



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Joonas Ikonen

# Laskentasovellus poistoilmalämpöpumpun kannattavuuden arviointiin

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Talotekniikka  
Insinöörityö  
26.11.2019

Tekijä Otsikko	Joonas Ikonen Laskentasovellus poistoilmalämpöpumpun kannattavuuden arviontiin
Sivumäärä Aika	26 sivua 26.11.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	yliopettaja Jukka Yrjölä yrittäjä Tommi Hykkyrä
<p>Projektin tavoitteena on luoda laskentasovellus, jolla on mahdollista tehdä kustannuslaskelma poistoilmalämpöpumppu järjestelmän soveltuvuudesta kerrostalokiinteistöön. Sovellus tulee tilaajayrityksen käyttöön. Yrityksen on laskentasovelluksen antaman kustannusarvion pohjalta tarkoitus tehdä tarjouksia asiakkaille. Sovelluksen tulisi tuoda nopeutta ja varmuutta projektien kartoitukseen, kustannustason oikeellisuuteen myyjän osaamistasosta riippumatta ja tarjouksien jättämiseen. Sovelluksen tulisi myös tuottaa projektin kannattavuuslaskenta ja takaisinmaksuaika.</p> <p>Laskentasovelluksen rakentamisessa käytettiin suurimmaksi osaksi tilaajayrityksen sekä opiskelijan, joka tässä tapauksessa oli myös yrityksen työntekijä, kokemuseräisiä taitoja, valmistajien ohjeistuksia ja talotekniikan insinööriopiskelijoiden insinööritöitä. Toteutetun laskentasovelluksen käytettävyyden helppouden kriteerinä on lähtökohtaisesti huomioitu käyttäjä, joka on yleisesti myyjä. Laskentasovelluksen tuottaman laskennan perusteella kokonaiskuvassa tarkastellaan hankkeen kustannuksia, takaisinmaksuaikaa ja pohditaan, kannattaako hanke laittaa vireille.</p> <p>Työn tilaajalta pilottikäytön perusteella saatujen palautteiden ja kehitysehdotusten mukaan sovellusta on muokattu siltä osin, kuin muutokset ovat olleet toteutettavissa ensimmäiseen versioon. Tutustumiskäynnit laitevalmistajalta luona antoivat arvokasta lisätietoa olemassa oleviin PILP-järjestelmiin ja opastusta niiden myyntiin ja teknisiin ratkaisuihin.</p> <p>Työkalun kehityksen ja käytännön kokemusten kautta todettiin, että kaikkia muuttuvia tekijöitä ei pystytä ottamaan huomioon tällaisessa sovelluksessa. Jatkokehitys laskentasovelluksella on selkeästi ekologisuuden ja ympäristötietouden todentamien päästömittausten osalta huomioimalla kohdennettavien kiinteistöjen energiatehokkuuden vaikutukset. Lisäksi sovelluksen tulisi tuottaa laskelmista graafisia helposti luettavia esitysmuotoja asiakkaille.</p>	
Avainsanat	poistoilmalämpöpumppu, lämmöntalteenotto

Author Title Number of Pages Date	Joonas Ikonen Calculation Tool for Establishing Profitability of Exhaust Air Heat Pump 26 pages 26 November 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Tommi Hykkyrä Project Manager Jukka Yrjölä Principal Lecturer
<p>The purpose of thesis was to create a calculation application for an exhaust air heat pump system, to be used by the contractor for apartment buildings. The aim was that the program would calculate project quotations and bring efficiency and certainty to site appraisal, ensuring profitability for the contractor and a repayment period for customers. The application should also provide easily legible graphs for presentations to customers.</p> <p>The application was built by using the experience of the contractor and manufacturers. The application was to be easy to use by its primary user, a seller. It should be possible to assess the feasibility of a project on the basis of the calculations made with the application and then examining the costs and repayment period.</p> <p>The application was piloted and modifications were made on the basis of the suggestions of the contractor. It was possible to implement the changes in the first version of the application.</p> <p>Developing the application showed that all factors cannot be taken into account with this kind of an application. The application should be further developed focusing on verifying the ecology and environmental awareness of a project.</p>	
Keywords	exhaust air heat pump, heat recovery

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Järjestelmäkokonaisuus	2
2.1	PILP-järjestelmä	2
2.2	Kaukolämmön rinnalle kytkentä	8
2.3	Sulpun tilastot	9
3	Työkalu	11
3.1	Lähtötiedot	12
3.2	LTO-lämmönsiirtimen valinta	13
3.3	Lämpöpumpun valinta	14
3.4	Investointi ja takaisinmaksu	15
4	Käyttökokemukset ja kehitystarpeet	17
5	Kerrostalo Lahdessa	20
6	Pohdinta	22
7	Yhteenveto	23
	Lähteet	25

## Lyhenteet

Airco	Päijät-Hämeessä toimiva lämpöpumppujen jälleenmyyntiyritys
CO <sub>2</sub>	Hiilidioksidi
COP	Hyötysuhde
LTO	Lämmöntalteenotto
PILP	Poistoilmalämpöpumppu
SCOP	Vuotuinen hyötysuhde

## 1 Johdanto

Opinnäytetyössä rakennettiin excel-pohjainen laskentasovellus Airco Oy:n käyttöön ja tarkasteltiin sen mahdollista toimivuutta eri kohteisiin. Airco oy:n huoltopäällikkönä suosittelemme sovellustyökalun rakentamista yritykselle ja vastasin sovelluksen rakenteesta ja määrittelyistä.

Airco Oy on lämpöpumppualalla kasvava yritys, joka toimii Päijät-Hämeen seudulla. Excel-pohjainen laskentasovellus on tarkoitettu poistoilman lämmöntalteenoton mitoitukseen ja kustannusarvion tekoon. Työkalu rakennettiin yritykselle tulevien projektien kartoituksen ja mitoituksen laskennalliseen tukemiseen. Poistoilmantalteenotto saneeraukset ovat kasvava sektori Lahdessa, ja Sulpun tilastojen mukaan poistoilmalämpöpumput ovat olleet jyrkässä kasvussa viime vuosina.

Tavoitteena on saada toimiva työkalu kentälle myyjien tueksi. Laskentasovellusta käyttävät PILP-myyjät saisivat selkeän kuvan työkalun toimivuudesta ja riittävän ymmärryksen sen käytettävyydestä. Laskentasovellus antaa suuntaa-antavia viitteitä PILP-järjestelmän takaisinmaksusta, investoinnista, säästöistä ja tarvittavasta laitteistosta. Työkalun pitäisi olla toiminnallisuuksiltaan sellainen, että sitä on helppo tulkita ja sitä voidaan esitellä esimerkiksi asiakkaalle.

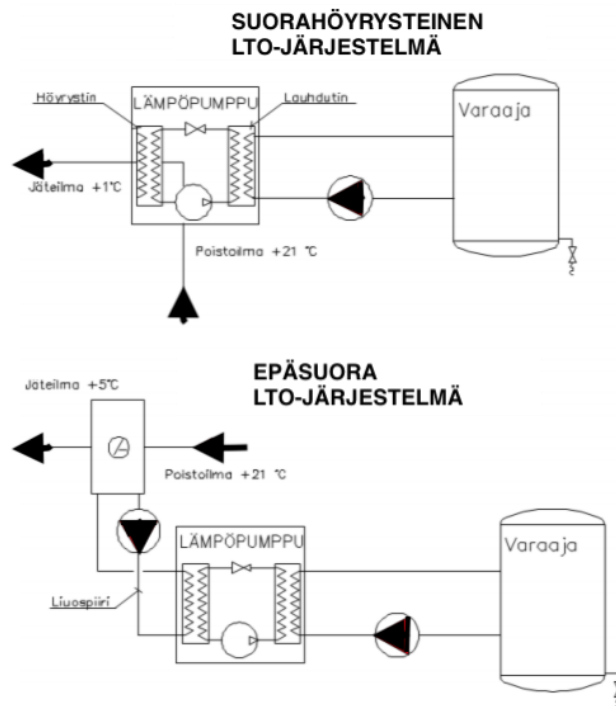
Työkalu toteutetaan excel-tiedostoon, helpon käytettävyyden takia. Exceliin tulee kuvaukset ja ohjeistukset, kuinka työkalua tulee käyttää ja mitä pitää ottaa huomioon PILP-järjestelmän suunnittelussa. Materiaalina käytetään Metropolian opetusmateriaalia ja ammattilaisten haastatteluihin perustuneita tietoja. Omia laskentakaavoja on yhdistetty eri lähteistä ja koottu kasaan, jotakin arvoja on arvioitu, varsinkin hyötysuhteiden osalta on etsitty keskiarvo. Työkalun ei ole tarkoitus olla täysin tarkka, vaan suuntaa-antava.

Työ on rajattu kerrostalokiinteistöihin, joissa kaukolämpö on lämmönlähteenä ja koneellinen poisto ilmanvaihdossa. PILP-järjestelmä tulisi rinnalle toimimaan muiden järjestelmien tueksi.

## 2 Järjestelmäkokonaisuus

### 2.1 PILP-järjestelmä

Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate perustuu kylmäprosessiin toiselta nimeltä lämpöpumppuun, jonka lämmönlähteenä on tässä tapauksessa kiinteistöjen poistoilma. Poistoilma johdatetaan poistoilmapuhaltimen kautta lämmöntalteenottokennolle, jossa poistoilmasta otetaan hyödynnettävä energia talteen. Lämpö siirretään joko suoraan kylmäaineeseen, jolloin laitteistoa kutsutaan suoraanhöyrysteiseksi tai välilliseen aineeseen esimerkiksi vesi-glykoliliuoksen tai vesi-alkoholiliuokseen, jolloin laitteisto saa nimityksen epäsuora LTO-järjestelmä. (Kuva 1.) [1.]



Kuva 1. Suoran ja epäsuoran PILP:n kytkentäperiaate

Yleisempänä lämmönläpennötyksenä käytetään epäsuoraa LTO-järjestelmää ja väliaineena toimii yleisesti etanolivesiseos. Syynä yleiseen käyttöön on lämpöpumppu- ja varaajayksiköiden sijoitus kellareihin tai lämmönjakokeskuksiin, jotka yleisesti sijaitsevat kerrostan pohjakerroksessa. [4] Kuvassa 2 on esitetty Altian Rajamäen tehtaiden valmistama Naturet-etanoliliuoksen tuoteastia ja teknisiä tietoja.



#### Etanoli-vesiseosten teknisiä tietoja

Paino-%	Tilavuus-%	Leimahduspiste/°C (Closed cup)	Jäätymispiste/°C
10	12,4	52	-5
20	24,6	35	-11
30	36,3	29	-19
40	47,4	28	-29
50	57,9	28	-37
60	67,7	27	-43
70	77,0	25	-53
80	85,5	22	-70
90	93,3	18	-103
100	100,0	13	-110

Paino-/tilavuus-% (+20 °C)

Kuva 2. a) Naturet-etanoli, liuoksen väkevyys 60 % ja b) sekoitussuhteiden jäätymispiste [10]

Etanoliseoksen tulisi olla pakkasen kestävää jäätymisrajana noin  $-20\text{ °C}$ , jolloin etanolipitoisuuden tulee olla yli 30 massaprosenttia. Järjestelmä pysäytetään käytännössä liuoksen lämpötilan laskiessa noin  $-12\text{ °C}$ :seen. Tietenkin lämmönsiirtokyky heikkenee, kun veden määrä vähenee, vedellä siis erinomainen ominaislämpökapasiteetti verrattuna etanoliin. Taulukossa 1 on esitetty  $+5\text{ °C}$ :n ja  $0\text{ °C}$ :n eri liuoksien ominaisuuksia.

Taulukko 1. Liuksien ominaisuuksia erivahvuuksina [1]

LIUKSEN KESKILÄMPÖTILA +5 °C							
Lämmönsiirtoaine	Liuksen vahvuus til-%	Jäätymispiste	Tiheys	Kinemaattinen viskositeetti	Ominaislämpökapasiteetti	Lämmönjohtavuus	Prandtin luku
		$T_f$ °C	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\nu$ 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s	$c_p$ J/(kgK)	$\lambda$ W/(mK)	$Pr = \nu c_p / \lambda$ -
Etyleeniglykoli	25	-12,6	1043	3,01	3736	0,47	25,2
	30	-16,1	1052	3,46	3641	0,45	29,7
	35	-20,2	1068	3,97	3452	0,44	33,2
Propyleeniglykoli	30	-13,4	1038	5,56	3830	0,42	52,6
	35	-17,2	1043	6,98	3770	0,40	68,6
	40	-21,7	1048	8,82	3690	0,38	89,8
Freesium	17	-10	1115	1,68	3605	0,53	12,4
	21	-15	1147	1,73	3348	0,52	12,8
	25	-20	1181	1,83	3208	0,52	13,3
Etanoli	25	-11	974	1,58	3830	0,44	13,4
	36	-19	963	1,57	3640	0,39	14,2
Vesi	-	0	1000	1,79	4217	0,55	13,6

LIUKSEN KESKILÄMPÖTILA 0 °C							
Lämmönsiirtoaine	Liuksen vahvuus til-%	Jäätymispiste	Tiheys	Kinemaattinen viskositeetti	Ominaislämpökapasiteetti	Lämmönjohtavuus	Prandtin luku
		$T_f$ °C	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\nu$ 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s	$c_p$ J/(kgK)	$\lambda$ W/(mK)	$Pr = \nu c_p / \lambda$ -
Etyleeniglykoli	25	-12,6	1044	3,62	3722	0,46	30,6
	30	-16,1	1053	4,17	3625	0,44	36,1
	35	-20,2	1071	4,80	3433	0,41	43,0
Propyleeniglykoli	30	-13,4	1041	7,04	3820	0,42	66,7
	35	-17,2	1046	8,96	3750	0,40	87,9
	40	-21,7	1051	11,5	3680	0,38	117,0
Freesium	17	-10	1117	1,86	3500	0,52	14,0
	21	-15	1149	1,92	3340	0,51	14,4
	25	-20	1183	2,03	3200	0,51	15,1
Etanoli	25	-11	976	1,79	3830	0,44	15,2
	36	-19	965	1,78	3640	0,38	16,5
Vesi	-	0			Jäätymispisteessä		

Kun lämpöenergia on johdettu kylmäprosessiin, sen lämpötilantaso nostetaan kompressorikoneiston avulla ja lämpö siirretään kylmäaineesta lauhdutus lämmönsiirtimen kautta lämmitysverkoston veteen. Lämpöpumpun tuottaman veden lämpötilaa voidaan ohjata suoraan lämmityspiirin tarvittavan veden lämpötilan mukaisesti. Jos järjestelmään on kytketty käyttöveden lämmitysmahdollisuus, voidaan lämpöpumpulta tuleva vesi johtaa vaihtventtiilillä kuvassa 4 tai sekoitusventtiilillä kuvassa 3 käyttövesisäiliöön, jossa on erillinen kierukkalämmönsiirrin käyttövedelle sisällä. Joissain lämpöpumppu-malleissa on mahdollisuus hyödyntää tulistuslämpöä käyttöveten erillisellä tulistuslämmönsiirtimellä. [4; 9.]



Kuva 3. Esbe-sekoitusventtiili [11]

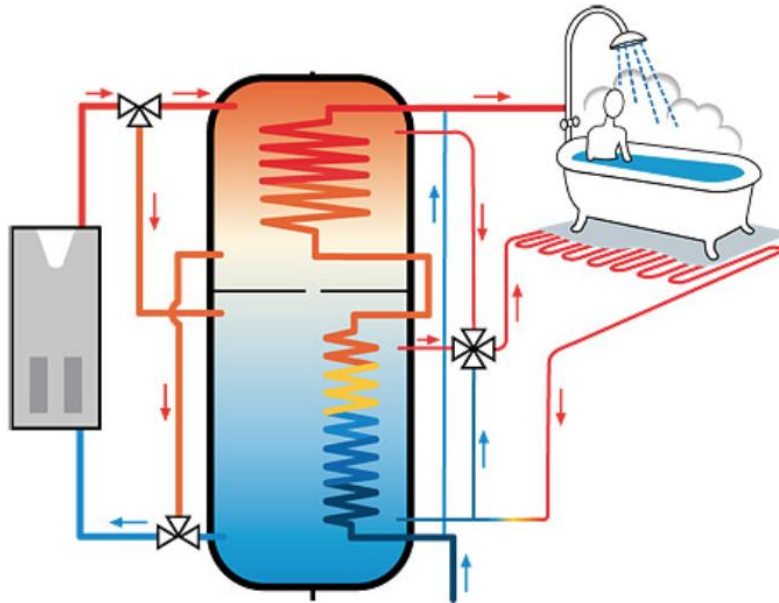
Sekoitusventtiilillä voidaan säätää lämpimän menoveden kulkusuuntaa tarpeen mukaisesti, eli venttiilillä pystytään johtamaan kuumaa vettä tarvittaessa käyttövesivaraajaan ja lämmitysjärjestelmään samanaikaisesti. Sekoituksen ideana on saada tasainen tuotto järjestelmään ja paras mahdollinen hyöty lämpöpumpusta. [4]



Kuva 4. Esbe-vaihtoventtiili [11]

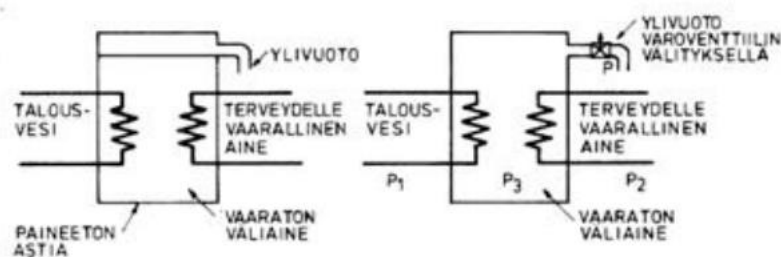
Vaihtoventtiili vaihtaa veden kulku suuntaa tarpeen mukaan. Vaihtoventtiili ei pysty johtamaan vettä kahteen eri suuntaan samanaikaisesti. Venttiili liikkuu ohjaustiedon mukaisesti, kun esimerkiksi lämpimän käyttöveden tarve nousee, venttiili kääntää kuuman menoveden käyttövesisäiliöön, jolloin lämmityspiirin ei mene lämmintä vettä lämpöpumpun kautta. Kuvassa 5 nähdään varaaja, jossa esilämmitetään käyttövesi varaajan alaosassa ja yläosassa lämmitetään käyttövesi loppuun. Kuvan varaajassa on myös lämmityspiirille lähdöt. Nelitieventtiili säätelee lämmityspiirin menoveden lämpötilaa tarpeenmukaisesti, joko ottamalla varaajan alaosasta vettä ja sekoittamalla

sitä paluuputken veteen, jolloin vesi lämpenee lämmityspiirissä tai jos lämmintä vettä ei riitä lämmitysjärjestelmään, sekoitetaan vettä varaajan yläosasta lämmityspiiriin.



Kuva 5. Lämminvesivaraaja kierukalla [12]

Lämminvesivaraaja, jossa käyttövesi lämpenee varaajan sisällä olevassa kuparikierukassa. Tässä tulee täytetyksi myös määräys, jossa talousvesi (käyttövesi) ei saa olla kylmäaineen kanssa samassa lämmönsiirtimessä, joten kytkennässä kylmäaineen ja talousveden välillä on lämmityspiirinväliaine. Kuvassa 6 havainnollistetaan, miten esimerkiksi kylmäaine, joka on luokiteltu vaaralliseksi, erotetaan talousvedestä.



Kuva 6. Rakentamismääräyskokoelman D1 mukainen kytkentä terveydelle vaaralliselle aineelle ja talousvedelle. [13]

Lämpöpumppuyksikkö tai -yksiköt käyttävät poistoilmasta saadun energia ja tekevät siitä lämpöä tarpeen mukaan. PILP-järjestelmissä käytetään yleensä invertteriohjattua kompressoria parhaimman hyötysuhteen saavuttamiseksi [4]. Invertteriohjatulla kompressorilla varustettu lämpöpumppu ei ole pakollinen, kun energialähde pysyy käytännössä vakiona. [2] Kuvasta 7 selviää Thermian Mega-lämpöpumppujen ulkonäkö.

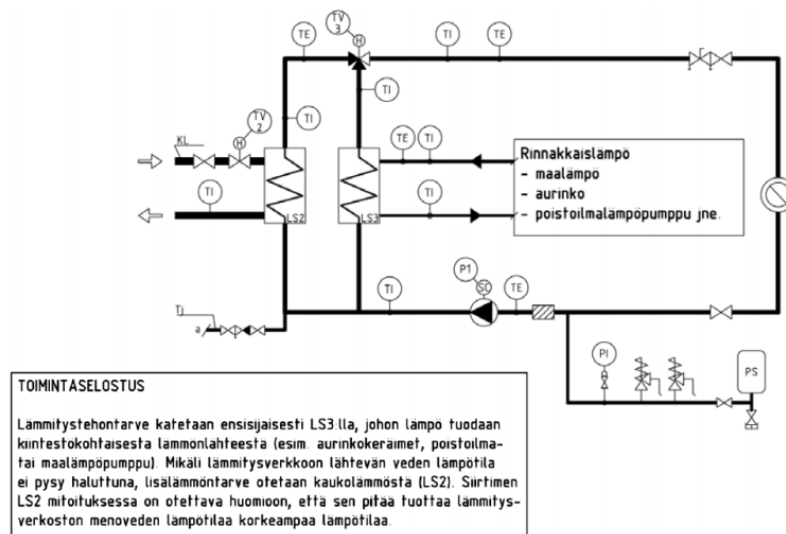


Kuva 7. Thermia Mega -maalämpöpumppu [14]

Lämpöpumput poistoilman lämmön talteenotossa ovat käytännössä samoja laitteita, joita käytetään maalämpöpumpuissa. Kuvassa 7 on yleisesti käytetty lämpöpumppumalli PILP-järjestelmiin. Jos kiinteistöön tehdään maalämmön uusinta tai siirytään kaukolämmöstä maalämpöön, lisätään järjestelmään samalla poistoilman lämmön talteenotto. [1; 4.]

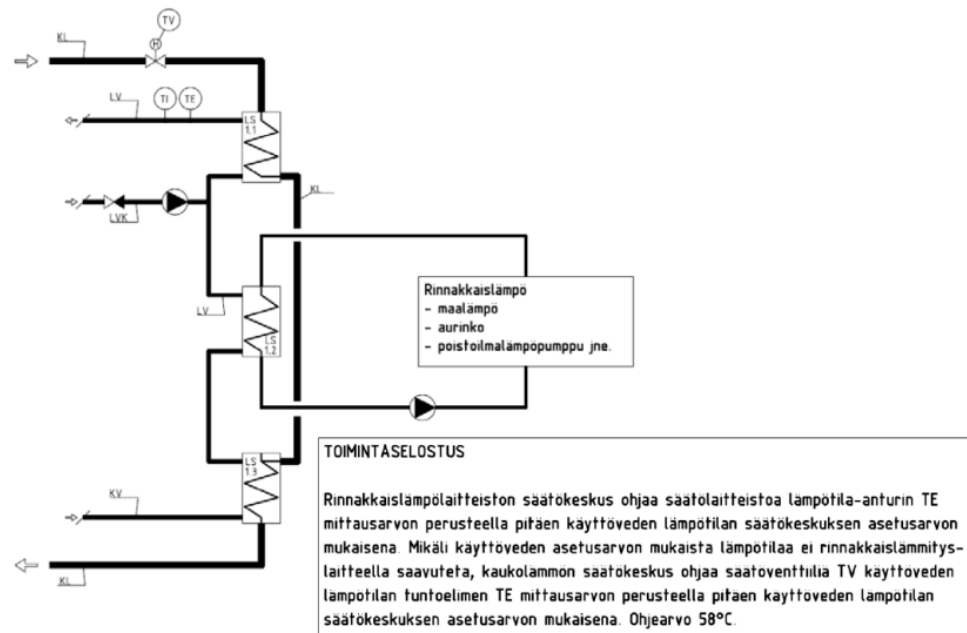
## 2.2 Kaukolämmön rinnalle kytkentä

PILP-järjestelmät kytketään kaukolämmön rinnalle, kun lämpöpumppuyksikkö ei pysty kattamaan täysin lämmitystehontarvetta kiinteistölle. Kaukolämmön rinnalle kytkennässä on tärkeää huomioida vaatimus kaukolämpöveden jäähtymälle, jonka paikallinen kaukolämpöyhtiö määrittää. Myös muita kaukolämpömääräyksiä ja -ohjeistuksia tulee noudattaa. [9.] Kuvissa 8 ja 9 on esitetty kytkentätapoja kaukolämpöön K1-ohjeistuksien mukaisesti.



Kuva 8. Rinnakkaisen lämmöntuotantotavan kytkentä kaukolämmönjakokeskuksessa [15]

Rakennusten kaukolämmitys – Määräykset ja ohjeet [9] opastavat PILP:n asennusta kaukolämmön rinnalle kytkennällä, jolla saadaan riittävä jäähtymä kaukolämmölle. ohjeistuksessa Myös ohjeistetaan käyttöveden kytkentä järjestelmään. (Kuva 9.) [9]

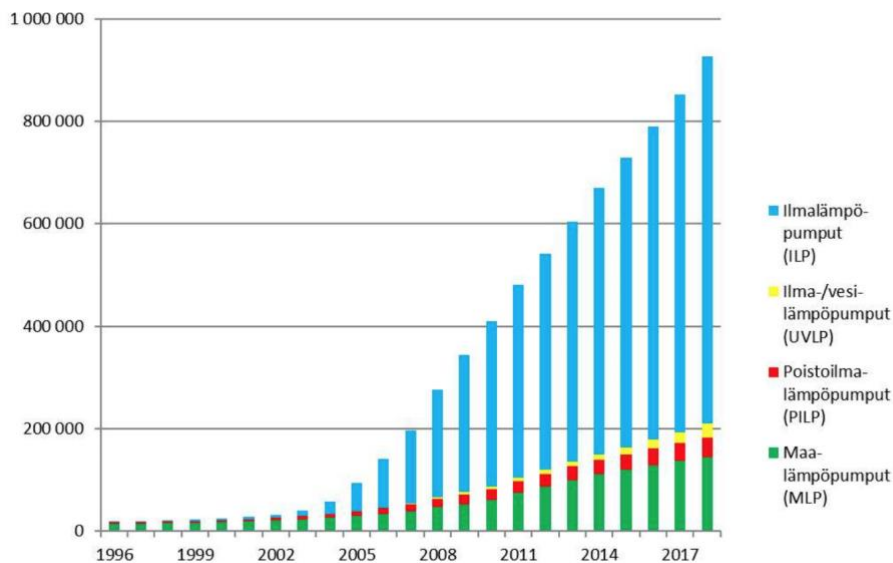


Kuva 9. K1/2013 käyttöveden kytkentäkaavio PILP:n rinnalle [15]

Tässäkin kytkentätavassa varmistetaan kaukolämpöveden jäähtymä, joka toisaalta heikentää lämpöpumpun hyötysuhdetta. Lämpöpumput saavat parhaimman lämpökertoimen, eli hyötysuhteen, kun lämpöpumpun tuottama lämpö pysyy matalalämpöisenä. Esimerkkinä lämpöpumpun vuotuinen hyötysuhde eli SCOP-arvo on parempi lattialämmitysjärjestelmissä kuin radiaattori lämmityksessä. Tällaisessa kytkentätavassa suosittelemme käyttämään kierukkavaraajia, jotta jäähtymä tehostuisi käytössä.

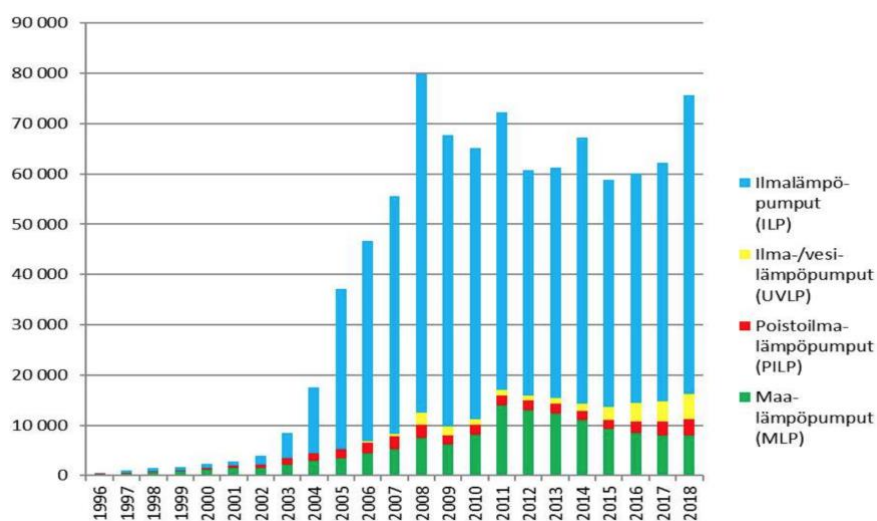
### 2.3 Sulpun tilastot

Suomen Lämpöpumppuyhdistys, Sulpu ylläpitää lämpöpumppujen myyntitilastoja Suomessa. 2000-luvun alusta lämpöpumppujen määrä on ollut voimakkaassa nousussa. [5.] Kuvassa 10 näkyy lämpöpumppujen yleistymisen viime vuosina ja kuvassa 11 lämpöpumppujen myyntiluvut vuosittain.



Kuva 10. Käytössä olevien lämpöpumppujen määrän kehitys vuodesta 1996 vuoteen 2018 [5]

Lämpöpumppuja myydään nykyään vuosittain noin 60 000 kappaletta, suurin osa myydyistä lämpöpumpuista ovat teholuokaltaan pieniä ilmalämpöpumppuja. Pienien ilmalämpöpumppujen lämmitys- ja jäähdytystehot alle 6 kW. [5] Vuoden 2018 lämmin kesä näkyi Sulpun myyntitilastoissa yli 20 %:n kasvuna, ja tuon kesän vaikutukset näkyvät alalla vielä vuonna 2019. [3]



Kuva 11. Myydyt lämpöpumput, kappaletta [5]

Myyntitilastosta (kuva 11) voi huomata, että vuosittain myytyjä PILP-järjestelmiä ei juurikaan prosentuaalisesti ole paljon muihin lämpöpumppuratkaisuihin verrattuna. Taulukossa 2 näkyy myyntitilastoja mitoitusstehon mukaisesti jaoteltuna.

Taulukko 2. Sulpun tilasto 2017–2018 myydyistä lämpöpumpuista ja niiden teholuokista.

Lämmönlähde	Lämmönjako	Vuosi	Mitoituslämpöteho (kW)					Yhteensä	Muutos %
			0-6	7-10	11-25	26-100	101-1000		
Ulkoilma	Vesi (UVLP)	2018	365	2968	1519	172	0	5024	21,4 %
		2017	175	2539	1184	237	3	4138	
	Ilma (ILP)	2018	56878	2131	324	62	0	59395	25,6 %
		2017	45403	1541	230	107	0	47281	
Poistoilma	Vesi, ilma (PILP)	2018	3187		15	0	0	3202	17,6 %
		2017	2699	1	22	0	0	2722	
	Ilma (PILP)	2013	0	0	0	0	0	0	
		2012		0	0	0	0	0	
Maa, vesi, kalli	Vesi, ilma (MLP)	2018	1940	2366	2826	852	11	7995	0,1 %
		2017	1842	2720	2554	864	6	7986	
Yhteensä		2018	62370	7465	4684	1086	11	75616	21,7 %
		2017	50119	6801	3990	1208	9	62127	

Myyntitilastoista huomataan PILP-järjestelmien heikko kanta 11–25 kW:n luokassa, johon kerrostalokiinteistöjen PILP-järjestelmät sijoittuvat. [5] Tulevaisuuden näkymät tälle kokoluokalle näyttävät selkeää nousua [3].

### 3 Työkalu

Laskentataulukko koostuu monesta eri välilehdestä, joita kuvataan seuraavassa vaiheittain.



### 3.2 LTO-lämmönsiirtimen valinta

Lämpöä poistoilmasta liuokseen siirtävän lämmönsiirtimen valinta tapahtuu todellisen lämpötilamittauksen perusteella ja todellisella ilmavirralla. Jos rakennuksessa on tehostettu jakso ilmanvaihdolle, voidaan säätää ilmavirta talon tilavuuden mukaisesti tai puolittaa tehostuksen ja normaali ilmavirran erotus ja lisätä se normaali ilmavirtaan. Oletetaan suhteelliseksi kosteudeksi 26 %, jonka Tampereen teknillinen yliopisto ja Teknillinen korkeakoulu olivat tutkineet vuosina 2005–2008. [1.] Tarkemmassa mittauksessa otetaan huomioon suhteellinen kosteus trendimittauksena. Suhteellisen kosteuden merkitys korostuu kesätilanteessa, jolloin ulkoilman suhteellinen kosteus voi nousta merkittävästi. Tämä vaikuttaa suoraan poistoilman kosteuteen.

Poistopuhaltimet käydään yksittäin tässä kohdassa ja oletetaan poistoilman lämpötilan olevan sama kaikissa									
Ilmavirta:	1	m <sup>3</sup> /s							
Lämpötila	23	°C							Huom! Lämpötila pitää olla mitattui
jäähdytetään	-1	°C :seen							-1 asetetta ohjearvo
ilmantiheys	1,2	kg/m <sup>3</sup>							
Patterin teho	28,8	kW							
Putkikoko keruupiirille:									
Virtausnopeuden lasku									
lämpötilaero	cp	kg/s	kg/l	l/s					
4	3,64	1,98	0,965	2,05					
muovi 63									Piltit hinta: valitse 1 kpl
									euroa kpl
									koja 10000 0
Aine naturet etanoli									retermia 16000 1
									Total 16000 e

Kuva 13. Lämmöntalteenottolämmönsiirtimen välilehti

Välilehdestä on tehty erittäin yksinkertainen täyttää. Tavoitteena on nopeuttaa kohteessa oloaika kartoitusta tehdessä. Siitä huolimatta välilehdeltä löytyy kaikki tarvittava.

- Ilmavirrasta ja poistoilman lämpötilan avulla saadaan patterille teho, joka olisi hyödynnettävissä PILP-järjestelmään. Ilmavirta tarkoittaa tässä jatkuvaa keskimääräistä virtaamaa.

- Liuoksen tilavuusvirran pysyessä arvona alle 2,8 l/s on turvallista käyttää muoviputkea sisähalkaisijaltaan 63, kun putkimatka ei ylitä 35 m:ä. Putken mitoitus käydään myös tarkemmin varsinaisessa lvi-suunnitellussa.
- Poistoilman LTO-lämmönsiirtimien määrä on sama kuin ensimmäisellä välilehdellä syötetty poistopuhaltimien määrä. Jos talteenottokejojen määrä on suurempi ja niiden ilmavirrat ovat samat, voidaan kopioida laskentasolut. Voidaan myös yhdistää pienempiä ilmavirtoja yhteen kojeeseen, jos se on teknillisesti mahdollista. Tästä osiosta on erillinen ohjeistus käyttäjille. Yleensä vanhat poistoilmapuhaltimet ovat porraskohtaisia, ja niiden ilmavirrat ovat samansuuruiset.

### 3.3 Lämpöpumpun valinta

Lämpöpumpun valinta on tehty helpoksi, koska laskurissa on suorituskykytiedot vain yhdeltä lämpöpumppuvalmistajalta, jonka laitteesta työntilaajayrityksellä on hyvät kokemukset sekä laadun että PILP-järjestelmiin soveltuvuuden osalta.

Valitse lämpöpumppu tehon mukaan			
Katolla olevan liuos patterin teho	28,8	kW	
Pattereiden määrä	1	kpl	
Kerupiirin potentiaalinen teho	28,8	kW	
Laitteet:	kpl	hinta	e
Thermia Mega s 10-33kW		14270	0
Thermia Mega m 14-44kW	1	16148	16148
Thermia Mega L 14-59kW		17924	0
Thermia Mega XL 21-88kW		19901	0
		Summa	16148 euroa alv.0%

Kuva 14. Lämpöpumpun valinta-välilehti

Lämpöpumppu kannattaa mitoittaa hieman ylitehoiseksi kartoitus- ja määrittelyvaiheessa. Kun varsinaiset laskelmat poistoilmasta saatuun tehoon tulevat, on lämpöpumpulla kapasiteettia käyttää energia hyödyksi. Mikäli kohteeseen tulee myös kaivokenttä, valitaan yksikkö/yksiköt suunnitelmien mukaisesti ja vähennetään porausmetrejä poistoilmasta saadulla energian määrällä. [2.]

### 3.4 Investointi ja takaisinmaksu

Investointiosiossa valitaan työhön kuuluvat toimenpiteet, joiden pohjalta kokonaisinvestoinnin suuruus määräytyy. Investoinnin hinnasto tulee erillisestä välilehdestä, jota ei tässä opinnäytetyössä käydä läpi. Hinnastot ovat aina yrityskohtaisia. [7] Hinnastot määräävät investoinnin kokonaissumman, minkä jälkeen voidaan laskea investoinnille takaisinmaksuaika perustuen vuosittaisiin säästöihin, joita PILP-järjestelmä tuottaa.

Investointi:	78040 e			
Liuospiiri:				
	Kevyt	Tiili	Betoni	
Läpivientien määrä	1	0	3	1220 e
Kerroksien määrä	8 kerrosta			
Putkituksen pituus	35 m			2451 e
Kulmien määrä	10 kpl			
Putkikoko	63 mm			
	Kevyt	Keskiverto	Raskas	
Silvoustertoja	3	2	1	1200 e
Kattoyksiköiden määrä	1			
Sisäyksiköiden määrä	1			
Varaaja määrä	2			9437 e
Vaikeustaso sisätiloissa	tilava	ahdas	vaikea kuljetus	
	0	1	1	
Arvioitu kokonais tunti määrä	240 h			25200 e
Etäisyys toimipisteestä	10 km			384 e
LVI-suunnittelu	1 kpl			5000 e
Lupahakemukset/selitykset	1 kpl			1000 e

Kuva 15. Investointi välilehti



## 4 Käyttökokemukset ja kehitystarpeet

Laskurin valmistumisen jälkeen se lähetettiin Airco Oy:n myyjälle, johtajalle ja opinnäytetyön ohjaajalle. Tarkoituksena oli saada käyttäjäkokemuksia ja mahdollisia kehitystarpeita.

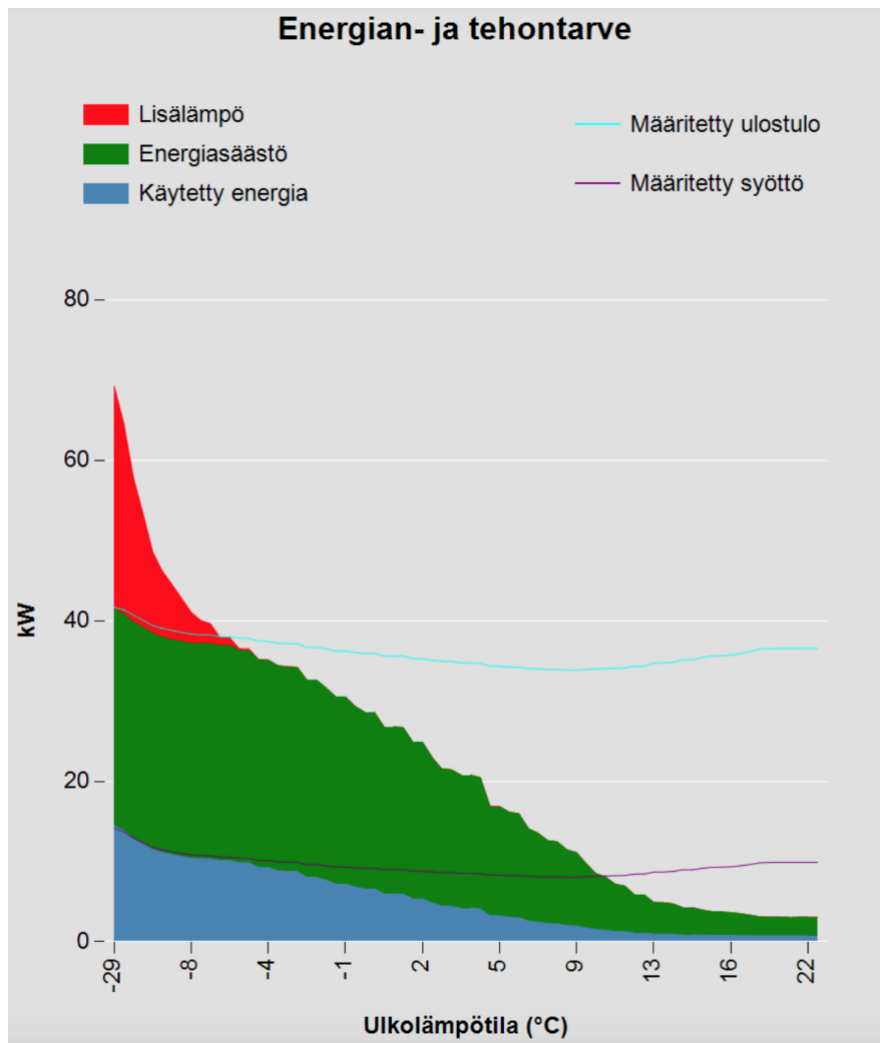
Muutamit suorat lainaukset Airco Oy:n puolelta [Tommi Hykkyrä 2019]

Helppokäyttöinen ja selkeä laskentaohjelma helpottaa huomattavasti kohdelaskentaa. Ohjelmassa hyvin huomioitu myös alihankintana suoritettavat työt, kuten nostot ja asennukset. Myös tekninen laskenta on hyvin huomioitu. Ohjelman avulla saadaan nopeasti oikea suunta kustannuksille ja säästöille.

Myyjältä kommentti [Tero Siponen 2019]

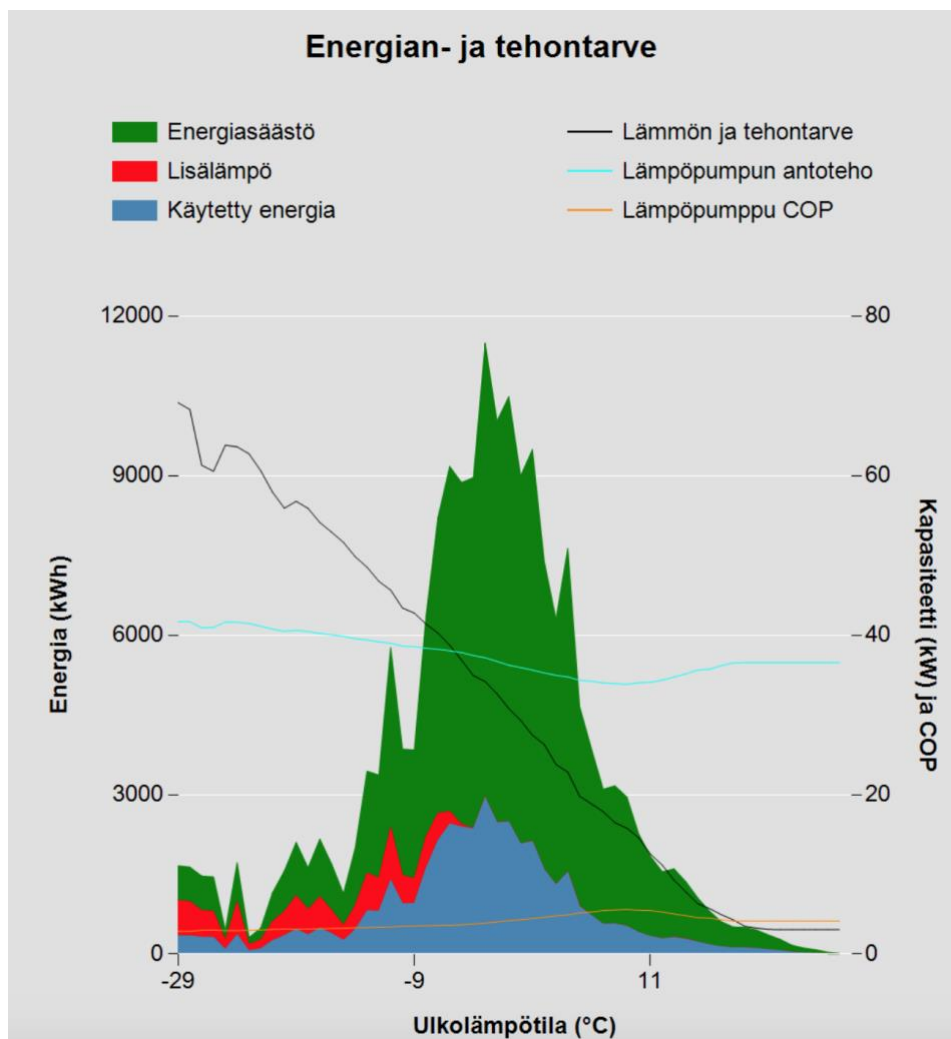
Laskentaohjelma on kätevä apuväline mitoitettaessa laitteistoja ja laskettaessa energiakulutuksia. Uskon käyttäväni taulukkoa hyödyksi myydessäni järjestelmiä varsinkin vanhojen kaukolämpöjärjestelmien rinnalle tai saneerauskohteisiin. Maalämpöpuolella mitoitusohjelmia onkin, muttei ehkä näin helppokäyttöisiä. Tämä ohjelma on tehty ymmärtäen tekniikkaa ja myöskin sitä, mikä on tarpeellista tietää ja hyödynnetty muutakin osaamista kuin kirjatietoa – käytännön ymmärrys kenttäolosuhteista näkyy ohjelmassa

Kehitystarpeena laskuri voisi jatkossa tuottaa jonkinlaista grafiikkaa energiasäästöjä ajatellen. Kuvassa 17 näkyy niin sanottu tehopeitto, eli lämpöpumpusta saatavan energian jakautuminen vuositasolle ja lämmityksen lisäenergian tarve esimerkiksi kaukolämmöstä.



Kuva 17. PILP-järjestelmä Thermian laskentasovelluksella

Esimerkilaskelma Thermian laskentasovelluksella näyttää lisäenergian tarpeen lämpöpumpun rinnalle jo ulkolämpötilan laskiessa  $-6\text{ °C}$ :seen.



Kuva 18. PILP-järjestelmä ja lisälämmön energiaosuudet eri ulkolämpötiloilla

Kuvasta 18 huomataan hyvin, missä olosuhteissa PILP-järjestelmästä saa parhaimman hyödyn. Kuvassa on lämmityksen tehontarve kuvattu mustalla ohuella viivalla, joka nousee talviolosuhteissa yli 60 kW reilusti. Pumpun hyötysuhteesta kertova COP-arvo pysyy melko tasaisena koko kuvaajan, Tällöin myös lämpöpumpun antoteho pysyy lähes vakiona. Tämänlainen kuvaaja olisi hyvä myös omaan laskentasovellukseen.

Tässä olisi varmasti hyvä pohja parantaa laskentasovellusta ja saada siitä riittävän tarkka, jotta sitä voitaisiin käyttää varsinaiseen PILP-järjestelmän suunnitteluun.

## 5 Kerrostalo Lahdessa

*Taustatiedot: kerrostalo, 5 kerrosta, asuntojen määrä 21, rakennusvuosi 1996, kaukolämpö, ilmanvaihto koneellinen poisto.*

Laskentasovelluksen avulla tehtiin arviointilaskelma PILP-järjestelmän sopivuudesta kohteeseen, jossa haettiin uusia energiaratkaisua säästöjen saamiseksi ja ympäristöpäästöjen vähentämiseksi.

Sovelluksen lähtötietoihin (kuva 19) syötettiin

- asukasmäärä
- pinta-ala
- rakennuksen tilavuus
- kaukolämpöenergia kulutus MWh
- sähköenergian kulutus MWh
- käyttöveden lämmityksen osuus
- poistoilmapuhaltimien määrä ja lämmitysverkoston menoveden lämpötila.

Paivamaara:	1.3.2019		
Paikkakunta:			
Osoite:			
Yhteystiedot:	Joonas Ikonen		
Rakennusvuosi:	1996		
Kerrokset:	5		
Poistoilmapuhaltimien määrä:	1		
Asuntojen määrä:	21		
Asukkaiden määrä:	50		
Rakennuksen pinta-ala:	1639		
Rakennuksen tilavuus:	5760		
Kaukolämpöenergian lämmitys:	165	MWh/v	13830
Sähköenergian kulutus vuosittain:	14	MWh/v	1700
Vesi m3,josta 30% lv	1520	m3	6549
Kaukolämpöenergian kulutus vuosittain:	189	MWh/v	
Lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötilat ulkolämpötilan ollessa -20°C 55/65/75			
	55°C	65°C	75°C
	1		
Energian kulutus kWh/m3	30	45	60
		1	
LV:v osuus Käyttövedestä	30 %	40 %	50 %
	1		

Kuva 19. Esimerkkikohteesta lähtötiedot

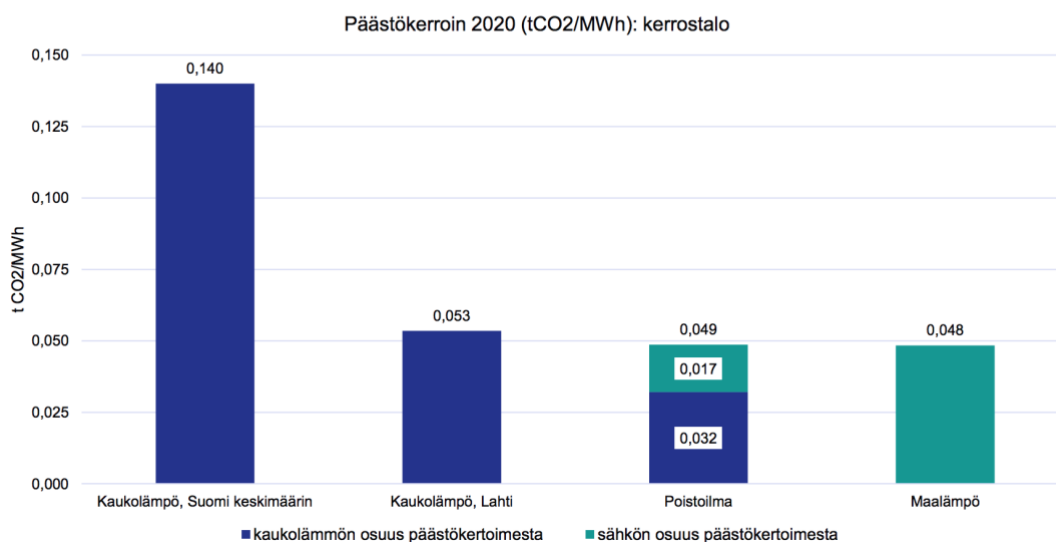
Suoritetut mittaukset ja tarkastelut kohteessa olivat

- poistoilman lämpötila asteina
- poistoilman virta, m<sup>3</sup>/s
- asennukseen vaadittavat työt.

Loppupäätelmä esimerkkikohteesta on, että PILP-järjestelmän hankinta tuo taloyhtiölle noin 6 600 euroa vuodessa säästöä lämmityskuluihin ottamatta huomioon energian hinnan nousua. Ilmastopäästöjen vaikutus uuden energiajärjestelmän käyttöönotolla on merkittävä. Kuvasta 20 nähdään kaukolämmön ja PILP-järjestelmän CO<sub>2</sub>-päästöjen eroavaisuus.

#### KERROSTALO

- Tyypikohde 400 MWh/v



Kuva 20. Päästökertoimet kerrostalossa lämmönlähteestä riippuen [16]

Päästökertoimet kertovat tuotetun energiamäärän ja tuotetun hiilidioksidipäästöjen määrän.

Kokonaisinvestoinnin takaisinmaksuaika on noin 12 vuotta, mutta jos laskentaan huomioidaan energian hinnan nousu, takaisinmaksuaika tippuu 10 vuoteen. Yleisesti PILP-järjestelmän elinkaari ulottuu vähintään 20 vuoteen.

Vanha järjestelmä				
Kaukolämpöenergian kulutus vuosittain:				189 MWh
Sähkönenergian kulutus vuosittain:				14 MWh
Uusi järjestelmä				
Investointi				78040
Jäännösarvo				0
Arvioitu kaukolämpöenergian kulutus vuosittain:				76
Arvioitu sähköenergian kulutus vuosittain:				36
Vanhan ja uuden sähkö erotus				-23 MWh
Vanhan ja uuden kaukolämpö erotus				113 MWh
Säästö euroissa				
		vanha	uusi	säästö
	kaukolämpö	15669	6268	9401 e
	sähkö	1700	4486	-2786
	yht			6615 e
Tarkastelu jakso				
			20 v	
Takaisinmaksuaika				
			12 v	
Energiakustannuksien säästö				
		6615	euroa vuodessa	
Energian reaalihinnan nousu				
		2,00 %		
Lämmitysenergian hinta				
		83	€/MWh	
Sähkön hinta				
		123	€/MWh	

Kuva 21. Tiedot Lahden kohteesta takaisinmaksu-välilehdeltä

Jatkokehitystarpeena on kehittää laskentasovellukseen päästölaskuri, jossa voidaan selkeästi ilmaista ja todentaa päästövaikutusten merkitys kohteessa. Ilmastonmuutokseen ja kasvihuonekaasujen syntymiseen vaikutetaan säästämällä energiaa ja suosimalla uusiutuvaa energiaa. Uuden lämmitysratkaisun valinta ja sen merkitys hiilijalanjälkeen tulee merkitsevä rooli ja sen vuoksi jatkossa kytkeä laskentaan mukaan.

## 6 Pohdinta

Sovellustyökalua tehdessä tuli vastaan monia muuttujia, joita oli vaikea saada yksinkertaisesti koottuna toimimaan Excelliin. Yksinkertaista työkalua ”ei talotekniikan

osaajille” oli vaikea laatia, varsinkin kun yksinkertaisilla ja ymmärrettävillä lähtötiedoilla pitäisi päästä lopputulokseen, jonka voisi näyttää suoraan asiakkaalle.

Laskentasovellusta laadittaessa kohdattiin useisiin muuttuviin ongelmiin, joihin täytyi etsiä ratkaisu. Ongelmia, joihin törmättiin, olivat mm. talon energiatehokkuus ja lämmityspiirin menoveden lämpötila. Tarkastelussa tuli huomioida näiden tekijöiden vaikutus PILP-järjestelmän tehokkuuteen ja investoinnin takaisinmaksuun.

PILP-järjestelmä ei ole helpoimmasta päästä kartoittaa ja tehdä energiansäästölaskelmia. PILP-järjestelmän kokonaisuuteen on todella monta erilaista toteutustapaa, jotka vaikuttavat energiansäästöihin. Laskentasovellus on loistava apu tulevaisuudessa yritykselle ja varsinkin sovellusta käyttäville myyjille. Sovelluksen avulla pysytään raiteilla kartoituskäynneissä ja muistetaan ottamaan huomioon merkittäviä kohtia PILP-järjestelmää suunniteltaessa. PILP-järjestelmät tulevat yleistymään Suomessa merkittävästi vuosien varrella, energiansäästöjen ja ympäristötekojen ansiosta. PILP-järjestelmille luvataan jo mahtavia takaisinmaksuaikoja, mutta tuntuvat vähän liioitelluilta. Tavoitteet realistisista investoinnin takaisinmaksuajoista olisivat seitsemästä vuodesta seitsemääntoista vuoteen, ottaen huomioon kaikki mahdolliset muutokset, jota PILP-järjestelmä tuo tullessaan.

## 7 Yhteenveto

PILP-järjestelmä on lämpöpumpulla toimiva lämmitystapa kiinteistölle. Poistoilmalämpöpumppu koostuu lämpöpumppuyksiköstä, keruupiiristä ja poistoilman energian talteenotosta. PILP-järjestelmät ovat yleisiä pientaloissa, mutta järjestelmän käyttöönotot kerrostalokiinteistöissä ovat jatkuvassa nousussa.

Tilaaajayritys työlle oli Päijät-Hämeessä toimiva Airco Oy. Yritys toimittaa lämpöpumppuratkaisuja, pientalojen kokoluokasta suurien tehdaskiinteistöjen lämmitystai jäähdytysratkaisuihin. Tilaaajayrityksessä oli havaittu tarve helppokäyttöiselle hinnoittelun ja kustannuslaskennan laskentasovellukselle myyntityön tueksi.

Työn tavoitteena oli kehittää laskentasovellus, jolla voidaan arvioida poistoilmalämpöpumpulla saatavaa energian ja rahan säästöä sekä laitteiston hankintakustannuksia kaukolämpöön liitetyille kiinteistöille, joissa on koneellinen poistoilma.

Työ toteutettiin kirjallisuustutkimuksena, omakohtaisin laskelmin, keräämällä hintatietoja tilaajayrityksen ja yhteistyökumppaneiden tietokannoista sekä hyödyntämällä omaa sekä tilaajayrityksen kokemusperäistä tietoa

Työn tuloksena on laskentasovellus, jolla yleensä helposti saatavilla olevien rakennuksen lähtötietojen avulla voidaan nopeasti laskea karkea arvio saatavalle kaukolämpöenergian säästölle ja tarvittavalle lisäsähkölle. Työn erityinen painopiste on järjestelmän hinnoittelussa. Laskurilla saadaan vähäisillä lähtötiedoilla karkea arvio järjestelmän hankintakustannuksista. Kannattavuuden arvioinnissa käytetään takaisinmaksuajan menetelmää ja nykyarvomenetelmää.

Työn esimerkkikohteena oli viisikerroksinen asuintalo, jonka rakennustilavuus oli 5 760 m<sup>3</sup> ja jossa oli 21 asuntoa. Laskurilla saatiin investointikustannukseksi n. 78 000 €, vuotuisiksi säästöiksi n. 6 600 €/v ja takaisinmaksuajaksi n. 12 vuotta.

Energialaskennassa on useita kehittämistarpeita, kuten lämmitysverkoston toimintalämpötilojen ja rakennuksen ominaislämmön kulutuksen vaikutuksien tarkempi laskenta vaikutuksien tarkempi laskenta. Myös tulosten graafista esitystapaa on tarpeen kehittää. Lähiajan kehityskohteena on lisätä poistoilmalämpöpumpun vaikutus rakennuksen CO<sub>2</sub>-päästöihin.

## Lähteet

- 1 Keinänen, Mikko. 2016. Poistoilmalämpöpumppu asuinkerrostalossa. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 2 Jormakka, Juho. 2015. Lämmöntalteenotto kerrostalon poistoilmasta poistoilmalämpöpumpulla. Opinnäytetyö. Mikkelin Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 3 Hykkyrä, Tommi. 2019. Yrittäjä. Airco Oy, Orimattila. Keskustelu
- 4 Rytkönen, Ilkka. 2019. Myyntipäällikkö – kiinteistölämpöpumput. Thermia Finland Oy. Keskustelu
- 5 Lämpöpumpputilasto 2014. 2015. Verkkoaineisto. Suomen Lämpöpumppuyhdistys.  
<[https://www.sulpu.fi/documents/184029/208772/L%C3%A4mp%C3%B6pumppu tilasto%202014.pdf](https://www.sulpu.fi/documents/184029/208772/L%C3%A4mp%C3%B6pumppu%20tilasto%202014.pdf)>
- 6 Poistoilmalämpöpumppu (PILP) kaukolämpöaloon: ohjeet suunnittelijalle. 2017. Verkkomateriaali. Energiategollisuus.  
<[https://energia.fi/files/2137/Poistoilmalampopumppu\\_kaukolampotaloon\\_ohjeet\\_ suunnittelijalle.pdf](https://energia.fi/files/2137/Poistoilmalampopumppu_kaukolampotaloon_ohjeet_suunnittelijalle.pdf)>
- 7 Siponen, Tero. 2019. Lämpöpumppujen myyjä. Airco Oy, Orimattila. Keskustelu
- 8 Lämpöä ilmassa. 2012. Verkkoaineisto. Motiva.  
<<http://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>> Luettu 11.09.2019
- 9 Verta, Taavi. 2015. Poistoilman lämmön talteenotto lämpöpumpulla lämmitys- ja käyttöveteen tai lämmönsiirtimellä tuloilmaan kaukolämpökerrostalossa. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 10 Naturet maalämpöneste. Verkkoaineisto. Talotuote <<https://www.talotuote.fi/MAALAMPONESTE-NATURET-16KG-60-RAAKA-LIUOS>>
- 11 Esbe 2012/13 Venttiilit ja moottorit. 2012. Luotettavia ja kestäviä energiaa säästäviä. Nopeita ja helppoja käsitellä. Verkkoaineisto. Esbe.  
<[https://www.alltube.fi/pdf/Esbe\\_luettelo.pdf](https://www.alltube.fi/pdf/Esbe_luettelo.pdf)>
- 12 AKVA Geo – soveltuu kaikkiin lämmönlähteisiin. 2013. Akvaterm. Verkkoaineisto.  
<[http://www.akvaterm.eu/fin/Lamminvesivaraajat/Akva\\_Geo.203.html](http://www.akvaterm.eu/fin/Lamminvesivaraajat/Akva_Geo.203.html)> Luettu 10.10.2019

- 13 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot määräykset ja ohjeet. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D1. Ympäristöministeriö
- 14 Thermia Mega. Verkkoaineisto. Thermia.  
<<https://www.thermia.fi/lampopumput/kiinteistolampopumput/mega-kiinteistolampopumppu/>> Luettu 30.10.2019.
- 15 Rakennusten kaukolämmitys - Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2013. Päivitetty 9.5.2014. Energiateollisuus ry
- 16 Lämpöpumppujen kustannus- ja ympäristövaikutusten arvionti suhteessa keskitettyyn lämmön tuotantoon Lahti energian alueella. 2019. Gaia Consulting Oy. Verkkoaineisto.  
<[https://www.lahtienergia.fi/application/files/3215/5808/4465/Lampopumppujen\\_kustannus-\\_ja\\_ymparistovaikutukset\\_4.4.2019.pdf](https://www.lahtienergia.fi/application/files/3215/5808/4465/Lampopumppujen_kustannus-_ja_ymparistovaikutukset_4.4.2019.pdf)> Luettu 30.10.2019



