiency, the best result would be using a heat pump with two geothermal wells. This solution is the most efficient and would have the largest environmental impact. However, the cheapest solution would be to use a heat pump without the geothermal wells.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	ERILAISET ASUINKERROSTALOJEN TEKNIIKAT	8
2.1	Rakennusten lämmitys	8
2.1.1	Kaukolämpö	8
2.1.2	Öljylämmitys	10
2.1.3	Pellettilämmitys.....	11
2.1.4	Maalämpöpumppujärjestelmä	12
2.1.5	Ilma-vesi-lämpöpumppujärjestelmä	16
2.1.6	Hybridi-järjestelmät.....	17
2.1.7	Lämmitystavan vaihtamisen vaikutus energiatalouteen.....	18
2.2	Rakennusten ilmanvaihto	19
2.2.1	Painovoimainen ilmanvaihto	19
2.2.2	Koneellinen poistoilmanvaihto	20
2.2.3	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	21
2.3	Käyttövesi	22
2.3.1	Käyttöveden kulutus	22
3	ESIMERKKIKOHDE.....	24
3.1	Yleiset tiedot	24
3.1.1	Lämmitysjärjestelmä	24
3.1.2	Ilmanvaihtojärjestelmä.....	27
3.1.3	Käyttövesijärjestelmä.....	30
3.2	Energiankulutus kohteessa	31
3.2.1	Lämmitysenergia	32
3.2.2	Sähköenergia	32
3.2.3	Käyttöveden lämmitysenergia	32
3.3	Huomioidut energiantehokkuuden parantamismenetelmät	33
3.3.1	Poistoilman lämmöntalteenotto.....	33
3.3.2	Poistoilman lämmöntalteenotto + maalämpö.....	37
3.3.3	Huoneistokohtainen LTO-ilmanvaihto.....	38
3.3.4	Patteriverkoston vesivirtojen säätäminen	39
3.3.5	Käyttöveden kulutus	41
4	TUTKIMUSTULOKSET.....	43
4.1	Poistoilman lämmöntalteenotto	43
4.1.1	Energiansäästö.....	44
4.1.2	Kustannukset.....	46
4.1.3	Investoinnin tuotto	47

4.2 Poistoilman lämmöntalteenotto + maalämpö	47
4.2.1 Energiansäästö.....	48
4.2.2 Kustannukset.....	51
4.2.3 Investoinnin tuotto	51
4.3 Huoneistokohtainen LTO-ilmanvaihto	52
4.3.1 Energiansäästö.....	53
4.3.2 Kustannukset.....	54
4.3.3 Investoinnin tuotto	54
5 KAUKOLÄMPÖMAKSUT INVESTOINNIN JÄLKEEN.....	56
5.1 Kaukolämpömaksujen koostuminen.....	56
5.2 Maksuperusteiden tarkastaminen	56
6 POHDINTA	58
LÄHTEET.....	60
LIITTEET	62
Liite 1. Vesikaton alla kulkevat kanavat	62
Liite 2. PILP-järjestelmän suoritusdata / säästölaskelma (HögforsGST Oy 2019)	63
Liite 3. PILP-järjestelmän säästölaskelma (HögforsGST Oy 2019).....	64
Liite 4. PILP-järjestelmän suoritusdata (HögforsGST Oy 2019).....	65
Liite 5. PILP + maalämpö -järjestelmän suoritusdata / säästölaskelma (HögforsGST Oy 2019)	66
Liite 6. PILP + maalämpö -järjestelmän säästölaskelma (HögforsGST Oy 2019).....	67
Liite 7. PILP + maalämpö -järjestelmän suoritusdata (HögforsGST Oy 2019).....	68

ERITYISSANASTO

LVI	Lämpö, Vesi, Ilmastointi
LTO	Lämmöntalteenotto
MLP	Maalämpöpumppu
COP	Lämpöpumpun hyötysuhde/lämpökerroin
SCOP	Lämpöpumpun vuosihyötysuhde
kWh	Kilowattitunti
VILP/IVLP	Ilma-vesi-lämpöpumppu
PILP	Poistoilmalämpöpumppu
MWh	Megawattitunti
KL	Kaukolämpö
SFP	Ilmanvaihtopuhaltimen ominaissähkötehon kulutus (kW / m ³ /s)
kW	Kilowatti

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoitus on luoda valmis apuväline/valmiudet työelämään, jonka avulla voidaan lanseerata uusi palvelu energiatehokkuuden parantamiseksi. Työn toimeksiantaja on Nuohous- ja ilmastointitohtorit Oy.

Työssä tutkitaan asunto-osakeyhtiön nykyistä energiankulutusta ja pyritään löytämään kannattavimmat energiatehokkuuden parantamistoimenpiteet. Tutkimuskohteena on Vaasassa sijaitseva asuinkerrostalo, jossa on 48 asuntoa.

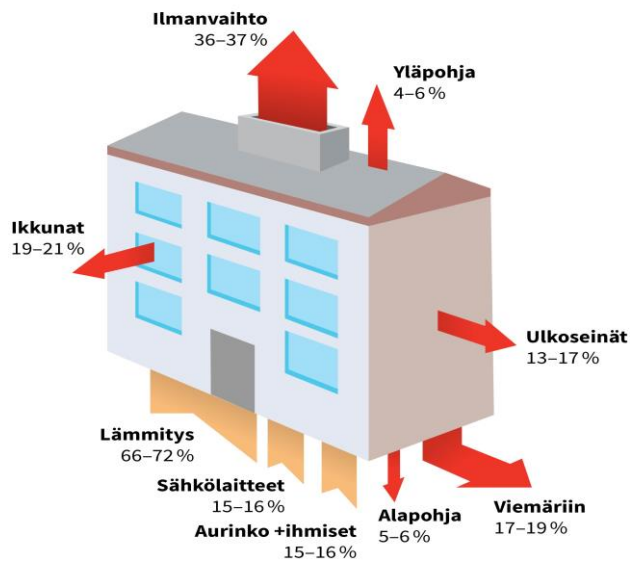
Tutkimuksessa syvennyttään LVI-tekniisiin osa-alueisiin, jotka vaikuttavat energiatehokkuuteen. Suurin tarkkailun aihe kuitenkin tulee olemaan nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän poistoilman lämpöenergian talteenotto. Energiatehokkuuteen vaikuttavia osa-alueita tarkastellaan kulutukseen vaikuttavien tekijöiden osalta ja mietitään niille potentiaalisia parannusmahdollisuuksia.

Nykyisten järjestelmien ja energiankulutustietojen perusteella kartoitetaan vaihtoehtoisia järjestelmiä ja komponentteja kohteeseen. Kun potentiaaliset vaihtoehdot on valittu, tutkitaan järjestelmiä ja niiden vaikutuksia tarkemmin. Vaihtoehtoisten järjestelmien tuomat mahdolliset energiansäästöt lasketaan ja niitä verrataan alkuperäisiin kulutustietoihin. Myös järjestelmien investointikustannukset arvioidaan. Täten saadaan käsitys kunkin järjestelmäsaneerauksen hintaluokasta. Energiansäästömahdollisuuksien sekä investointikustannusten laskemisen jälkeen voidaan arvioida investoinnin kokonaistuotto sekä takaisinmaksuaika. Näiden lopputulosten perusteella energiapalvelun tuottaja voi yhdessä asiakkaan kanssa miettiä, mikä energiasaneerausmenetelmästä olisi juuri heille sopivin.

2 ERILAISET ASUINKERROSTALOJEN TEKNIIKAT

2.1 Rakennusten lämmitys

Rakennuksen lämmittämisen perusteena on, että lämpöenergiaa tuotetaan riittävästi kattamaan rakennuksen yhteenlasketut lämpöhäviöt. Rakennuksen lämpöhäviöiden koostuminen on kuvattu kuvassa 1 energiataseen muodossa.



KUVA 1. Lämpöenergiatase 1960-1980 lukujen asuinkerrostaloissa (Virta & Pylsy 2011, 19)

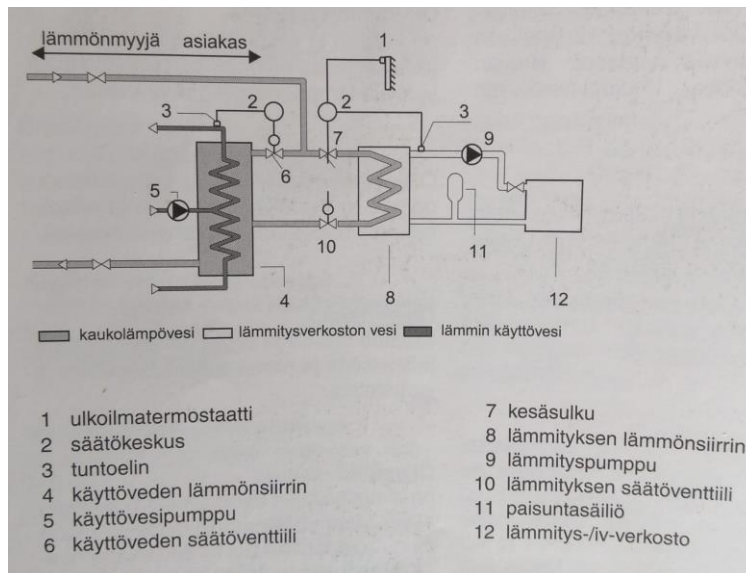
Rakennuksen tilojen ja käyttöveden lämmittämiseksi on olemassa useita vaihtoehtoja. Jokaisella lämmitysmuodolla on eriävät energiatehokkuus ja -talousominaisuudet. Seuraavaksi käydään läpi yleisimmät / parhaiten kerrostaloasumiseen soveltuvat lämmitysmuodot. Läpikäytävät muodot ovat: kaukolämpö, öljylämmitys, pellettilämmitys, maalämpöpumppujärjestelmä, ilma-vesi-lämpöpumppujärjestelmä sekä hybridijärjestelmät (Virta & Pylsy 2011, 111).

2.1.1 Kaukolämpö

Kaukolämpö on rakennusten yleisin lämmitysmuoto Suomessa. (Motiva n.d.). Noin puolet kokonaisrakennuskannasta on liitetty kaukolämpöverkkoon. Suurin

osa julkisista rakennuksista, liikerakennuksista ja asuinkerrostaloista lämmitetään kaukolämmöllä (Pietikäinen & Rekonen, 2007, 8).

Kaukolämmön tuotantoon vaikuttaa yleensä kaukolämpölaitoksen sijainti, sillä kaukolämpö tuotetaan yleensä paikkakuntaakohtaisesti vaihtoehtoisilla polttoaineilla. Yleisimmät energianlähteet ovat kivihiili, turve, puu, hake tai öljy. Kaukolämmöllä tuotettu lämmin vesi, jonka lämpötila on alle 120 °C pumpataan maan alla olevia eristettyjen putkien kautta kuluttajien lämmönvaihtimille. Vaihtimen kautta kaukolämpöveden lämpöenergia siirretään kohteen lämmitysverkoston veteen. Kaukolämpöverkkoon liittymisen edellytyksenä on, että kuluttajan kohde sijaitsee kaukolämpöverkoston alueella (Harju, 2014, 71). Kaukolämmön lämmönjakokeskuksen toimintaperiaate esitetty kuvassa 2.



KUVA 2. Lämmönjakokeskuksen toimintaperiaate (Pietikäinen & Rekonen, 2007, 8)

Kaukolämmöstä saatava lämmityksen hyötysuhde on hyvin lähellä 100 prosenttia. Tästä on hyötyä lämmitysenergiaa ostettaessa, sillä esimerkiksi rakennukseen, jonka lämmitystehontarve on 487,5 MWh, riittää n. 490 MWh:n energian osto (Virta & Pylsy, 2011, 113).

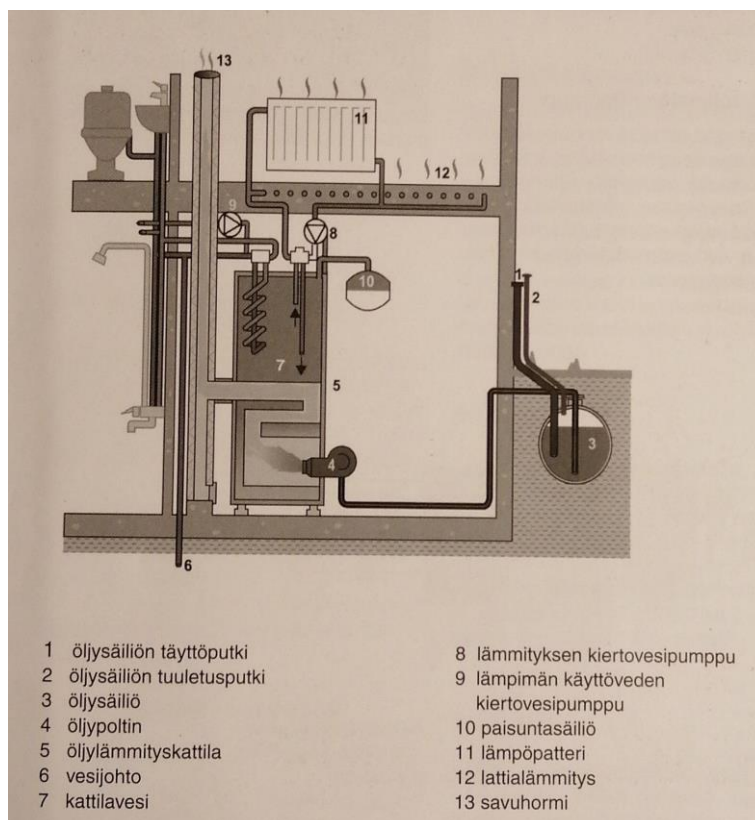
2.1.2 Öljylämmitys

Öljylämmitys voidaan jakaa kahteen osaan: kevytöljylämmitys ja raskas polttoöljylämmitys. Raskaan polttoöljyn lämmitystä käytetään lähinnä kaukolämpölaitoksissa lämmön tuotantoon. Kevytöljylämmitteisistä rakennuksista suurin osa on omakoti- tai paritaloja.

Öljylämmitysjärjestelmä koostuu seuraavista laitteistoista:

- Öljysäiliöstä
- Öljypolttimesta
- Kattilasta
- Pumpuista
- Putkistoista
- Ohjaus-, säätö- ja varolaitteista
- Savuhormista

Öljysäiliöstä öljy pumpataan polttimelle, joka polttaa öljyn öljysumuna kattilassa. Palamisesta syntyvä lämpöenergia siirtyy säteilemällä ja johtumalla tulipesää ympäröivän vesitilan kattilaveteen, jolla lämmitetään lämmitysverkostossa kiertävä vesi. Lämmin käyttövesi lämmitetään yleensä kattilavedessä sijaitsevan kierukan välityksellä, jolloin likainen kattilavesi ei pääse kosketuksiin käyttöveden kanssa (Pietikäinen & Rekonen, 2007, 9). Kevytöljylämmitysjärjestelmän toimintaperiaate esitetty kuvassa 3.



KUVA 3. Kevytöljylämmitysjärjestelmän toimintaperiaate (Pietikäinen & Rekonen, 2007, 9)

Öljylämmityksen hyötysuhde on tyypillisesti 75-80 %, mikä tarkoittaa, että öljyn polttamisesta syntyneestä lämpöenergiasta pystytään hyödyntämään rakennuksen ja käyttöveden lämmittämiseen 75-80 %, kun loppu lämpöenergia poistuu muun muassa savukaasujen mukana hormia pitkin ulos (Virta & Pyly, 2011, 113).

2.1.3 Pellettilämmitys

Pellettilämmitysjärjestelmä soveltuu parhaiten öljylämmitysjärjestelmän korvauksiksi. Pellettijärjestelmän toimintaperiaate on käytännössä sama, kuin öljylämmityksessä. Erona on, että pellettisäiliön lisäksi järjestelmään tarvitaan kuljetin, jolla pelletti kuljetetaan polttimelle.

Mikäli öljylämmitysjärjestelmää lähdetään vaihtamaan pellettilämmitysjärjestelmäksi, ei vanhaa kattilaa voida käyttää pelletin polttamiseen, mutta se voidaan jättää erimerkiksi pellettilämmityksen varajärjestelmäksi.

Pellettilämmitysjärjestelmä vaatii säännöllistä ylläpitoa. Puupellettejä polttaessa syntyy tuhkaa, joka täytyy tuhka-astiasta tyhjentää. Lisäksi kattilan lämmönsiirtopinnat ja hormi tulee nuohota säännöllisesti, sillä nokeentuneet pinnat heikentävät huomattavasti järjestelmän energiatehokkuutta. Täytyy myös muistaa tilata lisää pellettiä säännöllisesti, ettei se pääse loppumaan. Käytännössä pellettijärjestelmässä joudutaan tekemään huoltotoimia n. kerran kuukaudessa.

Järjestelmän hyötysuhde on likimain sama, kuin öljylämmityksessäkin, 75-80 %. Pellettilämmityksen kannattavuus tuleeekin siitä, että pelletillä on halvempi lämmittää, kuin öljyllä. Lisäksi pelletti on uusiutuva energian lähde, mikä tekee siitä myös öljyä ympäristöystävällisemmän vaihtoehdon lämmittämiseksi (Virta & Pylsy, 2011, 114).

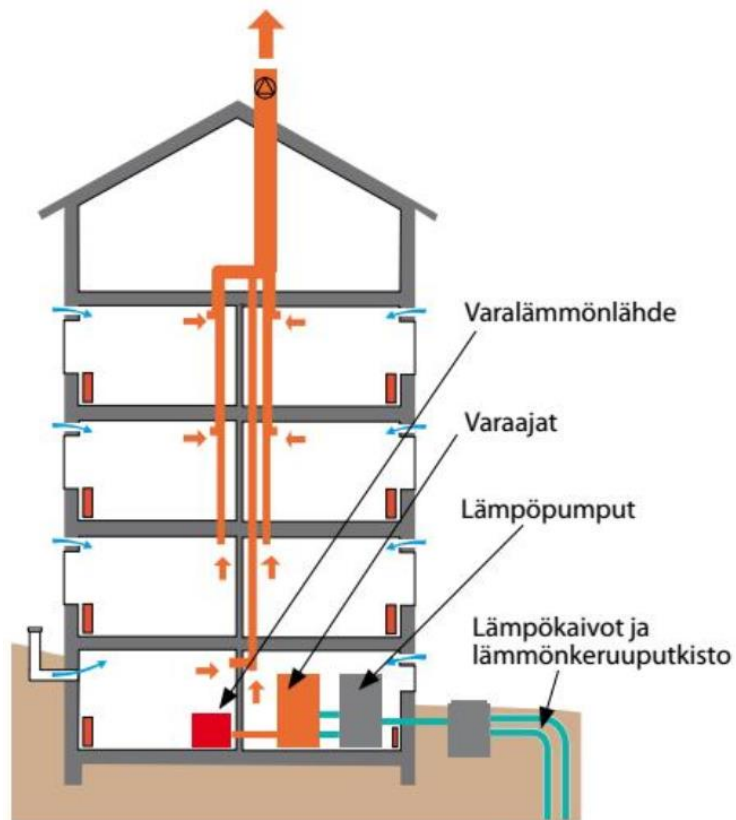
2.1.4 Maalämpöpumppujärjestelmä

MLP-järjestelmä soveltuu parhaiten sellaisiin asuinkerros- ja rivitaloihin, joissa on verikiertoinen lämmönjakotapa. Potentiaalisimpia kohteita ovat öljylämmitteiset ja varaavalla sähkölämmityksellä varustetut rakennukset. Nykyisillä kaukolämmönhinnoilla myös tietyissä osissa maata on järkevää siirtyä kaukolämmöstä maalämpöön. Myös uudiskohteissa MLP-järjestelmä on potentiaalinen vaihtoehto lämmitysmuodoksi.

MLP-järjestelmä koostuu seuraavista laitteistoista:

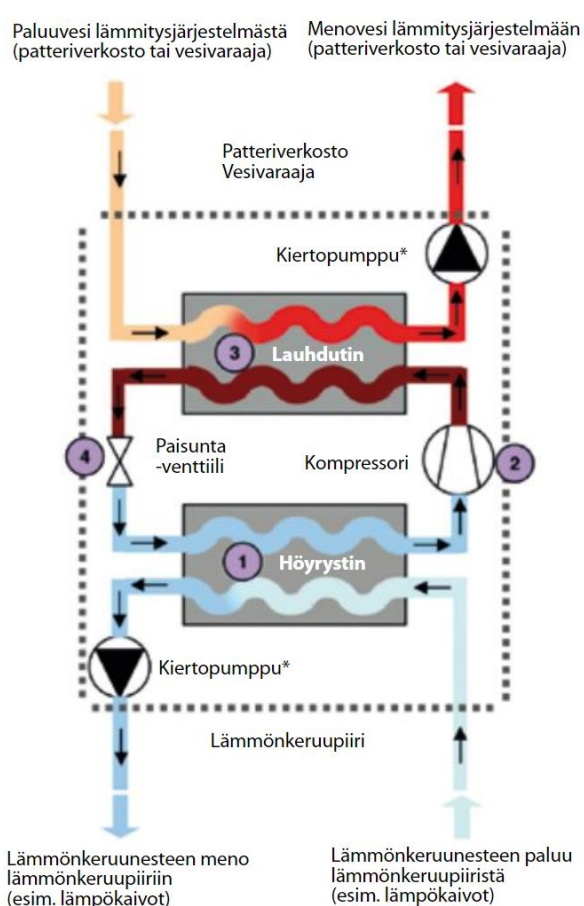
- Lämpöpumpuista
- Vesivaraajista
- Lämmönkeruupiiristä
- Pumpuista
- Putkistoista
- Ohjaus-, säätö- ja varolaitteista

MLP-järjestelmällä varustetun asuinkerrostalon toiminta esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Maalämpöpumppujärjestelmä asuinkerrostalossa (Virta & Pylsy, 2011, 115)

MLP-järjestelmä tuottaa lämmitysenergian lämpöpumpun avulla. Lämpöpumpun toimintaperiaate on sama kaikentyypisissä lämpöpumppujärjestelmissä. Lämpöpumpun toimintaperiaate on havainnollistettu kuvassa 5.



Katkoviiva kuvaa varsinaista lämpöpumppua.*) Isommissa järjestelmissä lämmitysverkoston ja lämmönkeruupiirin kiertovesipumput voivat olla erillisiä, eivätkä itse lämpöpumpun sisällä.

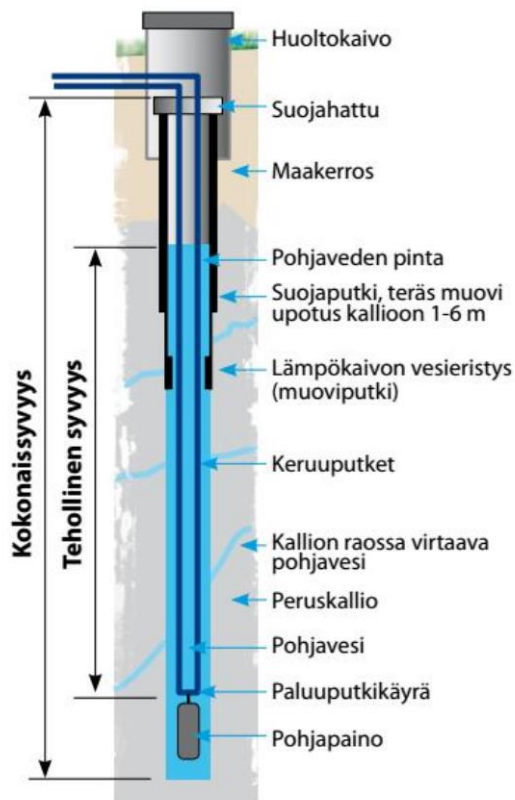
Lämpöpumpun toimintaperiaate:

1. Höyrystimessä lämmönkeruupiirissä lämmennyt lämmönkeruuneste jäähtyy ja lämmittää kylmäainetta, joka höyrystyy.
2. Lämpöpumpun kompressori puristaa höyrystyneen kylmäaineen, jolloin sen paine nousee ja lämpötila kohoaa hieman korkeammaksi kuin lämmitysverkoston asetusarvot (patteriverkoston menoveden lämpötila tai varaajan lämpötilan asetusarvo).
3. Lauhduttimessa lämmennyt korkeapaineinen kylmäaine lauhtuu nesteeksi ja lämmittää samalla joko patteriverkoston menovettä tai vesivaraajaa lämmittävää vettä.
4. Paisuntaventtiilissä kylmäaineen painetta alennetaan, jolloin sen lämpötila laskee ja se pystyy jälleen ottamaan lämpöä lämmönkeruupiiristä. Kylmäaine jatkaa matkaansa höyrystimeen, jolloin prosessi alkaa alusta (kohta 1).

KUVA 5. Lämpöpumpun toimintaperiaate (Virta & Pylsy, 2011, 116)

MLP-järjestelmän keruuputkisto voidaan toteuttaa joko lämpökaivojen avulla, upottamalla keruuputkisto maaperään n. metrin syvyyteen, tai upottamalla keruuputkisto vesistöön. Asuinkerrostaloissa keruuputkisto on yleisimmin toteutettu lämpökaivojen avulla. Lämpökaivojen toimintaperiaate on sama, kuin muillakin keruupiireillä. Lämpökaivoihin sijoitetaan lämmönkeruu putkisto, jossa lämmönkeruuneste kiertää.

Asuinkerrostaloissa lämmitysenergian tarve on usein niin suuri, että alueelle vaaditaan useampia lämpökaivoja, eli alueelle tehdään ns. ”energiakenttä”. Lämpökaivot eivät muuta alueen yleisilmettä, sillä kaivot voidaan jättää maan alle piiloon. Kaivojen etäisyys toisistaan tulee olla n. 15-20 metriä ja naapuritontin rajasta n. 8-10 metriä. Tällä varmistetaan kaivosta saatavan energian säilyvyys, eikä maa jäädy. Lämpökaivon rakenne on havainnollistettu kuvassa 6.



KUVA 6. Lämpökaivo (Virta & Pylsy, 2011, 117)

Asuinkerrostalossa on suositeltavaa tutkia samalla, kannattaako lämpöpumppujärjestelmässä hyödyntää myös poistoilman lämpöenergiaa. Kannattavia kohteita tällaisiin toteutuksiin ovat rakennukset, joissa on pelkkä koneellinen poistoilmanvaihto, tai tulo- ja poistoilmanvaihto ilman lämmöntalteenottoa. (Virta & Pylsy, 2011, 118). Poistoilman lämpöenergian hyödyntämistä on käsitelty tarkemmin jäljempänä kohdassa 3.3.1.

Saavutettavan energiansäästön kannalta tärkeimmät luvut ovat COP- ja SCOP-luvut. COP-luku tarkoittaa lämpöpumpun hyötysuhdetta ja kertoo, kuinka monta yksikköä lämpöenergiaa saadaan yhtä järjestelmään syötettyä sähköenergiayksikköä kohden. Esimerkiksi lämpöpumpun COP-luvun ollessa 4, saadaan yhdellä kWh:lla sähköenergiaa tuotettua neljä kWh lämpöenergiaa.

SCOP-luku taas kertoo lämpöpumpun vuosihyötysuhteen, missä on otettu huomioon ulkolämpötilojen vaikutuksen lämmöntuotantoon, sekä hyötysuhteeseen. SCOP-luvun määrittämisen kannalta Eurooppa on jaettu kolmeen eri ilmastovyöhykkeeseen, joiden perusteella määritetään SCOP-luku tietyille markkina-alueille. Suomen markkinoilla käytetään Pohjois-Euroopan ilmastovyöhykettä, jonka

laskenta perustuu Helsingin ilmasto-olosuhteisiin. (Nilan, COP VS. SCOP – HYÖTYSUHTEIDEN EROT 2019).

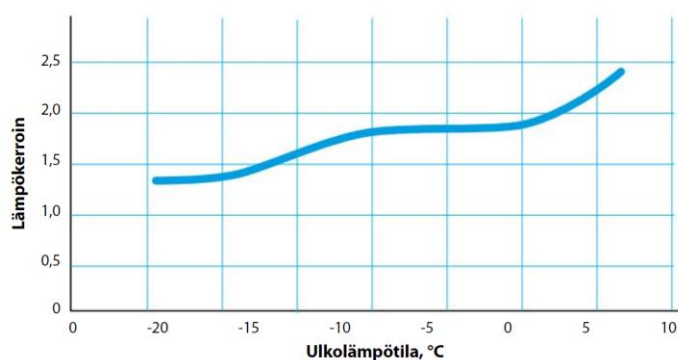
2.1.5 Ilma-vesi-lämpöpumppujärjestelmä

VILP-järjestelmä soveltuu parhaiten samanlaisiin kohteisiin, kuin MLP-järjestelmäkin. Järjestelmässä ulkoilma toimii lämpöpumpun kylmäaineen lämmittäjänä, josta lämpöenergia johdetaan vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Lämpöpumpun toimintaperiaate on esitetty aikaisemmin kuvassa 5.

VILP-järjestelmä koostuu seuraavista laitteistoista:

- Ulos sijoitettavista pumppuyksiköistä
- Vesivaraajista
- Pumpuista
- Putkistoista
- Ohjaus-, säätö- ja varolaitteista

VILP:in asentamisen yhteydessä jätetään yleensä vanha lämmitysjärjestelmä tukemaan VILP-järjestelmää, mikäli se on toimintakunnossa. VILP:in lämmöntuotanto ei välttämättä riitä yksinään kovilla pakkaisilla, sillä sen COP-luku pienenee huomattavasti kovilla pakkaisilla. Ilman lämpötilan vaikutus erään ilma-vesi-lämpöpumpun COP-lukuun esitetty kuviossa 1 (Virta & Pylsy, 2011, 122).



KUVIO 1. Erään VILP:in lämpökertoimen riippuvuus ulkoilman lämpötilasta (Virta & Pylsy, 2011, 122)

2.1.6 Hybridi-järjestelmät

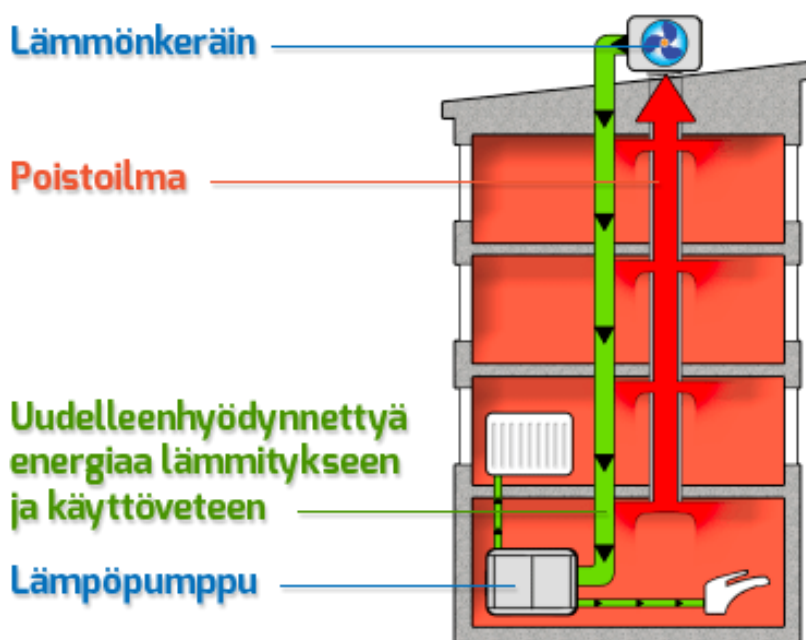
Jokaiseen kohteeseen ei välttämättä ole järkevää lähteä vaihtamaan kokonaan uutta lämmitysjärjestelmää. Tällaisissa kohteissa kannattaa miettiä, voitaisiinko energiakustannuksissa saada säästöjä aikaan täydentämällä nykyistä järjestelmää. Tällaisia täydentäviä järjestelmiä voivat olla esimerkiksi poistoilmalämpöpumppu, aurinkopaneelit/-keräimet, tai ilmalämpöpumput (Virta & Pylsy, 2011, 123). Seuraavassa esitellään hieman poistoilmalämpöpumpun toimintaa, sillä kyseisellä järjestelmällä on tässä työssä suuri painoarvo.

PILP-järjestelmän asentaminen vanhan järjestelmän rinnalle soveltuu parhaiten kohteessa, jossa on käytössä ainoastaan koneellinen poistoilmanvaihto tai koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto ilman lämmöntalteenottoa. Näissä kohteissa ulospuhallettavan ilman lämpötila on 22-24 asteista ja samalla 35-45 % kiinteistön lämmitysenergiasta poistuu tätä kautta (HögforsGST Oy n.d.).

PILP-järjestelmä koostuu seuraavista laitteista:

- Lämpöpumpuista
- Vesivaraajista
- LTO-patterilla varustetusta huippuimurista tai poistopuhaltimesta
- Lämmönkeruuputkistosta
- PILP-järjestelmään sovitetusta kaukolämmön alajakokeskuksesta

Järjestelmä ottaa talteen poistoilman lämpöenergiaa ja energia ohjataan keruuputkistoa pitkin lämpöpumpuille. Lämpöpumpun toimintaperiaate on havainnollistettu edellä kuvassa 5. Lämpöpumpulla tuotettu lämpöenergia ohjataan rakennuksen lämmittämiseen ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Lämpöpumpuista riippuen järjestelmällä kyetään yleensä saamaan n. 35-50 % säästöt vuotuisissa lämmityskustannuksissa (Virta & Pylsy, 2011, 124). PILP-järjestelmän toimintaperiaate on havainnollistettu kuvassa 7.



KUVA 7. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate (Pilto N.d.)

2.1.7 Lämmitystavan vaihtamisen vaikutus energiatalouteen

Taulukossa 1 on esitetty lämmityskustannuksissa saavutettavat säästöt muutamien lämmitystapojen kesken. Vertailukohtina vanhoina järjestelminä käytetään öljylämmitystä, kaukolämpöä sekä varaavalla sähköllä lämmitystä. Uusina lämmitysmuotoina puolestaan ovat kaukolämpö, maalämpö, pellettilämmitys sekä VILP-järjestelmä.

Taulukossa on esitetty kullekin lämmitysmuodolle kussakin tilanteessa kolme eri lämmitysenergian ostohintaa, millä voidaan verrata järjestelmiä keskenään eri hintaisilla alueilla. Saavutettava vuotuinen säästö lämmityskustannuksissa on esitetty prosenttein.

TAULUKKO 1. Lämmitysjärjestelmän uudistamisella saavutettavat säästöt vuotuisissa lämmityskustannuksissa (Virta & Pylsy, 2011, 123)

Saavutettava vuotuinen säästö lämmityskustannuksissa, %	Lämmitysenergian hinta lämmitysjärjestelmän uudistamisen jälkeen €/MWh												
	Kaukolämpö			Maalämpö*			Pelletti**			Ilma-vesi-lämpöpumppu***			
Lämmitysenergian hinta lähtötilanteessa, €/MWh	55	75	95	100	130	160	40	50	60	100	130	160	
Öljy****	100	56 %	40 %	24 %	68 %	58 %	49 %	60 %	50 %	40 %	50 %	35 %	20 %
	120	63 %	50 %	37 %	73 %	65 %	57 %	67 %	58 %	50 %	58 %	46 %	33 %
	150	71 %	60 %	49 %	79 %	72 %	66 %	73 %	67 %	60 %	67 %	57 %	47 %
Kaukolämpö	55	-	-	-	27 %	5 %	-16 %	9 %	-14 %	-36 %	9 %	-18 %	-45 %
	75	-	-	-	47 %	31 %	15 %	33 %	17 %	0 %	33 %	13 %	-7 %
	95	-	-	-	58 %	45 %	33 %	47 %	34 %	21 %	47 %	32 %	16 %
Varaava sähkö	100	45 %	25 %	5 %	60 %	-	-	50 %	38 %	25 %	38 %	-	-
	130	58 %	42 %	27 %	-	60 %	-	62 %	52 %	42 %	-	38 %	-
	160	66 %	53 %	41 %	-	-	60 %	69 %	61 %	53 %	-	-	38 %

*) maalämpöpumppujärjestelmän vuosilämpökerroin 2,5

***) pellettilämmityksen hyötysuhde 80 %

****) öljylämmityksen hyötysuhde 80 %

2.2 Rakennusten ilmanvaihto

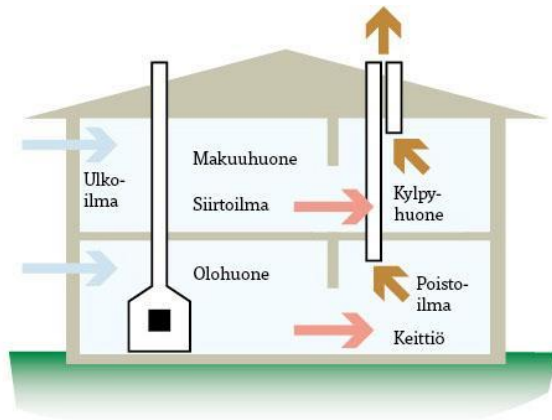
Yksi merkittävimmistä tekijöistä rakennuksen energiatehokkuuteen liittyen on rakennuksen ilmanvaihto. Rakennuksessa liikutellaan suuria määriä jo kertaalleen lämmitettyä ilmaa, joten merkittävää on miten ilman lämpöenergialle käy. Seuraavaksi esiteltynä erilaisia ilmanvaihtotapoja.

2.2.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimainen ilmanvaihto perustuu ulko- ja sisälämpötilaerojen ja tuulen aiheuttamiin ilman paine-eroihin. Paine-eroista johtuen rakennuksen sisällä oleva ilma nousee kanavistoa pitkin ulos ja tilalle virtaa vastaava määrä ilmaa ulkoa sisään korvausilmaventtiileistä.

Poistoilmaventtiilit sijoitetaan ”likaisiin” tiloihin, joita ovat: WC, pesuhuone, sauna, kodinhoituhuone, vaatehuone ja keittiö. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa jokaiselta poistoilmaventtiilistä on oma horminsa vesikaton yläpuolelle saakka, eikä

hormeja saa yhdistää. Korvausilmaventtiilit taas sijoitetaan oleskelutilojen ikkunoiden tai ovien karmeihin, tuuletusikkunoihin tai seiniin (Harju, 2008, 109). Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate esitetty kuvassa 8.



KUVA 8. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate (Hengitysliitto n.d.)

2.2.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

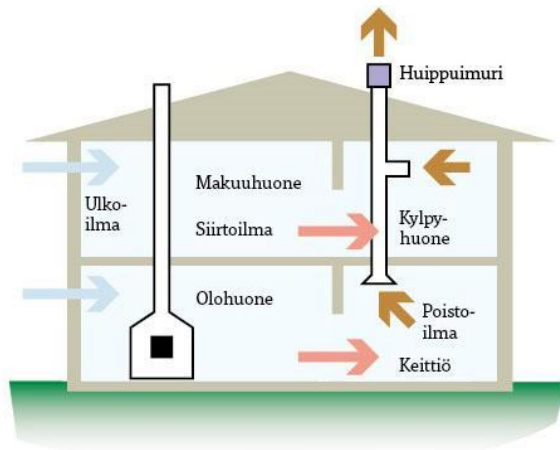
Koneellisessa poistoilmanvaihdossa kanavistoon luodaan alipaine joko huippuimureilla, kammiopuhaltimilla tai poistopuhaltimilla. Huippuimurit tai puhaltimet voivat olla joko asuntokohtaisia, tai vaihtoehtoisesti suuria kokonaisuuksia palvelevia suurempia yksiköitä.

Sekä poistoilmaventtiilien, että korvausilmaventtiilien sijoitus on samalla tavalla kuin painovoimaisessa ilmanvaihdossa. Toimintaperiaate koneellisessa poistoilmanvaihdossa on käytännössä sama kuin painovoimaisessakin, ilmaa vain liikutetaan koneellisesti. Etuna painovoimaiseen ilmanvaihtoon voidaan pitää, että ilmaa pystytään vaihtamaan myös lämpimillä ja tyynillä keleillä.

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa korostuu korvausilman saamisen tärkeys. Mikäli korvausilmaa ei ole riittävästi saatavilla korvausilmaventtiileistä, imee järjestelmä korvausilmaa rakenteiden ja niiden liitosten väleistä, eikä ilma tällöin ole puhdasta. Pahimmassa tapauksessa korvausilma saattaa tulla viemäristä.

Tässä järjestelmässä lämpöenergiaa ei saada otettua talteen. Tämä tarkoittaa siis, että ulkoa tuleva korvausilma tulee sellaisenaan sisään, minkä jälkeen se

lämmitysjärjestelmän avulla lämmitetään haluttuun sisälämpötilaan. Sisätiloista lämmitetty ilma poistuu poistoilmaventtiilien kautta sellaisenaan ulkoilmaan. Järjestelmässä hukataan runsaasti turhaa lämpöenergiaa (Harju, 2008, 111). Koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaate esitetty kuvassa 9.

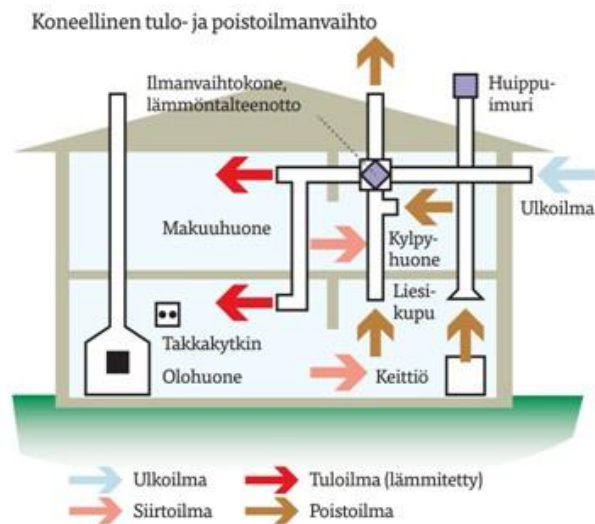


KUVA 9. Koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaate (Hengitysliitto n.d.)

2.2.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa ilmaa liikutetaan myös koneellisesti. Poistoilman toimintaperiaate on vastaavanlainen kuin koneellisessa poistoilmanvaihdossa. Tässä järjestelmässä myöskin tuloilma tuodaan hallitusti ja myös lämmitettynä sisätiloihin. Tällöin saadaan aikaiseksi mahdollisimman tasainen ja hallittu ilmanvaihto.

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa on myöskin mahdollista ottaa lämpöenergiaa talteen poistoilmasta, jolla lämmitetään tuloilmaa. Poistoilman lämpöenergiaa saadaan yleisesti talteen noin 65-80%. Lämpöenergian talteenoton mahdollisuus tekee järjestelmästä huomattavasti energiatehokkaamman verrattuna esimerkiksi koneelliseen poistoilmanvaihtoon (Hengitysliitto n.d.). LTO:lla varustetun tulo- ja poistoilmanvaihdon toimintaperiaate esitetty kuvassa 10.



KUVA 10. LTO:lla varustetun tulo- ja poistoilmanvaihdon toimintaperiaate (Henkitysliitto n.d.)

2.3 Käyttövesi

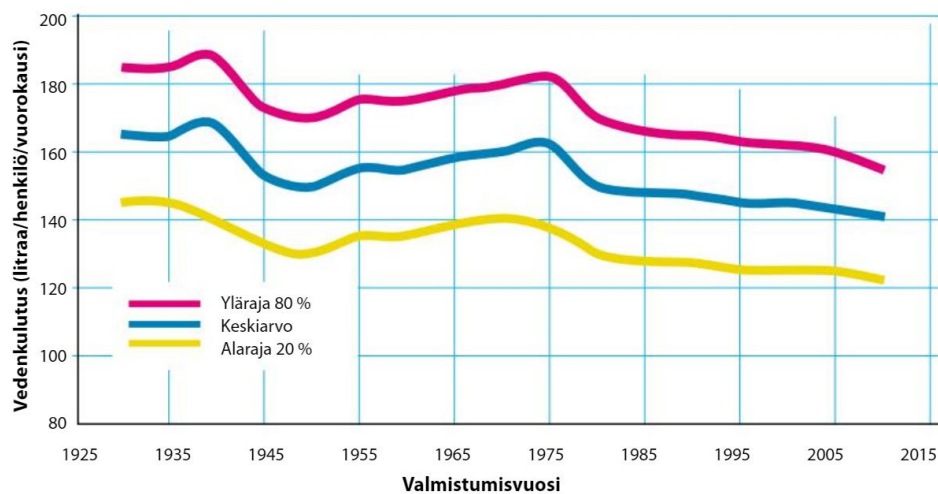
Käyttöveden käytön osalta rakennukset eivät juurikaan eroa toisistaan, kun kyseessä on samaan tarkoitukseen tehty rakennus. Käyttöveden eroavaisuudet tulevat putkistojen materiaaleista. Nykyään käytetään pääsääntöisesti kupari-, muovi-, tai komposiittiputkia, eikä näillä ole juurikaan eroavaisuuksia energiatehokkuutta ajatellen. Käyttöveden osalta energiatehokkuutta tarkastellessa kannattaakin kiinnittää huomiota itse veden kulutukseen.

2.3.1 Käyttöveden kulutus

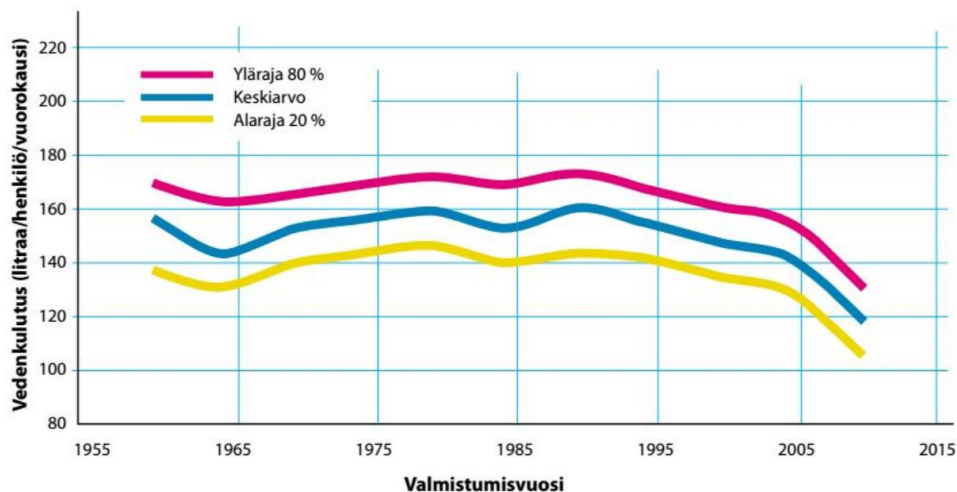
Asuinrakennuksissa vettä kuluu peseytymiseen, ruuanlaittoon, siivoamiseen, pyykin-/tiskinpesuun sekä WC:n huuhteluun. Kokonaisvedenkulutuksesta asuinrakennuksessa noin 40 % on lämmintä käyttövettä. Peseytymiseen käytetään noin 36 % päivittäisestä käyttöveden kulutuksesta, mikä tekee siitä suurimman käyttöveden menoerän. Peseytymiseen käytetystä vedestä noin 40-75 % on lämmintä käyttövettä (Virta & Pylysy, 2011, 26).

Asuinyhteisöjen vedenkulutus ilmoitetaan kulutettuina litroina henkilöä kohden vuorokaudessa (l/hlö/vrk). Asuinkerrostalon keskimääräinen käyttöveden kulutus

on noin 155 l/hlö/vrk ja rivitalon kulutus noin 140 l/hlö/vrk. Kuviossa 2 on esitetty käyttöveden kulutusta asuinkerrostalojen osalta ja kuviossa 3 rivitalojen osalta.



KUVIO 2. Asuinkerrostalojen kokonaisvedenkulutus (Virta & Pylsy, 2011, 26)



KUVIO 3. Rivitalojen kokonaisvedenkulutus (Virta & Pylsy, 2011, 27)

3 ESIMERKKIKOHDE

3.1 Yleiset tiedot

Tässä työssä tarkastellaan Vaasassa sijaitsevaa, vuonna 1970 rakennettua asuinkerrostaloa ja sen energiatehokkuutta. Asuinkerrostalossa on 6 kerrosta kahdessa rapussa, joissa on yhteensä 48 asuntoa. Esimerkkikohteen julkisivu kuvattuna kuvassa 11.



KUVA 11. Esimerkkikohde As Oy Antellinpuisto (Petäys 2019)

3.1.1 Lämmitysjärjestelmä

Kohteen lämmöntuottomuotona toimii kaukolämpö. Kaukolämmöllä lämmitetään rakennus sekä lämmin käyttövesi. Kaukolämmön alajakokeskus on uusittu vuonna 2015 ja on täten hyvässä kunnossa. Huomionarvoista on, että kohteessa

sijaitseva kaukolämmön alajakokeskus palvelee myös naapuritaloa. Kohteen kaukolämmön alajakokeskus esitetty kuvassa 12.



KUVA 12. Esimerkkikohteen kaukolämmön alajakokeskus (Petäys 2019)

Lämmönjakotapana kohteessa on vesikiertoinen patterilämmitys. Kaukolämpölaitoksella tuotettu kuuma vesi johdetaan rakennuksen tekniseen tilaan, josta lämmönvaihtimen kautta kaukolämpöveden lämpöenergiaa siirretään tarvittava määrä rakennuksen lämmityspiiriin. Vaihtimelta lämmitetty vesi ohjataan kierto-vesipumppujen avulla teräsputkia pitkin asuntoihin ja yleisiin tiloihin. Varsinainen lämmönluovutus tiloihin tapahtuu pattereiden välityksellä. Kun lämmityspiirin vesi on luovuttanut lämpöenergiansa tilaan patterin kautta, palaa se paluuputkistoa

pitkin teknisen tilan vaihtimelle uudelleen lämmitettäväksi. Kohteen eräs lämmityspatteri esitetty kuvassa 13.



KUVA 13. Esimerkkikohteen lämmityspatteri (Petäys 2019)

Patterin vesivirtausta säätelee patteritermostaatti tarpeen mukaan. Kun termostaattia ympäröivä ilma on liian viileää, avaa termostaatti automaattisesti patteriventtiiliä, jolloin patteriin pääsee virtaamaan lämmitettyä vettä. Suurin osa kohteen yleisten tilojen patteritermostaateista on uusittu. Patteritermostaatti kuvattu kuvassa 14.



KUVA 14. Kohteen patteritermostaattityyppi (Petäys 2019)

3.1.2 Ilmanvaihtojärjestelmä

Kohteen ilmanvaihtojärjestelmänä toimii koneellinen poistoilma, joka on esitelty aiemmin kohdassa 2.2.2. Rakennuksen vesikatolla sijaitsee kaksi kammiohuonetta, joissa kummassakin on yksi kammiopuhallin. Toinen kammiopuhaltimista palvelee A-rappua ja toinen B-rappua. Kammiopuhaltimet esitetty kuvissa 15 ja 16. Kammiopuhaltimet ovat molemmat teknisen käyttöikänsä päässä, eivätkä ole energiatehokkaita. Kohteeseen onkin suunniteltu jo puhaltimien saneerausta.



KUVA 15. A-rappua palveleva kammio puhallin (Petäys 2019)



KUVA 16. B-rappua palveleva kammio puhallin (Petäys 2019)

Runkokanavisto kulkee vesikatolla, josta se on haaroitettu useaan eri hormiin. Hormeja menee eri asuntojen eri sijainneille pystysuorasti. Hormistot ja niiden haarautuminen on esitetty liitteessä 1.

Kohteen ilmanvaihtoa ajatellen korvausilmaventtiilejä on liian vähän, minkä takia vaadittuun ilmanvaihtoon ei rakennuksessa päästä. Korvausilmaventtiilien puutteesta aiheutuu myös alipaine rakennuksen sisään. Alipaine puolestaan aiheuttaa sisäilmanlaadun heikkenemistä, kun korvaava ilma tulee rakenteiden välistä, rappukäytävistä, ikkunoiden/ovien välistä tai viemäristä. Korvausilmaventtiilien puute heikentää myös ilmanvaihdon energiatehokkuutta, kun ilman liikuttamiseen vaaditaan enemmän sähköenergiaa.

Kohteessa on pääsääntöisesti käytössä KGEB-malliset poistoilmaventtiilit, joista ilmamäärät eivät ole luotettavasti mitattavissa. Osassa huoneistoista oli käytössä jopa painovoimaiseen ilmanvaihtoon tarkoitettuja lautasventtiiliä. Useaan asuntoon oli myös uusittu nykyaikaiset venttiilit. Asunnoissa yleisesti käytössä ollut KGEB-poistoilmaventtiili esitetty kuvassa 17.



KUVA 17. Erään asunnon keittiön KGEB-poistoilmaventtiili (Petäys 2019)

3.1.3 Käyttövesijärjestelmä

Käyttövesijärjestelmä on toteutettu kupariputkella päävesimittarilta vesikalusteille. Vesikalusteet ovat pääosin vanhoja, mutta satunnaisia kalusteita on uusittu tarpeen mukaan. Vanhoille kalusteille on tehty tarkastuskierros, jonka aikana havaitut vuodot mm. wc-istuimissa on korjattu.

Kohteessa on käytössä Fiksuvesi -niminen veden seuranta- ja säästöpalvelu. Palvelu on otettu käyttöön 29.12.2016. Päävesimittarin yhteyteen asennettu mittari esitetty kuvassa 18. Järjestelmä mittaa veden kulutusta reaaliajassa ja antaa hälytyksen, mikäli kohteessa on mahdollinen vesivuoto.

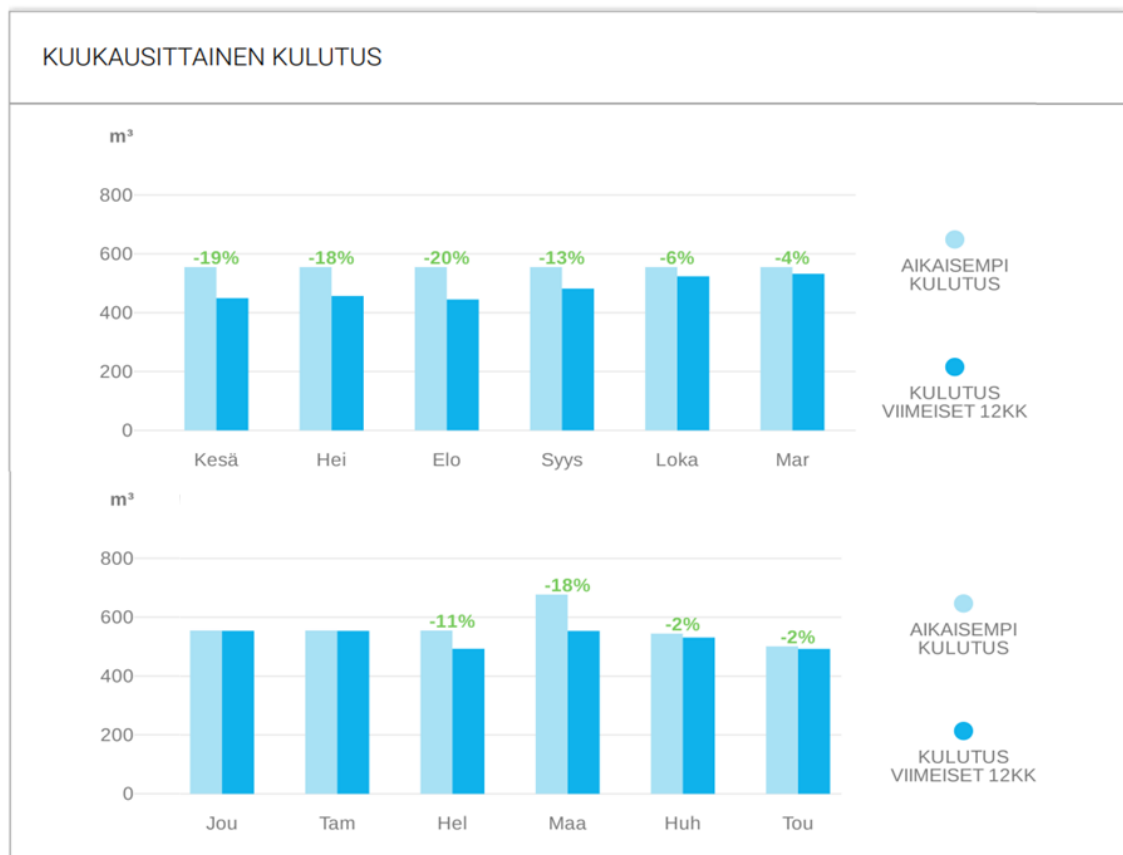


KUVA 18. Fiksuvesi -järjestelmän mittari pääsulun jälkeen (Petäys 2019)

Kesäkuun 2017 ja toukokuun 2018 välisenä aikana kohteen käyttöveden kulutus oli 6067,51 m³. Päivätasolla tämä tarkoittaa 16,623 m³, eli 16 623 litran päivittäistä kulutusta taloyhtiössä. Tarkkaa asukasmäärää taloyhtiöstä ei ole tiedossa, mutta lukemien perusteella voimme kertoa, että keskimääräinen vedenkulutus on

noin 346 l/asunto/vrk. On huomioitava, että asunnoissa asuu eri määrä ihmisiä, minkä vuoksi lukemaa täytyy nimittää keskiarvoksi.

Kuviossa 4 on esitetty kohteen veden kulutus kahden vuoden ajalta ja kuviosta on myös nähtävissä Fiksuvesi -järjestelmän ja sen myötä tehdyn vuotojen korjauskierroksen vaikutus veden kulutukseen.



KUVIO 4. Käyttöveden kulutus kuukausittain verrattuna aiempaan vuoteen (Fiksuvesi 2018)

3.2 Energiankulutus kohteessa

Tässä osiossa käydään läpi kohteen energiankulutusta. Selvitetään, paljonko kohteessa kuluu kaukolämpöenergiaa lämmitykseen ja kuinka suuri osa siitä kuuluu käyttöveden lämmittämiseen. Lisäksi selvitetty kohteen nykyinen sähköenergian kulutus.

3.2.1 Lämmitysenergia

Isännöitsijältä saaduissa mittaustuloksissa lämmitysenergian kulutuksen osalta ei ole eritelty As Oy Antellinpuiston energiankulutusta naapuritalosta, vaan annetut kulutustiedot sisältävät molempien rakennusten energiankulutukset. Näiden lukemien, asuntojen määrän sekä isännöitsijältä saatujen tietojen perusteella on arvioitu, että lämmitysenergiasta noin 48 % kuluu As Oy Antellinpuiston tarpeiden kattamiseen.

As Oy Antellinpuiston lämmitysenergian kulutuksen keskiarvo aikavälillä 1.8.2016 - 11.8.2018 on noin 520 MWh vuodessa, kokonaiskulutuksen ollessa n, 1085 MWh vuodessa. Tämä sisältää sekä rakennuksen, että käyttöveden lämmittämiseen tarvittavan energiamäärän. Pelkkä lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energiamäärä on esitetty jäljempänä kohdassa 3.2.3.

3.2.2 Sähköenergia

Sähköenergian kulutus aikavälillä 1.8.2016 – 12.8.2018 on kohteessa ollut noin 46 100 kWh/vuosi. Tämä lukema sisältää kaiken kiinteistön sisäisen sähkönkulutuksen.

LVI-taloteknisillä toimenpiteillä sähkönkulutukseen voitaisiin merkittävästi vaikuttaa ainoastaan vanhojen kammio puhaltimien vaihdolla uusiin. Mikäli taas kiinteistön energiatehokkuutta lähdetäisiin parantamaan lämpöpumppuratkaisuilla, nostaisi tämä sähköenergian kulutusta.

3.2.3 Käyttöveden lämmitysenergia

Kohteen lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittavan energiamäärän laskemiseen tarvitsee tietää kulutetun lämpimän käyttöveden määrä. Tässä kohteessa lämpimän käyttöveden kulutusta ei mitata erikseen, joten lämmitysenergian kulutus voidaan arvioida kohdan 2.3.1. mukaan lämpimän käyttöveden kulutuksen olevan 40 % kokonaiskäyttöveden kulutuksesta.

Lämpimän käyttöveden energiankulutus saadaan arvioitua kaavalla 1.

$$Q_{lkv} = 58 * V_{lkv}, \quad (1)$$

jossa Q_{lkv} on lämpimän käyttöveden energiankulutus (kWh), 58 on veden lämmittämiseen (lämpötilan muutos 50 °C) tarvittava energiamäärä vesikuutiota kohden, kWh/m³ ja V_{lkv} on kulutettu lämpimän käyttöveden määrä kuutioina vuodessa.

Kun kohteen vuosittainen kokonaiskäyttöveden kulutus on 6067,51 m³, voidaan tästä olettaa n. 40 % olevan lämmintä käyttövettä, mikä tarkoittaa lämpimän käyttöveden vuosittaisen kulutuksen olevan n. 2427 m³.

Lämpimän käyttöveden energian kulutus arvioituna kaavalla 2.

$$Q_{lkv} = 58 \frac{kWh}{m^3} * 2427 m^3 = 140\,766 \text{ kWh vuodessa} \quad (2)$$

Lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluu siis lämmitysenergiaa n. 140,8 MWh vuodessa.

3.3 Huomioidut energiatehokkuuden parantamismenetelmät

Tässä osiossa esitellään menetelmät, joilla kohteen energiatehokkuutta olisi mahdollista parantaa. Kunkin menetelmän kohdalla kerrotaan myös, miksi kyseinen menetelmä otetaan tutkittavaksi energiatehokkuuden parantamisen kannalta.

3.3.1 Poistoilman lämmöntalteenotto

Kohteen merkittävin energiahukka syntyy ilmanvaihdosta. Ilmanvaihto vaihtaa ilmaa rakennuksessa n. 1200 l/s, mikä tarkoittaa n. 37 843 200 kuutiolitraa ilmaa

vuodessa. Kaikki ilma, mikä ilmanvaihdon kautta liikkuu, tulee suoraan ulkoilmasta sisään lämmitettäväksi.

Suomessa ilman vuotuinen keskilämpötila on n. 4 celsius astetta (Ilmatieteenlaitos 2019). Tämä tarkoittaa sitä, että kun ulospuhallettavan poistoilman keskimääräinen lämpötila on n. 22-24 asteista, tarvitsee jokaista ilmalitraa lämmittää 18-20 astetta, jonka jälkeen se puhalletaan sellaisenaan ulos. Kyseisen ilmamäärän lämmittämiseen tarvittava energiamäärä saadaan laskettua kaavalla 3.

$$Q = V * c_p * \rho * \Delta T / 3600, \quad (3)$$

jossa Q on ilman lämmittämiseen tarvittava energiamäärä (kWh), V on ilmamäärä (m^3), c_p on ilman ominaislämpökapasiteetti vakioaineessa ($\frac{kJ}{kg \cdot K}$), ρ on ilman tiheys (kg/m^3), ΔT on lämpötilaero ulkoilman ja ulospuhallettavan ilman välillä ja 3600 on yksikkömuunnoskerroin $kJ \rightarrow kWh$.

Poistoilman mukana ulospuhallettu lämmitysenergiämäärä vuodessa saadaan arvioitua sijoittamalla arvot kaavaan 3. Ulospuhalletun lämmitysenergian määrä arvioitu kaavassa 4.

$$Q = 37\,843\,200\,m^3 * 1 \frac{kJ}{kg \cdot K} * 1,29 \frac{kg}{m^3} * 18\,K / 3600 = 244\,088,64\,kWh \quad (4)$$

Vuosittain ilmanvaihdon kautta poistuu siis n. 244 MWh lämmitysenergiaa.

Olosuhteiden kannalta hanke olisi hyvin toteutettavissa. Nykyisellään vesikatolla on kaksi kammiohuonetta päällekkäin, jotka esitetty kuvassa 19. Kammiopuhaltimet purettaisiin huoneista, huoneiden välinen seinämä purettaisiin ja kummankin rapun ilmanvaihtokanavat lähtisivät samasta kokoojalaatikosta. Yhdistetyn kammiohuoneen katolle voitaisiin asentaa yksi LTO-yksiköllä varustettu huippuimuri, joka palvelisi koko rakennusta.



KUVA 19. Kammiopuhaltimien huoneet päällekkäin (Petäys 2019)

Lämmönkeruuputkiston asennus huippuimurilta tekniseen tilaan onnistuu helpoiten rakennuksen ulkoseinää pitkin. Mikäli ulkoseinä ei sovi keruuputkiston asennuspaikaksi, esim. arkkitehtuurisista/ulkonäöllisistä syistä, voidaan keruuputkisto viedä rappukäytävää pitkin tekniseen tilaan. Rappukäytävässä viedessä kerrosten väliset läpiviennit tulee porata timanttikorauksella.

Kohdassa 2.1.6. esitetyt PILP-järjestelmän laitteistot voidaan helposti sijoittaa tekniseen tilaan. Kohteen tekninen tila on erittäin tilava, eikä laitteiston sijoituksen kanssa tule ongelmia. Teknisessä tilassa on kuitenkin tällä hetkellä paljon vanhoja, käytöstä poistettuja laitteistoja, jotka vievät tilaa. Nämä laitteistot tulee purkaa ennen kuin PILP-laitteistot voitaisiin asentaa. Teknisen tilan tilavuus sekä vanhat, käytöstä poistetut laitteistot esitetty kuvissa 20 ja 21.



KUVA 20. Tekninen tila peräseinältä päin kuvattuna (Petäys 2019)

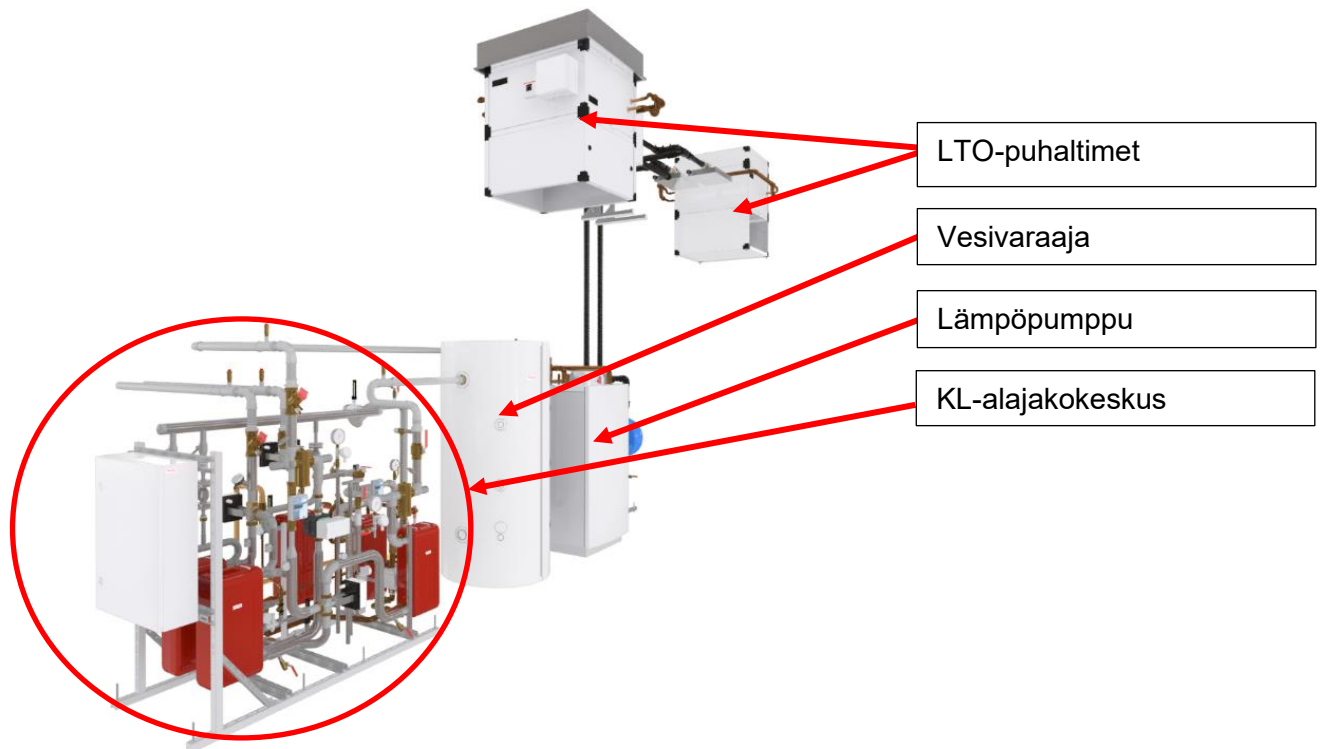


Säiliö on poistettu käytöstä

KUVA 21. Tekninen tila ovelta päin kuvattuna (Petäys 2019)

Poistoilmasta talteen otettu ja lämpöpumpulla tehostettu lämmitysenergia voidaan hyödyntää rakennuksen sekä käyttöveden lämmittämiseen. Esimerkkikohteen mukaisissa rakennuksissa järjestelmällä kyetään yleensä saamaan n. 35-50 % säästöt vuotuisissa lämmityskustannuksissa (Virta & Pylsy, 2011, 124).

Kuvassa 22 havainnollistettu PILP-järjestelmän laitteet.



KUVA 22. PILP-järjestelmän laitteet (HögforsGST Oy n.d., muokattu)

Laskelmia järjestelmän tuotoista sekä kannattavuudesta esitelty tarkemmin jäljempänä osiossa 4.1.

3.3.2 Poistoilman lämmöntalteenotto + maalämpö

PILP-järjestelmän rinnalle on helposti asennettavissa myös maalämpö. Järjestelmän toteutus ei muuttuisi vesikatolla, eikä teknisessä tilassa. Rakennuksen piha-alle voidaan porata kaksi maalämpökaivoa, joiden keruupiirit ovat yhdistettävissä huippuimurin keruupiiriin.

Lämpökaivot jäisivät piiloon maan alle, eivätkä täten haittaisi alueen yleisilmettä. Lämpökaivojen poraukset lisääisivät jonkin verran investoinnin kokonaiskustannusta, mutta maasta lämpöpumppujen kautta saatava lämpöenergia tekisi investoinnista pitkällä tähtäimellä kannattavan.

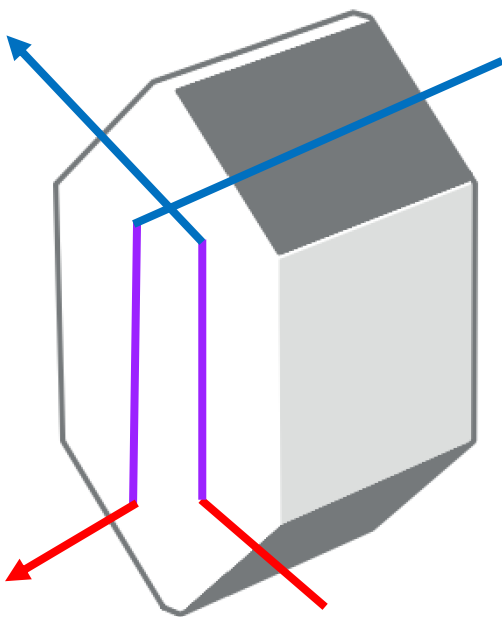
Laskelmia järjestelmän tuotoista sekä kannattavuudesta esitelty tarkemmin jäljempänä osiossa 4.2.

3.3.3 Huoneistokohtainen LTO-ilmanvaihto

Tällä hetkellä koko rakennusta palvelee kaksi kammiopuhallinta katolla. Kammiopuhaltimille on määritetty tietyt ilmavirrat ja tiettyyn aikaan päivästä tehostusilmavirrat. Tehostusilmavirrat on määritetty tyypillisesti n. kello 11 ja 17 aikoihin, jolloin ihmiset tekevät ruokaa. Asunnoissa on pääsääntöisesti kiinteät liesikuvut, joissa ei ole tehostusmahdollisuutta. Osassa asunnoista on käytössä aktiivihiihtisuodatteiset liesituulettimet, joiden tehoa pystyy itse säätää. Aktiivihiihtiliesituulettimet eivät kuitenkaan lisää asunnon ilmanvaihtoa.

Asuntoihin olisi mahdollista asentaa huoneistokohtaiset LTO-ilmanvaihtokoneet. Asuntokohtaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä jokaiseen asuntoon asennetaan oma ilmanvaihtokone. Sekä ilmanvaihtokone, että -kanavat asennetaan pinta-asennuksena, jolloin asennus on vaivatonta, eikä rakenteita tarvitse rikkoa. Ilmanvaihtokanavat on mahdollista koteloida piiloon asennuksen jälkeen. Järjestelmässä on sekä tulo-, että poistoilma, jossa poistoilman lämpöenergialla lämmitetään tuloilmaan lämmönsiirtimen välityksellä.

Suurin hyöty tällaisesta investoinnista syntyisikin lämmitysenergian säästöissä. Esimerkiksi yleisimmissä asuinhuoneistojen ilmanvaihtokoneissa on käytetty ristivastavirtalevyllämmönsiirintä, joka on esitetty kuvassa 23. Ristivastavirtalevyllämmönsiirtimen tyypillinen vuosihyötysuhde on n. 75 % (Vallox n.d.). Tämä tarkoittaa sitä, että vuosittaisesta poistoilmanlämpöenergiasta saadaan n. 75 % talteen.



KUVA 23. Ristivastavirta levylämmösiirrin (Vallox n.d., muokattu)

Koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla saadaan myös aiempaa parempi sisäilmanlaatu. Asuntokohtaisella ilmanvaihdolla ilma vaihtuu nykytilannetta paremmin, tiloihin sisään puhallettava ilma on paremmin suodatettua sekä asukas voi itse vaikuttaa ilmanvaihdon tehostukseen. Tässä järjestelmässä myös ilmanvaihto on tasaisempaa, minkä vuoksi vedon tunnetta ei esiinny tulo- ja poistoilmanvaihdossa.

Asuntokohtaisen ilmanvaihdon avulla saatavia säästöjä sekä investoinnin kannattavuutta esitetty tarkemmin osiossa 4.3.

3.3.4 Patteriverkoston vesivirtojen säätäminen

Patterin vesivirtojen säätö on merkittävä lämmitysjärjestelmän energiatehokkaan toiminnan kannalta. Patterijärjestelmä tulee säätää siten, että patteriverkoston syötetty vesi ja sen energiasisältö vastaa asunnon sen aikaista lämpöenergian tarvetta.

Patterijärjestelmän perussäätö tehdään usein jo rakennuksen käyttöönottovaiheessa huolimattomasti. Tästä aiheutuu se, ettei rakennuksen vesivirrat ole tasapainossa. Kiertovesipumpun pumppaamasta vedestä suurin osa kulkee reittiä,

jossa on pienin virtausvastus. Näitä virtausvastuksia tulisi kompensoida linjasäätöventtiileillä. Patteriverkoston vesivirtoja säädettyä siis pyritään saamaan jokaiselle putkireitille sama virtausvastus ja tästä syntynyt painehäviö (Seppänen 2001, 172–174).

Kuvassa 24 on esitetty yleinen tilanne asuinkerrostalojen lämmitysverkoston osalta. Tällaisissa tilanteissa koko rakennuksen lämmitysverkostoa säädetään kylmimmän asunnon perusteella, jolloin hukataan lämmitysenergiaa. Kuvassa 25 taas nähdään ihannetilanne, mihin patteriverkoston vesivirtojen säätämällä pyritään. Tällöin lämmitysenergiaa kuluu optimimäärä koko rakennuksessa.

Rakennusten lämmittämisen kannalta on huomionarvoista, että yhden asteen pudotus asunnon sisäilman lämpötilassa tuo n. 5 % säästön lämmityskuluissa (Motiva n.d.). Tämän takia patteriverkoston vesivirtojen säädöllä voidaan saada aikaan suuriakin säästöjä lämmityskustannuksissa.



Keskilämpötila:

asuinhuoneistot 24,0 °C

Haitat:

Osassa huoneistoja liian korkea lämpötila = epämukavuutta ja lämmönhukkaa, tarvetta ylimääräiseen tuulettamiseen.

Osassa huoneistoja liian alhainen lämpötila = epämukavuutta ja tarvetta lisälämmitykseen.

KUVA 24. Asuinkerrostalojen yleistilanne patteriverkoston osalta (Motiva 2002)



Keskilämpötila:
asuinhuoneistot 21,0 °C

Hyödyt:
Energiansäästö, tasaiset huone-
lämpötilat, terveellinen
sisäilma, asukkaat viihtyvät ja
voivat hyvin.
Laitteet teknisesti ajan tasalla
= helppo huoltaa.

KUVA 25. Ihannetilanne asuinkeuhastalon patteriverkoston osalta (Motiva 2002)

Patteriverkoston vesivirtojen osalta ei suoriteta tarkempia tutkimuksia kohteen osalta, sillä ongelmien todentaminen veisi merkittävän paljon aikaa. Suositeltavaa onkin varmistua, onko kohteen patteriverkoston vesivirtoja säädetty optimaalisesti toimiviksi. Mikäli kohteessa ei lämmitysverkoston vesivirtoja ole säädetty oikeiksi, voidaan vesivirrat säätämällä saada jopa 10-15 % säästöt lämmityskustannuksissa.

3.3.5 Käyttöveden kulutus

Käyttöveden kulutuksen osuus asumiskustannuksissa on suuri. Käyttöveden kulutukseen voi parhaiten vaikuttaa muuttamalla vedenkäyttötottumuksiaan.

Teknisesti käyttöveden kulutukseen voidaan vaikuttaa asentamalla vedensäästöä edistäviä kalusteita tai säästöä tuovia osia kalusteisiin. Esimerkiksi vettä säästäväillä suihkupailla ollaan mittaustulosten perusteella saatu aikaan jopa 35-

45 % säästöjä suihkussa käymisen vedenkulutuksessa. Suihkunpäiden virtaus-
tekninen muotoilu muokkaa veden virtausnopeutta ja pisarakokoa siten, että pie-
nempikin vesimäärä tuntuu riittävältä. Muita vettä säästäviä osia/laitteita ovat
mm:

- Hanoihiin asennettavat vedensäästösuuttimet
- Vettä säästävät hanat/suihkusekoittimet
- Vettä säästävät wc-istuimet

Esimerkkikohteessa onkin jo käytössä käyttöveden kulutusseuranta, mikä auttaa
vuotojen ehkäisyssä. Vuodoista syntyvät häviöt ovatkin merkittäviä, sillä esimer-
kiksi yksi jatkuvasti vuotava wc-istuin aiheuttaa vuositasolla jopa 3 000 000 litran
veden kulutuksen.

Toinen tärkeä osa vesijärjestelmän oikeintoimivuutta on vesiverkoston paineta-
sojen säätäminen. Tämä myös on kohteessa toteutettu Fiksuvesi -järjestelmällä.
Mikäli käyttövesijärjestelmän käyttöpaine on liian suuri, kuluttavat hanat, suihkut
ym. tarpeettoman paljon vettä, kun vesi tulee haluttua suuremmalla paineella.

Käyttöveden käytön suhteen kohteeseen on jo tehty parannuksia mm. Fiksuvesi
-järjestelmän myötä. Käyttöveden osalta ei myöskään suoriteta tarkempia tutki-
muksia jäljempänä, sillä käyttöveden osalta suurin säästöpotentiaali on käyttötot-
tumusten muutoksessa. Kohteeseen suositellaan kuitenkin vanhojen vesikalus-
teiden uusimista vettä säästäviin malleihin, käyttöveden painetason tarkistamista
sekä käyttötottumusten muuttamista energiatehokkaammiksi. Esimerkiksi, mikäli
nykyisestä käyttöveden kulutuksesta voitaisiin karsia 7 %, tarkoittaisi se n. 700
euron vuosittaista säästöä.

4 TUTKIMUSTULOKSET

Tässä osiossa on tarkoitus luoda yleiskäsitys kunkin järjestelmän kannattavuudesta energiataloutta ajatellen. Jokaisen energiatehokkuuden parantamismenetelmän alle on listattu kyseisen järjestelmän tuoma hyöty energiataloudessa, kustannusarvio järjestelmän toteutuksesta sekä investoinnin tuotto tulevaisuuden tarkastelussa.

Tutkimustulosten analysoinnin kannalta tärkeitä tietoja ovat kaukolämmön sekä sähkön hinnat. Isännöitsijältä saatujen dokumenttien mukaan As Oy Antellinpuisto maksaa kaukolämpöenergiasta n. 49,5 €/MWh ja sähköenergiasta siirtomaksuineen n. 90 €/MWh.

Kustannusten osalta täytyy huomioida, että kustannusarviot ovat laadittu yhden urakoitsijan hintatietojen pohjalta ja ovat ainoastaan suuntaa antavia arvioita. Kustannusten esittämisellä on tarkoitus havainnollistaa investoinnin suuruusluokka ja täten myös arvioida investoinnin kannattavuutta kokonaisuudessaan.

4.1 Poistoilman lämmöntalteenotto

Poistoilman lämmöntalteenotosta voidaan yleisesti käyttää nimitystä PILP-järjestelmä. Kuten kohdassa 3.3.1. on esitetty, kohteeseen suunnitellussa järjestelmässä nykyiset kammiopuhaltimet korvattaisiin yhdellä LTO-kennolla varustetulla huippuimurilla. Puhaltimelta talteen otettu lämpöenergia johdetaan keruuputkistoa pitkin tekniseen tilaan lämpöpumpulle. Lämpöpumpulla tuotettu lämpöenergia hyödynnetään ensisijaisesti rakennuksen lämmittämiseen ja mahdollisella ylijäävällä osalla lämmitetään käyttövettä.

Energiansäästö-laskelmat, sekä kustannusarviot pohjautuvat suuresti HögforsGST Oy:n laatimiin dokumentteihin, sekä heidän laitteistoidensa hintoihin. HögforsGST on heille toimitettujen pohjatietojen perusteella laatinut liitteissä 2, 3 ja 4 esiintyvät energiansäästö-laskelmat. HögforsGST on tämän työn toimeksiantajan yhteistyökumppani energiasaneerausratkaisuissa.

4.1.1 Energiansäästö

Energiansäästöä laskiessa on käytetty seuraavia lähtöarvoja:

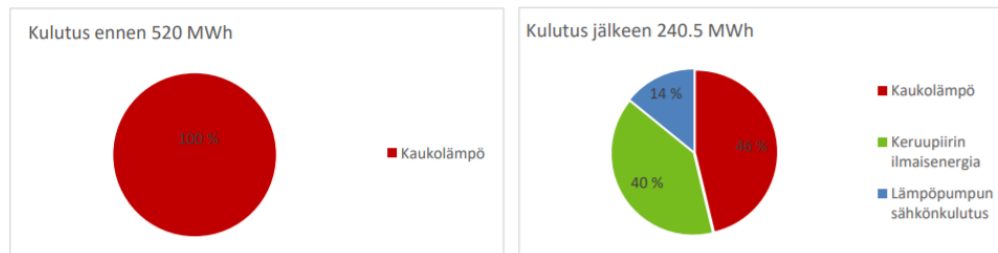
- Kaukolämmön vuosittainen kulutus n. 520 MWh
- Käyttöveden kulutus vuodessa 6067,51 m³, josta lämpimän käyttöveden osuus n. 2427 m³
- Keruupiiristä saatava energiamäärä 206 MWh vuodessa
- Normaali ilmamäärä (18h/vrk) 1100 l/s (Teho 55 %)
- Tehostettu ilmamäärä (6h/vrk) 2000 l/s (Teho 100 %)
- Ilmanvaihdon tehostuksen pakkasraja -5 °C
- Poistoilman keskimääräinen lämpötila 21 °C
- LTO-puhaltimen sähkönkulutus 6484,6 kWh vuodessa
- Poistoilman LTO hyötysuhde 98,7 %
- SFP-luku tehostus 0,65 ja normaali 0,55
- SCOP-luku 3,8
- Vuotuinen energian hinnannousu 3 %

Ilmoitetut poistoilmamäärät ovat olettamuksia, joista voidaan varmistua suorittamalla kohteeseen ilmamäärien mittaus ja -säätö. SCOP-luku on laitevalmistajan antama luku saatujen lähtötietojen perusteella. LTO hyötysuhteen laitetoimittaja on määrittänyt järjestelmälle niin ikään saatujen lähtötietojen sekä heidän laitteistoidensa perusteella.

Kuviossa 5 on esitetty lähtöarvojen pohjalta tehtyjen laskelmien tulokset energiankulutusten osalta. Kuvioista on nähtävillä, että kaukolämmön ostoenergian määrää pystytään vähentämään merkittävästi, mutta samalla sähköenergian kulutus hieman lisääntyy.

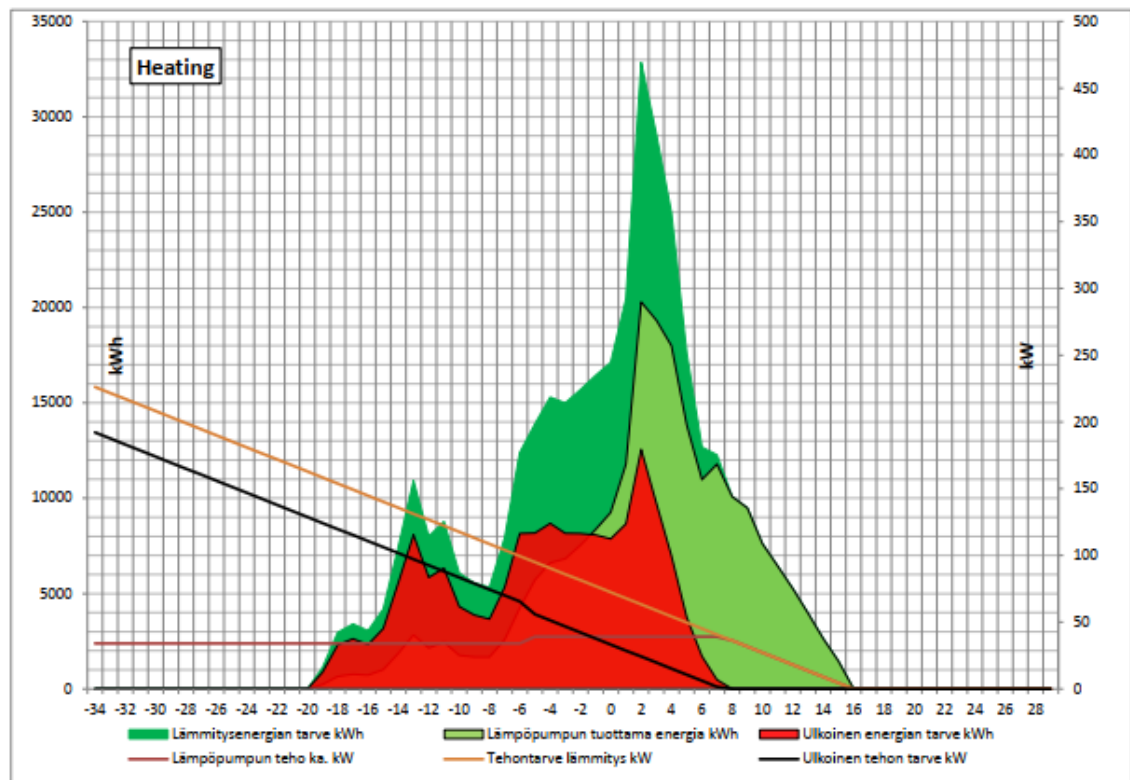
Lämmityksen osalta järjestelmän tehon- ja energian tarpeet on esitetty kuviossa 6. Kuvioista selviää lämmitystehon tarve suhteessa ulkoilman lämpötilaan sekä järjestelmän tuottama keskimääräinen lämmitysteho. Kuvioista on myös nähtävillä ulkoisen lämmönlähteen energiantarve, joka tässä tapauksessa tarkoittaa kaukolämpöä. Lämmitysenergian tarve ja tuotto on kuvattu määrällisesti ulkoläm-

pötilaa kohden. Suurin lämmitysenergian tarve on n. 2 °C kohdalla, joka on keskimääräisesti Suomen yleisin ulkolämpötila. Kuvion 6 tiedot on esitetty myös lämpimän käyttöveden osalta liitteessä 4.



KUVIO 5. PILP-järjestelmän asennuksen vaikutukset energian kulutukseen (HögforsGST Oy 2019)

Kaukolämmön ostoenergian määrä saadaan pudotettua PILP-järjestelmällä 520 megawattitunnista 240,5 megawattituntiin.



KUVIO 6. Lämmitysjärjestelmän tehon ja energian tarve sekä tuotto (HögforsGST Oy 2019)

HögforsGST Oy:n laskelmien mukaan kohteessa PILP-järjestelmän asennuksella saatavat energiataloudelliset säästöt ovat seuraavanlaiset:

- Yhden vuoden säästö - 8 755 €
- 15 vuoden kokonaissäästö - 162 830 €
- 25 vuoden kokonaissäästö (vain lämpöpumpun tuotto) - 319 197 €
- 25 vuoden kokonaissäästö Hybridi -järjestelmällä sisältäen tarvittavat huollot ja laitekustannukset - 342 319 €

Laskelmissa on käytetty vuotuista 3 % energiahintojen nousua.

4.1.2 Kustannukset

Järjestelmän kustannukset koostuvat seuraavista osa-alueista:

- Osion 3.3.1, kuvassa 22 esitetyt PILP-järjestelmät osat + järjestelmän automatiikka
- Tarvittavat putket, osat/tarvikkeet, ym. järjestelmän asennuksen toteutukseen
- Asennustyö

Järjestelmän asennuksen kustannuksissa on otettu huomioon kohteen nykyiset poistopuhaltimet, jotka ovat teknisen käyttöikänsä päässä. Puhallinten uusiminen kohteeseen muutostöineen kustantaisi n. 9 000 €.

Järjestelmän suurin yksittäinen kuluerä on PILP-laitteisto, jonka verollinen hinta on 102 790 €. Loppuosa investointikustannuksista syntyy asennustyöstä, sekä asennustyön suorittamiseen tarvittavista tarvikkeista. Arvioitu työaika työn suorittamiseen on n. 15 arkipäivää. Yhdessä työsuoritteesta sekä asennustarvikkeista verollisia kustannuksia arvioidaan kertyvän n. 24 000 €. Kustannusarvio siis koko järjestelmän toteutuksesta aina suunnittelusta valmiiseen toteutukseen on n. 126 790 €. Tästä vähennettynä nykyisten puhaltimien uusimisesta koituvat kustannukset, saadaan PILP-järjestelmän investointihinnaksi 117 790 € sisältäen alv 24 %.

4.1.3 Investoinnin tuotto

Järjestelmän teknisenä käyttöikänä pidetään 25 vuotta, minkä jälkeen tulee mahdollisesti tarve laiteuusinoille. Investoinnin tuoton osalta tarkastellaan siis järjestelmän tuomaa rahallista säästöä 25 vuoden ajalta ja verrataan tätä investoinnin kustannuksiin.

Kuten aiemmin jo mainittiin, järjestelmällä voidaan odottaa saavan 25 vuoden aikana 342 319 € kokonaissäästöt energiakustannuksissa. Huomioitavaa kuitenkin on, että järjestelmän oikeanlainen käyttö sekä huoltotoimet vaikuttavat merkittävästi järjestelmän energiatehokkaaseen toimintaan.

Kun laskelmissa ei huomioida mahdollista lainan ottoa korkoineen investoinnin toteutusta varten, voidaan olettaa investoinnin tuottavan 25 vuoden aikana 224 529 € sen jälkeen, kun järjestelmä on maksanut itsensä takaisin.

Rahallisen säästön lisäksi järjestelmän arvioidaan vähentävän kohteen hiilidioksidipäästöjä n. 47 000 kg vuosittain.

PILP-järjestelmän asennusta voidaan siis pitää rahallisesti järkevänä sijoituksena. Investointi parantaisi myös kohteen energiatehokkuutta huomattavasti, sekä vähentäisi merkittävästi ympäristölle haitallisia hiilidioksidipäästöjä.

Aiemmin esitetyistä lukemista, kaaviosta, säästöistä ym. lisää liitteissä 2, 3 ja 4.

4.2 Poistoilman lämmöntalteenotto + maalämpö

Myös tämän järjestelmän osalta toteutus tapahtuisi kuten kohdassa 3.3.1. on esitetty. Nykyiset kammio puhaltimet korvattaisiin yhdellä LTO-kennolla varustetulla huippuimurilla. Puhaltimelta talteen otettu lämpöenergia johdetaan keruuputkistoa pitkin tekniseen tilaan lämpöpumpulle, josta lämpöpumpulla tuotettu lämpöenergia hyödynnetään ensisijaisesti rakennuksen lämmittämiseen ja mahdollisella ylijäävällä osalla lämmitetään käyttövettä. Maalämpökaivot porattaisiin niille

optimaalisimpaan paikkaa, josta niiden lämmönkeruuputkisto ohjataan myös tekniseen tilaan lämpöpumpulle.

Myöskin laskelman tämän järjestelmän osalta pohjautuvat vahvasti HögforsGST Oy:n laatimiin dokumentteihin, sekä heidän laitteistoidensa hintoihin. HögforsGST on heille toimitettujen pohjatietojen perusteella laatinut liitteissä 5, 6 ja 7 esiintyvät energiansäästö-laskelmat. Kustannusarvioiden suhteen maalämpöä varten porattavien kaivojen kustannusarvio on laadittu ulkopuolisen urakoitsijan hinnoittelun perusteella.

Esimerkkikohteen edustaja vastaa tehtävistä selvitystoimista kohteeseen mahdollisesti porattavien lämpökaivojen osalta. Maalämpökaivojen osalta täytyy tehdä kohdekohtainen selvitys, onko kohteeseen mahdollista porata maalämpökaivoja.

4.2.1 Energiansäästö

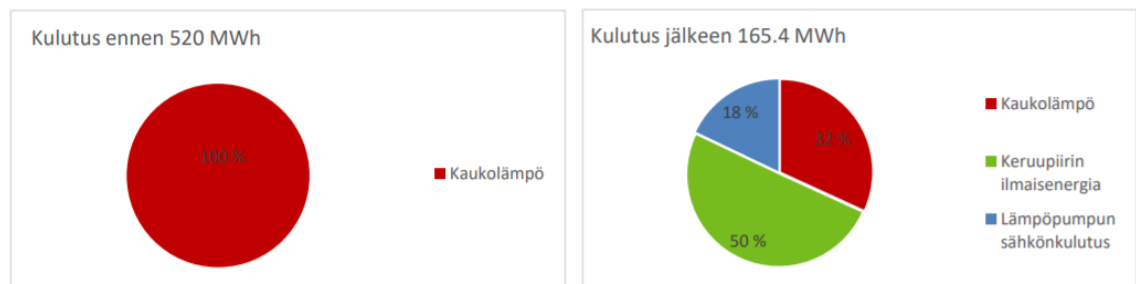
Energiansäästöä laskiessa on käytetty seuraavia lähtöarvoja:

- Kaukolämmön vuosittainen kulutus n. 520 MWh
- Käyttöveden kulutus vuodessa 6067,51 m³, josta lämpimän käyttöveden osuus n. 2427 m³
- Poistoilman keruupiiristä saatava energiamäärä 206 MWh vuodessa
- Energiakaivojen kokonaissyvyys 520m, joista saatava energiamäärä 75,4 MWh vuodessa
- Normaali ilmamäärä (18h/vrk) 1100 l/s (Teho 55 %)
- Tehostettu ilmamäärä (6h/vrk) 2000 l/s (Teho 100 %)
- Ilmanvaihdon tehostuksen pakkasraja -5 °C
- Poistoilman keskimääräinen lämpötila 21 °C
- LTO-puhaltimen sähkönkulutus 6484,6 kWh vuodessa
- Poistoilman LTO hyötysuhde 98,7 %
- SFP-luku tehostus 0,65 ja normaali 0,55
- SCOP-luku 3,8
- Vuotuinen energian hinnannousu 3 %

Ilmoitetut poistoilmamäärät ovat olettamuksia, joista voidaan varmistua suorittamalla kohteeseen ilmamäärien mittaus ja -säätö. SCOP-luku on laitevalmistajan antama luku saatujen lähtötietojen perusteella. LTO hyötysuhteen laitetoimittaja on määrittänyt järjestelmälle niin ikään saatujen lähtötietojen sekä heidän laitteistoidensa perusteella.

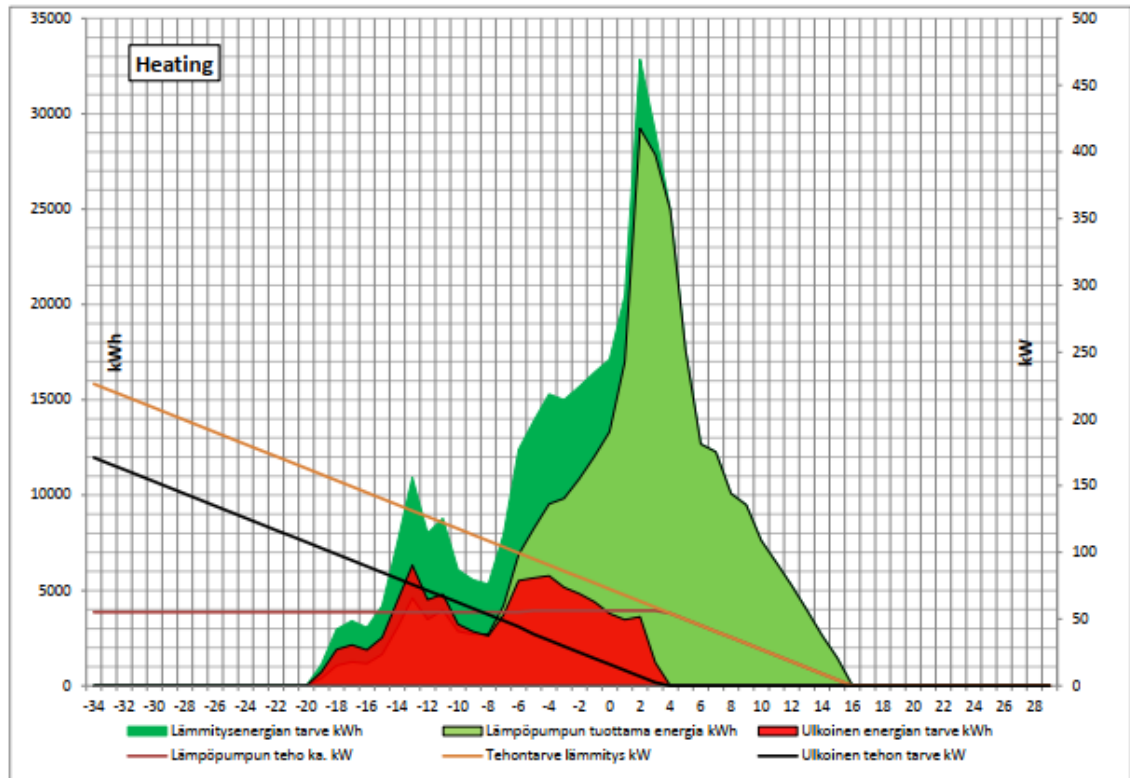
Kuviossa 7 on esitetty lähtöarvojen pohjalta tehtyjen laskelmien tulokset energiankulutusten osalta. Kuviosta on nähtävillä, että lisäämällä PILP-järjestelmään kaksi maalämpökaivoa, kaukolämmön ostoenergian määrää pystytään vähentämään vielä huomattavasti pelkkään PILP-järjestelmään verrattuna, mutta samalla myös sähköenergian kulutus hieman lisääntyy.

Lämmityksen osalta järjestelmän tehon- ja energian tarpeet on esitetty kuviossa 8. Kuviosta selviää lämmitystehon tarve suhteessa ulkoilman lämpötilaan sekä järjestelmän tuottama keskimääräinen lämmitysteho. Kuviosta on myös nähtävillä ulkoisen lämmönlähteen energiantarve, joka tässä tapauksessa tarkoittaa kaukolämpöä. Lämmitysenergian tarve ja tuotto on kuvattu määrällisesti ulkolämpötilaa kohden. Suurin lämmitysenergian tarve on n. 2 °C kohdalla, joka on keskimääräisesti Suomen yleisin ulkolämpötila. Kuvion 8 tiedot on esitetty myös lämpimän käyttöveden osalta liitteessä 7.



KUVIO 7. PILP-järjestelmän asennuksen vaikutukset energian kulutukseen (HögforsGST Oy 2019)

Kaukolämmön ostoenergian määrä saadaan pudotettua PILP-järjestelmällä 520 megawattitunnista 165,4 megawattituntiin.



KUVIO 8. Lämmitysjärjestelmän tehon ja energian tarve sekä tuotto (HögforsGST Oy 2019)

HögforsGST Oy:n laskelmien mukaan kohteessa PILP-järjestelmän asennuksella saatavat energiataloudelliset säästöt ovat seuraavanlaiset:

- Yhden vuoden säästö – 10 692 €
- 15 vuoden kokonaissäästö – 198 868 €
- 25 vuoden kokonaissäästö (vain lämpöpumpun tuotto) – 389 842 €
- 25 vuoden kokonaissäästö Hybridi -järjestelmällä sisältäen tarvittavat huollot ja laitekustannukset – 412 965 €

Laskelmissa on käytetty vuotuista 3 % energiahintojen nousua.

4.2.2 Kustannukset

Järjestelmän kustannukset koostuvat seuraavista osa-alueista:

- Osion 3.3.1, kuvassa 22 esitetyt PILP-järjestelmät osat + järjestelmän automaatiikka
- Tarvittavat putket, osat/tarvikkeet, ym. järjestelmän asennuksen toteutukseen
- Asennustyö
- 2 kpl 260m syvää energiakaivoa

Järjestelmän asennuksen kustannuksissa on otettu huomioon kohteen nykyiset poistopuhaltimet, jotka ovat teknisen käyttöikänsä päässä. Puhallinten uusiminen kohteeseen muutostöineen kustantaisi n. 9 000 €.

Järjestelmä on muuten täysin vastaava PILP-järjestelmän kanssa, eroavaisuutena ainoastaan lisätyt energiakaivot. Sen vuoksi myös tämän järjestelmän suurin yksittäinen kuluerä on PILP-laitteisto, jonka verollinen hinta on 102 790 €. Loppuosa investointikustannuksista syntyy energiakaivojen porauksesta ja niiden putkituksesta tekniseen tilaan, asennustyöstä sekä asennustyön suorittamiseen tarvittavista tarvikkeista. Arvioitu työaika työn suorittamiseen on n. 15 arkipäivää. Yhdessä energiakaivoista, työsuoritteesta sekä asennustarvikkeista verollisia kustannuksia arvioidaan kertyvän n. 47 000 €. Kustannusarvio siis koko järjestelmän toteutuksesta aina suunnittelusta valmiiseen toteutukseen on n. 149 790 €. Tästä vähennettynä nykyisten puhaltimien uusimisesta koituvat kustannukset, saadaan PILP-järjestelmän investointihinnaksi 140 790 € sisältäen alv 24 %.

4.2.3 Investoinnin tuotto

Järjestelmän teknisenä käyttöikänä pidetään 25 vuotta, minkä jälkeen tulee mahdollisesti tarve laiteuusinoille. Investoinnin tuoton osalta tarkastellaan siis järjestelmän tuomaa rahallista säästöä 25 vuoden ajalta ja verrataan tätä investoinnin kustannuksiin.

Kuten aiemmin jo mainittiin, järjestelmällä voidaan odottaa saavan 25 vuoden aikana 412 965 € kokonaissäästöt energiakustannuksissa. Huomioitavaa kuitenkin on, että järjestelmän oikeanlainen käyttö sekä huoltotoimet vaikuttavat merkittävästi järjestelmän energiatehokkaaseen toimintaan.

Kun laskelmissa ei huomioida mahdollista lainan ottoa korkoineen investoinnin toteutusta varten, voidaan olettaa investoinnin tuottavan 25 vuoden aikana 272 175 € sen jälkeen, kun järjestelmä on maksanut itsensä takaisin. Rahallisen säästön lisäksi järjestelmän arvioidaan vähentävän kohteen hiilidioksidipäästöjä n. 59 500 kg vuosittain.

PILP-järjestelmää yhdessä maalämpökaivojen kanssa voidaan siis pitää rahallisesti järkevänä sijoituksena. Investointi parantaisi myös kohteen energiatehokkuutta merkittävästi, sekä vähentäisi huomattavasti ympäristölle haitallisia hiilidioksidipäästöjä.

Aiemmin esitetyistä lukemista, kaaviosta, säästöistä ym. lisää liitteissä 5, 6 ja 7.

4.3 Huoneistokohtainen LTO-ilmanvaihto

Tämän osion säästölaskelmat pohjautuvat poistoilman lämpöenergian talteenotosta ilmanvaihtokoneen LTO-kennon välityksellä. Kohteeseen on työn toimeksiantajan mukaan suunniteltu asennettavan Vallox 096 ja Vallox 110 -ilmanvaihtokoneita asuntojen koon mukaan. Ilmanvaihtokoneet eivät ulkonäöllisesti poikkea toisistaan, ainoastaan fyysinen koko on hieman eri näiden välillä. Ilmanvaihtokone esitelty kuvassa 26.



KUVA 26. Vallox 096 -ilmanvaihtokone (Vallox n.d.)

Vallox on kyseisille ilmanvaihtokoneille määrittänyt LTO vuosihyötysuhteeksi 75 %, minkä mukaan energiansäästölaskelmat ovat laadittu.

Laskelmissa ei ole huomioitu kasvavaa sähkönkulutusta. Sähkönkulutus kasvaa rakennuksessa ilmanvaihtokoneen puhaltimien ja jälkilämmityspatterin myötä. Kasvavista sähköenergiakustannuksista vastaa ensisijaisesti osakkeen omistaja. Huomioitavaa kuitenkin on, että ilmanvaihtokoneen kuluttama sähköenergia muuntautuu suurimmaksi osin lämpöenergiaksi, mikä puolestaan vähentää asunnon lämmitystehontarvetta.

4.3.1 Energiansäästö

Kohdan 3.3.1. laskelman mukaan poistoilman mukana hukatun lämpöenergian määrä on 244 MWh vuosittain, mikäli poistoilmavirta on 1200 l/s. Tarkan poistoilmamäärän saa selville suorittamalla koko taloyhtiölle ilmavirtojen mittauksen.

Mikäli rakennuksen ilmanvaihto vaihdetaan asuntokohtaiseksi, tulisi edellä mainittu 1200 l/s kulkemaan lämmöntalteenottokennon lävitse. Lämmöntalteenottokennon toimiessa Valloxin ilmoittamalla vuosihyötysuhteella, poistoilmasta kyetään saamaan 75 % lämpöenergiasta talteen. LTO-kennon hyötysuhteenkanalta on tärkeää puhdistaa kenno säännöllisesti. Kaavassa 5 on laskettu talteen saatavan lämpöenergian määrä.

$$75 \% * 244 \text{ MWh} = 183 \text{ MWh} \quad (5)$$

Kun taloyhtiö maksaa lämmitysenergiasta tällä hetkellä 49,5 €/MWh, tietää 183 megawattitunnin pudotus lämmityskustannuksissa n. 9 058 € vuosittaista rahallista säästöä.

Tarkastellessa investointia pidemmällä aikavälillä, saadaan arvioitua seuraavallaisia säästöjä:

- Yhden vuoden säästö – 9 058 €
- 15 vuoden säästö – 168 478 €
- 25 vuoden säästö – 330 266 €

Laskelmissa on käytetty vuotuista 3 % kaukolämpöenergiajahintojen nousua. Ilmoitetuissa säästölaskelmissa ei ole huomioitu kasvavan sähkön kulutuksen vaikutusta kustannuksiin.

4.3.2 Kustannukset

Järjestelmän asennuksen kustannukset koostuvat seuraavista osa-alueista:

- Ilmanvaihtokoneiden hinta
- Ilmanvaihtokanavisto ja tarvikkeet kanaviston asentamiseen
- Asennustyö
- Ilmanvaihtokoneiden MyVallox -ohjelmointi

Suurin yksittäinen osa kustannuksista syntyy ilmanvaihtokoneiden asennuksesta. Arvioitu asennukseen kuluva aika on n. 144 työpäivää, joista syntyy n. 143 000 € verollinen kustannus. Loppukustannus syntyy ilmanvaihtokoneista, niiden asentamiseen tarvittavista kanavisto-osista, eristeistä sekä ilmanvaihtokoneiden ohjelmoinneista. Ilmanvaihtokoneita on laskettu mukaan yhteensä 50 kpl, joista 48 palvelee asuntoja ja kaksi palvelee yleisiä tiloja.

Lopuista järjestelmän toteutukseen vaadittavista osa-alueista syntyy yhteensä n. 142 000 € verollinen kustannus. Kustannusarvio koko urakan suorittamisesta sisältäen kaiken valmistelusta käyttöönottoon, on n. 285 000 € sis. alv 24 %.

4.3.3 Investoinnin tuotto

Ilmanvaihtokoneen tekninen käyttöikä on yleensä n. 25 vuotta (Oulun Rakennusvalvonta 2019). Ilmanvaihtokoneen käyttöikää voidaan kuitenkin pidentää säännöllisillä huolloilla, sekä pidemmällä aikavälillä puhaltimien uusimisella.

Kun tutkitaan investoinnin tuottoa ilmanvaihtokoneen oletetulla teknisellä käyttöiällä, selvitetään paljonko säästöjä investointi tuo lämmityskustannuksissa 25 vuoden aikana. Kohdan 4.3.1. laskelman mukaan investointi toisi vuosittain 9 058 € säästön lämmityskustannuksissa. Kun vuosittainen säästö lasketaan 25 vuodelle, huomioiden arvioitu vuotuinen 3 % kaukolämpöenergian hinnan nousu, saadaan investoinnin tuotoksi 25 vuoden ajalle 330 266 €.

Kun investoinnin hinnan arvioidaan olevan 285 000 € ja investoinnin arvioidaan tuovan teknisen käyttöikänsä aikana lämmityskustannuksissa 330 266 € säästön, ei investointia voida pitää taloudellisesti kannattavana aiemmin esitettyihin järjestelmiin verrattuna. Lisäksi investoinnin tuomasta säästöstä tulee vielä vähentää investoinnista aiheutuneet sähköenergian kulutuksen nousut. Kuitenkin investointi tekisi kohteesta selvästi energiatehokkaamman sekä ympäristöystävällisemmän. Pitkällä aikavälillä tarkasteltuna järjestelmä saattaisi maksaa itsensä takaisin, mikäli kaukolämpöenergian hinta nousee arvioidun 3 % vuodessa.

5 KAUKOLÄMPÖMAKSUT INVESTOINNIN JÄLKEEN

Tässä opinnäytetyössä esitettyjen tutkimusten perusteella jokainen esitetty investointimuoto vähentäisi kaukolämpöenergian kulutusta merkittävästi. Esimerkiksi investointi, jossa poistoilman lämpöenergia otetaan talteen lämpöpumpun avulla ja lisäksi porattaisiin kaksi 260 m syvyistä energiakaivoa, vähenisi kaukolämmön energiantarve 68 %.

5.1 Kaukolämpömaksujen koostuminen

Asiakkaan maksama kaukolämpömaksu koostuu tavallisesti kahdesta osasta:

- Energiamaksusta
- Tehomaksusta

Energiamaksu rakentuu suureksi osin kaukolämmön tuotantoon käytetyn polttoaineen mukaan sekä lämmönhankinnan muuttuvista kustannuksista. Tehomaksu puolestaan rakentuu kohteen tehon tai vesivirran arvioinnista. Tehomaksulla katetaan pääsääntöisesti sekä lämmön hankinnan, että -siirron kiinteitä kustannuksia. Asiakkaan vuotuisesta kaukolämpölaskusta tehomaksujen osuus on yleensä n. 10-50 %. Energiamaksujen osuus kokolaskusta on tyypillisesti pienempi asiakkailta, joiden kaukolämpöenergian tarve on pienempi (Energiateollisuus 2014)

5.2 Maksuperusteiden tarkastaminen

Kaukolämpöasiakkaalla on oikeus tarkistuttaa kohteen maksuperusteena oleva tekninen arvio lämpösopimuksen ja sopimusehdon mukaisesti. Tarkistuksen perusteena voi olla esimerkiksi kohteen energiatehokkuutta parantava investointi/toimenpide. Asiakkaan tulee tilata tarkastus kirjallisesti kaukolämpölaitokselta.

Suoritetun tarkastuksen jälkeen maksuperustetta mittausten pohjalta saatujen tietojen perusteella. Mittaustulokset voidaan saada joko olemassa olevien energiamittareiden tietojen pohjalta tai kohteeseen voidaan suorittaa erillinen mittaus. Tarkistus voidaan suorittaa aikaisintaan ensimmäisen lämmityskauden jälkeen. Maksuperustetta muutettaessa asiakasta tiedotetaan muutoksesta ja sen perusteista selkeästi (Energiateollisuus 2014).

6 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää mahdollisuuksia Vaasassa sijaitsevan As Oy Antellinpuiston energiatehokkuuden parantamiseen. Kohteeseen ja sen järjestelmiin tutustuttiin paikan päällä, sekä kohteen isännöitsijältä saatiin energia- ja vedenkulutus tietoja menneiltä vuosilta. Näiden ennakkotietojen pohjalta lähdettiin tutkimaan, millaisia vaikutuksia mm. ilmanvaihtojärjestelmän muuttamisella lämmöntalteenotolliseen, poistoilman lämmöntalteenotolla lämpöpumpun avulla sekä poistoilmanlämmöntalteenotolla lämpöpumpun ja kahden maalämpökaivon kohteen energiatalouteen olisi.

Energiasäästölaskelmien osassa käytettiin useiden arvojen kohdalla oletuksia, millaisia kunkin arvon todellisuudessa tulisi olla. Lisäksi lämpöpumppujärjestelmän säästölaskelmien osalta on käytetty yhden toimittajan laskelmia. Kaukolämpö- ja sähköenergian hinnan kehitystä on myös vaikea ennustaa, ja näistä syistä johtuen laskemia voidaan pitää suuntaa antavina lukemina, jotka optimitilanteessa olisi mahdollista saavuttaa.

Tutkimusten perusteella voidaan todeta, että kannattavin investointi olisi järjestelmä, joka sisältää kaksi maalämpökaivoa ja poistoilman lämpöenergia hyödynnetään lämpöpumpun avulla rakennuksen ja käyttöveden lämmittämiseen. Maalämpökaivojen tuoma lisäkustannus on pitkällä aikavälillä sen tuomiin hyötyihin nähden pieni. Järjestelmällä olisi mahdollisuus pudottaa kohteen kaukolämmön vuosittaista tarvetta 354,6 MWh. Myös ilman maalämpökaivoja toteutettavaa investointia voidaan pitää kannattavana kohteeseen. Järjestelmällä, joka ei sisällä maalämpökaivoja, olisi niin ikään mahdollista pudottaa kohteen kaukolämpöenergian vuosittaista tarvetta 279,5 MWh.

Hankkeiden toteutusta ajatellen on kuitenkin tärkeää, että ilmanvaihtojärjestelmään lisätään korvausilmaventtiilejä riittävästi, että vaadittuihin ilmamääriin päästään ilman, että rakennus on merkittävässä alipaineessa. Myös ilmanvaihtojärjestelmän ilmamäärien mittaus- ja säätö tulee suorittaa, että kohteen ilmamäärät ovat vaatimusten mukaisia ja investoinnista saadaan aikaiseksi mahdollisimman suuri hyöty.

Lisäksi kohteeseen suositellaan tehtäväksi patteriverkoston vesivirtojen mittaus ja säätö. Mikäli vesivirtoja ei ole tasapainotettu oikeaoppisesti, voidaan kyseisellä toimenpiteellä saada aikaan huomattavia lisäsäästöjä lämmityskustannuksissa.

Lopputulena PILP + maalämpö -järjestelmän investointia kohteeseen voidaan pitää kannattavana. Toimenpiteellä kohteen energiatehokkuus paranee merkittävästi ja investoinnista saatavat ympäristöhyödyt ovat myös merkittäviä. Investoinnin takaisinmaksuaikaa ei tarkalleen muuttuvista tekijöistä johtuen voida määrittää, mutta teoriassa takaisinmaksuaika jää suhteellisen lyhyeksi ja investoinnin tuoma kokonaistuotto jää merkittävän suureksi.

LÄHTEET

Energiateollisuus. 2014. Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina. [Pdf]. Luettu 29.3.2019. https://energia.fi/files/586/Teho_ja_vesivirta_SuositusK15_2014.pdf

Harju, P. 2008. Ilmastointitekniikan oppikirja 1. Kouvola: Penan Tieto-Opus Ky.

Harju, P. 2008. Ilmastointitekniikan oppikirja 2. Kouvola: Penan Tieto-Opus Ky.

Harju, P. 2014. Talotekniikan perusteet: 2. Kouvola: Penan Tieto-Opus Ky.

Hengitysliitto. N.d. Ilmanvaihtojärjestelmät. Luettu 7.1.2019. <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmanvaihto>

HögforsGST Oy. N.d. Lämmitys- ja lämmöntalteenottojärjestelmä. Luettu. 15.1.2019. <http://www.hybridilto.fi/>

Ilmatieteenlaitos. N.d. Vuositulastot. Tarkastettu 11.7.2018. Luettu 21.3.2019. <https://ilmatieteenlaitos.fi/vuositulastot>

Motiva Oy. 2002. Lämmitysverkoston perussäätö säästää rahaa ja luo terveellisen sisäilmaston. [Pdf]. Luettu 24.3.2019. <https://www.motiva.fi/files/781/perussaato-esite.pdf>

Motiva Oy. N.d. Hallitse huonelämpötiloja. Päivitetty 13.3.2019. Luettu 22.3.2019. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/hallitse_huonelampotiloja

Motiva Oy. N.d. Kaukolämpö. Päivitetty 15.3.2019. Luettu 19.3.2019. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo

Motiva Oy. N.d. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. Päivitetty 6.2.2019. Luettu. 21.3.2019. [https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian_kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi)

Motiva Oy. N.d. Poistoilmalämpöpumppu. Päivitetty 1.9.2019. Luettu 19.3.2019. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/poistoilmalampopumppu

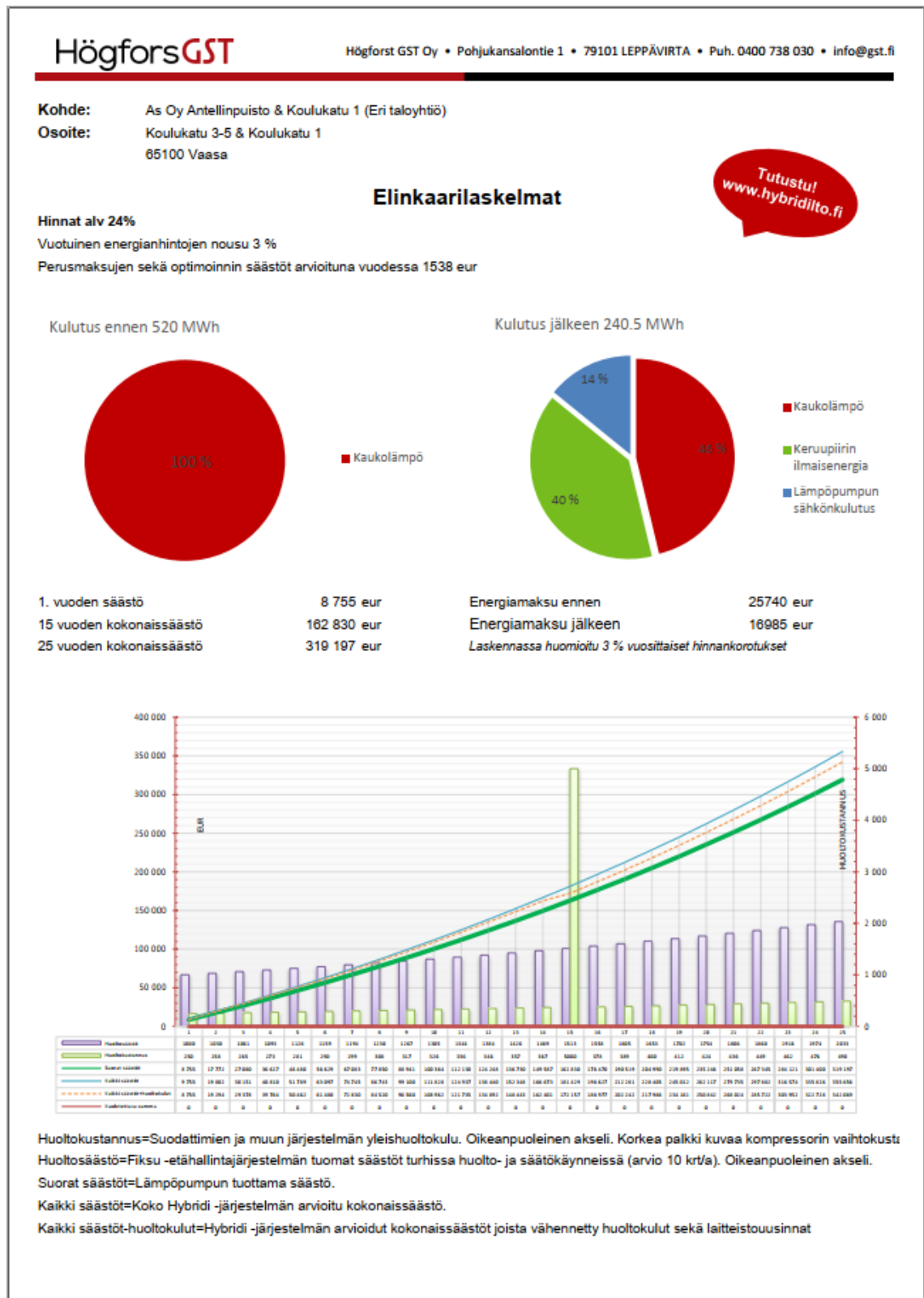
Nilan Suomi Oy. N.d. COP VS. SCOP – HYÖTYSUHTEIDEN EROT. Luettu 22.3.2019. <https://www.nilan.fi/energiansaasto/cop-vs-scop-hyotysuhteiden-erot/>

Oulun Rakennusvalvonta. 2013. Ilmanvaihdon energiakorjaus. [Pdf]. Luettu 21.3.2019. http://www.energiakorjaus.info/pages/kortit/Pientalo_10_Ilmanvaihto_2013_02_01.pdf

Pietikäinen, A. & Rekonen, I. 2007. Rakennusten lämmitysjärjestelmät. Helsinki: Rakennustieto.

- Pilto Oy. N.d. Näin pilto toimii. Luettu 20.3.2019. <http://www.pilto.fi/poistoilman-lammontalteenotto>
- Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. Päivitetty p. Helsinki: Suomen LVI-liitto SuLVI.
- Vallox Oy. N.d. Toimintaselostukset. Luettu 19.3.2019. https://www.vallox.com/ammattilaisille/toimintaselostukset_%28doc%29
- Vallox Oy. N.d. Vallox 096 MC. Luettu 19.3.2019. https://www.vallox.com/tuotteet/vallox_ilmavaihtokoneet/vallox_096_mc.html
- Virta, J. & Pylsy, P. 2011. Taloyhtiön Energiakirja. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy.

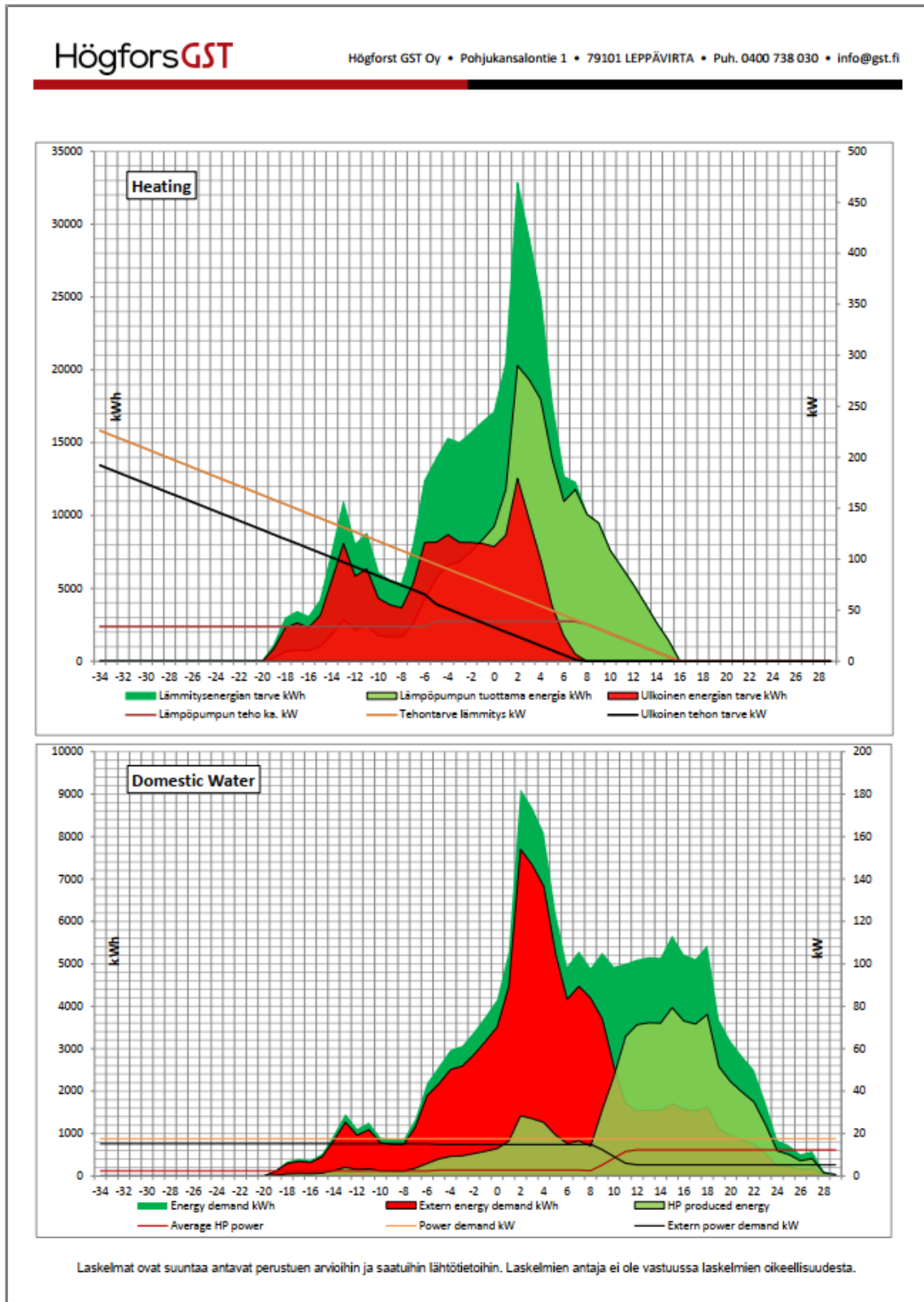
Liite 2. PILP-järjestelmän suoritusdata / säästölaskelma (HögforsGST Oy 2019)



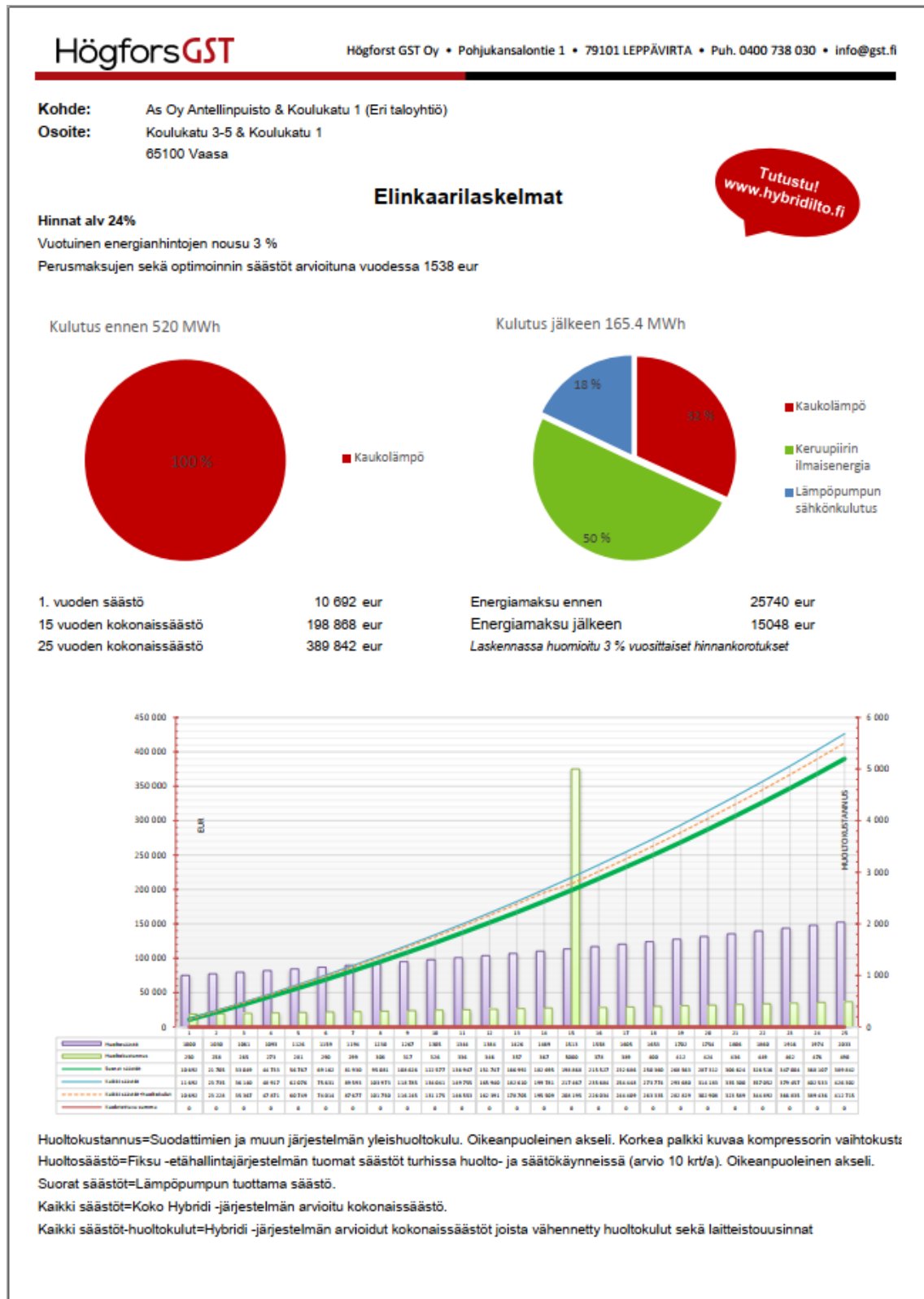
Liite 3. PILP-järjestelmän säästölaskelma (HögforsGST Oy 2019)

Högfors GST		Högfors GST Oy • Pohjukansalontie 1 • 79101 LEPPÄVIRTA • Puh. 0400 738 030 • info@gst.fi				
Arviot järjestelmän tuotoista ja kulutuksista						
Kohde	As Oy Antellinpuisto & Koulukatu 1 (Eri taloyhtiö)					
Säilytys	I					
						Tutustu! www.hybridilto.fi
		Teho l/s	Teho %	Δt	Jäähdytysteho kW	Lämmitysteho kW
IV normaali	18.0 h/vrk	1100	55 %	18	25.1	34.1
IV tehostus	6.0 h/vrk	2000	100 %	16	40.0	54.3
Tehostuksen pakkasraja	-5 °C					
Poistoilman ka lämpötila	21.0 °C					
Kerulähteestä saatava energia	206.0 MWh /a	39.6% Kokonaiskulutuksesta. CO2 alenema 46933.6 kg/a				
Sähkön kulutus	73.6 MWh /a					
Laitteiston energiantuotto	279.5 MWh /a	53.8 % Kokonaiskulutuksesta.				
Lämpökerroin (SCOP)	3.8					
Poistoilman LTO vuosihyötysuhde	98.7 %					
Puhaltimien sähkönkulutus	6784.6 kWh /a	610.6 eur				
SFP tehostus/normaali	0.65/0.55					
<i>* Puhaltimien sähkön kulutukseen vaikuttaa suuresti LTO kennoston painehäviö. Mikrokanavakennon painehäviö on hyvin pieni mikä pienentää puhaltimien sähkön kulutusta radikaalisti vuositasolla verrattuna perinteisiin kennotyyppeihin.</i>						
Laskennassa käytetyt energiahinnat vuotena 1.						
Kaukolämpö hinta ensimmäisenä vuotena.		49.5 eur/MWh				
Sähkön hinta ensimmäisenä vuotena		90.0 eur/MWh				
Lämmitysenergian hinta lämpöpumpulla (sähkön hinta/COP)		23.7 eur/MWh				
Lämmitysenergian hinta lämpöpumppu + kaukolämpö		35.6 eur/MWh				
25 vuoden suora säästö Hybridi -järjestelmällä (vain lämpöpumpun tuotto)		319 197 eur				
25 vuoden kokonaissäästö Hybridi -järjestelmällä ilman huoltokustannuksia		355 656 eur				
25 vuoden arvioidut huolto- ja laitteiston uusintakustannukset		13 337 eur				
25 vuoden kokonaissäästö Hybridi -järjestelmällä sis.huollot ja laitteistousinnat.		342 319 eur				
HögforsGST Sharing smart solutions						
Laskelmat ovat suuntaa antavat perustuen arvioihin ja saatuihin lähtötietoihin. Laskelmien antaja ei ole vastuussa laskelmien oikeellisuudesta.						

Liite 4. PILP-järjestelmän suoritusdata (HögforsGST Oy 2019)



Liite 5. PILP + maalämpö -järjestelmän suoritusdata / säästölaskelma (HögforsGST Oy 2019)



Liite 6. PILP + maalämpö -järjestelmän säästölaskelma (HögforsGST Oy 2019)

Högfors GST		Högfors GST Oy • Pohjukansalontie 1 • 79101 LEPPÄVIRTA • Puh. 0400 738 030 • info@gst.fi				
Arviot järjestelmän tuotoista ja kulutuksista						
Kohde	As Oy Antellinpuisto & Koulukatu 1 (Eri taloyhtiö)					
Säilytys	I					
						Tutustu! www.hybridilto.fi
		Teho l/s	Teho %	Δt	Jäähdytysteho kW	Lämmitysteho kW
IV normaali	18.0 h/vrk	1100	55 %	18	40.7	55.2
IV tehostus	6.0 h/vrk	2000	100 %	18	44.0	59.7
Tehostuksen pakkasraja	-5 °C					
Poistoilman ka lämpötila	21.0 °C					
Lämpökaivot	520 m					
Lämpökaivoista saatava energia	75.4 MWh /a	30 W/m	145 kWh/a/m		15.6	21.2
Kerulähteestä saatava energia	261.3 MWh /a	50.2% Kokonaiskulutuksesta. CO2 alenema 59535.3 kg/a				
Sähkön kulutus	93.3 MWh /a					
Laitteiston energiantuotto	354.6 MWh /a	68.2 % Kokonaiskulutuksesta.				
Lämpökerroin (SCOP)	3.8					
Poistoilman LTO vuosihyötysuhde	86.2 %					
Puhaltimien sähkönkulutus	6784.6 kWh /a	610.6	eur			
SFP tehostus/normaali	0.65/0.55					
<i>* Puhaltimien sähkön kulutukseen vaikuttaa suuresti LTO kennoston painehäviö. Mikrokanavakennon painehäviö on hyvin pieni mikä pienentää puhaltimien sähkön kulutusta radikaalisti vuositasolla verrattuna perinteisiin kennotyyppeihin.</i>						
Laskennassa käytetyt energiahinnat vuotena 1.						
Kaukolämpö hinta ensimmäisenä vuotena.					49.5	eur/MWh
Sähkön hinta ensimmäisenä vuotena					90.0	eur/MWh
Lämmitysenergian hinta lämpöpumpulla (sähkön hinta/COP)					23.7	eur/MWh
Lämmitysenergian hinta lämpöpumppu + kaukolämpö					31.9	eur/MWh
25 vuoden suora säästö Hybridi -järjestelmällä (vain lämpöpumpun tuotto)					389 842	eur
25 vuoden kokonaissäästö Hybridi -järjestelmällä ilman huoltokustannuksia					426 302	eur
25 vuoden arvioidut huolto- ja laitteiston uusintakustannukset					13 337	eur
25 vuoden kokonaissäästö Hybridi -järjestelmällä sis.huollot ja laitteistousinnat.					412 965	eur
HögforsGST Sharing smart solutions						
Laskelmat ovat suuntaa antavat perustuen arvioihin ja saatuihin lähtötietoihin. Laskelmien antaja ei ole vastuussa laskelmien oikeellisuudesta.						

Liite 7. PILP + maalämpö -järjestelmän suoritusdata (HögforsGST Oy 2019)

