

Joni Nuutinen

Ilmalämpöpumppu reZERO

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

2019

Tekijä Otsikko	Joni Nuutinen Ilmalämpöpumppu reZERO
Sivumäärä Aika	45 sivua + 2 liitettä 13.3.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	yliopettaja Jukka Yrjölä TJ ja järjestelmäsuunnittelija Kari Saarinen
<p>Tässä insinöörityössä syvennytään poistoilmalämpöpumppujärjestelmän (PILP) mitoitus- seen poistoilman entalpian, järjestelmän lämpötilatasojen, kaavojen, takaisinmaksuaikojen ja COP-arvojen kautta. Työn tarkoitus on näyttää, miten Scandescon energialaskuri toimii ja miten sitä käytetään PILP-mitoitukseen.</p> <p>Scandescon sekä ympäristöministeriön PILP-mitoitus ja -laskentatyökaluja vertailtiin niiden tarkkuuden, luotettavuuden, helppokäyttöisyyden sekä kannattavuuden perusteella. Vertail- taessa kahta erilaista laskuria havaittiin, että Scandescon energialaskurilla reZERO-ilma- lämpöpumpun takaisinmaksuaika oli 2,8 vuotta ja perinteisen PILP:n takaisinmaksuaika ympä- ristöministeriön PILP laskurilla oli 6,3 vuotta. Molemmissa laskureissa käytettiin Nurmijär- ven vuokra-asunnoille tehdyn energiasaneerauskohteen tietoja.</p> <p>Molemmat laskurit ovat toimivia työkaluja, joita oikein käytettynä saadaan suhteellisen tark- koja tuloksia. Ympäristöministeriön laskin on tarkoitettu lähinnä erilaisten PILP-järjestelmien laskentaan. Scandescon laskuri ottaa huomioon myös ulkoilmalämpöpumpun tuoton, laskuri onkin tarkoitettu lähinnä vain kyseisen reZERO-yksikön kannattavuuslaskentaan.</p> <p>Scandescon energialaskuri vaatii paljon tietoa rakennuksesta ja täyttäminen on hieman työ- läämpää kuin ympäristöministeriön PILP-laskurin.</p> <p>Tässä insinöörityössä ei paneuduta syvällisesti kylmäaineprosessin yksityiskohtiin eikä epäideaalisuuksiin, mitkä kuitenkin oleellisesti vaikuttavat poistoilmalämpöpumpun suoritus- kykyyn. Nämä asiat tulee ottaa huomioon suunnittelussa ja laitevalinnoissa.</p> <p>reZERO-poistoilmalämpöpumpun/ilmalämpöpumpun toiminta käydään läpi.</p>	
Avainsanat	PILP, ilmanvaihto, energiansäästö, poistoilmalämpöpumppu

Author Title	Joni Nuutinen Air heat pump reZERO
Number of Pages Date	45 pages + 2 appendices 13.3.2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Desing
Instructors	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer Kari Saarinen, CEO and System Designer
<p>This bachelor's thesis studied the design of exhaust air heat pump systems, focusing on the enthalpy of exhaust air, system temperature levels, formulas and the coefficient of performance (COP), in order to study a company's software tool for energy calculation, and its use in exhaust air heat pump design. The tool, together with an alternative one, was used to analyse the energy renovation project of an apartment building.</p> <p>The energy calculation tools were compared for their accuracy, reliability and profitability. The comparison showed that the company's energy calculation software requires a lot of information about the building. Thus, it is more time consuming than the calculation software of the Ministry of the Environment.</p> <p>The final year project established that both energy calculation tools produce relatively accurate results when used properly. The calculation software of the Ministry of the Environment is mainly intended for the calculation of various exhaust air heat pump systems. The company tool takes also the output of an outdoor heat pump into account. It is mainly intended for calculating the profitability of a reZERO unit.</p>	
Keywords	energy calculation, exhaust air heat pump, energy saving, ventilation, HVAC

Sisälllys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lämpöpumput	2
2.1	Yleistietoa	2
2.2	PILP-järjestelmät	2
2.2.1	Suora PILP LTO -järjestelmä	4
2.2.2	Epäsuora PILP LTO -järjestelmä	5
2.2.3	reZERO PILP LTO -järjestelmä	6
3	Ilman ja veden ominaisuudet	7
4	Päästöt	8
5	LTO:n laskenta ja suunnittelu	9
5.1	Lähtötiedot	9
5.2	Ilmanvaihdon lämpöhäviön laskenta	10
5.3	Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	11
5.4	Ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve ilman lämmöntalteenottoa	12
5.5	Poistoilmalämpöpumpulla (PILP) talteen saatu energia	13
6	reZERO PILP/ILP	14
7	Case: Sipinkuja	21
7.1	Perustiedot	21
7.2	Toteutus	21
7.2.1	Julkisivuremontti	22
7.2.2	Lämmitysjärjestelmän uusiminen	22
7.3	Energiasaneerauksen tuloksia	22
7.3.1	Asiakastyytyväisyys tilaajan näkökulmasta	23
7.3.2	Asumisviihtyvyys asukkaan näkökulmasta	23

8	PILP-laskentatyökalujen vertailu	23
8.1	Scandescon energia-arviolaskuri	24
8.1.1	Kuukausikohtainen laskenta	30
8.1.2	Kustannuslaskenta	32
8.2	Ympäristöministeriön PILP-laskin	34
8.2.1	Ilmanvaihdon lämmitystarve ilman poistoilmalämpöpumppua	37
8.2.2	Ilmanvaihdon lämmitystarve poistoilmalämpöpumpun kanssa	38
8.2.3	Rakennuksen lämmitystarve PILP:n kanssa	39
8.2.4	Ympäristöministeriön tasauslaskin	40
8.2.5	Kustannuslaskenta	43
9	Yhteenveto	44
	Lähteet	45
	Liitteet	
	Liite 1. Mitsubishi electric PUHZ-SHW230YKA2 -ilmalämpöpumpun tekniset tiedot	
	Liite 2. Scandesco reZERO Tosibox®, päänäyttö	

Lyhenteet

COP	Lämpöpumpun hyötysuhde eli lämpökerroin
KVR	Kokonaisvastuu-urakka. Urakkamuodosta käytetään myös nimitystä avaimet käteen -urakka, sillä tässä urakkamuodossa urakoitsija sekä suunnittelee että myös suorittaa varsinaisen rakennustyö
LTO	Lämmöntalteenotto
PILP	Poistoilmalämpöpumppu
RakMK	Rakentamismääräyskokoelma
SCOP	Lämpöpumpun kausisuorituskykykerroin. Vuotuisen tuoton suhde lämpöpumpun vuotuisen kokonaiskulutukseen

1 Johdanto

Tässä työssä perehdytään erilaisten PILP-laskentatyökalujen vertailuun. Käydään läpi PILP-järjestelmän mitoitus ja suunnitteluprosessi, sekä PILP-järjestelmän ja lämmöntalteenoton toimivuuden perusteita. Työn tavoitteina on kertoa Scandescon ilmalämpöpumppu reZEROn ja Scandescon energialaskurin toimintaperiaate. Tuloksia vertaillaan Scandescon laskentaohjelman sekä ympäristöministeriön PILP-laskentaohjelman välillä. Laskennoissa käytettiin case Sipinkujan rakennuksen tietoja.

Tämän insinööriyön case Sipinkujassa käsitellään Nurmijärven Vuokra-asunnoille tehty energiasaneeraus, joka sisältää reZEROn PILP-järjestelmän. reZERO on Scandescon suunnittelema, patentoima ja valmistama korkean hyötysuhteen lämmöntalteenottoratkaisu. Se tuottaa energiaa myös ulkoilmasta ja toimii kiertoilmatekniikalla. Järjestelmä ei aiheuta vetoa vaan vähentää sitä asumiseen sopeutuvalla ilmanvaihdolla, eli niin sanottu vakiopaineohjatulla ilmanvaihdolla. reZERO-lämmöntalteenottojärjestelmä sopii rakennuksiin, joissa on mekaaninen poistoilmanvaihto.

Termodynamiikan toisen pääsäännön, entropian lain mukaan lämpö ei milloinkaan itsestään siirry kylmästä lämpimään. Lämpöpumpun tarkoitus on ulkoisen työn avulla siirtää lämpöenergiaa kylmemmästä tilasta lämpimämpään.

Lämpöpumppujen suosio Suomessa on hieman vähentynyt vuoden 2010 jälkeen. Silti niitä myydään vuosittain 330 miljoonalla eurolla, noin 60 000 vuodessa. [1.] Energiatodistus on olennainen osa nykyaikaista uudisrakentamista. Uusien rakennusmääräysten myötä talot rakennetaan mahdollisimman tiiviiksi, jolloin ei synny hukkalämpöä ja poistoilman lämmöntalteenotosta on tullut jo normikäytäntö.

Poistoilman lämmöntalteenottolaitteisto on laitteisto, jonka avulla poistoilmasta siirretty lämpöä joko tuloilmaan taikka rakennuksen lämmitysjärjestelmään ja joka näin alentaa rakennuksen lämmitysenergiakulutusta. [2, s. 6.]

2 Lämpöpumput

2.1 Yleistietoa

Tyypillisimmät lämmöntalteenottolaitteistot perustuvat lämmönsiirtimiin, lämmöntalteenottopattereihin tai lämpöpumppuihin. Talteen otettua lämpöä voidaan käyttää tilojen lämmityksen lisäksi myös käyttöveden lämmitykseen. [2, s. 6.]

Lämpöpumppujärjestelmän toiminta perustuu kompressorilla aikaansaatuun kylmäainekiertoon ja kylmäaineen olomuodonmuutoksiin. Nämä olomuodonmuutokset sitovat ja vapauttavat paljon energiaa, joten niitä käytetään lämpöenergian siirtämisessä. Käytännössä lämpöenergia siis siirtyy kylmäainevirran mukana.

2.2 PILP-järjestelmät

Poistoilmalämpöpumpun avulla hyödynnetään poistoilman mukana poistuvaa lämpöenergiaa. Poistoilman lämpöenergia hyödynnetään uusissa rakennuksissa suurimmalta osin lämmönsiirtimillä, joiden avulla lämpö siirretään poistoilmasta tuloilmaan. Tämä ei tosin ole mahdollista rakennuksissa, joissa ei ole koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää. Poistoilman lämpöenergian voi kuitenkin hyödyntää lämmittämällä rakennuksen käyttövettä tai lämmitysjärjestelmää.

Poistoilma on hyvä energianlähde, sillä se on jatkuva virtaama aina saman lämpöistä ilmaa. PILP:n tehokkuus perustuu ilmaan sitoutuneeseen energiamäärään, joten ilma-
virran on oltava riittävä, jotta järjestelmä olisi kannattava. Niinpä järjestelmää ei voida soveltaa suoraan painovoimaiseen ilmanvaihtoon. Järjestelmä on suunniteltu rakennuksen ehdoilla, ja jos koneellista poistoilmanvaihtoa kasvatettaisiin, seuraukset voisivat olla haitallisia. Sisätilaan syntynyt voimakas alipaine vaatisi runsaasti korvausilmaa, jolloin ulkoilmaa virtaisi rakennukseen hallitsemattomasti. Ulkoilman sisältämä kosteus pääsisi absorboitumaan rakenteisiin, joita ei ole tarkoitettu sitä kestäväksi. Korvausilma myös kulkeutuisi sisätiloihin ei toivottuja reittejä tuoden mukanaan mahdollisia epäpuhtauksia rakenteista, ja voimistuneet virtaukset aiheuttaisivat vedontunnetta. [3, s. 26.]

Lämpöpumpun avulla poistoilman lämpötila voidaan jäähdyttää alle ulkoilman lämpötilan. Ulkoilman lämpötilaan verrattuna lämmön talteenoton hyötysuhde on silloin yli 100 %.

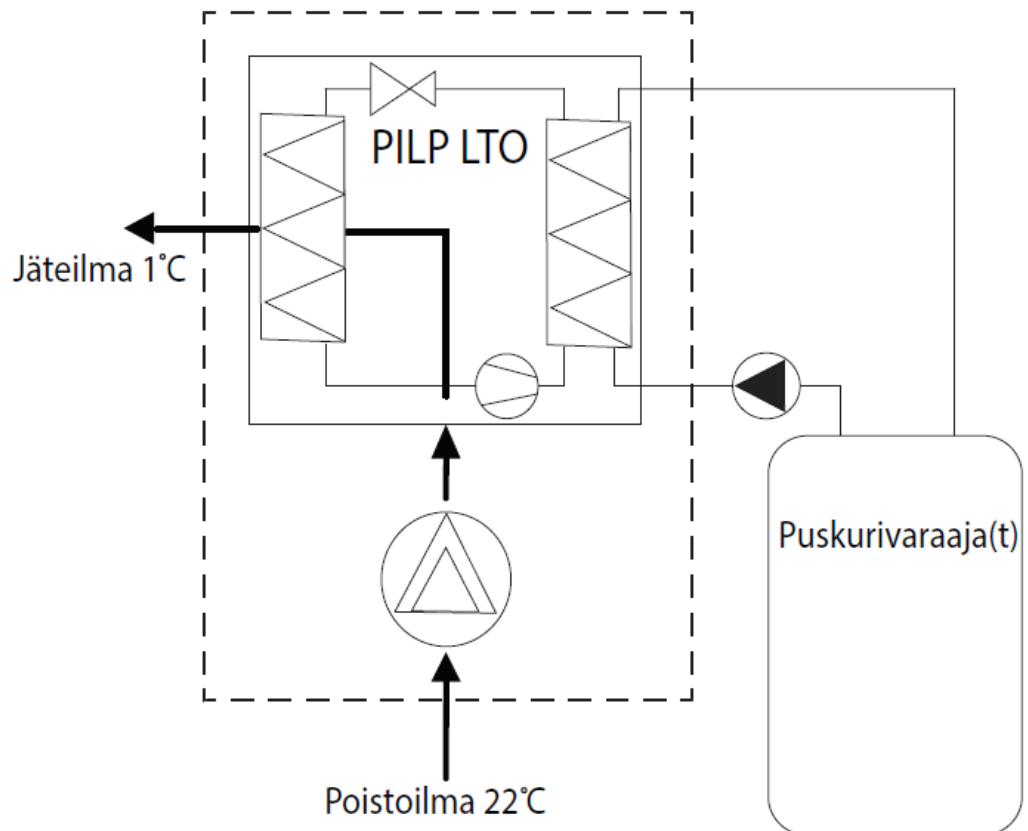
Kylmäaineella toimivaan poistoilmalämpöpumppujärjestelmään kuuluvat mm. lämmönvaihtimet eli höyrystin ja lauhdutin, kompressori ja paisuntalaite, joka lämpöpumpussa yleensä on paineenalennusventtiili. Kokonaisuun järjestelmiin kuuluu myös muita komponentteja, mm. pumppuja ja puhaltimia, lämpö- ja painemittareita.

Poistoilmalämpöpumpun kompressori käyttää sähköä teknisestä toteutuksesta riippuen tyypillisesti 25–100 % siitä, mitä lämpöpumppu pystyy poistoilmasta ottamaan lämpöä talteen. Jos kompressori kuluttaa yhden osan sähköä, höyrystin ottaa talteen poistoilmasta tyypillisesti yhdestä neljään osaa lämpöä. Poistoilmalämpöpumpun lauhduttimesta saadaan hyödynnettävää lämpöä näiden summa eli kahdesta viiteen osaa lämpöä. Kompressorin sähkönkulutuksen takia poistoilmalämpöpumppu voi tuottaa lämpöä enemmän kuin ilmanvaihdon lämmittämiseen tarvitaan, etenkin leudolla säällä. Laiteratkaisusta riippuen tuotettua lämpöä voidaan siirtää tuloilman lisäksi myös varaajaan tilojen tai käyttöveden lämmittämiseksi.

Asiakkaan ensisijaisena tavoitteena on tyypillisesti taloudellinen säästö. Tästä syystä taloyhtiöt kilpailuttavat PILP-laitteiston toteuttajia aktiivisesti. Tosin yhä useammat asiakkaan ovat alkaneet miettiä myös ympäristötekijöitä.

2.2.1 Suora PILP LTO -järjestelmä

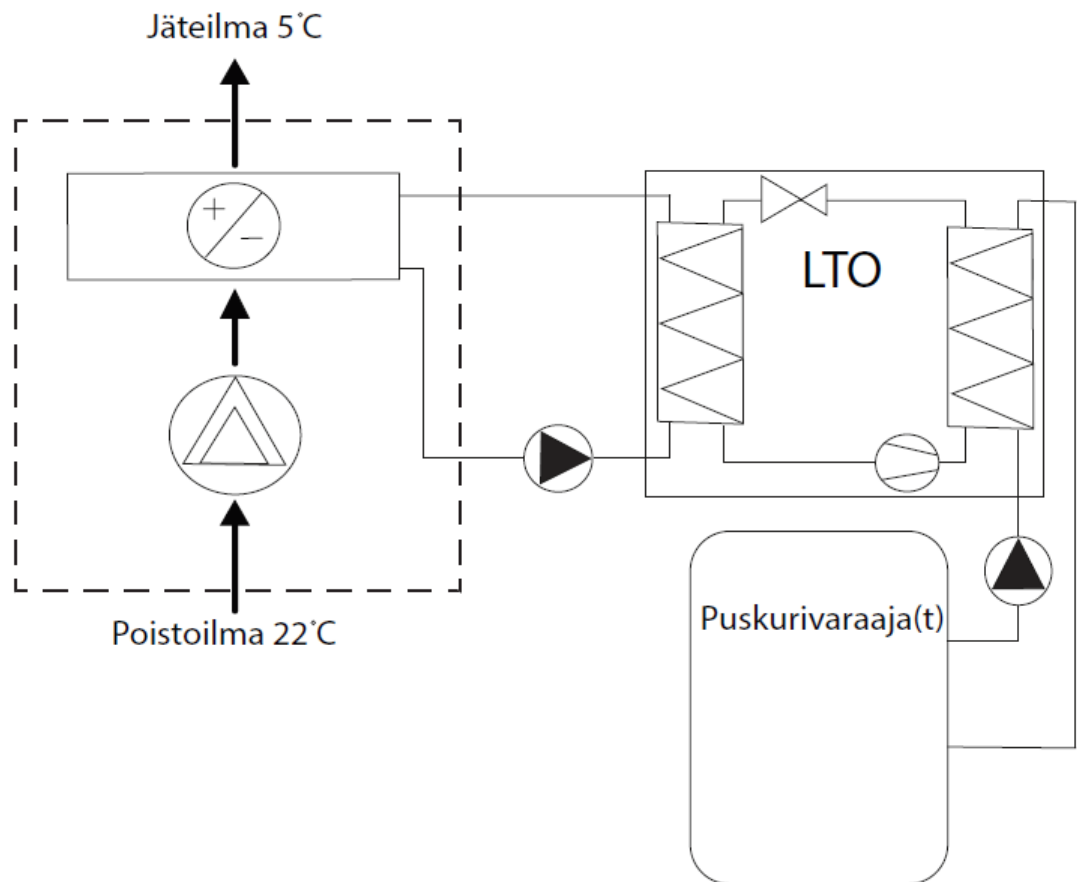
Suorassa poistoilmalämpöpumpputermostuksessa (Kuva 1) poistoilma kulkee höyrystinpatterin läpi höyrystäen kylmäaineen. Suorahöyrystyksessä kiertonesteinä on kylmäaine, jolloin lämpöpumppu voi usein olla osa ulkoyksikköä. Höyrystin- ja lauhdutinsiirtimen on syytä sijaita lähellä kylmäaineputkiston pituuden minimoimiseksi.



Kuva 1. Suora PILP LTO

2.2.2 Epäsuora PILP LTO -järjestelmä

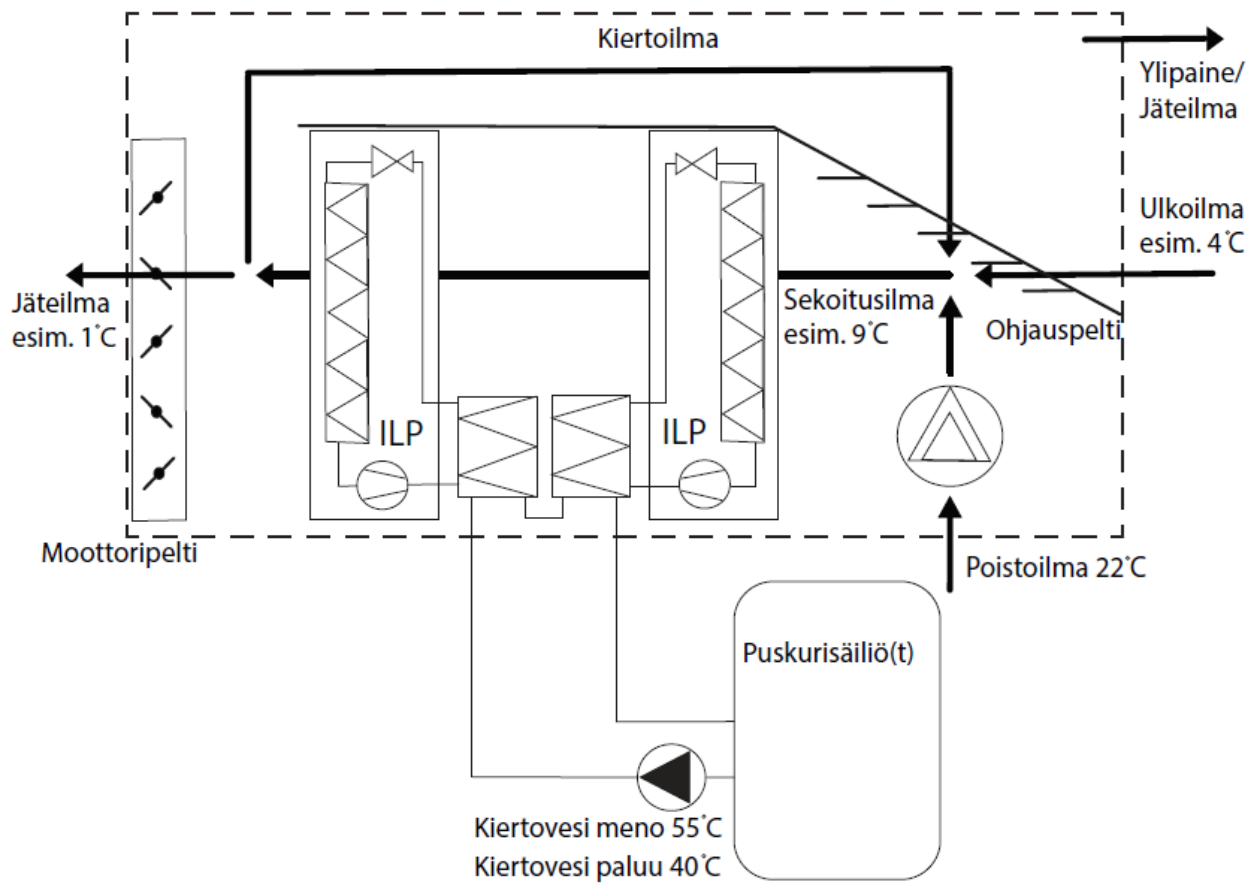
Epäsuorassa höyrystyksessä puolestaan käytetään jäätymätöntä liuosta. Tällöin höyrystimestä puhutaan poistoilmapatterina, josta liuos siirtää lämpöenergian edelleen lämpöpumpun varsinaiseen kylmäainepiiriin, joka sijaitsee tavanomaisesti sisäyksikössä. (Kuva 2.) Jäteilma pidetään yleensä yli 0 °C:n lämpötilassa liuoksen jäätyksen estämiseksi.



Kuva 2. Epäsuora PILP LTO

2.2.3 reZERO PILP LTO -järjestelmä

reZERO toimii samalla periaatteella kuin suora PILP-järjestelmä (Kuva 3). Kuitenkin kier-
rätys ja ulkoilman sekoittaminen lämpimään poistoilmaan saa aikaan tasaisen lämpövir-
ran läpi vuoden. Lisäksi kesällä ulkoilman ja talvella sisäilman vesisisältö parantaa läm-
mönjohtavuutta höyrystinpatterissa.



Kuva 3. reZERO LTO PILP

3 Ilman ja veden ominaisuudet

Poistoilmalämpöpumppu on perusteltu sovellus, sillä sisäilma on termodynaamisesti tarkasteltuna otollinen lämmönlähde. Suomen ulkoilman suhteellinen kosteus (*RH*) on korkea läpi vuoden, keskimäärin 75 %, ja sisäilma on samassa suhteessa ulkoilman kosteuden vaihteluihin. Keskimäärin sisäilman suhteellinen kosteus on 40–50 % läpi vuoden. Talvisin ilmaa lämmitetään ja sen suhteellinen kosteus pienenee, mutta sisätiloissa tuotetaan silloinkin runsaasti kosteutta ja samassa yhteydessä myös lämpöenergiaa. Poistoilmassa on lopulta ihmisten, pesuvesien ja pesulaitteiden tuottama kosteus ja lisälämpö. [4, s. 65–67.] Lämmönsiirron kannalta mitä kosteampaa ilma on, sen parempi. Kosteaa absorboi enemmän lämpöenergiaa, sillä suurempi veden osuus kasvattaa seoksen lämpösisältöä.

Laskentatyökaluissa ei vielä juurikaan käytetä hyväksi kosteuden tuomia hyötyjä, vaan lämmöntalteenottojen hyötysuhteet lasketaan kuivalla ilmalla. Kosteus nostaa lämmöntalteenoton COP-arvoa ja parantaa lämmönsiirto-ominaisuuksia.

Veden käyttö keruunesteenä tehostaa keruupiirin toimintaa paremman lämmönsiirron ja matalampien pumppauskustannusten takia. Vesi on ominaisuuksiltaan paras käytettävissä oleva lämmönsiirtoaine. Joitakin rajoituksia sen käytössä kuitenkin on, kuten jäätyminen 0 °C:ssa.

4 Päästöt

Taloudellisen hyödyn lisäksi asiakkaan arvomaailmassa voi enemmän tai vähemmän olla myös ympäristöajattelu. Omistautuneen ympäristöajattelijan maailmassa ekologisuus voikin nousta jopa taloudellista muutosta suurempaan arvoasemaan. Tälle ajattelulle PILP-järjestelmät antavatkin aihetta, sillä lämpöpumpputekniikalla saadaan rakennuksen lämmitystarpeisiin käytettyä energiaa vähennettyä merkittävästi, mikä puolestaan pienentää ympäristökuormaa ja täten edesauttaa dekarbonisaatiota. [6, s. 40.]

Energialait ja säädökset kiristyvät jatkuvasti. Tämän vuoksi rakennuksessa teetettävien isojen remonttien aikana tulee tehdä myös energiansäästöratkaisuja.

Suomessa käynnistyi 1.1.2017 neljä uutta energiatehokkuussopimusta vuosille 2017—2025. Sopimusten tavoite on tehostaa energiankäyttöä teollisuudessa, energia- ja palvelualalla, kiinteistöalalla, kunta-alalla sekä öljylämmityskiinteistöissä. Vapaaehtoisuuteen perustuvat sopimukset ovat valtion ja toimialojen yhdessä valitsema keino täyttää Suomelle asetetut kansainväliset energiatehokkuusveloitteet ilman uutta lainsäädäntöä tai muita uusia pakkokeinoja. [7]

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan siten, että energiaa ja luonnonvaroja kuluu säästeliäästi. Energiatehokkuuden vähimmäisvaatimusten täytyminen on osoitettava laskelmilla. Rakennuksessa käytettävien rakennustuotteiden ja taloteknisten järjestelmien sekä niiden säätö- ja mittausjärjestelmien on oltava sellaisia, että energiankulutus ja tehontarve rakennusta ja sen järjestelmiä käyttötarkoituksensa mukaisesti käytettäessä jää vähäiseksi ja että energiankulutusta voidaan seurata. Energiatehokkuutta on parannettava rakennuksen rakennus- tai toimenpideluvanvaraisen korjaus- ja muutostyön tai rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä, jos se on teknisesti, toiminnallisesti ja taloudellisesti toteutettavissa. [8]

5 LTO:n laskenta ja suunnittelu

5.1 Lähtötiedot

LVI-suunnittelun mahdollistamiseksi tulee suunnittelijalla olla tiedossa ainakin seuraavat lähtötiedot:

- Yleiskuvaus tehtävistä toimenpiteistä.
- LTO-piiriin liitettävien poistoilmakoneiden ilmavirtojen ajantasaiset mittauspöytäkirjat.
- Kohteen LVI-tekniinen dokumentointi.
- Kaukolämpölaitteiston kytkentäkaavio (sis. säätimien säätökäyrät) (Jos rakennuksessa on kaukolämpö).
- Tasokuvat tarvittavilta osin.
- Kohteen arkkitehtikuvat.
- Asemapiirros.
- Vesikattokuva.
- Julkisivukuvat.

Huomattavaa on, että kaikkien PILP-järjestelmien keskeisenä toimintaperiaatteena on siirtää lämpöenergiaa poistoilmasta rakennuksen lämmitykseen. Täten ennen kohteen suunnittelua tulisi aina varmistua siitä, että ilmavirtojen mittauspöytäkirjat ovat todenmukaisia ja ajan tasalla.

5.2 Ilmanvaihdon lämpöhäviön laskenta

Lämpöhäviöiden tasauslaskennassa käytettävä rakennuksen ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö lasketaan yhtälön (1) mukaan [2, s. 21].

$$H_{iv} = \rho_i c_{\rho i} q_{v,poisto} t_d t_v (1 - \eta_a) \quad (1)$$

, jossa

H_{iv} on ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K.

ρ_i ilman tiheys, 1,2 kg/m³.

$c_{\rho i}$ ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 J/kgK.

$q_{v,poisto}$ vakioidun käytön mukainen laskennallinen poistoilmavirta, m³/s.

t_d ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, $\tau_d/24$, jossa τ_d on käyntiaika tuntia vuorokaudessa.

t_v ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde, $\tau_w/7$, jossa τ_w on käyntipäivien lukumäärä viikossa.

η_a ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde, joka on lämmöntalteenottolaitteistolla vuodessa talteenotettavan ja hyödynnettävän energian suhde ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan energiaan, kun lämmöntalteenottoa ei ole.

5.3 Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

Rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on lämmöntalteenotto-laitteistolla talteenotettavan ja hyödynnettävän lämpöenergian suhde rakennuksen ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan lämpöenergiaan, kun lämmöntalteenottoa ei ole. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde η_a lasketaan yhtälön (2) mukaan ottamalla huomioon kaikki rakennuksen lämmöntalteenoton piiriin kuuluvat poistoilmavirrat. [2, s. 21.]

$$\eta_a = \frac{\sum Q_{LTO} + \sum Q_{PILP}}{\sum Q_{IV}} \quad (2)$$

, jossa

η_a on rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde.

Q_{LTO} poistoilmasta LTO-lämmönsiirtimellä (LTO) talteenotettu ja suoraan tuloilman lämmityksessä hyödynnetty lämpöenergia lämmityskaudella, kWh.

Q_{PILP} poistoilmasta poistoilmalämpöpumpulla (PILP) talteenotettu ja tuloilman tai tilojen lämmityksessä hyödynnetty lämpöenergia lämmityskaudella, kWh.

Q_{IV} ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema lämmitysenergia lämmityskaudella, jos ei ole lämmöntalteenottoa tai poistoilmalämpöpumpua, kWh.

5.4 Ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve ilman lämmöntalteenottoa

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema lämmitysenergia lämmityskaudella ilman lämmöntalteenottoa Q_{iv} lasketaan yhtälön (3) mukaan. Jos rakennuksessa on useita ilmanvaihtokoneita, niiden tarvitsema lämmitysenergia lasketaan erikseen ja yhtälössä (2) käytetään lämmitysenergioiden summaa. [2, s. 22.]

$$Q_{iv} = c_p \rho q_{v,poisto,s} t_d t_v \sum_i (T_S - T_{u,i}) \Delta\tau_i \quad (3)$$

, jossa

Q_{iv}	on ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema lämmitysenergia lämmityskaudella ilman LTO:a tai PILP:a, kWh.
c_p	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1,0 kJ/kgK.
ρ	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³ .
$q_{v,poisto,s}$	suunniteltu poistoilmavirta, m ³ /s.
t_d	ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, $\tau_d/24$, jossa τ_d on käyntiaika tuntia vuorokaudessa.
t_v	ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde, $\tau_w/7$, jossa τ_w on käyntipäivien lukumäärä viikossa.
T_S	sisäilman lämpötila (= poistoilman lämpötila), °C.
$T_{u,i}$	ulkoilman lämpötila, °C.
$\Delta\tau_i$	ajanjakson pituus, jolloin ulkoilman lämpötila $T_{u,i}$ esiintyy, h.

5.5 Poistoilmalämpöpumpulla (PILP) talteen saatu energia

Poistoilmalämpöpumpulla (PILP) talteen otettu lämpöenergia lämmityskaudella Q_{PILP} lasketaan yhtälön (4) mukaan. [2, s. 26.]

$$Q_{PILP} = c_p \rho q_{v,poisto,s} t_d t_v \sum_i (T_{p,i} - T_{j,i}) \Delta\tau_i \quad (4)$$

, jossa

Q_{PILP} on poistoilmasta lämpöpumpulla talteenotettu ja tuloilman tai tilojen lämmityksessä hyödynnetty lämpöenergia lämmityskaudella, kWh.

c_p ilman ominaislämpökapasiteetti, 1,0 kJ/kgK.

ρ ilman tiheys, 1,2 kg/m³.

$q_{v,poisto,s}$ suunniteltu poistoilmavirta, m³/s.

t_d ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, $\tau_d/24$, jossa τ_d on käyntiaika tuntia vuorokaudessa.

t_v ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde, $\tau_w/7$, jossa τ_w on käyntipäivien lukumäärä viikossa.

$T_{p,i}$ poistoilman lämpötila ennen lämmönsiirintä, °C.

$T_{j,i}$ poistoilman lämpötila lämmönsiirtimen jälkeen, °C.

$\Delta\tau_i$ ajanjakson pituus, jolloin ulkoilman lämpötila $T_{u,i}$ esiintyy, h.

6 reZERO PILP/ILP

reZERO on Scandescon suunnittelema ja valmistama korkean hyötysuhteen lämmöntalteenottoratkaisu. reZERO PILP tuottaa energiaa myös ulkoilmasta ja toimii kiertoilmatekniikalla. Järjestelmä ei aiheuta vetoa vaan vähentää sitä asumiseen sopeutuvalla, paine-eroa mittaavalla vakiopaineohjatulla ilmanvaihdolla. Ilmalämpöpumpuna toimii Mitsubishin PUHZ-SHW230YKA.

reZERO-lämmöntalteenottojärjestelmä sopii rakennuksiin, joissa on mekaaninen poistoilmanvaihto.

reZEROn toimitukseen kuuluu

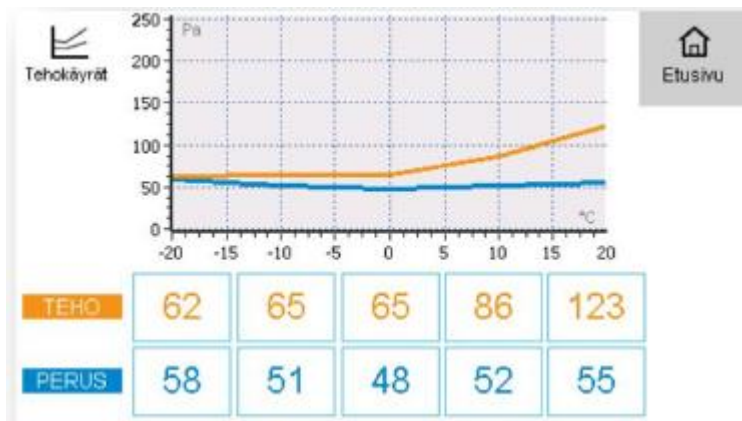
- lämmöntalteenotto, joka kerää energiaa talteen poistoilmasta ja tuottaa lisäenergiaa ulkoilmasta
- ilmanvaihto, lämmitysjärjestelmä ja lämmöntalteenotto ovat samassa automaatiojärjestelmässä
- lämmitysjärjestelmän linjasäätöventtiilien ja termostaattien uusinta tarvittaessa
- ilmanvaihdon puhdistus ja tasapainotus
- lämmitysjärjestelmän tasapainotus
- kiinteistöautomaatiikan ohjaus ja etäohjaus yhdellä järjestelmällä
- huoltosopimus, joka sisältää kaukovalvonnan ja etäkäytön
- lämmöntalteenoton edut.

Lämmöntalteenotto ei vaikuta ilmanvaihtoon. Ilmamäärää ei kasvateta asumisviihtyvyyden kustannuksella vaan tarvittava lisäenergia otetaan ulkoilmasta.

Tasainen ilmanvaihto ja lämmitys jokaisessa huoneistossa. Tämä tarkoittaa esimerkiksi 0,5:n ilmanvaihtuvuuskerrointa tunnissa (0,5 krt/h), sekä 21–22 °C:n huoneistolämpötilaa.

Mahdollistaa korvausilman säätämisen huoneistoittain. Vakiopaineohjattu ilmanvaihto mahdollistaa seinä-/ikkunaventtiilien säädön ilman negatiivista vaikutusta koko talon ilmanvaihtoon.

Vakiopaineohjattu ilmanvaihto tarkoittaa, että järjestelmän ohjausyksikkö pitää tarvittavan ilmamäärän mukaisen poistoilmakanavapaineen asetusarvossaan säätämällä puhaltimen moottorin tehoa taajuusmuuttajalla paine-eromittauksen perusteella. Kanavapaine määräytyy useimmiten siten, että pienellä poistopaineella tuottaa puhallin toleranssien puitteissa 0,5-kertaisen ilmanvaihdon asuntoihin ja suurella poistopaineella puhallin tehostaa perusilmanvaihtoa vähintään 30 %. Poistoilmapuhallin käy aikaohjelman mukaan tehostuksella ja muun ajan perusilmanvaihdolla. Kanavapaine määräytyy ulkolämpötilan mukaan huippuimurikohtaisesti asetetulla paine-lämpötilan ajokäyrällä (kuva 4).



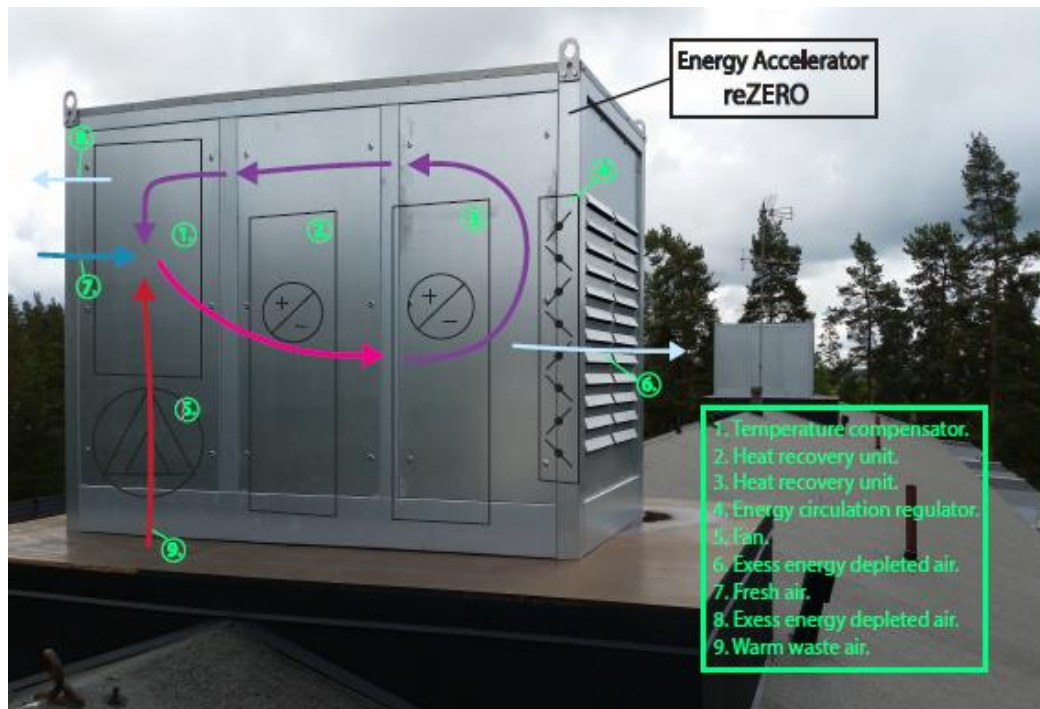
Kuva 4. Paine-lämpötila, ajokäyrä

Termisen paine-eron kompensointi, hormi-ilmiön vähentäminen takaa miellyttävän ilmanvaihdon niin ala- kuin yläkerroksissakin. Vakiopaineohjatun ilmanvaihdon sekä perusteellisen ilmanvaihdon säädön jälkeen saadaan termisen paine-ero rakennuksessa kuriin.

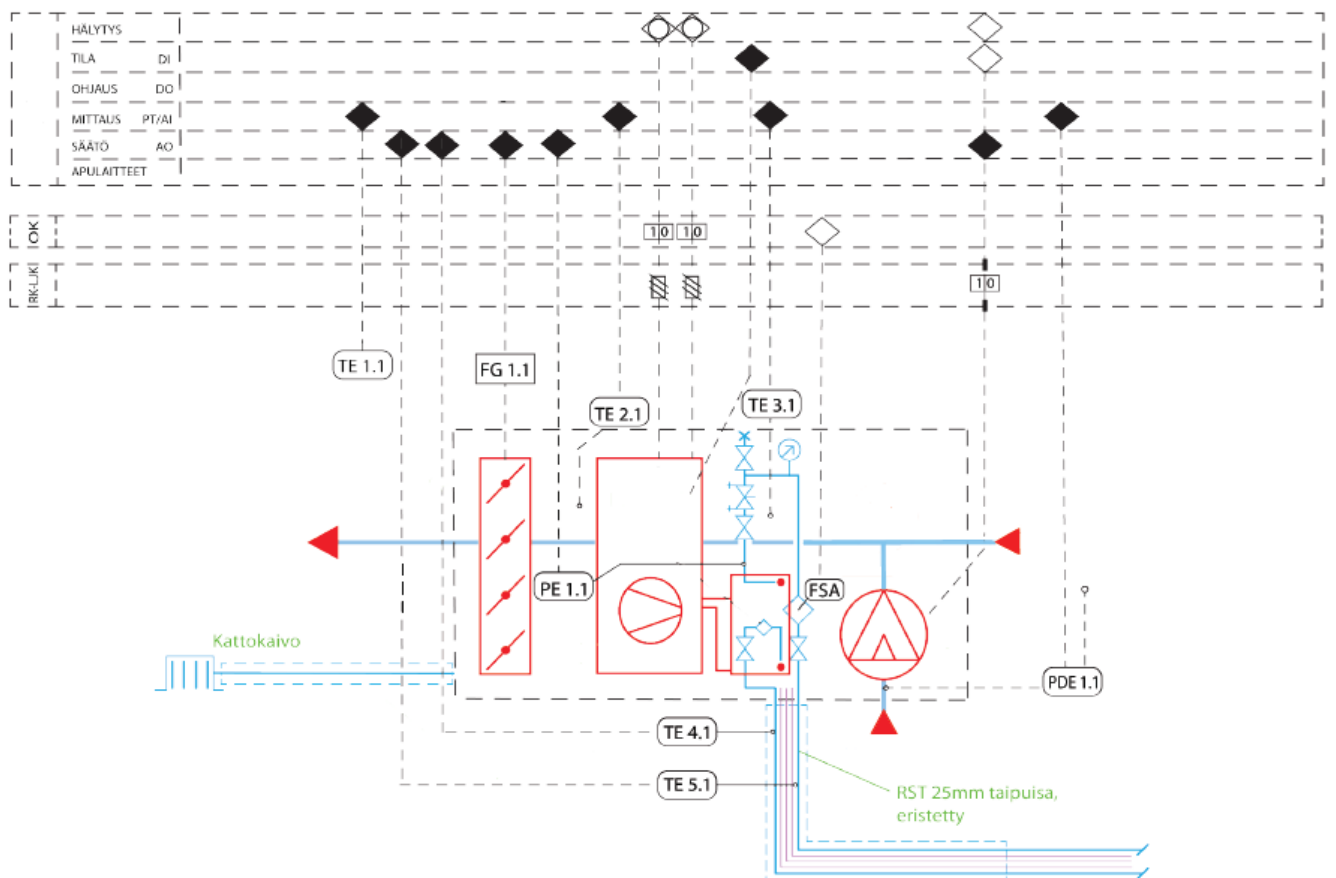
Ilmanvaihto, lämmitysjärjestelmä ja lämmöntalteenotto samassa automatiikassa huomioivat ulkolämpötilan ja ilmamäärien muutokset ja mukautuvat niiden mukaan. Automaattiset toiminnot säästävät energiaa ja lisäävät asumismukavuutta.

- Edullista ja ympäristöystävällistä energiaa poisto- ja ulkoilmasta nykyisen lämmitysjärjestelmän tueksi, poistoilman hukkaenergia talteen hyvällä hyötysuhteella.
- Tarvittaessa mahdollisuus lisätä esimerkiksi maalämpö- tai aurinkoenergiajärjestelmä.

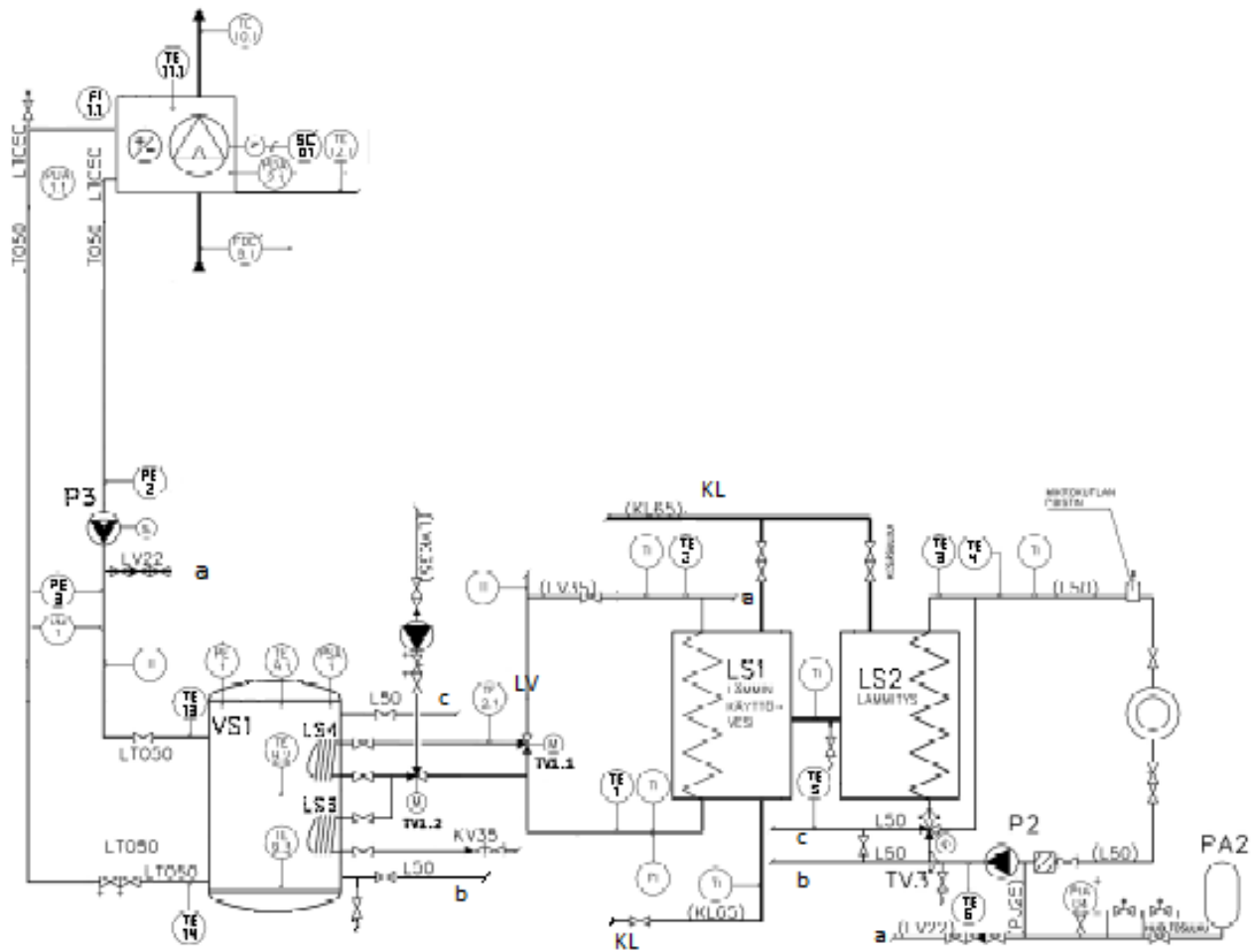
Kuvissa 5–8 on esitetty reZEROn toimintaperiaate.



Kuva 5. LTO reZEROn periaatekuva



Kuva 6. LTO reZEROn säätökaavio



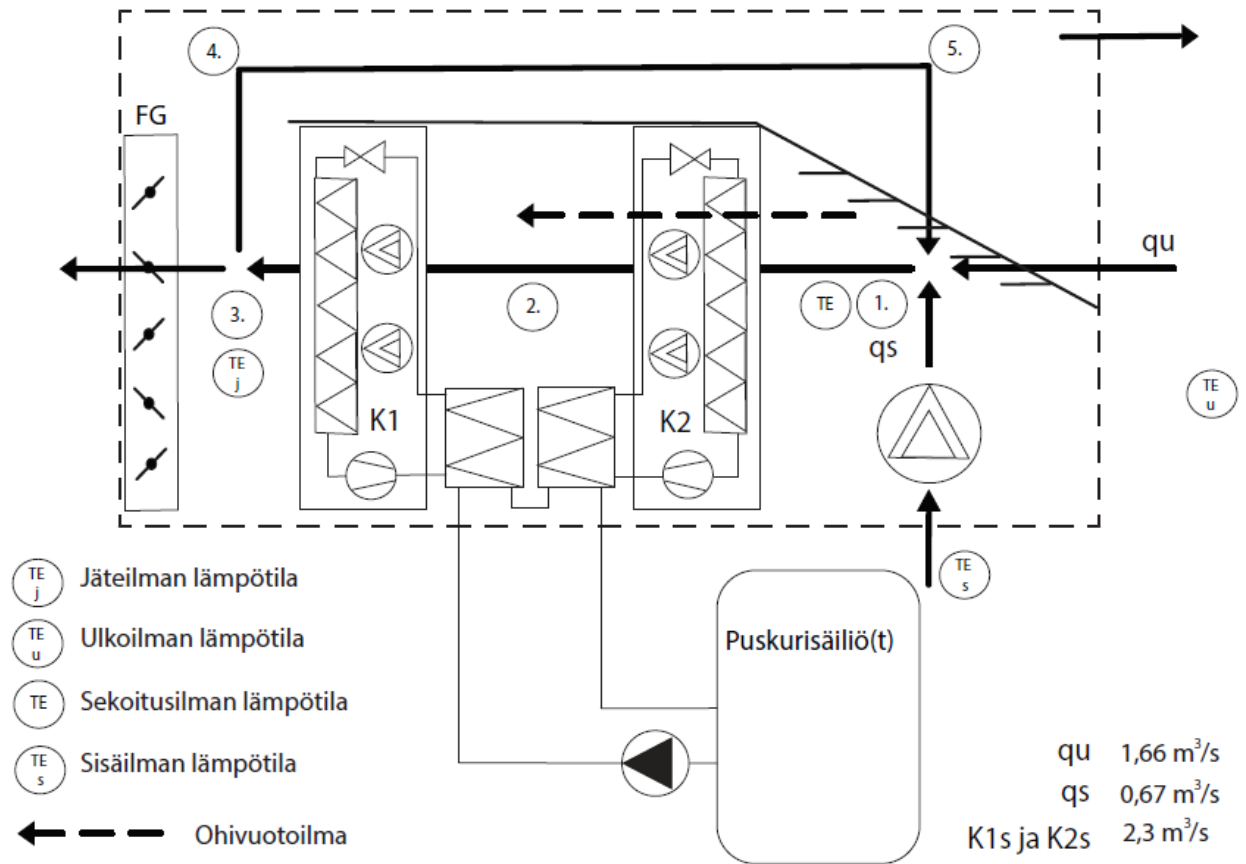
Kuva 7. Esimerkki PILP-lämmitysjärjestelmästä

reZERO toteuttaa talteenottoa mittaamalla ilmamäärää virtauslähettimellä FI1. Talteenoton kompressoritehoa ja vesivirtaa säädetään optimoimaan talteenotto. Talteeotettavan energian määrä lasketaan virtauksesta FI1 ja lämpötilasta TE11.1. Automaatiikka säätää kompressoria virtaviestillä (4–20 mA). Virtauspumpun nopeutta säätää taajuusmuuttaja SC01 ja painelähttimen PE2 avulla. Virtauksen maksimipaine PILP:lla mitataan painelähttimellä PE3, ja siihen asetettu maksimiarvo määrää pumpun P3 taajuusmuuttajaa virtaviestillä (4–20 mA).

Vesikierron lämpöenergia siirretään puskurivaraajaan VS1 lämmönsiirtimellä LS3. LS3 vesikiertoa pyörittää pumppu P2. LS3:n valvonta tapahtuu lämpötila-antureilla TE5, TE6 (vesikierto) ja TE13, TE14 (puskurivaraajakierto). Puskurivaraajaan VS1 tuotu lämpö siirretään LKV-kiertoon esilämmittämällä käyttövesi ja johtamalla se LKV-lämmönvaihtimelle LS1. LJK-ohjauskeskus hoitaa esilämmitetyn käyttöveden lämmittämisen kiinteistölle asetettuun arvoon vaihtimen LS1 avulla. Prosessia valvotaan lämpötila-antureilla

TE1, TE2 ja vesimittarilla VM1. Puskurivaraajaan VL1 tuotu lämpö siirretään LJK-lämmityskiertoon nelitieventtiilillä TV3. TV3 ohjaa automatiikka virtaviestillä (4–20 mA). Lämpötila-anturilla TE3 mitataan LJK-ohjauskeskuksen määrittelemää lämmityskäyrää ja nelitieventtiiliä TV3 säädetään niin, että TE4:n mittausarvo on 2 °C alle TE3 arvon. Lämpötilan pudotessa pisteessä TE5 samaan kuin TE6 sulkeutuu kolmitieventtiili TV3 VS1:n suuntaan ja antaa LTO-järjestelmän puskuroida lämpöä, kunnes rajalämpötilassa 45 °C automatiikka alkaa jälleen ohjata talteenotettua lämpöä lämmityskiertoon.

Kuvassa 8 on esitetty reZERO:n toimintaselostus.



Kuva 8. reZERO-järjestelmän kuvaus vaiheittain

1. Sisä- ja ulkolämpötilan sekoitus.
 - Kompressorin teho ei määrää kiinteistön poistoilman määrää.
 - Tuotto voi olla suurempi kuin sisäilman (rakennuksen poistoilman) lämpöteho (kompressori).
 - Lämmöntalteenotto sopeutuu vuodenaikojen ilmamäärän muutoksiin. Sisäilma (poistoilma) vähenee kylminä kuukausina (ilmanvaihdon tehostusten väheneminen sekä asukkaiden asumistottumukset).
2. Ilman lämpötila ensimmäisen kompressorin jälkeen (K2) on 6–8 °C matalampi kuin sekoitusilman lämpötila (TE). Ilman tilavuusvirta pienenee ilman jäähtyessä mutta seuraavan kompressorin (K1) tilavuusvirta pysyy samana. Kompressori (K1) ottaa tarvitsemansa tilavuusvirran erotuksen vaiheesta (1) ohi kompressorin K2.

3. Ilman lämpötila toisen kompressorin (K1) jälkeen on 12–16 °C matalampi kuin vaiheessa (1). Ilman tilavuus laskee ja jäteilma puhalletaan ulos lämmöntalteenotosta.
4. Kun (TE J) lämpötila ylittää ulkolämpötilan (TE U) vähintään +2 °C:lla ($TE J \geq TE U$) moottoripelti FG sulkeutuu kokonaan ja LTO aloittaa sisäkierron. Sisäkierron vakautuspiste on piste, jonka jälkeen ulkolämpötila ei vaikuta sekoitusilman lämpötilaan. ($TE(qs) = TEJ(qs) + TES(qs)$). (2 °C:n ero johtuu mahdollisen mitta-anturin kompensoimisesta).

Tavoitteena lämmöntalteenoton suunnittelussa on sekoitusilman (TE) lämpötila joka mahdollistaa LTO:n vakautuksen kylmissä ulkolämpötiloissa sekä COP toiminta-alueen välillä 2,2–2,8 tilavuusvirran ollessa max. 2,3 m³/s, joka on Mitsubishi-lämpöpumpun suurin tilavuusvirta.

Toinen kompressori (K1) siirtää lämpöä kiertoveteen ensimmäisenä ja sillä on pienempi COP kuin ensimmäisellä kompressorilla (K2), joka jälkilämmittää kiertoveden tavoitteenaan varaajaan lähtevän veden lämpötila 55–58 °C. Ensimmäinen kompressori (K2) ottaa suoraan sekoitusilmaa (TE) jonka COP on korkeampi kuin seuraavan kompressorin (K1).

5. Takaisin käännetty jäteilma virtaa vaiheeseen (1) ja vakauttaa prosessin. Ylipaine poistuu koneen takaosasta omalla liikevoimallaan. Kompressorit (K1) ja (K2) määräävät poistoilman määrän omalla tilavuusvirrallaan (max. 2,3 m³/s).

7 Case: Sipinkuja

Tässä esitellään Nurmijärven Vuokra-asunnoille tehty energiasaneeraus. Rakennuksen tietoja käytettiin PILP-laskentatyökalujen vertailussa.

7.1 Perustiedot

Energiasaneeraus. Nurmijärven Vuokra-asunnot Oy, Sipinkuja 29. Nurmijärven kaupunki.

- 30 asuntoa, 1 650 asm².
- Öljynkulutus noin 45 000–56 000 litraa/vuosi.
- Vanha öljykattila.
- Julkisivussa, ikkunoissa ja parvekkeissa välitön korjaustarve.
- Talotyyppi: Kerrostalo.
- Kerroksia: 3 + 1 kerrosta.
- Rakennusvuosi: 1976.
- Asuntojen lukumäärä: 30. Asukkaita: 42.
- Ilmanvaihto: Koneellinen poisto, 2 x 3200/1600 m³/h.
- Lämmitys: Öljy. Öljyn kulutus: 49 943 litraa/vuosi (keskiarvo 2008–2012).
- Vedenkulutus: 2 268 m³/vuosi (keskiarvo 2011–2014).

7.2 Toteutus

KVR-urakkana (avaimet käteen) toteutettu kiinteistön energiasaneeraus sisälsi seuraavat osat:

- Lämmitysjärjestelmän laskenta ja suunnittelu, jossa öljylämmitys korvataan lämmöntalteenottojärjestelmällä kuitenkin niin, että öljylämmitys jää varajärjestelmäksi.
- Ilmanvaihdon uusiminen, säätö.
- Lämmöntalteenottoratkaisu reZERO-järjestelmällä.

7.2.1 Julkisivuremontti

Energiasaneerauksen yhteydessä Nurmijärven vuokra-asunnot korjasi rakennuksen tiiviyyteen liittyvät ongelmat kuten

- parvekkeiden uusiminen
- parvekelasit
- julkisivun maalaus
- elastisten saumojen uusiminen
- ikkunoiden uusiminen
- raitisilmaventtiilien lisääminen/uusiminen.

7.2.2 Lämmitysjärjestelmän uusiminen

Energiasaneeraukseen kuului muun muassa seuraavat toimenpiteet

- PILP-ILP järjestelmästä pääasiallinen lämmönlähde.
- öljy ja sähkö jää huipputehoille.
- huoneistokohtainen lämpötilanmittaus.
- patteritermostaattien vaihto ja lämmitysjärjestelmän säätö.
- ilmanvaihdon säätö.
- vakioaineohjattu ilmanvaihto.

7.3 Energiasaneerauksen tuloksia

Energiaremonttia suunnitellessa sen tuotoksi laskettiin 15,8 % ja takaisinmaksuajaksi 6,3 vuotta. Viime lämmityskaudella lokakuusta maaliskuuhun euromääräinen säästö oli lähes 70 % alle keskimääräisten lämmityskustannusten. Näin ollen säästöä syntyi noin 23 000 euroa. Tuotto nousee siten 16 prosenttiin ja takaisinmaksuaika painuu alas 6 vuoteen. [9, s. 27–28.]

7.3.1 Asiakastyytyväisyys tilaajan näkökulmasta

Nurmijärven vuokra-asuntojen toimitusjohtaja Pertti Selkälä on saanut asiakkailta hyvää palautetta energiaremontista.

Asunnoissa on nyt raikas, vedoton ja määräysten mukainen ilmanvaihto. Asumisviihtyvyys ja mukavuus ovat kohentuneet merkittävästi. Asukkaat ovatkin olleet remonttiin todella tyytyväisiä, Selkälä toteaa. [9, s. 29.]

- KVR-urakka oli kustannustehokas. Lisätyöt jäivät vähäisiksi.
- Asumismukavuus kasvanut.
- Energiansäästö tavoite saavutettiin.
- Asukastyytyväisyys parani, joten huoneistojen vuokrattavuus parani.

7.3.2 Asumisviihtyvyys asukkaan näkökulmasta

- asukailta tuli hyvää palautetta [9, s. 29]
- ikkunoiden uusi U-arvo oli 0,8. Ikkunoiden uusiminen, raitisilmaventtiilit, parvekelasit ja suurempi parveke lisäsivät asuinviihtyvyyttä.
- huoneistoissa tasaiset lämpötilat.

8 PILP-laskentatyökalujen vertailu

Vertailtavia PILP/ILP-laskentatyökaluja ovat Scandescon energialaskuri sekä ympäristöministeriön PILP-laskuri. Laskentatyökaluja vertailtiin niiden tarkkuuden, helppokäyttöisyyden sekä takaisinmaksuaikojen perusteella.

Laskentatyökalujen lähtöarvoina käytettiin case Sipinkujaa. Sipinkujaan on yli vuosi sitten asennettu poistoilmalämpöpumppu reZERO, joten energialaskentatyökalujen tarkkuutta voidaan verrata rakennuksen vuoden aikaiseen energiankulutukseen ja säästöön.

Vertailtaessa laskureita käytettiin kuvankaappauksia havainnollistamaan ja helpottamaan tulosten huomioimista.

8.1 Scandescon energia-arviolaskuri

Aloitetaan täyttämällä perustiedot. Perustietojen täytössä tulee tietää rakenteiden pinta-alat sekä sähkön, öljyn tai kaukolämmön hinnat. (Taulukko 1.)

Taulukko 1. Rakennuksen perustietojen käyttö.

Perustiedot			
nimi		As Oy Sipinkuja	
osoite		Sipinkuja, Röykkä, Nurmijärvi	
kerroksia		4	
rakennusvuosi		1976	
asuinpinta-ala		1650	m ²
asuntoja		30	kpl
asukkaita		42	kpl
rakennuksen pituus		30	m
rakennuksen leveys		20	m
rakennuksen korkeus		12	m
rakennuksen ilmatilavuus		6400	m ³
lämmitysenergian kulutus		429	MWh/vuosi
veden kokonaiskulutus		2268	m ³ /vuosi
lämmin vesi		756	m ³ /vuosi
sähkön hinta		81,5	€/MWh
Öljyn hinta		85	€/MWh
Kaukolämmön perusmaksu		0	€/vuosi
Alapohjan pinta-ala	Aa	678	m ²
Yläpohjan pinta-ala	Ay	678	m ²
Ikkunoiden pinta-ala	Ai	271	m ²
Ulko-ovien pinta-ala	Ao	65	m ²
Ulkoseinien pinta-ala	As	1242	m ²
veden ominaislämpökapasiteetti	cv	4186,8	J/kgK
veden tiheys	roov	1000	kg/m ³
Lämpimän käyttöveden lämpötilan nosto	ΔT _{ikv}	50	°C
Lämpimän käyttöveden lämmitysenergia		44,0	MWh/vuosi
henkilöiden lämpökuorma		15,5	MWh
valaistuksen ja laitteiden lämpökuorma		58,95	MWh
auringon lämpökuorma		11,9	MWh
lämpökuormat yht.		86,3	MWh
laskettu/mitattu kulutus (tämä lähelle 1,0)		1,000587	

Laskettu/mitattu kulutus jakaa rakennuksen lämpötuoton rakennuksen lämmitysenergian kulutuksella. Tämän tulee olla sama luku. Siniset kohdat laskurissa ovat tietojen täyttöä varten. Sähkön hinta oli Nurmijärven vuokra-asunnoille edullinen

Laskurissa henkilöiden lämpökuormat on laskettu yhtälöllä $\frac{70 \cdot 0,6 \cdot \text{henkilömäärä}}{1000000}$. Valaistuksen ja laitteiden lämpökuormat kaavalla $1,965 \cdot \text{huoneistojen määrä}$ tai pinta-alan mukaan yhtälöllä $\frac{32 \cdot m^2}{1000}$. Auringon lämpökuormat on laskettu yhtälöllä $\frac{175}{4} \cdot \frac{\text{Ikkunoiden pinta-ala}}{1000}$.

Käyttöveden lämpötilan nostossa ei ole otettu huomioon mahdollisia kiertovesipattereita eikä kiertovesiputkiston lämpöhäviöitä. Nämä on huomioitava rakennuskohtaisesti.

Jatketaan laskemalla ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema lämmitysteho vuosikeskiarvon perusteella. (Taulukko 2.)

Taulukko 2. Ilmanvaihdon tarvitseman lämmitystehon laskenta.

ilman tiheys	ρ	1,2 kg/m ³
ilman ominaislämpökapasiteetti	c	1000 Ws/(kgK)
sisäilman lämpötila	Ts	22 °C
ajanjakson pituus	Δt	8760 h
koko ilmatilavuuden vaihtuvuus	iv	0,75 krt/h
keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde	td	1
muuntokerroin, joka huomioi vuorokautisen käyntiajan (0,93 päivä...1,07 yö)	r	1
keskimääräinen viikottainen käyntiaikasuhde	tv	1
poistoilmavirta	q	1,333 m ³ /s
	Qiv	35,20 kWh
	QPILP	30,84 kWh
	Hiv Ei LTO	1600,0 W/K
	Qiv Ei LTO	228407,0 kWh
tarvittava lämmitysteho		26,1 kW
LTO vuosihyötysuhde	$\eta_a =$	87,6 %

Ohjelma laskee tarvittavan lämmitystehon kaavalla $\frac{Q_{iv}(\text{ilman LTO:a})}{\Delta t} = kW$ ja ilmanvaihdon ominaislämpöhäviön kaavalla $q * tv * r * td * c * \rho = W/K$.

Ulkolämpötilat syötetään ohjelmaan kuukausikohtaisesti. (Taulukko 3.)

Taulukko 3. Koko vuoden ulkolämpötilojen keskiarvot.

Ulkolämpötila		
	Tammi	-1 °C
	Helmi	-0,3 °C
	Maalis	0,9 °C
	Huhti	3 °C
	Touko	7 °C
	Kesä	12 °C
	Heinä	14 °C
	Elo	15 °C
	Syys	12 °C
	Loka	2,3 °C
	Marras	3,1 °C
	Joulu	0,1 °C
Vuosikeskiarvo	Tu	5,70 °C
Lämmityskauden keskiarvo	Tu	2,35 °C

Paikkakunnan ulkolämpötilat saadaan esimerkiksi Ilmatieteen laitokselta.

Seuraavaksi laskurissa lasketaan rakennuksen lämpöjohtumisista koituvat häviöt ja tarvittava lämmitysteho. U-arvot tulee tietää tai arvioida rakennuksen rakentamisvuoden perusteella. (Taulukko 4.)

Taulukko 4. Rakennuksen lämmönjohtumisista koituvat lämpöhäviöt

Alapohjan pinta-ala	Aa	678 m ²
Yläpohjan pinta-ala	Ay	678 m ²
Ikkunoiden pinta-ala	Ai	271 m ²
Uiko-ovien pinta-ala	Ao	65 m ²
Ulkoseinien pinta-ala	As	1242 m ²
Alapohjan U-kerroin	Ua	0,4 W/(m ² K)
Yläpohjan U-kerroin	Uy	0,19 W/(m ² K)
Ikkunoiden U-kerroin	Ui	2,4 W/(m ² K)
Uiko-ovien U-kerroin	Uo	2,4 W/(m ² K)
Ulkoseinien U-kerroin	Us	0,4 W/(m ² K)
Johtumisen ominaishäviöteho	Hjoht	1703,22 W/K
Johtumishäviöteho	Qjoht	243142,1 kWh
Tarvittava lämmitysteho		28 kW

Ohjelma laskee tarvittavan lämmitystehon kaavalla $Q_{\frac{Joht}{\Delta t}}$, Johtumishäviötehon vuoden

keskilämpötilan mukaan kaavalla $\frac{H_{joht} * (T_s - T_u) * \Delta t}{1000}$ ja johtumisen ominaislämpöteho kaavalla $U_A * A_a * A_y * U_y * A_i * U_i * A_o * U_o * A_s * U_s$.

Taulukossa 5 lasketaan 7-portaisen Mitsubishi ilmalämpöpumpun toimintaa eri lämpötiloissa. Ohjelma iteroi sekoituslämpötilan ja näyttää, missä lämpötilassa reZEROon moottoripelti sulkeutuu. Lauhduttimesta lähtevä vesi on aina noin 55 °C:n lämpötilassa.

Taulukko 5. Ilmalämpöpumpun teho, COP, ilman sekoitus- ja rajalämpötila ulkoilman sisään otolle reZERO-yksikköön.

Ilmalämpöpumpun teho ja COP eri lämpötiloissa				
Mitsubishi PUHZ-SHW230YKA, nominal, T _{water} =55°C				
	T (C°)	P _{out}	COP	P _{in}
	-15	20,79	1,36	15,29
	-10	23	1,78	12,92
	-7	23	2,04	11,27
	2	22,78	1,95	11,68
	7	23	2,39	9,62
	12	24,28	2,58	9,41
	15	25,71	2,7	9,52
	20	28,1	2,89	9,72
Kokonaisilmavirta pumpun läpi (ilmalämpöpumpun vakio)		q	2,33	m ³ /s
Pumppujen lukumäärä			2	kpl
Rajalämpötila ulkoilmalle (kokeilemalla)		Tu(raja)	4,40	°C
Sisäilman tilavuusvirta		q _s	0,67	m ³ /s
Ulkoilman tilavuusvirta		q _u	1,66	m ³ /s
Sekoitusilman lämpötila		T	9,218	°C
Antoteho		P _{out}	46,79	kW
Ottoteho		P _{in}	18,71	kW
		COP	2,50	
Sekoitusilman tiheys			1,25	kg/m ³
Jäteilman lämpötila		T _j	4,40	°C
		T _u -T _j	0,00	°C
			ulkoilmasekoitus ok	

reZERO:n toimitukseen kuuluu aina kaksi yksikköä (23 kW), joten laskuriin syötetään kaksi lämpöpumppua. COP lasketaan koko vuodelta. Sekoitusilman ja ulkoilman erotus riippuu lämpöpumpun tehoportaasta. Laskuriin voi myös syöttää jonkin muun lämpöpumpun tiedot, tällöin tulee tietää höyrystimeen tulevan ilman lämpötila T, P_{out} , sekä COP.

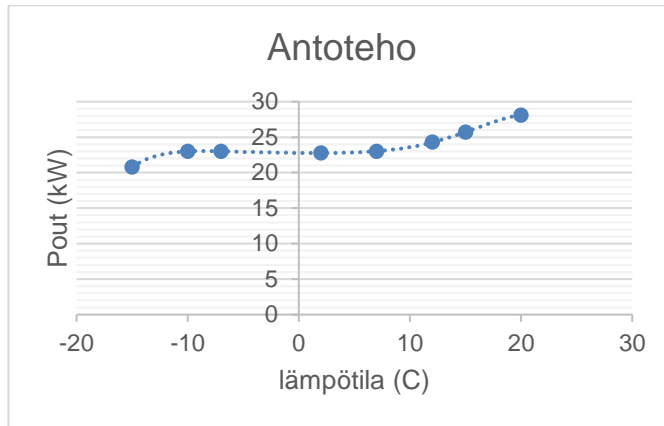
Ohjelma laskee myös ilmalämpöpumpun kompressorin kuluttaman sähkötehon ja kausihyötökertoimen, SCOPin. (Taulukko 6.)

Taulukko 6. PILP:n kuluttama sähköenergia sekä lämpöpumpun kausisuorituskykykerroin.

LTO sähkö	134,6	MWh
LTO:n SCOP	2,54	

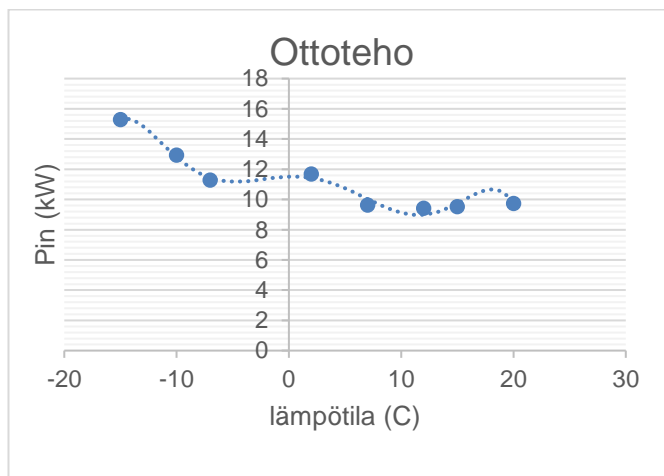
Kuvissa 9–11 on esitetty lämpöpumpun anto- ja ottoteho sekä COP eri lämpötiloissa.

Kuvassa 9 on esitetty yhden lämpöpumpukoneikon tuottama lämpöteho höyrystimeen tulevan ilman lämpötiloilla.



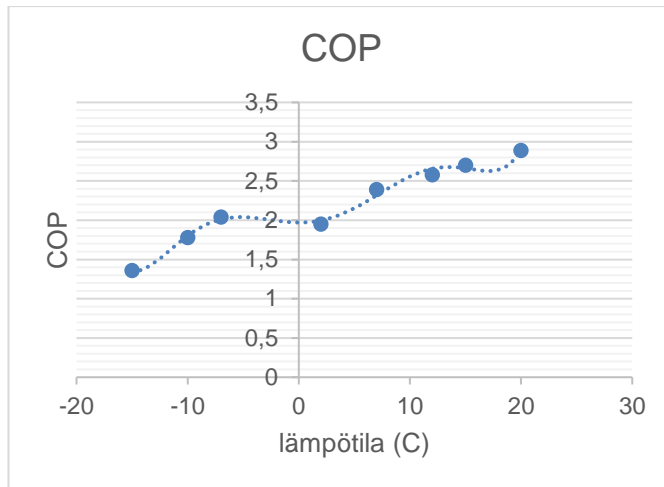
Kuva 9. Kompressorin antoteho P_{out}

Kuvassa 10 on esitetty yhden kompressorin ottama sähköteho.



Kuva 10. Kompressorin ottoteho P_{in}

Kuvassa 11 esitetään yhden lämpöpumpun hyötysuhde eli lämpökerroin.



Kuva 11. Kompressorin COP.

Tavoitteena reZEROssa on pitää COP-arvo jatkuvasti välillä 2,2–2,8. Toinen kompressor siirtää lämpöä kiertoveteen ensimmäisenä, ja sillä on pienempi COP kuin ensimmäisellä kompressorilla.

Laskuri laskee myös rakennuksen lämmitystehontarpeen ulkolämpötilan suhteen (ilmanvaihto + johtuminen + lämmin käyttövesi – muut lämpötuotot). Tehontarve lasketaan tau-

lukossa 7 yhtälöiden $\frac{(H_{iv}+H_{joht}) \cdot (\Delta T - T_u)}{1000} - \frac{\text{Rak. lämpökuormat}}{24} * 1000$ ja $\frac{(H_{iv}+H_{joht}) \cdot (\Delta T - T_u)}{1000} - \frac{\text{Käyttöveden lämmitysenergia}}{24} * 1000$ keskiarvolla.

Taulukko 7. Lämmitystehontarve mitoituslämpötilassa.

Ulkolämpötila T_u	-26 °C
Tehontarve	153,7 kW

Lämmitystehontarvetta tarvitaan esimerkiksi suunniteltaessa uuden lämmitysjärjestelmän tehoa sekä kokoa.

8.1.1 Kuukausikohtainen laskenta

Laskuri erottelee edellä mainitut laskut myös kuukausikohtaisesti. Taulukossa 8 on esitetty tammikuun laskelmat.

Taulukko 8. Tammikuun kulutukset sekä lämpökuormat.

Tammikuu			
vuorokausia		31	
veden kokonaiskulutus		192,6 m ³ /kk	
lämmin vesi		64,2 m ³ /kk	
lämpimän veden lämmitysenergia		3,7 MWh/kk	
henkilöiden lämpökuorma		1,3 MWh/kk	
valaistuksen ja laitteiden lämpökuorma		5,0 MWh/kk	
auringon lämpökuorma		1,0 MWh/kk	
lämpökuormat yht.		7,3 MWh/kk	

Taulukossa 9 on esitetty ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia ja teho tammikuussa.

Taulukko 9. Tammikuun ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia ja teho.

Ilmanvaihto ja LTO			
ulkoilman lämpötila	Tu	-1 °C	
ajanjakson pituus	Δt	744 h	
koko ilmatilavuuden vaihtuvuus	iv	0,75 krt/h	
keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhte	td	1	
muuntokerroin, joka huomioi vuorokautisen käyntiajan (0,93 päivä...1,07 yö)	r	1	
keskimääräinen viikottainen käyntiaikasuhte	tv	1	
poistoilmavirta	q	1,333 m ³ /s	
	QivEil	27379,2 kWh	
tarvittava lämmitysteho		36,8 kW	

Ohjelma laskee tarvittavan lämmitystehon kaavalla $\frac{Q_{iv}(ilman\ LTO:a)}{\Delta t}$

Taulukko 10 kuvaa Mitsubishi-ilmalämpöpumpun toimintaa tammikuun lämpötiloissa.

Taulukko 10. Sekoitusilman lämpötila, lämpöpumpun anto-, ottoteho ja COP.

Poistoilman LTO ilmalämpöpumpulla vesivaraajaan (ei lämpöhäviöitä siirtoputkissa)			
Sekoitusilman lämpötila	T	5,206 °C	
Antoteho	Pout	45,72 kW	
Ottoteho	Pin	21,08 kW	
	COP	2,17	
Sekoitusilman tiheys		1,27 kg/m ³	
Jäteilman lämpötila	Tj	1,04 °C	
	Tu-Tj	-2,04 °C	
		vakioinen maksimi-jäteilmakierto päälle!	

Kun jäteilman lämpötila ylittää ulkolämpötilan +2 °C:lla, moottoripelti FG sulkeutuu ja LTO aloittaa sisäkierron. Tammikuun lämpötiloissa moottoripelti yleensä sulkeutuu.

Laskentaohjelma laskee vuoden jokaisen kuukauden lämpöhäviöt, -tuotot ja COPin. (Taulukko 11.)

Taulukko 11. Taulukko kuukausikohtaisista lämpöhäviöistä ja -tuotoista.

Taulukko lämpöhäviöistä ja -tuotoista kuukausittain									
	lämpötila	IV (MWh)	Joht (MWh)	Vesi (MWh)	LTO (MWh)	Öljy (MWh)	Muut(MWh)		LTO:n COP
Tammik.	-1,0	27	29	4	35	18	7		2,501
Helmi	-0,3	24	26	3	31	15	7		2,501
Maalis	0,9	25	27	4	35	13	7		2,501
Huhti	3,0	22	23	4	34	8	7		2,501
Touko	7,0	18	19	4	33	0	7		2,621
Kesä	12,0	12	12	4	20	0	7		2,665
Heinä	14,0	10	10	4	16	0	7		2,635
Elo	15,0	8	9	4	14	0	7		2,627
Syys	12,0	12	12	4	20	0	7		2,665
Loka	2,3	23	25	4	35	10	7		2,501
Marras	3,1	22	23	4	34	8	7		2,501
Joulu	0,1	26	28	4	35	15	7		2,501
Yht.		228	243	44	342	88	86		2,542 (SCOP)

Jokaisesta kuukaudesta on oma yhteenvetotaulukko, josta näkee sähkön, öljyn ja/tai kaukolämmön lämpöhäviöt, -tuotot sekä kustannukset (Taulukko 12).

Taulukko 12. Yhteenvetotaulukko, tammikuu.

Johtuminen					
Johtumishäviöteho	Qjoht	29145,5	kWh		
Yhteenveto Tammikuu					
		Lämpöhäviöt (MWh)	Lämpötuotot (MWh)	Kustannukset (€)	
%					
45	Ilmanvaihdon lämpöhäviö	27	LTO	35	1135
48	Johtuminen	29	Öljy	18	1359
6	Lämmin käyttövesi	4	Kaukol. perusmaksu	0	
			Muut lämpötuotot	7	
	Lämmitystarve	60	Lämmitys yht.	60	Yht. 2494

8.1.2 Kustannuslaskenta

Asiakasta kaikkein eniten kiinnostava asia on tietenkin kustannukset sekä takaisinmaksuaika. Taulukossa 13 on esitetty koko vuoden kustannukset ja tuotot ilman lämmöntalteenottoa sekä lämmöntalteenoton kanssa. Näillä tiedoilla saadaan takaisinmaksuaika laskettua.

Taulukko 13. Vuosittaiset lämpötuotot ja -häviöt kustannuksineen.

Re Zero LTO:lla:		Lämpöhäviöt (MWh)	Lämpötuotot (MWh)	Kustannukset (€)	
	%				
	44	Ilmanvaihdon lämpöhäviö	LTO	342	10955
	47	Johtuminen	Öljy	88	7447
	9	Lämmin käyttövesi	Kaukol. perusmaksu	0	0
			Muut lämpötuotot	86	0
		Lämmitystarve	Lämmitys yht.	516	Yht. 18403
Lämpötilan vuosikeskiarvolla ja ilman LTO: a		Lämpöhäviöt (MWh)	Lämpötuotot (MWh)	Kustannukset (€)	
	%				
	44	Ilmanvaihdon lämpöhäviö	LTO	0	0
	47	Johtuminen	Öljy	429	36486
	9	Lämmin käyttövesi	Kaukol. perusmaksu	0	
			Muut lämpötuotot	86	
		Lämmitystarve	Lämmitys yht.	516	Yht. 36486

Ilman LTO:a öljyä käytetään 429 MWh:n edestä hinnan ollessa 85 €/MWh. Lämpöpumput tuottavat vuodessa lämpöä 342 MWh:n edestä sähkön hinnan ollessa 81,5 €/MWh, ja jäljelle jäävät lämpöhäviöt tuotetaan öljyllä 88 MWh:n verran. Erotuksen ollessa $(36486 - 18403) = 18084$ euroa PILP:lla säästetään 18 084 € vuodessa. Jos PILP:n asentaminen maksaisi esimerkiksi 50 000 euroa, olisi takaisinmaksuaika noin 2,8 vuotta. (Taulukko 14.)

Taulukko 14. Takaisinmaksuajat reZERO-yksikölle.

Sipinkuja Scandescon laskin					
Vuosisäästö	Vuosikustannukset	Hankintahinta	Laskenta-korko	Takaisinmaksuaika	Korollinen takaisinmaksuaika
18084	18403	50000	5 %	2,8	3,0

Energiaremontin yhteydessä Sipinkujaan asennettiin kaksi reZERO-yksikköä, yksi kumpaankin huippumuriin. Tämä laski rakennuksen öljynkulutuksen lähes nolnaan. [9, s. 28–29.] Taulukossa 15 esitetään rakennuksen vuotuinen sähkönkulutus.

Taulukko 15. Sipinkujan sähkönkulutus vuonna 2018.

2018		
Sähkö MWh	Kustannus	Energia MWh
24,7	2 013,05 €	59,28
27	2 200,50 €	64,8
27,5	2 241,25 €	66
15,27	1 244,51 €	36,648
10,1	823,15 €	24,24
8,8	717,20 €	21,12
7,4	603,10 €	17,76
6,83	556,65 €	16,392
10,5	855,75 €	25,2
13,4	1 092,10 €	32,16
16,7	1 361,05 €	40,08
22	1 793,00 €	52,8
Yhteensä vuosi	15 501,30 €	456

Sähkö MWh tarkoittaa energiatoimittajan ilmoittamaa sähkönkulutusta rakennuksessa. Energia MWh tarkoittaa rakennuksen kokonaiskulutusta laskettuna 5 vuoden keskiarvolla. Luku on alempi kuin laskuissa käytetty, johtuen rakennukseen tehdyistä remonteista.

Taulukossa 16 esitetään arvio öljynkulutuksesta 2019, jos Sipinkujassa olisi vielä öljylämmitys.

Taulukko 16. Taulukko arvioidusta öljyn vuosikulutuksesta. Öljynkulutuksen keskiarvo oli (vuosina 2008–2012) 49 943 litraa vuodessa [9, s. 27.]

Arvio öljyn vuosikulutuksesta			
Öljynkulutus	51600 litraa		
hinta	0,85 €/l		
	%	litraa	€
tammi	14,5	7482	6360
helmi	11,7	6037	5132
maalis	12,1	6244	5307
huhti	8,9	4592	3904
touko	5,4	2767	2352
kesä	4,0	2064	1754
heinä	3,2	1651	1404
elo	3,8	1961	1667
syys	5,1	2620	2227
loka	8,7	4489	3816
marras	10,2	5263	4474
joulu	12,5	6450	5483
	100,0	51621	43877

Sähkön lisäksi öljyä kuluu Sipinkujassa hyvin pieniä määriä. Öljypoltinta käynnistetään myös väliajoin, toimivuuden varmistamiseksi. [9, s. 28.]

8.2 Ympäristöministeriön PILP-laskin

Ympäristöministeriö julkaisi uuden PILP-laskimensa [2] 2018 vuoden alussa. Laskurin on tarkoitus laskea pääasiassa poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta, mutta myös ilmanvaihdon lämmitystarvetta ilman lämmöntalteenottoa (PILP), LTO/PILP:llä talteen otettua energiaa, bruttolämmöntarvetta sekä tuloilman jälkilämmitystehoa.

Bruttolämmöntarve koostuu johtumishäviöistä, vuotoilman häviöistä ja ilmanvaihdon häviöistä ilman LTO:a tai PILP:ä ja lämpökuormien hyödyntämistä. Lisäksi bruttolämmöntarve sisältää muun lämmöntarpeen kuten käyttöveden lämmityksen, varaajahäviöt ja muut järjestelmähäviöt soveltuvien osin. [2, s. 33.]

Taulukoissa 17 ja 18 on käytetty Sipinkujan tietoja.

Taulukko 17. Laskentataulukko. Rakennuksen perustiedot.

Kone	Palvelualue	Käyttötapa	Ulkoilmavirta m ³ /s	Poistoilmavirta m ³ /s
PILP	Koko rakennus	jatkuva käyttö	1,333	1,333
Rakennuksen tiedot				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka (1 - 9)		2		
Lämmitetty nettoala		1650,0	m ²	Hae oletusarvot
Ilmanvaihdon käyttöaika vuorokaudessa		24	h/vrk	
Ilmanvaihdon käyttöaika viikossa		7	vrk/viikko	
Rakennuksen vaipan ja vuotoilman ominaislämpöhäviö		3401,0	W/K	
Rakennuksen muu vakiolämmitystarve		0,0	W	
Sisäiset lämpökuormat käyttöaikana				
Lämpökuorma valaistuksesta		0,6	W/m ²	
Lämpökuorma kuluttajalaitteista		1,8	W/m ²	
Lämpökuorma ihmisistä		1,2	W/m ²	
Sisäiset lämpökuormat yhteensä		5 940	W	
Auringon lämpökuorma				
Ikkunoiden tiedot ilmansuunnittain		Pinta-ala, m ²	g-arvo	F _{läpäisy}
Pohjoinen				
Koillinen		135,5	0,5	0,720
Itä				
Kaakko				
Etelä				
Lounas		135,5	0,5	0,570
Länsi				
Luode				
Yhteensä		271		
Auringon lämpökuorma käyttöaikana keskimäärin		3 398	W	

Rakennuksen vaipan ja vuotoilman ominaislämpöhäviö saadaan ympäristöministeriön 2018 tasauslaskimesta. Sisäiset lämpökuormat laskuri laskee pinta-ala perusteisesti. Ikkunoiden ilmansuunnat saatiin Google mapsin avulla. (Kuva 12.) Rakennuksen päädissä ei ole ikkunoita.



Kuva 12. Google mapsilla saadaan selville rakennuksen ilmansuunta.

Seuraavaksi täytetään PILP-tiedot sekä lämpötilat. Taulukossa 18 on esitetty poistoilma-
lämpöpumpun COP sekä kompressorin sähköteho sisälämpötilassa 22 °C.

Taulukko 18. Lämpimän käyttöveden energiankulutus, PILP-tiedot sekä huonelämpötilat.

Poistoilmalämpöpumpun tuottama lämpöä käytetään käyttöveden lämmittämiseen:	
Lämpimän käyttöveden vuotuinen lämmitysenergiankulutus	26,6 kWh/m ² /a
Lämpimän käyttöveden vuotuinen lämpöhäviöenergia	2,7 kWh/a
Poistoilmalämpöpumpun tiedot:	
Poistoilmalämpöpumpun lämpökerroin, COP	2,90
Poistoilmalämpöpumpun kompressorin sähköteho	28100 W
2. Höyrystin poistoilmassa ennen LTO:a tai ilman LTO:a	▼
2. Lauhdutin on varaajassa	▼
Ulkoilmavirran suhde poistoilmavirtaan PILP:ssa	1,00
LTO-lämmönsiirtimen tiedot:	
Tuloilman lämpötilasuhde yhtäsuurilla ilmavirroilla	0,00
Tuloilman lämpötilasuhde	0,00
Poistoilman lämpötilasuhde	0,00
Lämpötilat:	
Huoneilman eli poistoilman lämpötila	22,0 °C
Poistoilman minimilämpötila LTO:n jäätymissuojauksessa	0,0 °C
Poistoilman minimilämpötila PILP:n jäätymissuojauksessa	0,0 °C
Tuloilman jälkilämmityksen asetuslämpötila	0,0 °C
Tuloilman jälkilämmitys PILP-varaajasta (1 = kyllä, 0 = ei)	0
Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ($\eta_{a, PILP}$)	
Säävyöhyke	
Helsinki-Vantaa TRY 2012 testivuosi	89,8 %

Laske

Poistoilmalämpöpumpun COP ja kompressorin sähköteho saadaan Mitsubishin tekni-
sestä esitteestä. Taulukossa 19 on esitetty Mitsubishi PUHZ-SHW230YKA -lämpöpum-
pun tiedot. Laskennassa voi myös käyttää muuta lämpöpumppua, kunhan arvot tiede-
tään.

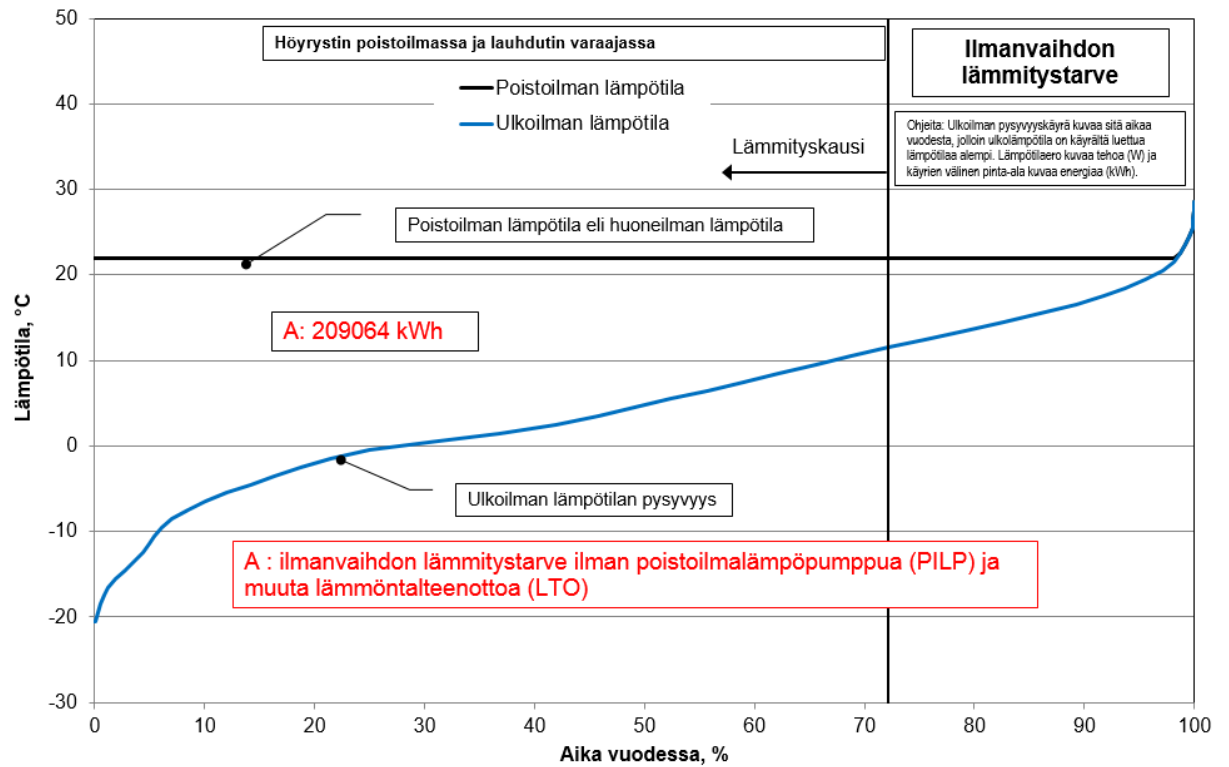
Taulukko 19. Ilmalämpöpumpun arvot.

Ilmalämpöpumpun teho ja COP eri lämpötiloissa			
Mitsubishi PUHZ-SHW230YKA, nominal, T _{water} =55°C			
T (°C)	P _{out}	COP	P _{in}
-15	20,79	1,36	15,29
-10	23	1,78	12,92
-7	23	2,04	11,27
2	22,78	1,95	11,68
7	23	2,39	9,62
12	24,28	2,58	9,41
15	25,71	2,7	9,52
20	28,1	2,89	9,72

8.2.1 Ilmanvaihdon lämmitystarve ilman poistoilmalämpöpumpua

Ilmanvaihdon lämmitystarpeen määrittäminen. Taulukossa vasemmalla on lämpötila ja alhaalla prosentuaalinen aika vuodessa.

Taulukko 20. Höyrystin poistoilmassa ja lauhdutin varaajassa.

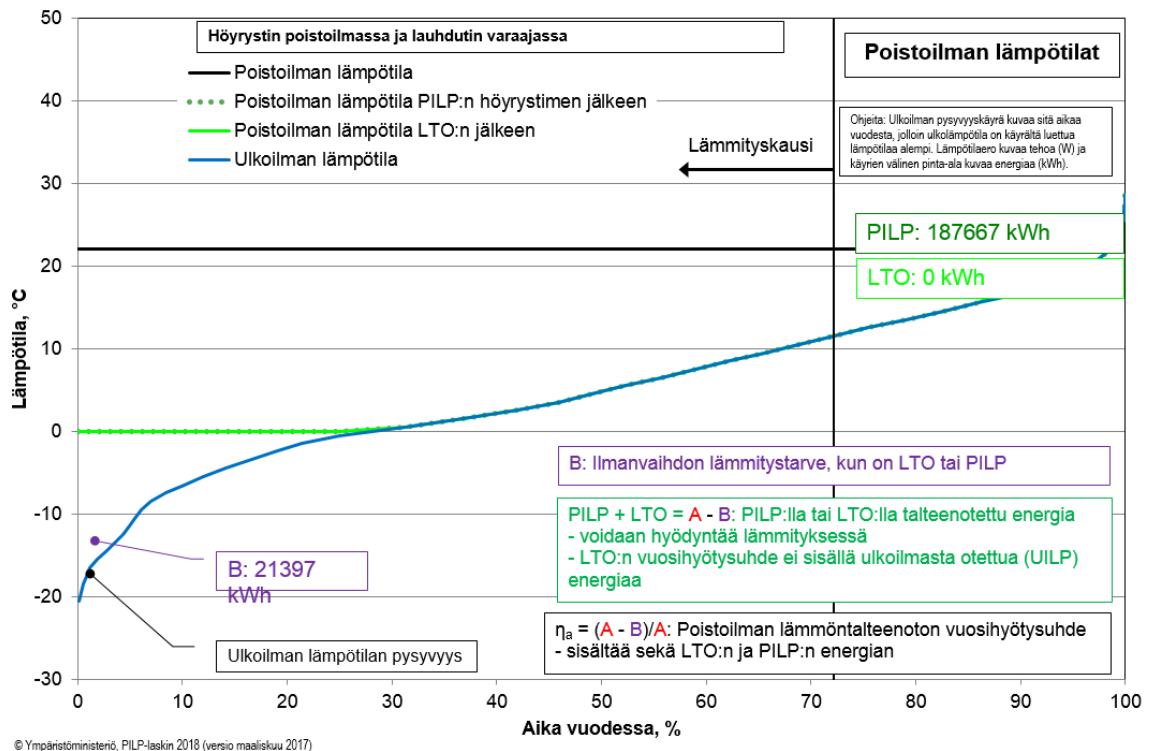


Kaaviosta saadaan selville vuosittainen ilmanvaihdon lämmitystehontarve ilman lämmöntalteenottoa. Ilmanvaihdon lämpöhäviöt ovat siis noin 209 MWh.

8.2.2 Ilmanvaihdon lämmitystarve poistoilmalämpöpumpun kanssa

Laskurin tekemät visuaaliset kaaviot ovat helposti lähestyttäviä ja ymmärrettäviä. Kaaviosta saadaan selville ilmanvaihdon lämmitystarve lämmöntalteenoton kanssa. (Taulukko 21.)

Taulukko 21. Höyrystin poistoilmassa ja lauhdutin varaajassa.



A–B on LTO:lla talteenotettu energia:

$$\text{PILP} + \text{LTO} = A - B = (209064 - 21397) \text{ kWh} = 187667 \text{ kWh}$$

Taulukosta voi myös laskea lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen:

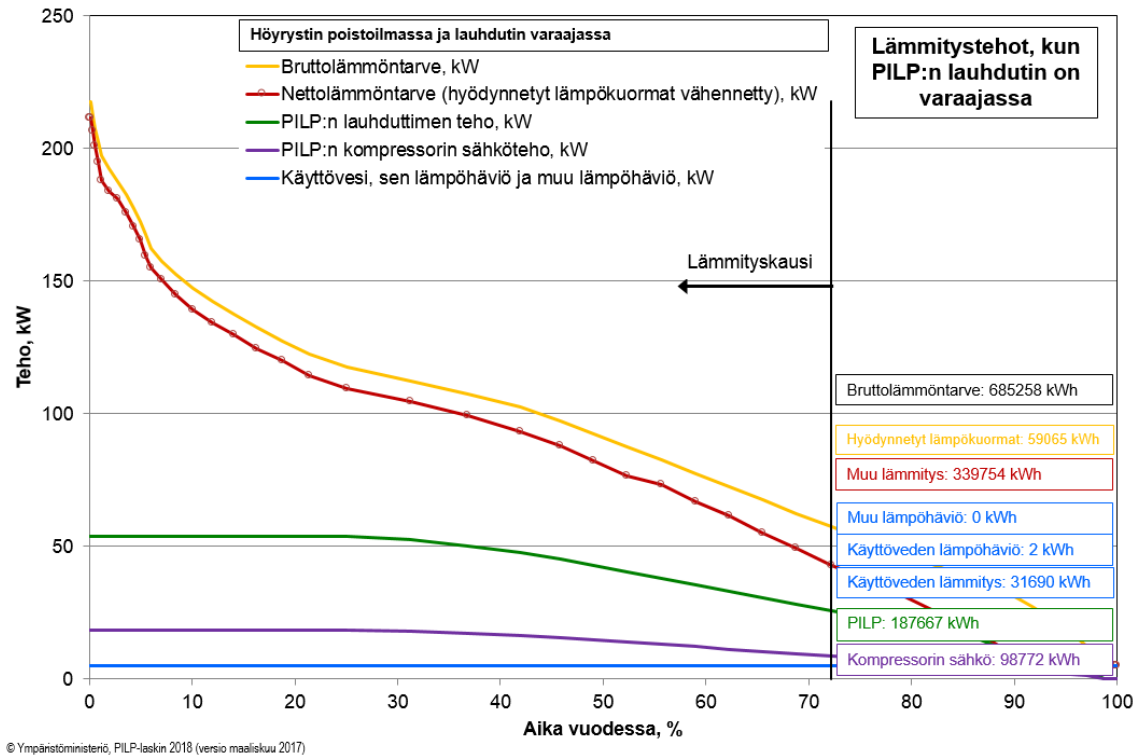
$$\eta_a = \frac{(A - B)}{A}$$

$$\eta_a = \frac{(209064 - 21397) \text{ kWh}}{209064 \text{ kWh}} = 0,898 = 89,8 \%$$

8.2.3 Rakennuksen lämmitystarve PILP:n kanssa

Taulukossa 22 esitetään lämpimän käyttöveden lämmitystarve, kompressorin kuluttama sähköteho, PILP:n lauhduttimen teho sekä tarvittava nettolämmöntarve.

Taulukko 22. Höyrystin poistoilmassa ja lauhdutin varaajassa.



Kaaviosta saadaan selville myös bruttolämmöntarve. Bruttolämpö saadaan laskemalla yhteen kompressorin sähkö, PILP, lämpökuormat sekä nettolämmöntarve. Poistoilman energiaa saadaan siis talteen noin 188 MWh.

8.2.4 Ympäristöministeriön tasauslaskin

Ensimmäisenä laskurissa aloitetaan rakennuksen laajuustiedoilla.

Taulukko 23. Rakennuksen laajuustiedot.

Rakennuksen laajuustiedot	
Rakennustilavuus	6 400 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	1 650 m ²
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	1 650 m ²
Lämmitetty nettoala, puolilämpimät tilat	m ²
Rakennusluokka (1 - 9)	2
Ilmanvaihdon huoneistokohtainen ohjausmahdollisuus (0 tai 1)	0
Rakennuksen kerrosmäärä	4 kerrosta

Rakennustilavuus, kerrosalat ja -määrät, sekä rakennusluokka. Tässä tapauksessa laajuutena on luokka 2 eli vähintään kolmen asuinkerroksen asuinkerrostalo.

Seuraavaksi tasauslaskimeen syötetään rakennuksen perustiedot (Taulukko 24).

Taulukko 24. Rakennuksen perustiedot.

Perustiedot	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
RAKENNUSOSAT						
<i>Lämpimät tilat</i>						
Ulkoseinä	1 266	1 242	0,17	0,40	215,1	496,8
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,40		-	-
Yläpohja	678	678	0,09	0,19	61,0	128,8
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)	678		0,16	0,40	108,5	271,2
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	247,5	271,0	1,00	2,40	247,5	650,4
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾	65,0		1,00	2,40	65,0	156,0
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattovalokuvut			1,00		-	-

Seuraavaksi lasketaan rakennuksen vaipan ilmavuodot sekä koneellisen ilmanvaihdon lämpöhäviöt (Taulukko 25).

Taulukko 25. Rakennuksen ilmavuodot ja ilmanvaihto.

VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²) [q ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v,v} = q ₅₀ / 20 · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v,v}]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma						
Lämpimät tilat	2,0	2,0	0,0815	0,0815	97,8	97,8
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-
ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{lv} = 1200 · q _{v,p} · (1-η _a)]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat	1,333		55		719,8	1 599,6
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
Puolilämpimät tilat				55	-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-

Ohjelma antaa lopuksi rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviöt (Taulukko 26).

Taulukko 26. Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus.

Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus	Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{ohnt} + H _{vuotoilma} + H _v]	
	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö	1 515	3 401
Puolilämpimien tilojen	-	-

Rakennuksen ominaislämpöhäviöiksi saatiin 3 401 W/K.

Syöttämällä ympäristöministeriön PILP-laskuriin poisto- ja ulkoilmavirrat saadaan ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde tasauslaskentalomakkeeseen. Tällöin ominaislämpöhäviö tippuu lukuun 1 964 W/K. (Taulukko 27.)

Taulukko 27. Ilmanvaihto ja rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus.

ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{iv} = 1200 · q _{v,p} · (1-η _a)]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat	1,333		55	89,8	719,8	163,2
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
Puolilämpimät tilat			55		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus					Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]	
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					1 515	1 964
Puolilämpimien tilojen					-	-

Rakennuksen ominaislämpöhäviö, huomioituna ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhdeella.

8.2.5 Kustannuslaskenta

Taulukossa 28 on esitetty koko vuoden kustannukset ja tuotot ilman lämmöntalteenottoa sekä lämmöntalteenoton kanssa. Näillä tiedoilla saadaan takaisinmaksuaika laskettua.

Ympäristöministeriön PILP laskuri LTO:lla:		Lämpöhäviöt (MWh)		Lämpötuotot (MWh)		Kustannukset (€)	
	%						
	36	Ilmanvaihdon lämpöhäviö	209	LTO	188		8052
	58	Johtuminen	340	Öljy	335		28475
	6	Lämmin käyttövesi	33	Kaukol. perusmaksu	0		0
				Muut lämpötuotot	59		0
		Nettolämmitystarve	582	Lämmitys yht.	582	Yht.	36527
Lämpötilan vuosikeskiarvolla ja ilman LTO: a		Lämpöhäviöt (MWh)		Lämpötuotot (MWh)		Kustannukset (€)	
	%						
	36	Ilmanvaihdon lämpöhäviö	209	LTO	0		0
	58	Johtuminen	340	Öljy	523		44455
	6	Lämmin käyttövesi	33	Kaukol. perusmaksu	0		0
				Muut lämpötuotot	59		
		Nettolämmitystarve	582	Lämmitys yht.	582	Yht.	44455

Taulukko 28. Vuosittaiset lämpötuotot ja -häviöt kustannuksineen.

Kompressorin sähkön kulutuksen ollessa 99 MWh ja sähkön hinnan ollessa 81,5 €/MWh, saadaan PILP:n kustannuksiksi 8 052 € vuodessa ja öljyä joudutaan käyttämään 335 MWh:n verran hinnan ollessa 85 €/MWh. Vuosikustannuksiksi tulee 36 527 euroa vuodessa. Erotuksen ollessa (44455 – 36527) = 7928 euroa normaalilla PILP:lla säästetään siis 7 928 euroa vuodessa.

Taulukko 29. Takaisinmaksuajat PILP-yksikölle.

Sipinkuja Ympäristöministeriön PILP laskin					
Takaisinmaksuaika ja Korollinen takaisinmaksuaika					
Vuosisäästö	vuosikustannukset	Hankintahinta	Laskenta-korko	Takaisinmaksuaika	Korollinen takaisinmaksuaika
7928	36527	50000	5 %	6,3	7,8

Jos LTO:n asentaminen maksaisi esimerkiksi 50 000 euroa, olisi takaisinmaksuaika noin 6,3 vuotta.

Laskennoissa voidaan ottaa myös huomioon poistoilmalämpöpumpun vuosihyötysuhde 89,8 %, jolloin ominaislämpöhäviöteho tippuu lukuun 1 964 W/K. Tämä ei kuitenkaan muuta takaisinmaksuaikaa.

9 Yhteenveto

Scandescon ja ympäristöministeriön PILP-energiälaskureilla päästiin lähes samoihin rakennuksen lämpöhäviöihin, Scandescon laskurilla 516 MWh ja YM:n laskurilla 582 MWh. Molemmat ovat hyviä työkaluja, joilla oikein käytettynä saadaan suhteellisen tarkkoja tuloksia. Jos tiedossa on rakennuksen ostoenergian kulutus pidemmältä ajalta, voidaan laskureita käyttämällä tehdä vertailua ja asettaa luvut hyvin lähelle rakennuksen todellisia lämpöhäviöitä. Ympäristöministeriön laskin on tarkoitettu lähinnä erilaisten PILP-järjestelmien laskentaan. Scandescon laskuri ottaa huomioon myös ulkoilmalämpöpumpun tuoton, laskuri onkin tarkoitettu lähinnä vain kyseisen reZERO-yksikön kannattavuuslaskentaan Scandescon laskuria voisi käyttää myös ulkoilmapumpun laskentaan yhdessä ympäristöministeriön PILP-laskurin kanssa.

Laskennoissa ei otettu huomioon sähkön- tai öljynhinnan nousua, koska niitä ei voi tarkkaan ennustaa. Investoitaessa lämmöntalteenottoon on myös hyvä muistaa mahdolliset energia-avustukset. Nämä voivat vaikuttaa takaisinmaksuaikaan.

Tässä työssä vertailtiin laskureiden avulla saatuja takaisinmaksuaikoja PILP-yksiköiden hinnan ollessa 50 000 euroa. Tämä investointisumma ei yleensä riitä ison rakennuksen lämmitysjärjestelmän rakentamiseen. Scandescon laskurilla PILP/ILP-hybridin takaisinmaksuajan ollessa 2,8 vuotta oli perinteisen PILP:n takaisinmaksuaika ympäristöministeriön PILP-laskurilla 6,3 vuotta. Rakennus Sipinkujaan asennettiin lopulta 2 (kaksi) kappaletta ReZERO PILP -lämmöntalteenottoyksikköä. Tässä työssä laskettiin vain yhden yksikön tuotto ja takaisinmaksuaika. Sipinkujan energiankulutusta ja toimivuutta pidetään jatkuvasti silmällä Tosibox® -etäyhteyden avulla.

Verrattuna perinteiseen PILP-lämmöntalteenottoon uudet PILP/ILP-hybridit ovat tuottavuudeltaan ja energiansäästöltään täysin eri luokkaa. Takaisinmaksuaikaan vaikuttaa suurelta osin kuitenkin laitteen hinta ja asennus. Tästä syystä rakennukseen erikseen asennettavan poistoilmalämpöpumpun ja ilmalämpöpumpun kustannukset tulevat yleensä liian kalliiksi järkeviä takaisinmaksuaikoja ajatellen.

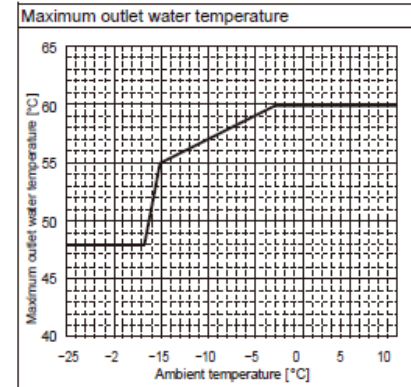
Lähteet

- 1 Kyytsönen, Jouko. 2017. Maaseudun tulevaisuus. MT selvitti edullisimman lämmitysmuodon. <<https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/talous/mt-selvitti-edullisimman-l%C3%A4mmitysmuodon-n%C3%A4in-maal%C3%A4mp%C3%B6-puupelletti-ja-ilmal%C3%A4mp%C3%B6pumppu-p%C3%A4rj%C3%A4siv%C3%A4t-1.205299>> Luettu 2.9.2018.
- 2 Saari, Mikko ja Nyman, Mikko. Ympäristöministeriön PILP opas 2018. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<http://www.ym.fi/download/name/%7B3A3AA968-B9E7-48FC-ACEB-7C4E7F0917D8%7D/133697>> Luettu 3.7.2019.
- 3 Luopa, Niko. 2015. PILP-järjestelmä kerrostalon energiatehokkuuden parantamisessa. Opinnäytetyö. Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 4 RIL 250–2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. 2011. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
- 5 Keinänen, Mikko. 2016. Poistoilmalämpöpumppu asuinkerrostalossa. Insinööri-työ. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 6 Korkee, Tuomas. 2017. Asuinkerrostalojen PILP-järjestelmät. Opinnäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 7 Energiatehokkuussopimukset 2017–2025. 2017. Energiavirasto <www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi> Luettu 5.11.2019.
- 8 Ympäristöministeriö. 2018. Energiatehokkuus. <http://www.ym.fi/fi-FI/Maan-kaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaaraysko-koelma/Energiatehokkuus> Luettu 10.11.2019.
- 9 Murtomäki, Irene. 2018. Lämmön talteenotto pudotti energiakulut kolmanneksen. Kiinteistöposti. Kesäkuu 2018.
- 10 Mitsubishi electric. 2015. Ilmalämpöpumpun tekninen kirja. MITSUBISHI_PUHZ_SHW230YKA2_Servicemanual_OCH594_en.PDF
- 11 Scandesco Energy Tech Oy:n sisäinen materiaali.

Mitsubishi electric PUHZ-SHW230YKA2 -ilmalämpöpumpun tekniset tiedot

Service Ref.		PUHZ-SHW230YKA2	
Running current	Heating(A7/W35)	A	9.6
	Cooling(A35/W7)	A	13.7
Power factor	Heating(A7/W35)	%	95
	Cooling(A35/W7)	%	95
Power supply (phase, cycle, voltage)		3 phase, 50 Hz, 400 V	
Max. current	A	26.0	
Breaker size	A	32	
Outer casing	Galvanized plate		
External finish	Munsell 3Y 7.8/1.1		
Refrigerant control	Liner expansion valve		
Compressor	Hermetic scroll		
	Model	ANB66FJNMT	
	Motor output	kW	4.7
	Start type	Inverter	
	Protection devices	HP switch LP switch Discharge thermo Overcurrent detection Comp. surface thermo	
	Oil (Model)	L	1.7 (FV50S)
Crankcase heater	W	—	
Heat exchanger	Air	Plate fin coil	
	Water	Plate heat exchanger	
Fan	Fan (drive) × No.	Propeller fan × 2	
	Fan motor output	kW	0.150 × 2
	Air flow	m ³ /min	140
(CFM)		(4,940)	
Defrost method	Reverse cycle *1		
Noise level (SPL)	Heating	dB	59 *2 *5
	Cooling	dB	58 *2
Dimensions	Width	mm (in)	1050 (41-5/16)
	Depth	mm (in)	330 + 30(*3) (13+1-3/16)
	Height	mm (in)	1338 (52-11/16)
Weight	kg (lb)	149 (328)	
Refrigerant	R410A		
Guaranteed operating range (Outdoor)	Quantity	kg (lb)	7.7 (17.0)
	Heating	°C	-25(*6) to +21
	DHW	°C	-25 to +35
Outlet water temp. (Max. in heating, Min. in cooling)	Cooling	°C	-5(*4) to +46
	Heating	°C	+60
Nominal return water temperature range	Cooling	°C	+5
	Heating	°C	+10 to +59
Water flow rate range	Cooling	°C	+8 to +28
	Heating	°C	+10 to +59
Water flow rate range	L/min	28.7 to 65.9	

Nominal operating condition	
Heating(A7/W35)	
Outside air temperature (Dry-bulb)	+7°C
Outside air temperature (Wet-bulb)	+6°C
Water temperature (inlet/outlet)	+30/+35°C
Cooling(A35/W7)	
Outside air temperature (Dry-bulb)	+35°C
Outside air temperature (Wet-bulb)	+24°C
Water temperature (inlet/outlet)	+12/+7°C



*1 Hot gas with 4-way valve

*2 At distance of 1 m from outdoor unit

*3 grill

*4 With the optional air outlet guide, the operation at -15°C outdoor temperature is possible.

*5 A weighted sound power level in accordance with ISO9814-1 for EN14511 testing is 75 dBA.

*6 Lower limit of use is -5°C for EN14511 testing purpose.

Scandesco reZERO Tosibox®, päänäyttö

Lämmöntalteenotto LTO A-Porras

Ulkolämpö: -9,7 °C

Sekoituslämpö 11,7 °C

Ulospuhallus 4,8 °C

Kiertoneste tulolämpö 47,9 °C

Kiertoneste menolämpö 55,4 °C

Lämmöntalteenotto LTO B-Porras

Ulkolämpö: -10,8 °C

Sekoituslämpö 9,8 °C

Ulospuhallus 2,6 °C

Kiertoneste tulolämpö 48,1 °C

Kiertoneste menolämpö 53,5 °C

LJK-IV-ohjain

Lämmönjako

Ulkolämpö: -14,4 °C

LKV

Patteri

Tavoite: 55 °C Tavoite: 55 °C PE1 4,1 bar TE4.1 59 °C

TE1 53 °C TE2 54 °C PE2 1,8 bar TE4.2 59 °C

TE1.2 51 °C TE2.2 45 °C TE5.1 58 °C

TE1.1 55 °C TE2.1 57 °C

TV1 100 % TV2 0 % TV2.1 30 % TV1.1 100 %