

Lassi Saarinen

Kerrostalokohteen poistoilmalämpöpump-
pujärjestelmän kannattavuuden selvittä-
minen ja mallinnus simulointiohjelmalla

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Toukokuu 2014




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 20.5.2014	
Tekijä(t) Lassi Saarinen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka	
Nimeke Kerrostalokohteen poistoilmalämpöpumpputjärjestelmän kannattavuuden selvittäminen ja mallinnus simulointiohjelmalla		
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli tutkia poistoilmalämpöpumpun käyttöä ja investoinnin kannattavuutta vanhassa kaukolämmitteisessä asuinkerrostalokohteessa. Tarkoituksena oli myös tutkia simulointiohjelman avulla PILP- järjestelmän toimintaa ja erilaisten säätöjen vaikutusta järjestelmän tehokkuuteen.</p> <p>Ilmanvaihdon lämpöhäviöt aiheuttavat ison osan energiankulutuksesta vanhoissa kerrostalokohteissa, joissa on koneellinen poistoilmanvaihto ilman lämmöntalteenottoa. Tässä työssä tutkitussa kerrostalokohteessa poistoilmalämpöpumpulla voidaan lämmittää lämmitysverkoston paluuvettä ja käyttövettä päälämmönlähteenä toimivan kaukolämmön rinnalla. PILP- järjestelmä on ollut tutkittavassa kohteessa käytössä vuoden ajan.</p> <p>Työssä tehtiin järjestelmän investoinnin kannattavuuslaskelmat nettonykyarvomenetelmää apuna käyttäen ensimmäisenä käyttövuonna toteutuneen lämpöpumpulla tuotetun lämmön sekä lämpöpumpun ja apulaitteiden käyttämän sähköenergian kulutuksen perusteella. Laitteiston investointikustannus on varsin iso, mutta kannattavuuslaskelmien perusteella PILP- järjestelmän tuotto on hyvä ja takaisinmaksuaika lyhyt, joten investointi on kannattava.</p> <p>PILP- laitteiston simuloinnissa käytettiin Retermia Oy:n sisäiseen käyttöön tehtyä PILP- järjestelmä mallia, joka on luotu IDA- simulointiympäristön päälle. Simulointiohjelma oli vasta valmistunut ja tässä työssä ohjelmaa testattiin ensimmäistä kertaa. Ohjelman testaus jatkuu tämän työn jälkeen ja tulevaisuudessa sitä tullaan käyttämään suunnittelun apuvälineenä optimaalisten laitteiston toteutusvaihtoehtojen selvittämisessä. Simulointi antaa tulokset täysin optimaalisesti toimivalla järjestelmällä. Käytännössä toteutunut laitteiston tehokkuus ei ole aivan yhtä hyvä kuin simulointien tulokset. Simulointiohjelmalla pystyy kuitenkin vertailemaan erilaisia laitteiston säätöjä ja eri ratkaisuvaihtoehtoja ja tekemään totuudenmukaisia vertailuja.</p>		
Asiasanat (avainsanat) Lämpöpumppu, Kannattavuus, Energiansäästö, Poistoilma, Lämmöntalteenotto, PILP		
Sivumäärä 51 + 4	Kieli suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Heikki Salomaa	Opinnäytetyön toimeksiantaja Retermia Oy	

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis 20.5.2014
Author(s) Lassi Saarinen	Degree programme and option Building Services Engineering	
Name of the bachelor's thesis Survey of profitably and simulation of exhaust air heat pump system in multi-storey apartment block		
Abstract The purpose of this bachelor's thesis was to survey exhaust air heat pump applications and investments profitably on old multi-storey apartment block, which uses district heating. Another purpose was to survey working and influence of different type of adjustments of exhaust air heat pump by simulation program. Heat losses in air ventilation causes big part of energy consumption in old apartment block, where there is mechanical exhaust air ventilation without a heat recovery. In this system it's able to heat spaces of the building and service water by exhaust air heat pump in addition to district heating. Exhaust air heat pump system has been in use one year. Investment profitably estimates were made by using heat pump's realized heat energy yield and electric consumption of the first year. Investment cost of equipment is quite a big but yield is good and repayment period is short. Investment was found profitable. In simulation of exhaust air heat pump, simulation program was used which is private of Retermia Oy. This object was first test for this brand new simulation program. Testing the program will still continue. In future this program will be used as an instrument of system design. Simulation results were always optimal working results. Different type of adjustments can be compared with program and there were actual comparison.		
Subject headings, (keywords) Heatpump, Effectiveness, Energy saving, Exhaust Air, Heat Recovery		
Pages 51 + 4	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Heikki Salomaa	Bachelor's thesis assigned by Retermia Oy	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	ENERGIAREMONTIT	2
3	ENERGIA-AVUSTUS	6
4	LÄMPÖPUMPUT	7
5	POISTOILMALÄMPÖPUMPPU.....	10
5.1	Poistoilmalämpöpumput yleisesti	10
5.2	Poistoilmalämpöpumput kerrostaloissa	11
6	TUTKITTAVA KOHDE	12
7	TUTKITTAVAN KOHTEEN PILP- LAITTEISTO	14
7.1	LTOH.....	15
7.2	Lämmönsiirtoputkisto	18
7.3	Lämpöpumppu	20
7.4	Automaatio ja energiamittari	20
7.5	Varaajat ja LKV	20
7.6	Kaukolämpölaitteet	22
7.7	Patteriverkosto	22
8	POISTOILMALÄMPÖPUMPUN KYTKENTÄ	23
8.1	Tutkimuskohteen kytkentä.....	23
8.2	Rinnakkaislämmönlähteiden kytkentä.....	25
9	ENERGIANKULUTUS KERROSTALOISSA.....	27
9.1	Energiankulutuksen esittäminen ja hinnan muodostuminen	28
9.1.1	Lämpö	28
9.1.2	Sähkö.....	30
9.1.3	Vesi	31
9.2	Tutkimuskohteen energiankulutus.....	33
9.2.1	Lämpö	33
9.2.2	Sähkö.....	36
9.2.3	Vesi	36
10	SIMULOINTIOHJELMA PILP-MALLINNUKSEEN	37
11	KOHTEEN MALLINNUS SIMULOINTIOHJELMALLA.....	38

12	INVESTOINNIN KANNATTAVUUS	40
13	TULOKSET JA POHDINTA	43
	LÄHTEET	48

LIITTEET

- 1 Kannattavuuslaskut
- 2 Simulointitapaukset
- 3 Toteutuneet kulutukset

1 JOHDANTO

Suomessa on rakennusalalla valtavasti saneeraustöitä tulevina vuosina. Yksi syy on vanhasta rakennuskannasta johtuva rakenteiden korjaustarve. Toinen merkittävä tekijä on rakennusten suuri energiankulutus, joka energian hintojen noustessa on herättänyt kiinteistöjen omistajien huomion. Kiinteistöjen omistajat ja taloyhtiöt joutuvatkin har-kitsemaan ja vertailemaan erilaisia korjaustoimenpiteitä.

Erityisesti 1960- ja 70-luvulla on rakennettu paljon kerrostaloja, ja niiden energiare-montit ovat nyt ajankohtaisia. 1960-luvulta 2000-luvulle asti on kerrostalojen ilman-vaihdossa käytetty pääasiassa koneellista poistoilmanvaihtoa. Koneellisessa poistoil-manvaihdossa lämmin huoneilma puhalletaan katon kautta suoraan ulos. Poistoilma-lämpöpumppujärjestelmä on oiva ratkaisu tähän lämpöhukkaan. Poistoilmalämpö-pumppu- eli PILP- järjestelmällä poistoilman lämpö otetaan talteen ja käytetään kiin-teistön lämmitykseen ja/tai käyttöveden lämmitykseen toteutustavasta riippuen.

Tässä opinnäytetyössä on tutkittu PILP- järjestelmän toimintaa kaukolämmitteisessä kerrostalokohteessa, jossa laitteisto on jo asennettu ja se on ollut käytössä vuoden ajan. Työssä tutkitaan PILP- laitteiston hankinnan ja käytön kannattavuutta kerrosta-lokohteen energiaremontissa. Laitteistolla säästettävä energiamäärä lasketaan ensim-mäisenä käyttövuonna toteutuneiden energiamittausten mukaan. Takaisinmaksuaika lasketaan nettonykyarvomenetelmällä. Lisäksi laitteisto mallinnetaan IDA-ICE-simulointiohjelmalla käyttäen lämpöpumppujen laskentaan räätälöityä työkalua. Si-mulointituloksia verrataan toteutuneisiin mittauksiin. Simulointiohjelmalla myös ver-taillaan järjestelmän toimintaa erilaisilla laitteiston toiminta-arvoilla.

Työn tarkoituksena on tutkia laitteiston vuotuista lämpökerrointa ja taloudellista sääs-töä. Työssä ei käsitellä E-lukua, eikä PILP- järjestelmän vaikutusta siihen. E-luku on teoreettinen energiatehokkuuden mittari. Primäärienergiakertoimet perustuvat osittain poliittisiin päätöksiin. PILP- järjestelmä varmasti parantaisi tämän rakennuksen E-lukua, mutta tässä työssä ei tehdä E-lukulaskentaa.

2 ENERGIAREMONTIT

Perinteisesti kiinteistön rakenteita ja teknisiä järjestelmiä ei ole korjattu pelkästään energiatehokkuuden parantamiseksi, vaan yleensä perimmäinen syy on aivan pakottava korjaustarve. Samalla kun pakollisia korjauksia joudutaan tekemään, olisi kannattavaa aina selvittää, pystyisikö remontiin liittämään energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä. Nykyään sisäilmaston parantamiseen ja energiakustannusten pienentämiseen pyrkivä energiaremonttien toteutus onkin lisääntynyt paljon. Tämä on hyvä suuntaus, koska samalla syntyy ekologisia vaikutuksia. Ilmastonmuutosta pystytään hillitsemään, ja maapallon rajallisia luonnonvaroja säästämään. Rakennusten käytön aikaisissa energiankulutuksissa syntyvät säästöt ovat suuria ja pitkällä aikavälillä merkittävämpi tekijä, kuin uusien rakennustuotteiden valmistuksessa käytettävä energia ja luonnonvarat.

Energiakorjausvaihtoehtoja tarkasteltaessa on otettava huomioon, että kiinteistön energiankulutus koostuu eri osatekijöistä ja tekijät vaikuttavat toisiinsa. Rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttaa ulkovaipan lämpöhäviöt, jotka ovat merkittävä tekijä, mutta taloteknisten järjestelmien toimivuus ja tehokkuus on myös merkillepantava asia. Lämmitysjärjestelmien, ilmanvaihtojärjestelmien ja muiden laitteistojen tehokkuuteen on alettu kiinnittää entistä enemmän huomiota. Energiatehokkaammilla laitteilla ja nykyaikaisella automaatiolla pystytään tehostamaan järjestelmien toimivuutta.

Vaipan osalta suurin lämpöhäviö tapahtuu vanhojen ovien ja ikkunoiden kautta. Nykyaikaisilla ovilla ja ikkunoilla voidaan pienentää merkittävästi energiankulutusta. Uusilla ikkunoilla saadaan parannettua myös rakennuksen ulkonäköä sekä ulko- että sisäpuolelta. 1970-luvun ikkunoissa lämmönläpäisykerroin eli U-arvo on pitänyt olla silloisten Suomen Rakennusmääräysten mukaisesti uutena alle 2,1. Vuonna 2014 ikkunoiden U-arvon vähimmäisvaatimus on 1,0. Silti yhä useammin myös saneerauskohteissa käytetään alle 0,8, jopa alle 0,7 U-arvon omaavia ikkunoita ja ovia. U-arvo 0,8 onkin asetettu kriteeriksi energia-avustuksen saamiseksi ikkuna- ja ovisaneeraukseen.

Energiatehokkaiden selektiivipinnoitettujen ikkunoiden käyttämisessä on todettu myös muutamia fysikaalisia ongelmia. Tietyissä harvinaisissa olosuhteissa energiatehokkaan eli matalan U-arvon omaavan ikkunan ulkopintaan voi muodostua kosteutta.

Kosteus muodostuu useimmiten tähtikirkkaana yönä, jolloin ulkoilman lämpötila on matala, ilma on tyyni ja ilman kosteus korkea. Lisäksi ikkunan lasipinnan pitää olla vapaana taivaan kanta kohden. Päivän valjetessa huurre kuitenkin katoaa. Tämä on lievä ongelma ja ikkunavalmistajat pystyvät käyttämään ulkolasina ”huurtumatonta” lasia, jolla ilmiön syntyminen voidaan minimoida. Huurtumattomassa lasissa on ohut kalvo, jolla pyritään pitämään lasin pintalämpötila korkeammalla kuin ulkolämpötila. Huurtumaton lasikaan ei tosin takaa täysin, ettei huurtumista koskaan tapahtuisi.

Toinen fysikaalinen ongelma energiatehokkaissa ikkunoissa on heikko radiosignaalien läpäisevyys. Lasien selektiivipinnoitteet ovat ohuita metallikalvoja. Puhelimet ja verkkoyhteydet voivat pätkiä tai katketa rakennuksissa, joissa on massiiviset rakenteet ja terästä seinissä, sekä uudet kahdella selektiivikalvolla varustetut energiatehokkaat ikkunat. Eräs suomalainen ikkunavalmistaja on kehittänyt tähän ongelmaan ratkaisun.

/1./

Taulukossa 1 on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelman energiamääräysten lukuarvoja vuosien 1976 – 2010 välisenä aikana.

TAULUKKO 1. Lämmöneristysmääräykset voimaantulovuosittain /2/

	1976	1978	1985	2003	2007	2010
Ulkoseinä U [W/m ² K]	0,4	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17
Yläpohja U [W/m ² K]	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09
Alapohja U [W/m ² K]	0,4	0,4	0,36	0,25	0,24	0,16
Ikkuna U [W/m ² K]	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1
Ovi U [W/m ² K]	-	-	-	1,4	1,4	1
Muut energialaskennan lähtötiedot						
Ilmavuotoluku n ₅₀ [1/h]	6	6	6	4	4	2
Lämmön talteenoton hyötysuhde [%]	0	0	0	30	30	45

Vuonna 1976 tuli voimaan ensimmäiset lämmöneristysmääräykset, tätä ennen Rakennusinsinööriyhdistyksellä oli ollut pelkkiä suosituksia. Ajan saatossa määräyksiä on tasaisin välein päivitetty ja uudistettu. Eristepaksuudet ovat kasvaneet jo varsin suuriksi. Samalla rakennusosat ja materiaalit ovat kehittyneet merkittävästi paremmiksi ja rakentamista on ohjattu tiukemmaksi energiankulutuksen hillitsemiseksi.

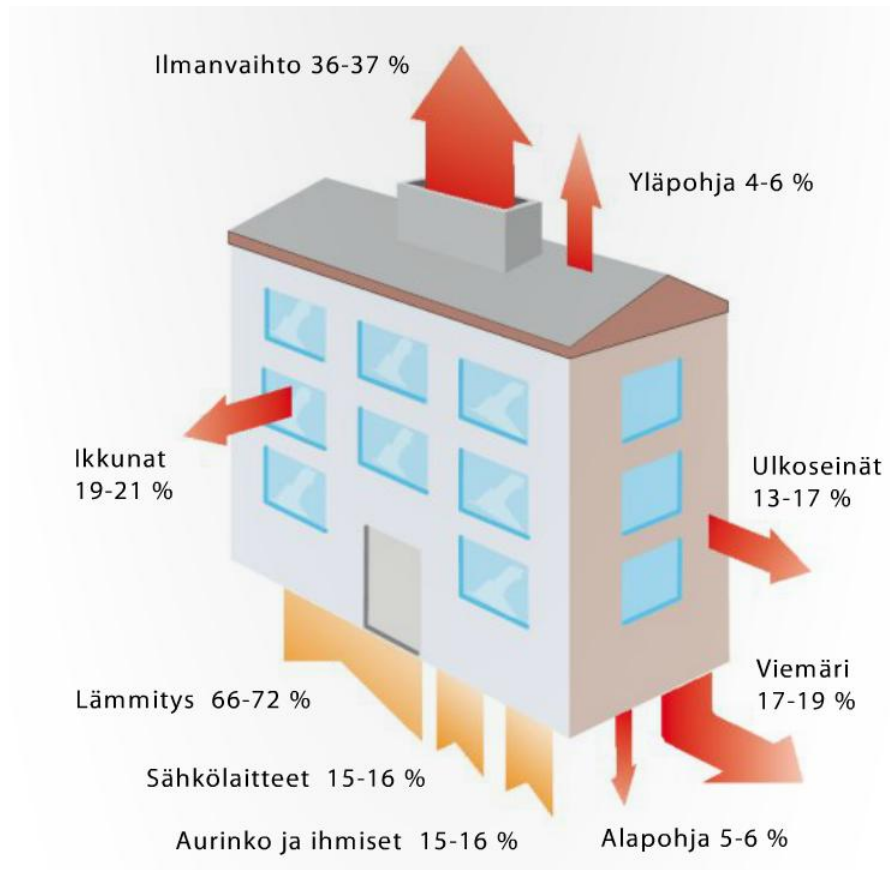
Ennen vuotta 1976 rakennettujen asuinkerrostalojen ulkoseinät ovat olleet lämmöneristävyydeltään varsin heikkoja. Ulkoseinärakenteissa korjaustoimenpide on useimmiten pakottavasta tarpeesta johtuva. Seinälle voidaan tehdä kevyt korjaus eli

seinää paikataan tai pinnoitetaan uudestaan. Keskiraskaassa korjauksessa seinän päälle tehdään peittävä korjaus, jossa paksuutta kasvatetaan ja mahdollisesti lisälämmöneristetään. Raskaassa korjauksessa vanha seinä puretaan pois, eristeet vaihdetaan tai niitä lisätään ja seinä rakennetaan käytännössä uudestaan paremmilla eristeillä varustettuna.

Alapohjan ja yläpohjan eristykset ovat yhtä lailla olleet heikkoja 1970-luvun rakentamisessa. Alapohjan eristyksen parantaminen ei käytännössä ole varteenotettavien vaihtoehtojen joukossa lisälämmöneristämisen suhteen, ellei lattian avaaminen ole aiheellista esimerkiksi kosteusvaurioiden takia. Sen sijaan ikkunoiden ja ovien lisäksi on usein helpoimpia ja kokonaistaloudellisesti parhaimpia tapoja yläpohjan lämmöneristyksen parantaminen. Puhallusvillan lisääminen yläpohjaan on helpohko toimenpide, riippuen tietysti kulloisenkin kohteen kattorakenteesta.

Vanhoissa rakennuksissa yläpohja on usein heikosti eristetty. Suomessa on tullut vuonna 1978 voimaan lämmöneristysmääräys, jossa lämmöneristysvaatimukseksi tuli $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$, joka on käytännössä noin 160-200mm mineraalivillaeristettä. Ennen tätä yläpohjan eristyspaksuus saattoi olla vain 100mm ja U-arvo yli $0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$. /2; 3./ Nykyään rakennusmääräyskokoelman osan D3 2012 määräysten mukaan rakennuksen yläpohjan lämmönläpäisykertoimena käytetään vertailulämpöhäviönä U-arvoa $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Rakennukseen tulevien lämpöenergioiden ja lämpöhäviöiden jakaantumista havainnollistetaan niin sanotulla energiataseella kuva 1.



KUVA 1. 1960–1980-luvuilla rakennettujen kerrostalojen energiatase /3/

Vaipan lämpöhäviöt ovat todella suuret vanhoissa kiinteistöissä. 1960–1980-lukujen aikana rakennettujen kerrostalojen energiatasetta tutkimalla huomataan kuitenkin, että ilmanvaihto on silti suurin yksittäinen lämpöhäviöiden aiheuttaja.

Yksi lämpöhäviöiden aiheuttaja on käyttöveden mukana hukkuva lämpö, jonka osuus 1960–1980-luvuilla rakennetuissa kerrostaloissa on kokonaislämpöhäviöistä 17–19 %. Käytännössä lämpö menee viemärin kautta hukkaan. Veden kulutusta pystyy pienentämään esimerkiksi wc:n kaksihuuhteluominaisuudella ja pesukoneiden pienemmillä veden kulutusmäärillä. Veden kulutuksessa iso vaikuttava tekijä on ihmisten vedenkäyttötottumukset. Viemäriveriesien lämmöntalteenottokeinoja on kehitteillä ja käytössäkin Suomessa. Tällä hetkellä viemäriveriesien lämmöntalteenottoratkaisut ovat keskityneet suuriin kohteisiin, joissa veden käyttömäärät ovat suuria ja käyttöä on jatkuvasti.

1960–1980-luvuilla on rakennettu koko Suomen kerrostalokannasta noin 60 %. Eli suurimmassa osassa Suomen kerrostalokannasta on kuvan 1 kaltainen energiatase.

Kuva 1 osoittaa alkuperäisten rakenteiden ja alkuperäisen talotekniikan mukaisen energiataseen.

1960–1980-lukujen aikana rakennetuissa kerrostaloissa on koneellinen poistoilmanvaihto. 1960-luvulta 2000-luvun alkuvuosiin asti järjestelmät on rakennettu niin, että kaikki poistoilman sisältämä lämpö puhalletaan taivaalle. Määräysten kiristyttyä vuonna 2003 alettiin viimeistään rakentaa kerrostaloihinkin koneellisia tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmiä, joissa on keskitetty lämmöntalteenotto.

Vanhoissa kerrostaloissa poistoilman lämmöntalteenotolla pystyttäisiin säästämään energiankulutuksessa. Kaikissa taloissa lämmöntalteenoton rakentaminen ei kuitenkaan kokonaistaloudellisesti ole välttämättä kannattava. Matalissa ja pitkissä taloissa lämmöntalteenotto on vaikeampi keskittää ja joudutaan rakentamaan useampia LTO-yksiköitä. Rakennuksen ulkovaipan eristävyuden parantamisessa hyötynä on myös ulkonäön parantuminen. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto ei vaikuta rakennuksen ulkonäköön, mutta lämpöhäviöt ja samalla energiakustannukset pienenevät. Säästyneillä energiakuluilla voidaan kattaa vaikkapa julkisivuremontin kuluja. Energiatasekuvan perusteella poistoilma aiheuttaa rakennuksen kokonaislämpöhäviöistä lähes 36–37 % 1960–1980-luvuilla rakennetuissa kerrostaloissa.

3 ENERGIA-AVUSTUS

Suomen valtio tukee asuntojen korjaamista ja energiatehokkuuden parantamista vuosittain myönnettävillä määrärahoilla, energia-avustuksilla. Myöntökriteerit ja rahamäärä vaihtelevat vuosittain. Avustusta pitää hakea kunakin vuonna huhtikuun loppuun mennessä. Avustuksen suuruus määräytyy saapuneiden hakemusten määrän ja suuruuden perusteella. Mikäli avustushakemuksia on enemmän kuin mihin budjetti on laskettu, avustusprosentin suuruus pienenee. Normaalisti avustuksen määrä on enintään 15 % urakan kokonaissummasta.

Asumisen rahoittamis- ja kehittämiskeskus ARA toimii Ympäristöministeriön hallinnon alaisuudessa ja toimeenpanee valtion asuntopolitiikkaa. ARA antaa ohjeet asuntojen korjaus- ja energia-avustusten hakemisesta, myöntämisestä ja maksamisesta.

Avustusta haetaan kunnilta. Kunnat ilmoittavat määrärahatarpeensa ARA:lle ja ARA osoittaa määrärahaosuudet kunnille, jotka myöntävät määrärahat niitä hakeneille. /4/

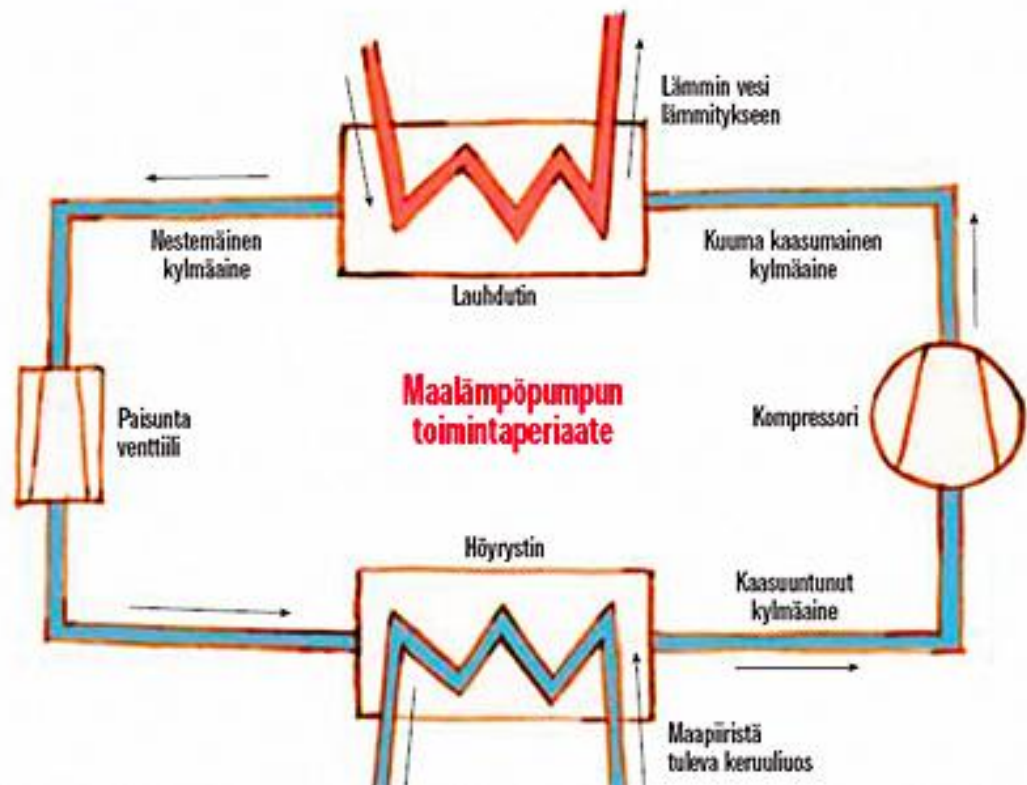
Tässä työssä tutkittava Jyväskyläläinen As Oy Vuorikilpi sai vuonna 2013 PILP- järjestelmän rakentamiseen energia-avustusta. Energia-avustusta pystyi hakemaan lämmöntalteenoton rakentamista varten. As Oy Vuorikilvelle myönnettiin 15 % avustus investoinnin kokonaissummasta. Urakan kokonaishinta oli 120000€ sisältäen arvonlisäveron 24%, joten avustuksen suuruus oli rahallisesti 18000 € sisältäen arvonlisäveron 24%.

4 LÄMPÖPUMPUT

Lämpöpumppua voidaan kutsua sähkölämmityksen sovellukseksi. Lämpöpumppu kerää sähköenergian jatkoksi geotermistä sekä auringon varastoitunutta säteilyenergiaa maasta, vedestä tai ilmasta. Lämpöpumpun lämmönlähteinä voi toimia ulko- tai poistoilma, maaperä, auringon säteily, teollisuuden ja yhdyskuntien jätevedet, pohjavesi tai pintavesi. Sähköenergia muuttuu lämpöenergiaksi

Lämpö siirtyy luonnostaan korkeammasta lämpötilasta matalampaan. Lämpöpumpulla lämpöä siirretään matalammasta lämpötilasta korkeampaan. Kompressorin käyttämällä sähköllä tehdään työ lämmön siirtämiseksi. Lämpöpumpun toimintaperiaate on samanlainen kuin jääkaapin tai pakastimen. Jääkaapin kompressorikoneisto pitää kaapin ja sen sisällön kylmänä poistamalla kaapista lämpöä vapauttamalla sen kaapin takana olevasta lauhduttimesta huonetilaan. Lämpöpumppu toimii samalla tavalla, mutta jäähdytyksen sijaan tavoitteena on lämmitys. Kylmäkoneessa hyödyllinen lämpövirta saadaan höyrystimessä ja lämpöpumpussa lauhduttimesta. Lämpöpumppu kerää lämpöä kylmemmästä esimerkiksi ulkoilmasta, maaperästä, vesistöistä tai poistoilmasta ja siirtää sen rakennuksen ja käyttöveden lämmittämiseen. Lämpöpumpun ja kylmäkoneen kompressorikoneistotkin ovat samanlaiset. /5, s. 17-18; 6, s. 29–31/

Lämpöpumpuissa käytetään hyväksi suljettua kylmäaineen kiertoprosessia. Kylmäainevirta vuoroin höyrystyy sitoen lämpöä höyrystimessä ja vuoroin lauhtuu luovuttaen lämpöä lauhduttimessa /7, s.377/. Kiertoprosessi on kuvattu maalämpöpumpun toimintaperiaatekuvassa (Kuva 2).



KUVA 2. Maalämpöpumpun toimintaperiaate /8/

Keruuputkistossa kiertävä jäätymisenestoaineella varustettu keruuneste virtaa lämpöpumpun höyrystimen läpi, jossa keruunesteestä siirtyy lämpöenergiaa kylmäaineeseen. Keruunesteen lämpötila laskee ja kylmäaine höyrystyy, eli kaasuuntuu. Kylmäaineen lämpötila on tässä vaiheessa vielä alhainen. Höyrystimessä kylmäainevirtaan sitoutunut lämpö on tyypillisesti huomattavasti suurempi kuin kompressorin vaatima työ. Kaasuuntunut kylmäaine puristetaan kompressorissa korkeaan paineeseen ja lämpötilaan. /9./ Korkeapaineinen kuuma kaasu johdetaan lauhduttimeen, jossa kuuma kaasu lauhtuu eli muuttuu nesteeksi. Samalla lämpöenergiaa siirtyy lämmityspiirin veteen. Lauhduttimessa poistuva lämpövirta eli lauhduttimessa hyödyksi saatava lämpö on höyrystimessä sitoutuneen lämmön ja kompressorityön summa. /7 s. 377./ Lauhduttimen jälkeen nesteytynyt kylmäaine virtaa paisuntaventtiilin läpi, jossa paine ja lämpötila laskee. Paisuntaventtiilin jälkeen kylmäaine virtaa höyrystimeen, jossa se jälleen sitoo lämpöenergiaa keruupiiristä ja seuraava kierros alkaa. /9./

Lämpöpumpun tehokkuutta kuvataan lämpökertoimella. Hetkellisestä lämpökertoimesta käytetään lyhennettä COP, joka tulee englannin kielen sanoista Coefficient Of Performance. Lämpökerroin kertoo, kuinka paljon lämpöenergiaa lämpöpumppu pystyy tuottamaan suhteessa käyttämäänsä sähköenergiaan. Sähköenergian kulutus suh-

teessa tuotettuun lämpöön on lämpöpumpun tehokkuuden mittari. Mitä pienemmän lauhdutuslämpötilan ja paineenkorotuksen kompressori joutuu tekemään, sitä paremmalla lämpökertoimella lämpöpumppu toimii. Tämän takia lämpöpumppu on tehokkaampi lämmitysjärjestelmissä joissa lämmönluovutuslämpötilat ovat alhaiset. Esimerkiksi lattialämmityksessä tarvittava menoveden lämpötila on vain 30 °C. Toisaalta myös lämmönlähteet vaikuttavat tehokkuuteen. Poistoilma on vuodenajasta riippumatta yleensä aina noin 20 °C. Maassa tai vedessä keruupiirin lämpötila pysyy, Suomenkin oloissa talvisin, yleensä yli 0 °C. Ilmalämpöpumpun lämmönlähteen eli ulkoilman lämpötila vaihtelee vuodenajasta riippuen ja pääsääntöisesti ilmalämpöpumpun tehokkuus huononee merkittävästi ulkoilman lämpötilan ollessa alle -15 °C. /10./

Lämpöpumpun lämpökerroin saadaan kaavasta

$$\varphi = \frac{\phi}{P} \quad (1)$$

φ on lämpökerroin

ϕ on prosessista saatu teho, W

P on lämpöenergian saavuttamiseksi tehty työ, eli lämpöpumpun ja sen apulaitteiden kuluttama sähköteho, W

Lämpökerroin lasketaan yhtälöllä (1), kun tiedetään lämpöpumpulla tuotettu lämpöenergia ja lämpöpumpun kuluttama sähköenergia.

Tarkassa lämpöpumppujärjestelmän lämpökertoimen määrittelyssä pitää ottaa huomioon myös apulaitteiden käyttämät tehot. Laskentaan huomioidaan lauhdutin- ja höyrystinpiirin pumppujen, puhaltimien, kompressorin lämmitysvastusten ja automatiikan käyttämä teho. /7 s.379./

Lämpöpumpun vuoden keskimääräisestä lämpökertoimesta eli COP-vuosikeskiarvosta käytetään lyhennettä SPF-luku eli Seasonal Performance Factor. SPF-luku on siis lämpöpumpulla tuotetun vuotuisen energian suhde lämpöpumpun sekä apulaitteiden vuotuiseseen sähkönkulutukseen. Vuotuisesta lämpökertoimesta voidaan käyttää myös termiä SCOP- luku, joka tulee sanoista Seasonal Coefficient Of Performance. Lämpöpumppuja voidaan käyttää myös jäähdytykseen. Jäähdytykseen käytettävän lämpö-

pumpun tehokkuuden mittarina käytetään termiä kylmäkerroin. Kylmäkertoimen lyhenteenä voidaan käyttää EER-lukua, joka tulee sanoista Energy Efficiency Ratio. Vuotuinen kylmäkerroin voi olla SEER-luku, joka tulee sanoista Seasonal Energy Efficiency Ratio.

5 POISTOILMALÄMPÖPUMPPU

5.1 Poistoilmalämpöpumput yleisesti

Nykyisten rakennusmääräysten mukaan asuintilojen ilma tulee vaihtua vähintään kerran kahdessa tunnissa. Määräyksen täyttämiseksi on käytettävä koneellista ilmanvaihtoa. Määräyksen vaatima ilmamäärä aiheuttaa rakennukselle suuret lämpöhäviöt. Tämän takia on olemassa lämmöntalteenottoon määräys, jonka mukaan vähintään 45 % poistoilman lämmöstä pitää ottaa talteen. Yleisesti lämmöntalteenotossa käytetään lämmönvaihdinta, LTO-kennoa, pyörivää siirrintä tai lämmöntalteenottopatteria, jolla siirretään poistoilman lämpöä tuloilmaan. Lämmöntalteenottotapana pientalokäytössä on näiden rinnalla viime vuosina yleistyneet poistoilmalämpöpumput. Poistoilmalämpöpumpulla saadaan poistoilmasta talteenotetusta lämmöstä tehokkaammin energiaa uudelleenkäyttöön.

Poistoilmalämpöpumppu on yksi lämpöpumppusovellus. Poistoilmalämpöpumppu ottaa lämmitysenergiaa talteen rakennuksesta koneellisesti poistettavasta ilmasta. Poistoilmalämpöpumppu vaatii jatkuvan poistoilmavirran. Poistoilmalämpöpumpulla lämpö voidaan siirtää sovelluksesta riippuen rakennuksen tuloilmaan, lämmitysjärjestelmään tai käyttöveden lämmitykseen.

Poistoilmalämpöpumppu on nykyään suosittu passiivi ja matalaenergiataloissa. Lämmitystarpeen ollessa pieni ja rakennustilavuuden ollessa suuri, poistoilmalämpöpumppu on kannattava ratkaisu. Poistoilmalämpöpumppu voi toimia omakotitalokokoluokassa samalla myös ilmanvaihtokoneena. Joihinkin poistoilmalämpöpumppuihin voidaan myös liittää erillinen jäähdytyskone kesähelteiden viilennystä varten. Poistoilman lämmöllä pystytään tuottamaan lähes kaikki rakennuksen lämmitystarve. Mitoi-

tusolosuhteissa toki tarvitaan lisälämpöä, ja se hoidetaan yleensä sähkövastuksilla. Myös takkaa suositellaan käytettäväksi lisä- ja varalämmönlähteenä uusissa taloissa.

5.2 Poistoilmalämpöpumput kerrostaloissa

PILP- järjestelmän käyttö on yleistymässä vanhojen kerrostalokohteiden koneellisen poistoilmanvaihdon lämpöhäviöiden poistajana. Tällä hetkellä PILP- järjestelmä näyttää olevan kustannustehokkain ratkaisu kerrostalokohteisiin, joissa ei ole ilmanvaihdon lämmöntalteenottoa.

Kerrostalokohteissa PILP- järjestelmä on aina osatehomoitettu. Vanha lämmitysjärjestelmä jätetään usein käyttöön, ja sillä voidaan kattaa lämmitystarve siltä osalta, mihin lämpöpumpulla ei päästä. PILP- järjestelmä suunnitellaan kattamaan noin 40 - 60 % lämmitystehontarpeesta ja noin 60-80 % vuotuisesta lämmitysenergiatarpeesta. Kerrostalon PILP- järjestelmä toteutetaan suorahöyrysteisillä tai nestekiertoisilla lämmöntalteenottopattereilla. /11./

Suorahöyrysteisessä PILP- järjestelmässä lämpöpumpun kylmäaine virtaa LTO-patterin putkien sisällä ja poistoilma virtaa patterin ilmapuolella. Suorahöyrysteisessä järjestelmässä lämpöpumppuyksikkö sijaitsee LTO-patterin yhteydessä vesikatolla. Lämpöpumppuyksiköltä vedetään sitten lämmönsiirtoputket lämmönjakohuoneeseen. /11./

Toinen tapa on rakentaa epäsuora PILP- järjestelmä, jossa käytetään nestekiertoisia pattereita. Jos poistoilman ulospuhallusaukkoja on useampia, niin epäsuora järjestelmä on teknisesti yksinkertaisempi toteuttaa. Tällöin järjestelmässä käytetään maalämpökäyttöön suunniteltua lämpöpumppua. Epäsuorassa järjestelmässä keruupiirinä toimii nestekiertoinen lämmöntalteenottopatteri. Patterin putkien sisällä virtaa lämmönsiirtoneste ja vaippapuolella patterin läpi virtaa poistoilma. Nestekiertoinen lämmönkeruupiiri asennetaan vesikatolle tai ullakolle poistoilman ulospuhallukseen, ja neste johdetaan lämmönsiirtoputkistoa pitkin lämpöpumpun höyrystimelle. Epäsuoraan nestekiertoiseen PILP- järjestelmään on mahdollista liittää myös lisälämmönkeruupiirejä, vaikkapa aurinkopaneelit tai lämpökaivo. Lämpöpumpulla tuotettava lämpö siirretään lämpöpumpun lauhdutinpuolella nestekiertoiseen lämmitysverkostoon, useimmiten

vanhoissa taloissa patteriverkostoon. Lämpö voidaan myös siirtää lämpimään käyttöveteen varaajan avulla. /11./

Kerrostalon koneellisen poistoilmanvaihdon parantaminen poistoilmalämpöpumpulla vaatii kunnolliset poistoilmakanavat ja tarpeeksi suuret poistoilmavirrat. Poistoilmakanavien pitää myös olla tiiviit. Vanhoissa rakennuksissa, joissa on painovoimainen ilmanvaihto, saattaa olla poistokanavina rakenneaineiset piiput. Tällaiseen kohteeseen suorakaide- tai kierresaumakanavien rakentaminen lisää kustannuksia. Joissain kohteissa kanavat voivat kulkea kylmällä ullakolla ja poistoilman lämpö ei välttämättä pysy 21 °C lämmönsiirtimelle asti. Tällaisessa tapauksessa kanavien eristys on aiheellista. Poistoilmanvaihdon perusilmavirran on syytä olla vähintään 250 l/s, jotta poistoilmalämpöpumppu on kannattava. Käytönaikainen tehostus on tyypillisesti 30 -100 % suurempi. /11./

6 TUTKITTAVA KOHDE

Tutkimuskohteena on Jyväskylän Laajavuoressa sijaitsevan As Oy Vuorikilven PILP-laitteisto. As Oy Vuorikilpi on vuonna 1971 rakennettu 6-kerroksinen elementtirakenteinen kerrostalo, jossa on huopapinnoitteinen pulpettikatto. Rakennuksessa on kolme porraskäytävää ja 60 asuinhuoneistoa. Vuorikilven rakennustilavuus on 14850 m³. Asuinneliöitä rakennuksessa on 3684 m². Kohteen lämmitystapana on kaukolämpö. Lämmönjakojärjestelmänä on vesikiertoinen patterilämmitys.

Ilmanvaihto on toteutettu koneellisella poistoilmanvaihdolla. Korvausilma rakennukseen otetaan ikkunoiden vaihdon yhteydessä investoitujen tuloilmaikkunaventtiileiden kautta. Tuloilmaventtiili on rakennettu ikkunakarmin niin, että lämmityskaudella ilma kierrätetään ikkunavälissä, ulko- ja sisäpuiteen välisessä tilassa. Tällä tavalla tuloilma lämpenee hieman ennen kuin se virtaa sisätiloihin. Vedon tunteen aiheutumisen riski on pienempi tuloilmaventtiilien ansiosta, koska ilma on ”esilämmennyt” ennen sisätiloihin virtaamista. Perinteisellä raitisilmaventtiilillä toteutettu korvausilman saanti on toimiva painovoimaisen ilmanvaihdon kohteessa tai kohteessa, jossa ilmavirrat ovat pienet. Nykymääräysten mukainen ilmanvaihtuvuus on niin suuri, että kohteessa, jonka ilmanvaihto ei ole toteutettu esilämmitettävällä tuloilmalla, on aina olemassa suurempi riski vedon tunteen syntymiseen.

As Oy Vuorikilpi on valveutunut taloyhtiö. Rakennukseen on tehty 2000-luvulla lähes joka vuosi jonkinlaisia korjaus- tai ehostustoimenpiteitä. Energiatalouden kannalta merkittävimpiä toimenpiteitä ovat olleet katon uusiminen ja yläpohjan lisälämmöneristäminen vuonna 2005. Yläpohjarakennetta korotettiin puoli metriä ja eristettä lisättiin 150mm. Julkisivuremontti sekä ikkunoiden ja parvekeovien vaihto on tehty vuonna 2007. Julkisivuremontissa seiniin tehtiin 50mm lämpörappaus. Tässä työssä arvioitiin lämpörappauksen parantaneen seinien U-arvon lukemaan 0,47. Seinän parantuneen U-arvon arviointiin käytettiin Motivan U-arvolaskuria /12/. U-arvojen laskennassa käytettiin apuna myös Ympäristöministeriön asetuksesta rakennuksen energiatodistuksesta löytyvän taulukon 1 mukaisia lämmönläpäisykertoimia. /13/ Uusittujen ikkunoiden ja parvekeovien U-arvot olivat 1,4. Työssä on laskettu vuosien 2001 - 2013 energiankulutustietojen perusteella sääkorjattu lämpöindeksi jokaiselle vuodelle. Lämpöindeksien muutokset tehtyjen remonttien jälkeisinä vuosina verrattuna remonteja edeltäviin vuosiin on verrattu keskenään ja niistä on laskettu keskimääräiset muutokset. Kattoremontin jälkeen lämpöindeksi pieneni 0,6 %. Julkisivuremontin sekä ikkunoiden ja ovien vaihdon jälkeen lämpöindeksi pieneni 4,6 %.

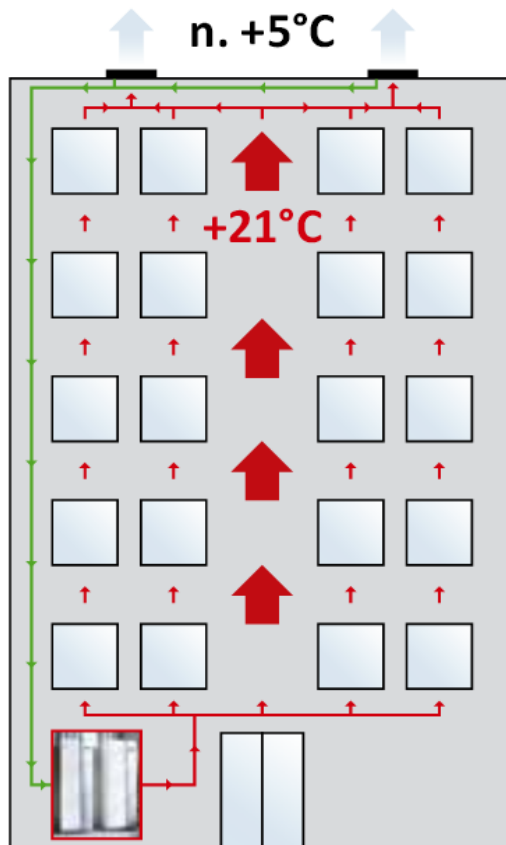
Uusilla ikkunoilla ja ovilla sekä seinien lämpörappauksella on saatu parannettua rakennuksen energiataloutta. Julkisivuremontti parantaa myös rakennuksen yleisilmettä. Lisäksi ikkunoiden ja ovien vaihto kohentaa ulkonäköä sekä huoneistojen sisäpuolelta että rakennuksen ulkopuolelta.

Viimeisin energiataloudellinen investointi on ollut vuonna 2013 Vuorikilpeen tehty PILP- järjestelmän asennus. Energiansäästön lisäksi korjaustoimenpiteet nostavat kiinteistön arvoa.

Vuosien varrella tehtyjen useiden korjaustoimenpiteiden ansiosta Vuorikilven energiankulutus on ollut matala jo ennen PILP- järjestelmän asennusta, verrattuna samankäisten kerrostalokohteiden keskimääräiseen energiankulutukseen. Vuonna 2012 Vuorikilven sääkorjattu lämpöindeksi oli 49,67 kWh/m³. Tämän vuoksi energiankulutuksen pienentyminen olisi enemmän kuluttavassa saneerauskohteessa todennäköisesti suurempi kuin tässä tutkittavassa kohteessa.

7 TUTKITTAVAN KOHTEEN PILP- LAITTEISTO

Jyväskylän As Oy Vuorikilpeen on asennettu PILP- laitteisto tammikuussa 2013. Järjestelmän periaatekuva on esitetty kuvassa 3.



KUVA 3. Periaatekuva kerrostalon PILP- järjestelmästä /14/

+21 °C poistoilma virtaa lämmöntalteenottohuippuimurin eli LTOH:n läpi siirtäen lämpöä neulaputkilämmönsiirtimessä virtaavaan nesteeseen. Siirtimen jälkeen ulospuhallettavan jäteilman lämpötila on noin +5 °C. Katolta, neulaputkilämmönsiirtimeltä on vedetty lämmönsiirtoputkisto kellarikerroksen tekniseen tilaan lämpöpumpulle, jonka höyrystimessä lämmönsiirtonesteen sisältämä lämpö siirtyy kylmäaineeseen.

Kerrostalon PILP- laitteiston asennus kestää normaalisti noin kaksi viikkoa. Laitteistoa liitettäessä lämmitysjärjestelmään tulee rakennuksessa hetkellinen lämpökatko, mutta normaalisti se kestää vain muutamia tunteja. Vuorikilven PILP- laitteiston asennus kesti kokonaisuudessaan 8 työpäivää, josta 2 työpäivää meni säätöihin. Nosturia tarvitaan asennuksessa yhtenä päivänä, kun LTOH-paketti nostetaan vesikatolle. Järjestelmän asennuksesta ei koidu asukkaille juurikaan haittaa, kun asentajien ei tar-

vitse käydä asunnoissa lainkaan vaan he työskentelevät enimmäkseen vesikatolla ja lämmönjakohuoneessa.

PILP- laitteiston asennus normaalisti parantaa myös rakennuksen asumisviihtyvyyttä. Poistoilmavirtoja usein kasvatetaan uusien puhaltimien asennuksen yhteydessä ja sitä kautta huoneistojen ilmanvaihtuvuus paranee. Vuorikilvessä automaatioon on syötetty aikaohjelma, jonka mukaan ilmanvaihto tehostuu päivittäin aina oletetun ruuanlaiton aikaan. Lisäksi ilmanvaihto on säädetty toimimaan niin, että kesällä ilmavirrat ovat suuremmat, kun on ylimääräistä lämpökuormaa ja vedon tunne ei synny niin herkästi.

Talvella ilmanvaihdon teho on syytä pitää maltillisena kohteessa, jossa korvausilma otetaan raitisilma- tai tuloilmaventtiileiden kautta, jottei vedon tunnetta pääse syntymään. Ulkoilman ollessa pakkasella korvausilmakin on kylmää ja liian suuri ilmavirta aiheuttaa helposti vedon tunteen.

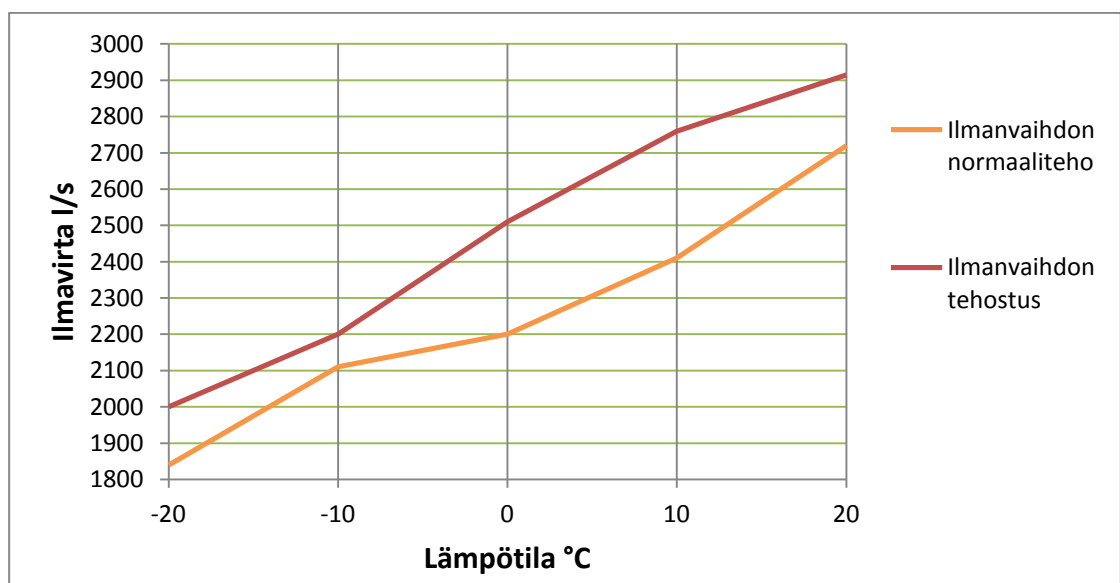
Lämpöpumppu vähentää lämmityskuluja, mutta lisää näin suuren rakennuksen sähkönkulutusta merkittävästi, ensimmäisenä käyttövuonna noin 47 MWh. Näin ollen sähkökeskuksen sulakekokoa voi joutua suurentamaan PILP- järjestelmän käyttöönoton yhteydessä. Vuorikilvessä vanha sähkökeskus oli riittävä, eikä tästä syntynyt kustannuksia. Kaukolämmön kulutus taas pienenee huomattavasti, ensimmäisenä vuonna Jyväskylän As Oy Vuorikilpi saikin sovittua oman kaukolämpömyyjänsä Jyväskylän Energian kanssa tilausvesivirran pudotuksesta. Kaukolämmön perusmaksu putosi vuositasolla noin 6500 € pienemmän tilausvesivirran ansiosta.

7.1 LTOH

Vuorikilven ilmanvaihto on toteutettu koneellisella poistoilmavaihdolla ja huoneistokohtaisilla poistoilla. Poistoilmakanavia tulee katolle kolme. Katolla on kaksi LTOH-pakettia, toisessa on kaksi huippuimuria ja toisessa yksi huippuimuri. Vuorikilven vanhat huippuimurit olivat iäkkäitä ja poistoilmavirtoja haluttiin hiukan nostaa sekä puhallinhyötysuhdetta parantaa. Samalla asuintilojen ilmanvaihtuvuus parani. LTO-huippuimurin uudet matalaenergiapuhaltimet ovat energiatehokkailla EC-moottoreilla varustettuja. EC tulee sanoista electronically commutated eli elektronisesti kommutoitu. Kyseessä on puhallin, jossa on harjaton DC-moottori eli tasavirta-

moottori. Harjattomissa DC-moottoreissa tarvitaan normaalisti erillinen DC-teholähde. EC-puhaltimissa elektroniikka on integroitu ja kommutoinnin ansiosta se muuttaa vaihtovirran tasavirraksi ja ohjaa puhallinnopeutta säätämällä moottorin saamaa virtaa. Vanhoissa AC-puhaltimissa eli vaihtovirtapuhaltimissa olisi tarvinnut erillisen taajuusmuuttajan, jos puhaltimien nopeutta olisi halunnut säätää. AC-moottorit on yleensä suunniteltu vain tietylle toiminta-alueelle ja hyötysuhde heikkenee tältä alueelta siirryttäessä. EC-moottoreilla on tasaisempi hyötysuhdekäyrä. /15./ Uusien puhaltimien etuna on myös se, että niiden ohjausyksikkö saadaan asennettua lämmönjakohuoneeseen. Vanhoille AC-puhaltimille asennettavat taajuusmuuttajat aiheuttaisivat myös turhia lisäkustannuksia.

Ilmavirtoja kasvatettiin remontin yhteydessä hieman. Tavoitteena oli saada parempi ilmanvaihtuvuus sisätiloissa. Samalla lämmönsiirtimelle saatiin suurempi ilmavirta. Lisäksi ilmanvaihto on säädetty aikaohjelmalla niin, että se toimii tehostetusti normaaleihin ruoanlaittoaikoihin, jolloin on enemmän epäpuhtauskuormaa eli aamulla kello 8.00–9.00 sekä normaalin virka-ajan jälkeen eli kello 16.00–17.30 sekä illalla 20.30–21.30. Oletamus on, että näinä aikoina suurin osa asukkaista tekee ruokaa ja ilmanvaihdon tarve on suurin. Viihtyvyyden tiloissa on huomioitu myös niin, että ilmanvaihto säätyy ulkolämpötilan mukaan. Ulkoilman lämpötilan laskiessa ilmavirtoja lasketaan. Vedon tunteen syntymisen riski sisätiloissa saadaan tällä tavoin estettyä. Kuvassa 4 on säätökäyrät ilmanvaihdon ilmavirroille eri ulkolämpötiloissa.



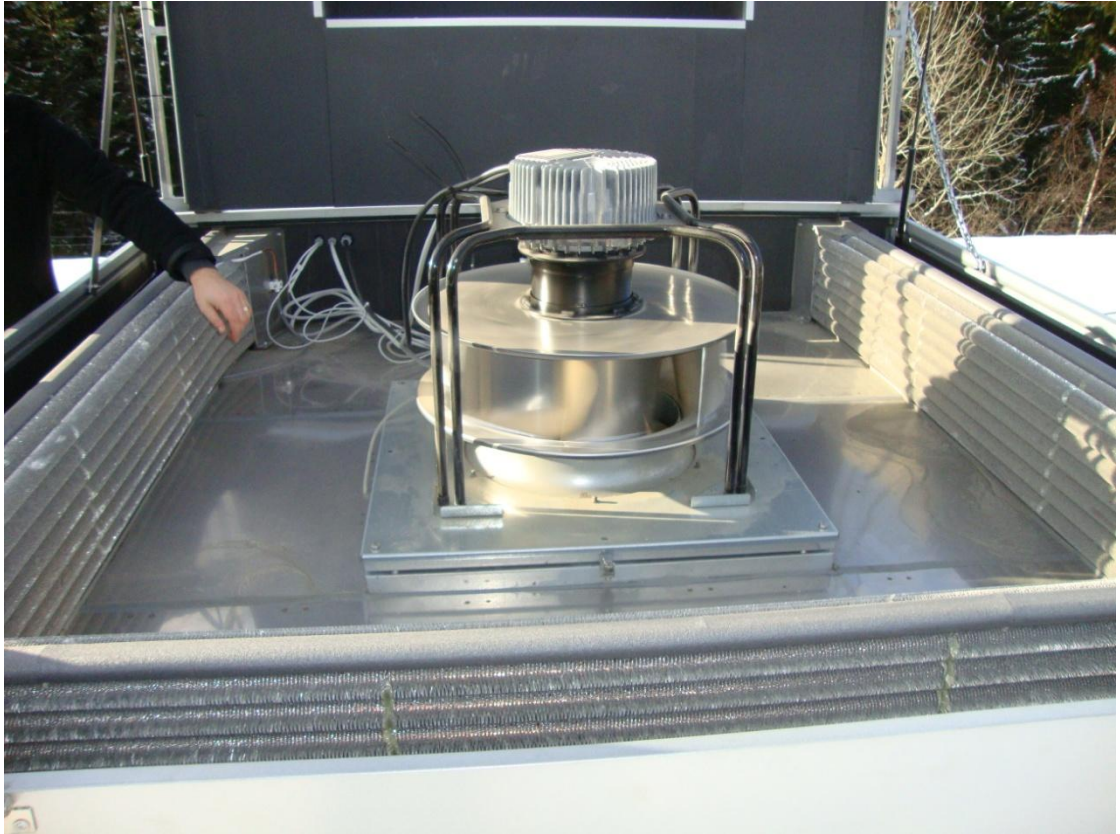
KUVA 4. Ilmanvaihdon ilmavirrat ulkolämpötilan mukaan

Kuvassa 5 on ilmanvaihdon ilmavirtojen tehostusaikataulu kellonajasta riippuvana.



KUVA 5. Ilmanvaihdon ilmavirtojen tehostus kellonajan mukaan /16/

Vuorikilvessä on käytetty Retermian LTO-huippuimuria. LTO-huippuimurin ympärille rakennetaan neulaputkilämmönsiirrin Retermian tehtaalla Heinolassa. Neulaputkilämmönsiirrin on patentoitu lämmöntalteenottoratkaisu. Lämmin poistoilma virtaa poistoilmakanavaa pitkin vesikatolla sijaitsevan LTO-huippuimurin lävitse neulaputkilämmönsiirtimeen, jolloin ilmasta siirtyy lämpöenergiaa neulapinnan läpi neulaputken sisällä virtaavaan lämmönsiirtonesteeseen. Neulaputkessa on suuri lämmönsiirtopinta-ala ja pieni otsapintanopeus. Edellä mainittujen seikkojen vuoksi neulapatterin ilmapuolen painehäviö on todella pieni noin 30 - 50 Pa. Neulalämmönsiirtimellä on kyky siirtää tehokkaasti lämpöä pienillä ilman virtausnopeuksilla. Läpi virtaava ilma huuhtelee neulaputkia siirtäen lämmön putkissa kiertävään nesteeseen. Lisäksi poistopuhaltimien tuottama lämpö tulee käytettyä hyödyksi, koska puhaltimet sijaitsevat ennen neulaputkipatteria. Matalan rakenteensa ansiosta Retermian LTO-huippuimuri ei tarvitse tilaa ullakolta tai yläpohjasta. Retermian LTOH-paketin voi asentaa vesikatolle, kuten Vuorikilvessä. LTOH-laitteelle on vain suunniteltava tukeva alusta. Kuvassa 6 on kuvattu vesikatolle asennettu LTOH-laite.



KUVA 6. LTO-huippuimuri ja kolmerivinen neulaputkilämmönsiirrin

7.2 Lämmönsiirtoputkisto

Vuorikilvessä lämmönsiirtoputkisto on rakennettu kulkemaan vesikattoa pitkin räystätälle ja ulkoseinää pitkin alimpaan kerrokseen, jossa putket on vedetty seinän läpi suoraan tekniseen tilaan ja lämpöpumpulle. Putket pitää olla hyvin eristettyjä, jotta talteenotettu lämpö saadaan mahdollisimman tehokkaasti siirrettyä lämpöpumpulle asti. Kotelointi erityisesti ulkoseinällä on tärkeää, jotta putkivedot saadaan tehtyä mahdollisimman vähän huomiota herättäväksi ja seinärakenteen ulkonäköön sopivaksi. Vuorikilven ulkoseinän koteloitu putkitus on esitetty kuvassa 7.



KUVA 7. Vuorikilven lämmönkeruuputkisto valkoisessa kotelossa ulkoseinällä

Lämmönkeruuputkisto voidaan reitittää eri tavoilla riippuen kohteen rakenteista. Ulkoseinän lisäksi vaihtoehtoisia tapoja lämmönsiirto-putkiston sijoittamiseen on porraskäytävä, tuuletusparvekkeet, vanha roskakuilu tai vanha savupiippu. Vuorikilvessä edullisin tapa oli rakentaa putkitus ulkoseinää pitkin, koska rakennuksessa ei ollut sopivia roiloja tai kuiluja. Kerrostalojen LVI-remonteissa kannattaisi huomioida mahdollinen varaus PILP- laitteistolle. Linjasaneerauksen yhteydessä voisi jättää varauksen PILP- laitteiston lämmönsiirto-putkille porraskäytävään tai roiloon, jos sellainen on.

Yleensä lämmönkeruupiirissä käytetään lämmönsiirtonesteenä pakkasenkestäviä nesteitä toisin sanoen veden ja glykolin seosta tai veden ja etanolin seosta. Vuorikilven PILP- järjestelmän keruupiirissä kiertää 30 % etanoli.

7.3 Lämpöpumppu

Vuorikilven lämpöpumppu on Nibe F1345, lämpöteholtaan 40kW kiinteistökoon lämpöpumppu. Lämpöpumpussa on kaksi scroll-kompressoria. Kompressorit toimivat yhteistyössä, ja ne kytkeytyvät tarpeen mukaan päälle ja pois. Kahdella kompressorilla saadaan parempi tehonsäätö sekä kompressoreille pidempi käyttöikä. Vuorikilven PILP- järjestelmä on osatehomyönteinen. Suuren lämpöpumpputehon sijasta järjestelmä on suunniteltu niin, että laitteistolle saadaan mahdollisimman suuri lämpökerroin. Kohteessa on edelleen käytössä myös kaukolämpö, jolla saadaan tuotettua huipputehontarpeet, jotka lämpöpumppu tuottaisi turhan huonolla hyötysuhteella. Tulevaisuudessa järjestelmään on mahdollista liittää myös aurinkolämmitys tai maalämpö.

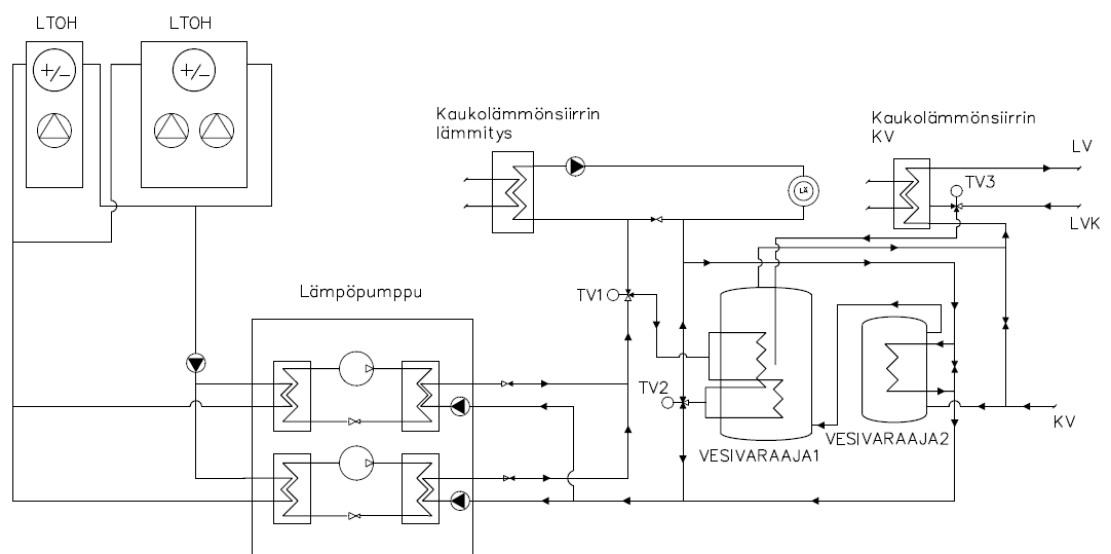
7.4 Automaatio ja energiamittari

Vuorikilven PILP- laitteiston automaatio on kytketty etäluettavaksi ja järjestelmän toimintaa pystyy seuraamaan verkkopohjaisesta Talotohtori-ohjelmasta /17/. Ohjelmasta näkee lämpötilat, virtaamat, sähkönkulutukset ja energiankulutukset. Energianseurantajärjestelmällä saadaan kerättyä kaukolämmönkulutustiedot, lämpöpumpun sähkönkulutustiedot sekä lämpöpumpun tuottama energian määrä. Ilmanvaihdon ja LTOH:n automaatio on tässä kohteessa kytketty verkkopohjaiseen Ounet-ohjelmaan /16/.

7.5 Varaajat ja LKV

Vuorikilven PILP- järjestelmää rakennettaessa laitteistoon liitettiin kaksi käyttövesivaraajaa, jotta PILP- järjestelmällä tuotettua lämpöä pystytään hyödyntämään käyttöveden lämmityksessä. Varaajista pienempi toimii puskurivaraajana ja on tilavuudeltaan 500 litraa. Suurempi varaaja on kooltaan 1000 litraa. 1000 litran varaaja mahtui juuri oviaukosta sisälle. Kahdella varaajalla saatiin järjestelmän kannattavuutta parannettua vielä hieman lisää käyttämällä tuotettu lämpö tehokkaammin. Koska lämmityksen paluuvesi virtaa puskurivaraajan lävitse ennen lämpöpumppua, suuremman varaajan vesi ei viilene niin nopeasti ja lämpöpumpulle palaava vesi saadaan viileämmäksi.

Kylmä vesijohtoverkoston vesi ajetaan ensin pienempään varaajaan, jossa se esilämmitetään lämmitysverkoston paluuedellä. Samanaikaisesti lämmitysverkoston paluuvesi saadaan viilennettyä, jotta lämpöpumpulle tulevan ja sieltä lähtevän veden lämpötilaero saadaan mahdollisimman suureksi, jäähtymä paranee. Esilämmitetty käyttövesi ajetaan pienemmästä varaajasta isompaan. Isoa varaajaa lämmitetään kulloisenkin tarpeen mukaan lämpöpumpulta tulevalla lämmitysvedellä. Moottoriventtiili TV1 säätelee lämmitysveden kierron lämmitysverkoston ja käyttövesivaraajan välillä tarpeen mukaan. Moottoriventtiili TV2 taas säätelee vesivaraaja 1:stä palaavan lämmitysveden kiertämään vielä vesivaraaja 2:en kautta tai sitten palaamaan suoraan lämpöpumpulle. Ison varaajan yläosan käyttöveden lämpötilan ylärajaksi on säädetty 53 °C ja alaosan alarajaksi 49 °C. Moottoriventtiili TV3 ajaa vesivaraaja 1:een tarvittaessa myös lämpimän käyttöveden kiertovettä lämpiämään. Varaajasta lämmitetty käyttövesi ajetaan kaukolämmön käyttövesisiirtimeen, jossa tarvittaessa lisälämmitetään käyttövettä. Kuvassa 8 on periaatekuva lämmitystilanteesta, jossa PILP- järjestelmällä lämmitetään pelkästään käyttövettä.



KUVA 8. PILP- järjestelmän skemaattinen kaaviokuva käyttöveden lämmityksestä

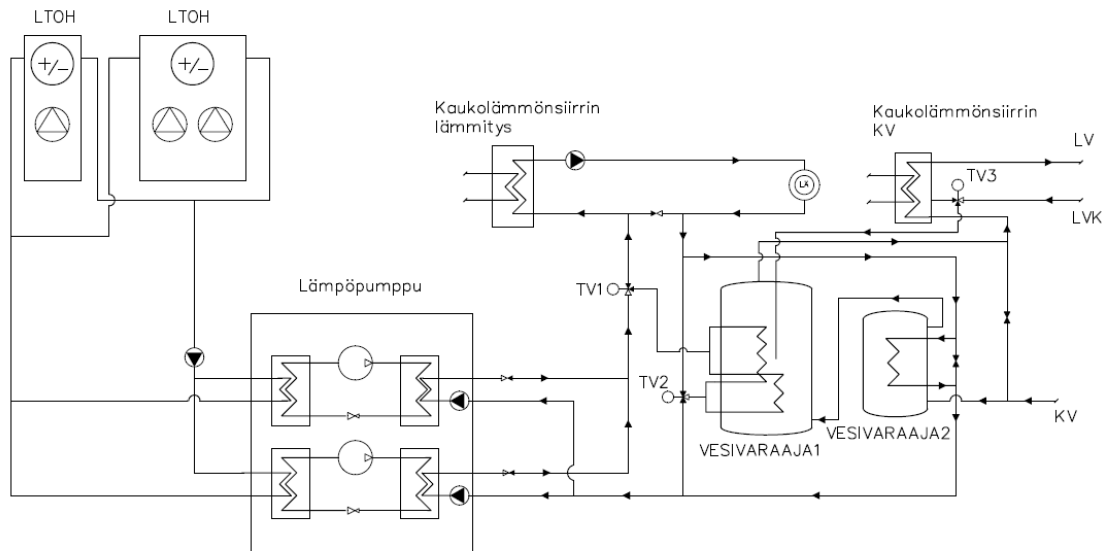
7.6 Kaukolämpölaitteet

As Oy Vuorikilven lämmönlähteenä on toiminut PILP-saneeraukseen asti päälämmönlähteenä kaukolämpö. Kaukolämpö säilytettiin PILP-laitteiston rinnalla kattamaan huipputehot ja varmistamaan joka tilanteessa riittävän lämpötilatason. Vuorikilvessä kaukolämmönsiirtimet on uusittu 2000-luvulla. Lämmityksen lämmönsiirrin on vaihdettu vuonna 2000 ja käyttöveden lämmönsiirrin vuonna 2004. Käyttövesisiirtimen teho on 475 kW ja lämmityksen lämmönsiirtimen 360 kW.

7.7 Patteriverkosto

Patteriverkostolle tehtiin tasapainotus ja säätö tämän urakan yhteydessä. Säätö on aiheellista tehdä PILP-järjestelmän rakentamisen yhteydessä, jotta saadaan optimoitua energiansäästö. Vesikiertoisen patterilämmityksen perussäätö olisi muutoinkin suositeltava toimenpide monessa kiinteistössä. Väärä säätö aiheuttaa epätasapainon tilojen lämmönjakoon, jolloin osassa tiloista on liian korkea lämpötila, joka aiheuttaa epämukavuutta, lämmönhukkaa ja tuulettamistarvetta. Osassa tiloista taas on liian matala lämpötila, joka aiheuttaa epämukavuutta ja lisälämmitystarvetta. Säädetty lämmitysjärjestelmä säästää energiaa, takaa tasaiset lämpötilat eri tiloihin ja terveellisen sisäilman. Joidenkin arvioiden mukaan kolme neljäsosaa Suomen asuinrakennuskannasta on puutteellisesti perussäädetty. Perussäätämättömissä kiinteistöissä huonelämpötilaerot voivat olla 3-6 °C. Pelkällä säädöllä voi joissain tapauksissa vähentää energiankulutusta jopa 15 %. /18./ Energiaremonttien yhteydessä patteriverkoston perussäätö olisi aina aiheellista suorittaa. Energia-avustuksen yhtenä myöntämisperusteena on patteriverkoston uudelleensäätö. Rakenteellisesti Vuorikilven vanha patteriverkosto säilytettiin sellaisenaan. Patteritermostaatit on uusittu kiinteistöön vuonna 2004. Lämmityksen patteriverkoston mitoituslämpötiloina oli vanhastaan menoveden lämpötilana 80 °C ja paluuveden lämpötilana 60 °C.

Kuvassa 9 on periaatekuva lämmitystilanteesta, jossa lämmitetään radiaattoriin paluuvettä. Moottoriventtiili TV1 on säätänyt tässä tilanteessa vesivaraajaan johtavan haaran kiinni ja radiaattoriin paluuveteen johtava haara on auki. Moottoriventtiili TV2 on myös tässä tilanteessa kiinni.

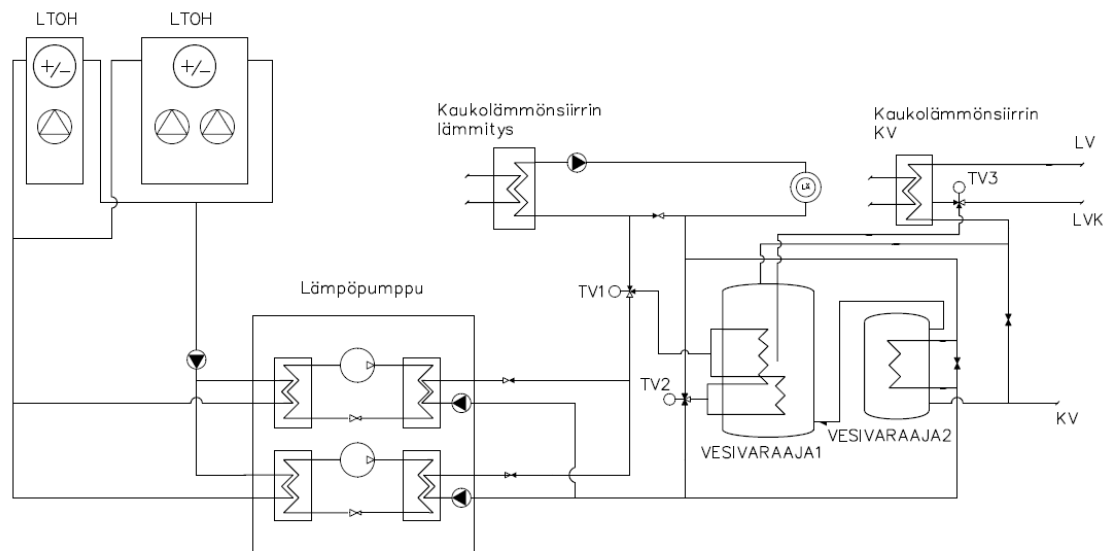


KUVA 9. PILP- järjestelmän skemaattinen kaaviokuva radiaattoriin paluuvien esilämmityksestä

8 POISTOILMALÄMPÖPUMPUN KYTKENTÄ

8.1 Tutkimuskohteen kytkentä

Vuorikilven poistoilmalämpöpumppu on liitetty lämmitysverkostoon samaan kiertopiiriin kaukolämmön lämmönsiirtimen kanssa kuvan 10 mukaisesti.



KUVA 10. Tutkittavan kohteen PILP- järjestelmän skemaattinen kaaviokuva

Poistoilmalämpöpumpulla tuotetaan ensisijaisesti lämpöä lämmitysverkoston paluuveteen. Käyttövesivaraajan lämpöä pidetään yllä tarpeen mukaan. Järjestelmän automaatio on säädetty niin, että PILP lämmittää ensisijaisesti lämmitysverkoston paluuvettä ja vain silloin kun ei ole lämmitystarvetta ladataan käyttövesivaraajaa, mikäli tarvetta on.

Poistoilmalämpöpumpulta lämmennyt lämmitysvesi virtaa kolmitieventtiilin avulla vaihtoehtoisesti isoon käyttövesivaraajaan tai lämmitysverkoston paluuveteen, joka johtaa kaukolämmönsiirtimelle, jossa lämpötila korotetaan haluttuun lämpötilaan. Lämmitysvesi ajetaan patteriverkoston paluujohtoon, josta se virtaa kaukolämmönsiirtimelle ja siitä lämmönluovuttimille eli lämmityspattereille. Patteriverkostosta palaava vesi ohjataan pienempään varaajaan, jossa käyttövesi esilämmitetään ja lämpö saadaan luovutettua mahdollisimman tehokkaasti. Varaajalta lämmitysvesi ajetaan lämpöpumpuille. Järjestelmään on asetettu lämpötilarajoja joiden mukaan venttiilit toimivat ja säätävät järjestelmän toimimaan halutulla tavalla.

Lämmityskauden ulkopuolella kesäaikaan poistoilman lämmöllä lämmitetään enemmän käyttövettä, koska lämmitystarvetta ei ole. Silloinkin käyttöveden riittävän lämpötilan varmistus tapahtuu käyttöveden kaukolämpösiirtimellä. Jos käyttövedenkulutus olisi tasaista, niin poistoilmalämpöpumpulla pystyisi kattamaan teoriassa käyttöveden lämmitystarpeen kesäaikaan kokonaisuudessaan. Näin ei kuitenkaan tehdä, koska lämpöpumpuille on pyritty saamaan mahdollisimman hyvä lämpökerroin, eli mahdollisimman vähän ottoenergiaa eli sähköä ja mahdollisimman paljon antoenergiaa eli lämpöä. Käytännössä kaukolämmöllä joudutaan auttamaan lämpötilan nostossa muutoinkin, koska kulutus keskittyy tiettyihin aikoihin. Varaajan tilavuus pitäisi olla 60 asunnon talossa varsin isokokoinen, jotta lämpöä riittäisi kulutuspiikkeihin. Suurempi varaaja olisi vaikeaa saada tuotua saneerauskohteen lämmönjakohuoneeseen. Lisäksi se olisi kalliimpi ja siinä olisi enemmän myös lämpöhäviöitä.

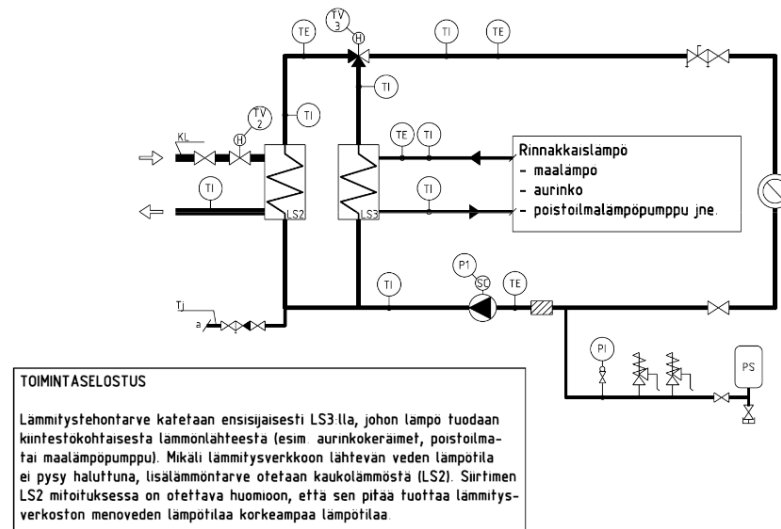
Vuorikilven PILP- järjestelmän ja kaukolämmön kytkentä on pyritty toteuttamaan niin, että lämpöpumput kävisivät mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella ja poistoilmasta saatu lämpö saataisiin käytettyä mahdollisimman tehokkaasti hyödyksi. Kaukolämmön kulutus on pyritty saamaan mahdollisimman pieneksi. Kaukolämpöä käytetään energiantarvehuippujen ja korkeimpien lämpötilojen kattamisessa. Lämpöpump-

pu on parhaimmillaan matalissa lauhdutuslämpötiloissa ja sillä kannattaisi ajaa mahdollisimman pieniä lämpötiloja, eikä se edes pysty tuottamaan yli 65 °C lämpötiloja. Korkeimpia lämpötiloja ei tarvita, kuin mitoitusolosuhteissa. Mitoitusolosuhteet valitsevat kuitenkin vain pienen osan aikaa koko vuoden ajanjaksolla. Poistoilmalämpöpumppu ja kaukolämpö toimivat yhteistyössä. Kaukolämpö toimii huippujen paikkaajana ja täyttää lisälämmitystarpeen aina, kun on tarvetta.

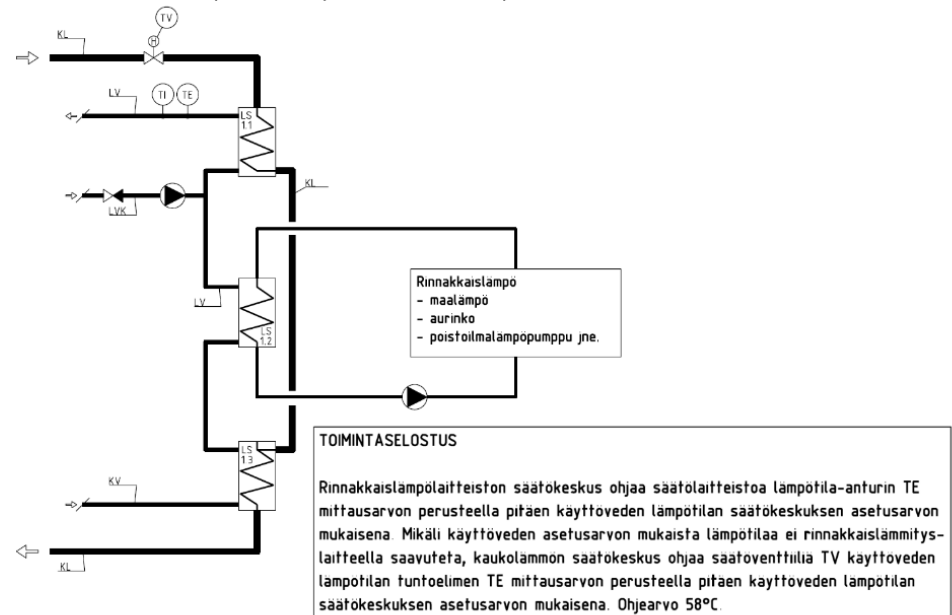
8.2 Rinnakkaislämmönlähteiden kytkentä

Energiateollisuus ry on sähkö- ja kaukolämpöalan poliittinen etujärjestö. Energiateollisuus ry:llä on kaukolämpöalalle tuotettu julkaisu K1 Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet. Uusin julkaisu on vuodelta 2013. Julkaisu ei ole lainsäädännöllinen, kuten Ympäristöministeriön antamat Suomen Rakentamismääräyskokoelman määräykset ja ohjeet. K1 on kaukolämpöalan etujärjestön tuottama julkaisu, jonka ohjeisiin kaukolämpöala nojaa lämpökauppaa ja sopimuksia tehdessään. Energiateollisuuden K1-julkaisussa on käytettävistä kaukolämpökytkennöistä esimerkkikuvia. Esimerkkikytkentä 7:ssä on kuva poistoilmalämpöpumppukytkennästä kuva 11. /19./

Rinnakkaislämmön (rakennuskohtaisen lämmönlähteen) kytkentä tilojen lämmitykseen



Rinnakkaislämmön kytkentä käyttöveden lämmitykseen

**KUVA 11. K1 Esimerkkikytkentä 7, Rinnakkaislämmön kytkentä /19/**

Poistoilmalämpöpumpun kytkentä kaukolämmönsiirtimen kanssa samaan lämmityspiiriin on merkattu K1:ssä niin, että kaukolämmönsiirrin ja rinnakkaislämmityssiirrin eli esimerkiksi PILP-siirrin ovat rinnankytkettyjä. Lämmityksen paluujohto jakaantuu kahdelle siirtimelle ja siirtimiltä kolmitieventtiilin kautta menojohdolle. /19./

Vuorikilvessä käytetyssä kytkennässä lämmitetään poistoilmasta tuotetulla lämmöllä lämmitysverkoston paluuvettä ennen kaukolämmönsiirrintä. Vuorikilvessä käytettyä putkikytkentää ei saa kaikissa Suomen kunnissa käyttää. Joidenkin kaukolämpöyhtiöiden alueella vaaditaan kytkentä suoritettavaksi K1-julkaisussa kuvatun kytkennän mukaisesti. K1-kytkentäesimerkki on vain yksi vaihtoehto. Rinnakkaislämmönlähteellä, kuten poistoilmalämpöpumpulla pyritään säästämään kokonaisenergiankulutuksessa. Vuorikilven kytkentä on todettu PILP- järjestelmän kannalta kokonaisvaltaisesti tarkasteltuna hyväksi. Vuorikilven kytkennässä lämpöpumpulla lämmitetty vesi johdetaan lämmityksen paluujohdoton ja se virtaa kaukolämmönsiirtimeen kautta menopuolel-le. K1-kytkennän kannattajat pelkäävät, että Vuorikilven kaltaisessa kytkennässä toisiopuolen paluujohdosta tulee siirtimelle liian lämmintä vettä ja riittävää jäähtymää kaukolämmönsiirtimeen ensiöpuolella ei tapahdu.

Kaukolämpöala ei halua kaukolämpökohteeseen rinnakkaislämmönlähteitä. On mahdollista, että poistoilmalämpöpumpukohteissa siirrytään kokonaan pois kaukolämmöstä, maalämmön ja poistoilmalämpöpumpun yhteiskäyttöön. Tämä tilanne ei ole tarkoituksenmukainen, koska ekologisemman kaukolämmön käyttö vaihtuisi silloin osittain lämpöpumpun käyttämään sähköön. Rinnakkaislämmön kytkentätavat kaukolämpökohteeseen ovat herättäneet keskustelua ja keskustelut tulevat varmasti jatku-maan.

9 ENERGIANKULUTUS KERROSTALOISSA

Rakennuksissa kuluu energiaa lämpönä ja sähköinä. Rakennuksen energiankulutus sisältää rakennuksen lämmitykseen, sähkölaitteisiin, valaistukseen ja mahdolliseen jäähdytykseen käytettävän energiamäärän. Rakennusten energiankulutuksesta suurin osa on lämmitykseen kuluvaa energiaa. Kuten 1960–1980 luvuilla rakennettujen kerrostalojen energiatasekuvassa (kuva 1) on esitetty, lämmityksen osuus on 66–72 % ja sähkölaitteiden osuus 15–16 % rakennukseen tulevasta energiasta. Loput 15–16 % rakennukseen tulevasta energiasta on peräisin auringosta ja ihmisistä.

9.1 Energiankulutuksen esittäminen ja hinnan muodostuminen

9.1.1 Lämpö

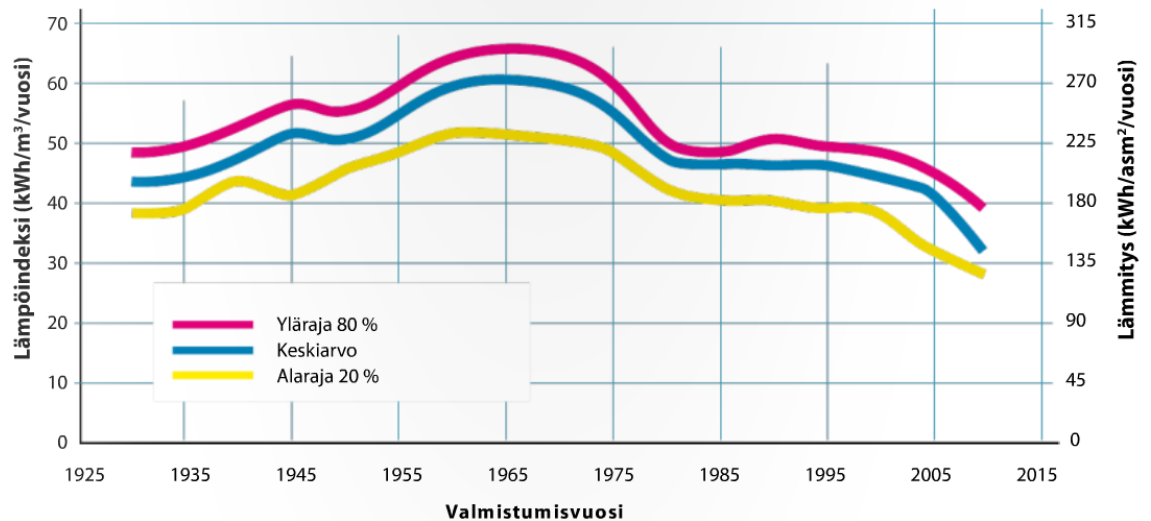
Rakennuksen lämmitysenergiankulutus esitetään yleensä kilowattitunteina (kWh) ja vuotuisena ominaiskulutuksena lämmitettyä rakennustilavuutta tai rakennuksen pinta-alaa kohden. Rakennustilavuuteen suhteutettua lämmitysenergiankulutusta kutsutaan lämpöindeksiksi ($\text{kWh}/\text{m}^3/\text{vuosi}$), joka on normeerattu lämmitystarveluvun avulla.

Lämmitysenergiantarve riippuu pitkälti vaipan lämpöhäviöistä ja ilmanvaihdon lämmitysenergian tarpeesta, joihin vaikuttaa ulkoilman lämpötila. Eri vuodet ovat lämmitystarpeeltaan erilaisia, ja sen vuoksi lämmitysenergiankulutuksen vertailuun eri vuosina ja kuukausina on olemassa normeerausapuvälineenä lämmitystarveluku eli aste-päiväluku. Toteutunut energiankulutus kerrotaan toteutuneen vuoden lämmitystarveluvun ja pitkäaikaisen keskimääräisen lämmitystarveluvun suhteella. Käyttöveden lämmittämiseen käytettyä energiamäärää ei normeerata, koska ulkoilman lämpötila ei vaikuta veden lämmittämiseen. /20./

Lämmitystarveluvun laskennassa käytetään vuosien 1981–2010 lämmitystarveluvun keskiarvoa. Lämmitystarveluvun määrittely perustuu siihen, että rakennuksen energiankulutus on likipitään verrannollinen sisä- ja ulkolämpötilojen erotukseen. Kuukauden lämmitystarveluku on vuorokautisten lämmitystarvelukujen summa ja vuoden lämmitystarveluku on kuukausittaisten lämmitystarvelukujen summa. Lämmitystarveluvut saatiin ilmatieteenlaitokselta. /21./

Lämmitystarveluvun määrittely ei ota huomioon päiviä joiden keskilämpötila on keväällä yli $+10\text{ °C}$ ja syksyllä $+12\text{ °C}$. Laskentatavassa oletetaan että lämmitys lopetetaan heti lämpötilan noustessa tämän rajan yli ja lämmitys aloitetaan heti lämpötilan laskiessa tämän rajan ali. /21./ Tämä voi vaikuttaa saatuihin tuloksiin.

Taloyhtiön energiakirjassa julkaistusta kuvaajasta (kuva 12) näkee asuinkerrostalojen lämmitysenergiankulutuksen muutokset eri aikakauden kiinteistöissä.



KUVA 12. Asuinkerrostalojen lämmitysenergiankulutus /3/

Lämmitysenergiankulutukset on esitetty lämpöindeksinä sekä pinta-alaa kohden laskettuna. Kuvaajasta voi havaita, että vuosina 1950–1975 rakennetuissa kerrostaloissa lämmitysenergiankulutus on ollut korkeimmillaan. Tuon aikakauden taloissa on ollut yleisesti käytössä isot ikkunat, joiden lämmöneristävyys on ollut huono. Muutenkin vaippa on ollut lämmöneristävyydeltään heikko. Vuonna 1978 lämmöneristysmääräykset kiristyivät ja siinä kohtaa lämmitysenergiankulutuskuvaajassakin on havaittavissa pudotus. Muita syitä korkeisiin kulutuksiin on, että 1920–1930-luvulla kerrostalot rakennettiin tiiviisiin kortteleihin ja 1960–1970-luvuilla lähiörakentaminen yleistyi, jolloin rakennuksilla ei ollut välttämättä niin suojaisat sijainnit. /2./ Koneellinen poistoilmanvaihto ja suuret ilmavirrat ovat kuitenkin suurimpana syynä korkeisiin energiankulutuslukemiin 1950-luvun jälkeen ja siihen, että kulutukset 1930-luvulla ja 2000-luvulla ovat lähes samalla tasolla. 1960-luvulla koneellinen poistoilmanvaihto yleistyi ja LTO tuli pakolliseksi vasta vuonna 2003.

As Oy Vuorikilven rakentamisvuoden aikaan kerrostalojen lämpöindeksit ovat olleet keskimäärin 50–65 kWh/m³/vuosi.

Kaukolämpöä lämmönlähteenä käytävissä rakennuksissa lämmityskulut muodostuvat kiinteästä perusmaksusta, joka määräytyy tilausvesivirran tai –tehon perusteella, sekä energiankulutuksen perusteella määräytyvästä energiamaksusta. Lisäksi uusi kaukolämpöverkkoon liittyvä kiinteistö joutuu maksamaan liittymismaksun. Kaukolämmön hinnoittelu määräytyy taloyhtiön alueella toimivan lämmönmyyjän eli kaukolämpöyhtiön hinnoittelun perusteella. Hintataso vaihtelee hyvin paljon eri puolilla Suomea.

Asuinkerrostaloissa perusmaksun osuus on noin 10–40 prosenttia kaukolämpölaskusta.

Kaukolämpöliiketoiminnassa kaukolämpöyrittäminen on lainsäädännöllisesti määräävässä markkina-asemassa asiakkaaseen nähden. Tämän takia kaukolämpöliiketoimintaa valvoo Suomessa kilpailuvirasto ja kuluttajavirasto kilpailulain ja kuluttajansuojalain perusteella. Kaukolämmön hinnoitteluun vaikuttavat myös energiaverotus ja päästökauppa. Noin 28 prosenttia kaukolämmön hinnasta on veroja. Kaukolämmön tuottaminen on yleensä hinnaltaan edullisinta, tuotannoltaan tehokkainta ja ympäristön kannalta edullisinta silloin, kun se tuotetaan yhteistuotannossa sähkön kanssa. Kaukolämpö on silloin sähkön tuotossa syntyvää ylimääräistä hukkalämpöä, joka ajettaisiin muussa tapauksessa vesistöön tai ulkoilmaan. Pelkästään lämmitystä varten käytettävissä lämpölaitoksissa lämmön tuottaminen on huomattavasti kalliimpaa ja ympäristön kannalta epäedullisempaa kuin sähkön ja lämmön yhteistuotanto.

9.1.2 Sähkö

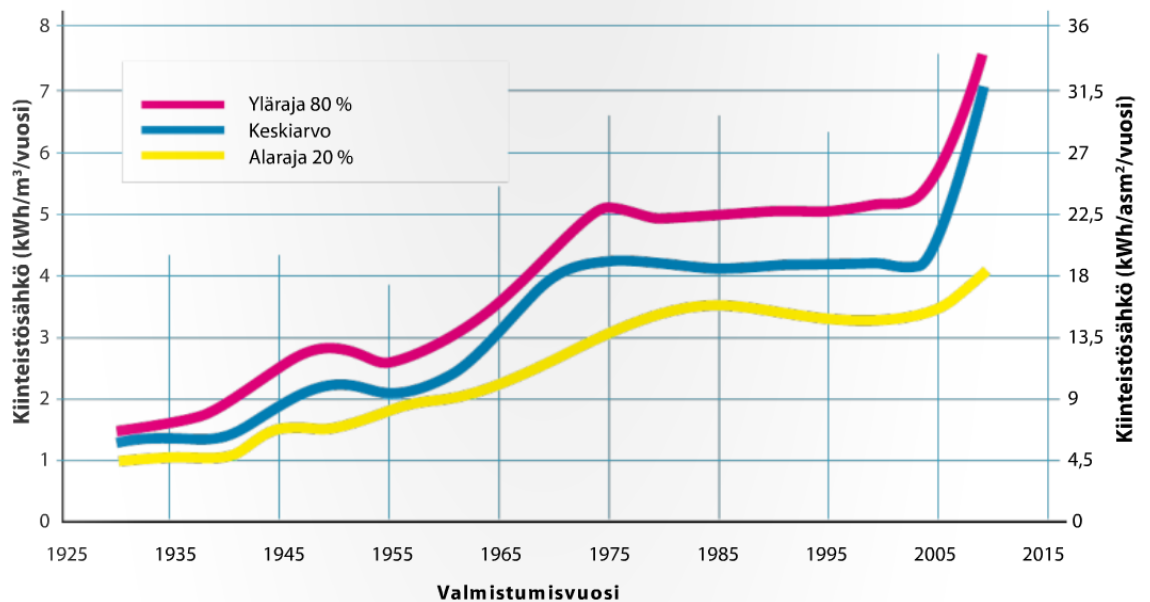
Rakennuksen sähköenergian kulutus esitetään yleensä samalla tavoin kuin lämmitysenergian kulutus eli kilowattitunteina (kWh) ja ominaiskulutuksena rakennuksen pinta-alaa tai rakennustilavuutta kohti.

Kerrostalokiinteistössä osa sähkökulutuksesta on niin sanottua kiinteistösähköä ja osa huoneistosähköä. Kiinteistösähköön kuuluu yleisten tilojen valaistukset, talotekniikan sähkökulutus eli puhaltimet, pumput, kiinteistöautomaation sähkökulutus. Kiinteistösähköön kuuluu myös autonlämmitystolpat, talosaunat, pesutupa ja esimerkiksi kylmäkellari. Huoneistosähköön kuuluu kaikki huoneistojen käyttämä sähkökulutus eli valaistus, viihde-elektroniikka, kylmälaitteisiin, ruoanlaittoon ja pyykinpesuun sekä muuhun kodinhoitoon kuluva sähkö, mahdollinen saunan sähkökiuas. Joissain rakennuksissa voi olla kylpyhuoneessa sähköinen lattialämmitys, joka kuuluu myös huoneistosähköön ja nostaa helposti sähkökulutusta. Huoneistosähkökulutuksen maksaa asukas itse. Kiinteistösähkökulutus kuuluu yhteisesti taloyhtiölle. /2./

Kuvasta 7 nähdään, kuinka kiinteistön sähköenergiankulutus on muuttunut eri aikakausilla rakennetuissa kerrostaloissa. Sähköenergiankulutus on koko ajan nousussa,

koska sähköä käyttävät laitteet lisääntyvät. Erityisesti viihde-elektronikan kirjo laajenee jatkuvasti.

Kuten kuvasta 13 näkee, 1960-luvulla on tapahtunut ensimmäinen merkittävämpi kiinteistö sähköenergiankulutuksen nousu, kun koneellisia poistoilmanvaihtoja alettiin rakentaa. Puhallinsähkönkulutus nosti kokonaiskulutusta, mutta sisäilmaolosuhteet paranivat. 2003 vuoden jälkeen noussut sähköenergiankulutus johtuu myös puhallinsähkönkulutuksen noususta, kun 2003 vuonna tuli pakolliseksi ilmanvaihdon lämmöntalteenotto eli käytännössä alettiin rakentaa tulo/poistoilmanvaihtojärjestelmiä. Ilmanvaihto kuluttaa sähköenergiaa, mutta hyvät sisäilmaolosuhteet ja ilmanvaihtuvuus ovat tärkeämpiä asioita. Nykypäivänä sähkölaitteitakin kehitetään vähemmän kuluttaviksi ja sähköenergiankulutusta pyritään myös sitä kautta pienentämään.



KUVA 13. Asuinkerrostalojen sähköenergiankulutus /3/

Sähkön hinta koostuu sähkön myynnin osuudesta ja sähkön siirron osuudesta. Sähkön siirto on ostettava aina paikalliselta sähköyhtiöltä, mutta sähköenergian voi ostaa miltä tahansa Suomen maassa toimivalta sähkön myyjältä.

9.1.3 Vesi

Kunnallisen vedenjakelun alueella kiinteistön käyttämästä vesimäärästä maksetaan vesimaksua. Tuhat litraa kylmää vettä maksaa keskimäärin noin 3 €. Lisäksi lämpi-

män veden osalta kuluja lisää veden lämmittämiseen kuluva lämmitysenergia. Lämmintä käyttövedettä lasketaan kuluvan noin 40 % rakennuksen käyttämästä kokonaisvesimäärästä, mikäli lämpimälle käyttövedelle ei ole olemassa mittausta. Lämpimän käyttöveden energiankulutuksen laskennassa voidaan käyttää yhden vesikuution lämmittämiseen tarvittavana energiamääränä 58 kWh, jos lämmitettävän veden lämpötilaeroksi arvioidaan noin 50 °C. Käyttöveden energiankulutus lasketaan kaavan 2 mukaisesti. /3./

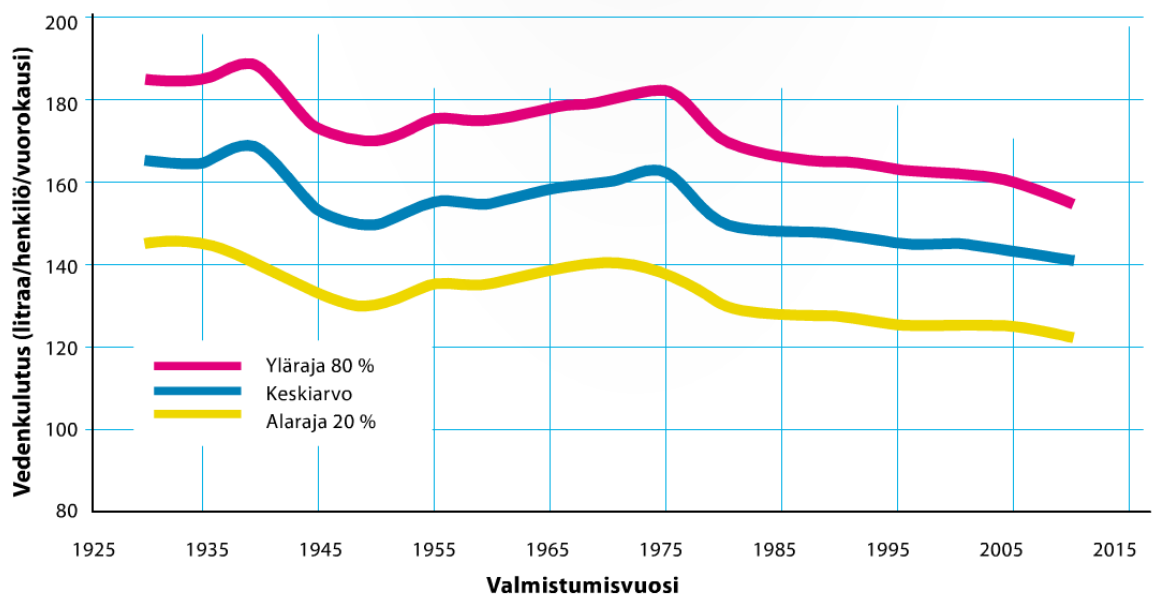
$$Q_{lkv} = 58 \frac{kWh}{m^3} \times V_{lkv} \quad (2)$$

Q_{lkv} = käyttöveden energiankulutus, kWh/vuosi

V_{lkv} = lämpimän käyttöveden määrä, m³/vuosi

Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviöt sisältyvät käyttöveden lämmitysenergiaan. Kiertojohtoon osuus lämmitysenergiasta voi olla vanhoissa rakennuksissa jopa puolet käyttöveden kokonaislämmitysenergiantarpeesta.

Kuvassa 14 on kuvattu asuinkerrostalojen keskimääräiset vedenkulutukset rakennusvuosittain.



KUVA 14. Asuinkerrostalojen veden kulutukset /3/

Suomalaisten tyypillinen vedenkulutus on 90–270 litraa/henkilö /22/. Keskimäärin yksi henkilö käyttää vuorokaudessa vettä 155 litraa. Eli vuodessa yksi henkilö käyttää vettä keskimäärin 56,58 m³. Kuvassa 15 on kuvattu yhden asukkaan vuorokauden aikaiset vedenkäyttökohteet prosentteina.



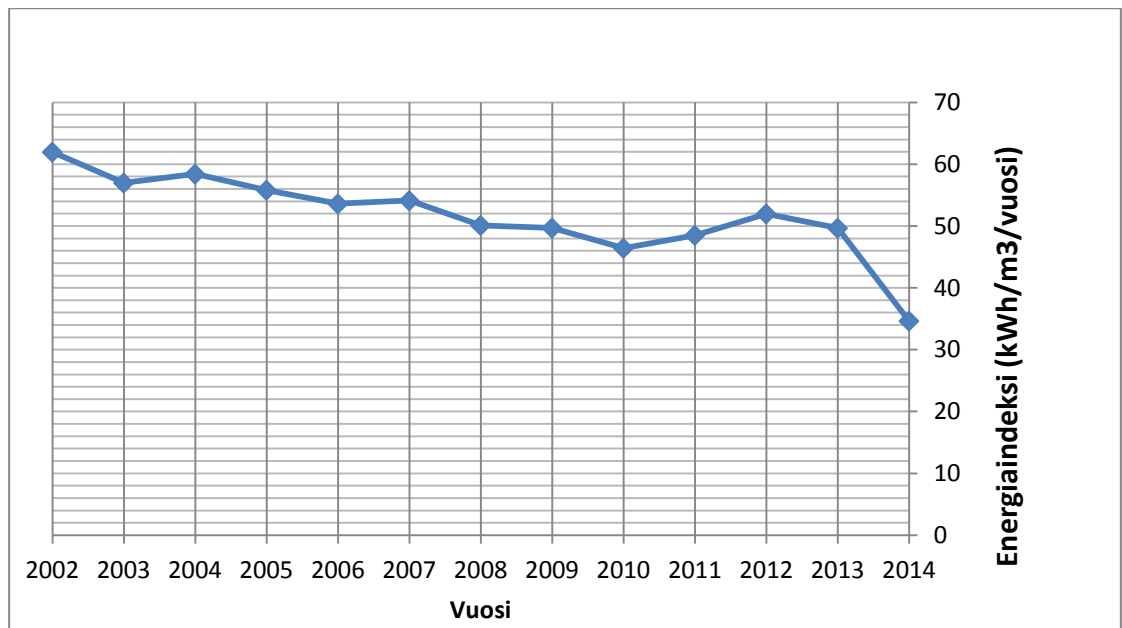
KUVA 15. Veden kulutuksen muodostuminen /22/

Peseytymiseen kuluu suurin osa käytetystä vedestä. Esimerkiksi suihkussa peseytymiseen käytettävällä ajalla on iso vaikutus veden kulutukseen. Suihkussa kuluu vettä noin 12 l/min.

9.2 Tutkimuskohteen energiankulutus

9.2.1 Lämpö

As Oy Vuorikilvessä on ennen vuotta 2013 ollut päälämmönlähteenä kaukolämpö. Helmikuussa 2013 otettiin Vuorikilvessä käyttöön PILP- laitteisto. Kuvasta 16 nähdään vuosien 2002–2013 energiaindeksin arvot. Energiaindeksissä on huomioitu 2013 vuonna myös sähkön kulutuksen nousu lämpöpumpun myötä.



KUVA 16. Tutkittavan kohteen energiaindeksin muutokset vuosina 2002–2013

Kuvaajasta voidaan nähdä, että energiaindeksin trendi on ollut laskeva 2002 vuodesta asti. Tähän voi olettaa vaikuttavan vuosien varrella kiinteistöön tehdyt korjaustoimenpiteet. Yläpohjan lisälämmöneristys vuonna 2005 ei vaikuta kuin rakennuksen ylimmän kerroksen lämpöhäviöihin, joten se ei näy isossa kuvassa kovinkaan merkittävästi. Ikkunoiden uusimisen ja ulkoseinien lisälämmöneristysten vuonna 2007 olisi luultu näkyvän kulutuksessa enemmän. Muutaman prosentin pudotus kuvaajassa näkyy. Ikkunat tosin ovat olleet U-arvoltaan vain 1,4. Nykyään määräys on 1,0 ja alle 0,7 ikkunoitakin asennetaan saneerauskohteisiin. Energia-avustuksen myöntämisaikamuksena ikkunaremonttiin on nykyään ollut ikkunoiden U-arvo 0,8.

2010 vuodesta eteenpäin energiaindeksi on hieman noussut ja 2012 vuonna on oltu lähes 2007 vuoden tasolla. Lämmitystarpeen muutoksiin voi vaikuttaa rakennuksen käyttäjistä johtuvat erilaiset vaikutukset, pakkaskeleillä tuulettaminen tai tarpeettoman korkeat sisälämpötilat. Lämmitysenergiankulutukset on normeerattu kullekin vuodelle, jotta eri vuosien lämmitystarpeita voidaan vertailla. Normeeraus ei kuitenkaan ota huomioon päiviä, joiden keskilämpötila on keväällä yli +10 °C ja syksyllä +12 °C. Tämä voi vaikuttaa myös saatuihin tuloksiin.

Rakennuksen lämpöhäviöihin vaikuttavien remonttien jälkeen on syytä muistaa suorittaa aina patteriverkoston säätö, jotta ei ajeta yllämpöä pienentyneen lämmöntarpeen

jälkeen eikä energiaa kulu hukkaan. Tutkimuskohteen tapauksessa ei ole tietoa siitä, onko patteriverkosto säädetty jokaisen remontin jälkeen.

Vuorikilven lämpöindeksin viiden edellisvuoden keskiarvo ennen PILP- laitteiston asennusta on ollut 49,26 kWh/m³/vuosi. PILP- laitteiston käyttöönottovuonna energia-indeksi, jossa on mukana lämpöpumpun aiheuttama sähkötulo, on ollut 34,70 kWh/m³/vuosi. Pudotusta on siis tullut 14,56 kWh/m³/vuosi, joka on prosentteina noin 29,6 %. PILP- laitteisto otettiin käyttöön vasta helmikuussa ja ensimmäinen vuosi on muutoinkin sisältänyt hienosäätöä, joten seuraavina vuosina kaukolämmönkulutus tulee oletettavasti pienenemään vielä tästä.

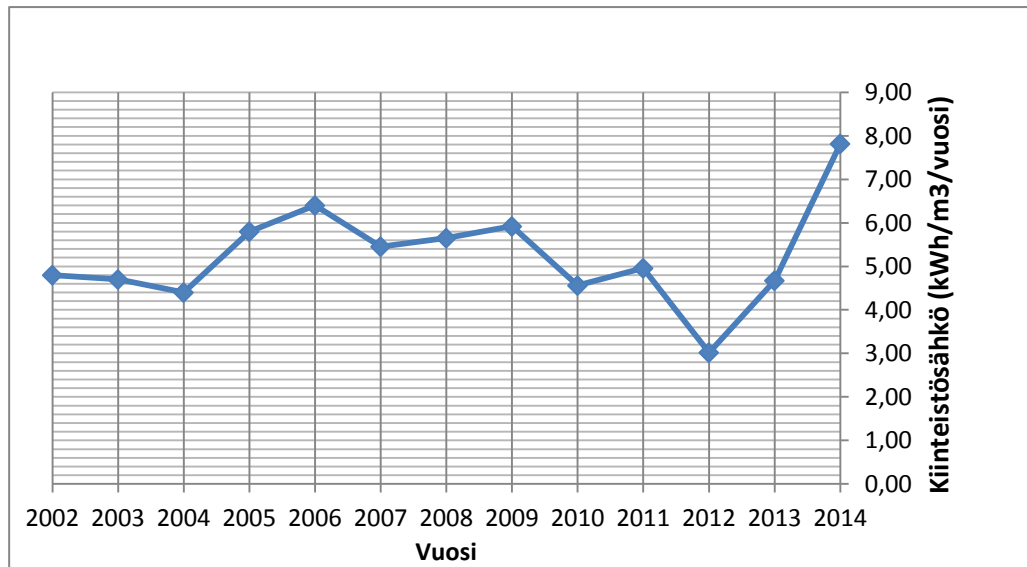
PILP-saneerauksen jälkeen kaukolämmönkulutus tippuu huomattavasti ja sähkötulo kasvaa. Vuorikilvessä kaukolämmönkulutusta seurattiin asennuksen jälkeen muutama kuukausi ja kulutuksen todettiin laskevan niin, että kaukolämpöyhtiön kanssa sovittiin tilausvesivirran pienentämisestä toukokuusta 2013 alkaen. Kuukausittainen perusmaksu putosi 842,17 eurosta 294,76 euroon. Eli sopimusvesivirran pienentäminen laski rahallisesti kaukolämpölaskua 6568,92 € vuodessa.

Vuoden 2013 normeerattuun kaukolämmönkulutukseen 467838 kWh lisättäessä kyseisenä vuonna sähkön kulutukseen tullut lisäys 46673 kWh, saatiin lämmönkulutukseksi 514511 kWh. Edellisten viiden vuoden kaukolämmönkulutuksen keskiarvo oli 731491 kWh. Tämä vähennettynä vuoden 2013 normeeratulla kulutuksella saatiin vastaukseksi 216980 kWh, joka on prosentteina noin 29,6 %.

Edellisen vuoden normeerattu kaukolämpökulutus on ollut 737538 kWh.

9.2.2 Sähkö

As Oy Vuorikilven kiinteistösähkönkulutus on esitetty kuvassa 17.

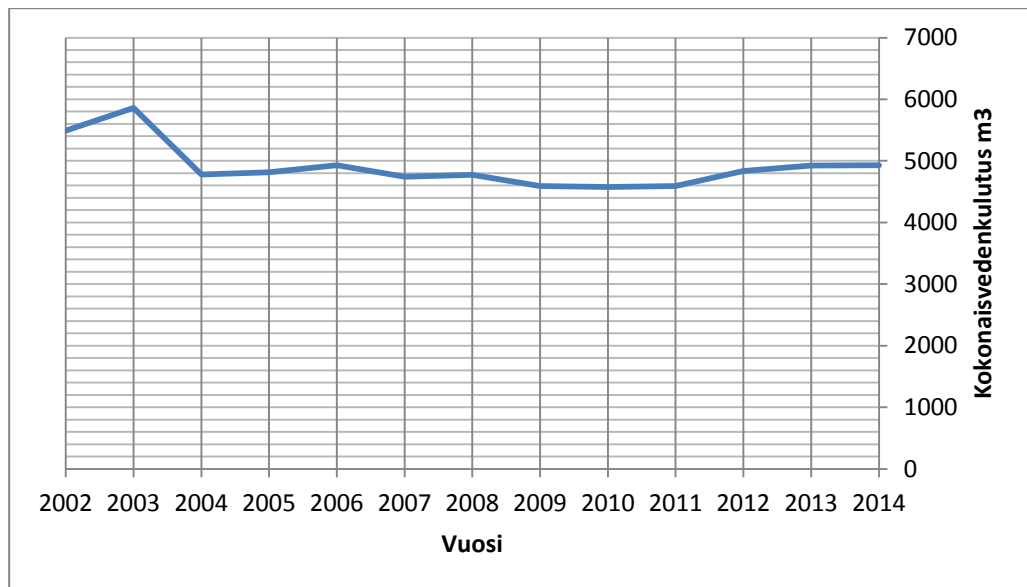


KUVA 17. Tutkittavan kohteen kiinteistösähkönkulutuksen muutokset vuosina 2002–2013

Tutkimuskohteen kiinteistösähkönkulutus kuutiometriä kohden on ollut ennen PILP-laitteiston asennusta viiden edellisvuoden keskiarvolla 4,6 kWh/m³. PILP-laitteiston asennusvuonna sähkönkulutus on ollut 7,82 kWh/m³. Sähkönkulutus on noussut 3,22 kWh/m³, joka on prosentteina 70 %. Sähkönkulutus koostuu kiinteistösähköstä. PILP-saneerauksen jälkeen kiinteistösähkönkulutus kasvaa, koska lämpöpumpun kompressorin ja liuospumppujen käyttö vaatii sähköä.

9.2.3 Vesi

Vuorikilven vedenkulutukset vuosina 2002–2013 on esitetty kuvaajan avulla kuvassa 18.



KUVA 18. Tutkittavan kohteen vedenkulutus

Vuonna 2013 on tutkittava kiinteistö käyttänyt 4928 m³ vettä, josta 40 % arvioidaan kuluvan lämpimänä vetenä eli 1971,2 m³. Tämän vesimäärän lämmittäminen vaatii lämmitysenergiaa vuodessa 114,3 MWh.

10 SIMULOINTIOHJELMA PILP-MALLINNUKSEEN

Retermia Oy on kehittänyt Equa Simulation Finland Oy:n kanssa yhteistyössä simulointiohjelman poistoilmalämpöpumpulaskentaan. Kyseessä on IDA- laskentaympäristöön eli IDA Indoor Climate and Energy -ohjelmaan tehty poistoilmalämpöpumpulaskentamalli. Ohjelma mahdollistaa PILP-järjestelmien tarkemman suunnittelun sekä koko PILP- järjestelmän vuotuisen energiansäästön tarkan laskennan. Ohjelmalla pystytään osoittamaan järjestelmän todellinen toimivuus niin tarkasti etukäteen kuin se on mahdollista. Ohjelma on toteutettu Retermia Oy:n oman suunnittelun työkaluksi.

Ohjelma oli uusi ja vaati vielä testausta. Ohjelmalla simuloitiin tässä työssä tutkittavan rakennuksen PILP- järjestelmä ohjelman testauksen kannalta. Vuorikilven laitteisto oli ollut vuoden käytössä ja toteutuneita kulutuksia ja tuottoja voitiin verrata simulointituloksiin. Kulutukset ja tuotot saatiin kokonaiselta vuodelta tilan käyttöajan ja tuntitason kuormituksen avulla. Ohjelma antoi yksityiskohtaisen energialaskennan rakennuksen PILP- laitteistosta tuntitason simuloinnin perusteella.

Retermian simulointiohjelma on lähempänä IDA ESBO-ohjelmaa eli Early Stage Building Optimization, joka pohjautuu myös IDA ICE:en. IDA ESBO on tarkoitettu myös optimaalisen rakennussuunnittelun työkaluksi. IDA ESBO:lla voi kokeilla erilaisia rakennussuunnitteluratkaisuja ja arvioida niiden vaikutuksia elinkaarikustannuksiin, energiankulutuksiin ja viihtyisyyteen. Retermian PILP-mallia käytetään myös suunnittelun apuna ja sillä pyritään nimenomaan selvittämään rakennuksen lämmitysjärjestelmän optimaaliset toteutusvaihtoehdot ja säädöt PILP-järjestelmän suunnitteluvaiheessa.

Poistoilmalämpöpumppujärjestelmän suunnitteluun ei ole aikaisemmin ollut valmista simulointiohjelmaa. Retermian simulointiohjelmaan on luotu todellista järjestelmää kuvaava systeemi, johon syötetään energialaskennan vaatimat tekijät ja parametrit, jotta poistoilmalämpöpumppujärjestelmiä pystytään simuloimaan. Ohjelma on vain Retermian omaan käyttöön tarkoitettu.

11 KOHTEEN MALLINNUS SIMULOINTIOHJELMALLA

Tässä työssä tutkittiin Retermian kehittämän PILP-simulointiohjelman toimivuutta. Ohjelmaa on tarkoitus jatkossa käyttää PILP-järjestelmien suunnittelun apuna. Vuorikilven PILP-järjestelmä mallinnettiin Retermia Oy:n IDA ICE-pohjaisella simulointiohjelmalla. Ohjelmaan syötettiin rakennuksen taloteknisten järjestelmien tiedot, kuten ilmavirrat, lämmityspiirin virtaama ja menoveden säätökäyrä, vaipan konduktanssi, lämpimän käyttöveden kulutus ja varaajien koot. PILP-järjestelmän tiedot selvitettiin laitteiden tyyppikilvistä, valmistajilta tai urakoitsijalta. Kohteen isännöitsijältä ja taloyhtiön hallituksen puheenjohtajalta saatiin myös vastauksia rakennukseen ja järjestelmään liittyviin kysymyksiin.

Simulointia varten tarvitaan rakennuksen vaipan ominaislämpöhäviöt, joiden laskettiin olevan 3226 W/K. Pinta-alat katsottiin rakennuksen pohjakuvista, jotka hankittiin Jyväskylän rakennusvalvonnasta. Rakennusosien U-arvot arvioitiin piirustusten ja haastattelujen perusteella. Ilman tarkempaa tietoa jääneiltä osin käytettiin Ympäristöministeriön asetuksen rakennusten energiatodistuksesta 176/2013 taulukon 1 mukaisia rakenteiden lämmönläpäisykertoimia.

Rakennuksen ominaistietoihin merkataan vaipan lämpöhäviöt. Ohjelmaan syötetään lämmityksen säätökäyrä sekä ilmanvaihdon tehostuksen säätökäyrä. Lämmityksen säätökäyrä vaikuttaa kulloiseenkin lämmitystarpeeseen. Ilmanvaihdon ilmavirrat vaikuttavat lämpöhäviöihin. Tutkittavassa kohteessa ilmamäärät säätävät päivittäisen tehostusaikataulun mukaan sekä ulkolämpötilan mukaan. Nämä aikataulutiedot ja lukuarvot syötettiin ohjelmaan.

Ohjelmassa on oma syöttöruutu neulaputkilämmönsiirtimelle, johon annetaan siirtimen tiedot. Neulaputkilämmönsiirtimen syöttöruutuun annetaan ilman virtausnopeus perusilmavirralla 0 °C ulkolämpötilassa. Poistoilman lämpötilaksi ohjelmaan annettiin 22 °C ja poistoilman vesisisällöksi 0,005 kg H₂O/kg kuivaa ilmaa. Poistoilman lämpötilalle ja kosteudelle pystyy myös määrittämään aikataulut. Esimerkiksi ruokaa laitettaessa liesikuvun kautta tuleva poistoilma on usein lämpimämpää ja kosteampaa kuin normaali huoneilma.

Lämpöpumpun suurin haluttu lämmitysveden syöttölämpötila syötetään ohjelmaan. Lämmitykselle merkitään myös ulkolämpötilan yläraja, jonka jälkeen lämmitystä ei tarvita. Lisäksi lämmitykselle on aikataulu, jonka mukaan lämmitys voidaan katkaista tietyltä ajanjaksolta. Kesäajalle voi säätää lämmityksen pois.

Käyttöveden lämpötilaksi ohjelmaan asetettiin 55 °C Suomen rakentamismääräyskoelman osan D1 mukaisesti. Ohjelmaan syötetään lämpimälle käyttövedelle todellisesta kulutuksesta laskettu vesivirtaama, joka toteutuisi, jos käyttöveden kulutus olisi tasaista. Tässä kohteessa tasainen virtaama oli 0,059 kg/s. Tästä kulutuksesta ohjelma laskee lämpimän käyttöveden kulutuksen jakaantumisen eri ajankohdille ohjelmaan syötettyjä aikatauluja apuna käyttäen. Lämpimän käyttöveden kulutuksen mallintamiseen käytettiin standardin SFS-EN 15316-3-1:2007 mukaista käyttöprofiilia yhden perheen lämpimän käyttöveden kulutukselle. Kuukausittaiset kulutuserot lämpimän käyttöveden kulutuksessa mallinnettiin Ympäristöministeriön ”Lähes nollaenergiarakentamisen laskennan lähtötiedot”-ehdotelmahankkeeseen suunnitellun Excel-taulukon mukaisesti. /23/

Vesivaraajien tilavuudet ja sisämitat syötetään ohjelmaan. Varaaja on jaettu ohjelmassa kerroksittain kymmeneen osaan. Ohjelma osaa laskea veden kerrostuneisuuden ja

sekoittumisen eri ajanhetkillä kulutuksen ja lataamisen mukaan. Ohjelma huomioi myös varaajan lämpöhäviöt.

Lämpöpumpulle on myös oma syöttöruutu. Lämpöpumpulle syötetään valmistajan ilmoittamat standardin mukaiset toiminta-arvot. Valmistajat ilmoittavat usein COP-luvun edullisimmilla mahdollisilla standardin mukaisilla käyttöolosuhteilla. Todellisuudessa pohjoismaisissa olosuhteissa eivät standardin mukaiset matalalämpötilat toteudu koskaan. Tutkittavassa lämpöpumpussa COP-luku 4,51 on ilmoitettu standardin SFS EN-14511–2:2013 mukaisesti matalimmilla lämpötilatasoilla eli lämmönsiirtonesteen lämpötiloilla 0 °C / -3 °C ja lämmitysveden lämpötiloilla 30 °C / 35 °C. /24./ Annettujen tietojen mukaan ohjelma laskee oikean tehon ja lämpökertoimen koko toiminta-alueella muutaman prosentin tarkkuudella /25/.

Tutkittavassa järjestelmässä käytettävässä Nibe F-1345 -lämpöpumpussa on todellisuudessa kaksi kompressoria. Ohjelmaan on luotu kompressorit niin, että molemmat kompressorit on jaettu kahdeksi malliksi. Kummankin kompressorin kahdesta mallista toinen voi lämmittää käyttövedtä ja toinen lämmitysverkoston paluuvettä. Tutkimuskohteessa toinen kompressori lämmittää pelkästään lämmitysverkoston paluuvettä ja toinen kompressori lämmittää tarvittaessa käyttövedtä ja lämmitysverkoston paluuvettä. Kompressorit on mallinnettu kahdessa osassa siksi, että käyttöveden ja lämmityksen energiat saadaan eriteltyä.

Lämpöpumpun voi säätää toimimaan niin, että se keskittyy ensisijaisesti paluuveteen ja lämmittää varaajaa vain silloin, kun lämmityksen paluuvettä ei ole tarve lämmittää ja varaaja pyytää lämpöä. Lämpöpumpun voi asettaa toimimaan myös niin, että se lämmittää tarvittaessa lämmityksen paluuvettä ja tarvittaessa heti, kun varaajan lämpötila-anturit huomaavat varaajan veden lämpötilan laskevan, lämpöpumppu alkaa ladata varaajaa. Tutkittavassa kohteessa lämpöpumppu ajaa aina pääasiassa lämpöä lämmityksen paluuveteen.

12 INVESTOINNIN KANNATTAVUUS

Takaisinmaksuaika on kannattavuutta ja saavutettavaa hyötyä osoittava tekijä. Takaisinmaksuaika kertoo missä ajassa tavara, laite tai palvelu, tässä tapauksessa PILP-

järjestelmä maksaa itsensä takaisin. Suora takaisinmaksuaika on yksinkertainen menetelmä jota voi käyttää ainoastaan suuntaa antavana laskentatapana. Suora takaisinmaksuaika on hankintakustannus jaettuna vuotuisella nettotuotolla.

takaisinmaksuaika = hankintakustannus / vuotuinen nettotuotto

Yleisesti ottaen investointien ja myös energiataloudellisten investointien kannattavuutta laskiessa pitää ottaa huomioon, että eri menoerät, tuotot ja investoinnit sijoittuvat eri ajankohdille. Näin ollen korko vaikuttaa rahasummien suuruuteen. Jos eri ajankohtina toteutuvia kuluja ja tuottoja laskee vain yhteen, saa kyllä suuntaa antavan tuloksen, mutta toteutuva tulos voi olla muuttuvien tekijöiden takia eri. Nettonykyarvomenetelmä on hyvä laskutapa energiainvestoinnin takaisinmaksuajan laskentaan. Se ottaa huomioon valittujen korkojen vaikutukset investointiin. Nettonykyarvomenetelmällä saadaan selville investoinnin nykyarvo tietyn ajanjakson kuluttua. Nettonykyarvolaskulla saadun lopputuloksen (P) ollessa plusmerkkinen, investointi on maksanut itseään jo saadun lukuarvon verran takaisin. /26./

Nettonykyarvomenetelmän laskentatavalla diskontataan kaikki tuotot, kulut ja investoinnit nykyhetken korkokannalla laskettuna. Nettonykyarvokaava on esitetty yleisessä muodossa kaavassa 3. /26./

$$P = \sum_{k=1}^n \frac{T_k}{(1+i)^k} - \sum_{k=1}^n \frac{K_k}{(1+i)^k} - I_0 + \frac{S}{(1+i)^n} \quad (3)$$

P = tuotto

T_k = vuoden k tuotot

K_k = vuoden k kulut

I₀ = alkuinvestointi ensimmäisen vuoden alussa

S = jäännösarvo vuoden n lopussa

i = valittu laskentakorko

Euroopan keskuspankki pyrkii ylläpitämään hintavakautta euroalueella ja keskipitkällä aikavälillä inflaation suuruus pidetään alle 2 %. /27/ Tämän työn kannattavuuslaskelmissa on inflaationa käytetty 2 %. Nimelliskorkona laskuissa käytettiin 5 %. Reaa-

likorko ottaa huomioon nimelliskoron sekä inflaation. Reaalikorko lasketaan kaavan 4 mukaisesti. /26./

$$r = \frac{i-f}{1-f} \quad (4)$$

r = reaalikorko

i = nimelliskorko

f = inflaatio

Edellisessä lausekkeessa käytetään nyt korkona reaalikorkoa r.

Ensimmäisen vuoden alkuinvestointi oli 120000 €. Tuottoihin kuuluu ensimmäisenä vuonna saatu energia-avustus, joka oli 15 % kokonaishinnasta eli 18000 €. Vuosittaisiin tuottoihin kuuluu kaukolämmönkulutuksessa säästettävä rahamäärä vähennettynä sähkönkulutuksen lisääntymiseen kuluvalle rahamäärällä.

Sähkön hintana on käytetty vuonna 2013 120 €/MWh /28/. Kaukolämmön hintana on vuonna 2013 käytetty 58,12 €/MWh /29/. Energian hinnannousu on laskettu olevan noin 5 % vuodessa sähkölle ja noin 6 % vuodessa kaukolämmölle, jotka on laskettu 10 vuoden keskiarvoista kahden eri lähteen perusteella /30; 31/. Prosentit ovat suuntaa antavia. Energian hinnankehitystä on vaikea ennustaa varmasti. Tällä hetkellä kaukolämpö ei ole hinnaltaan tarpeeksi kilpailukykyinen kuluttajan kannalta, vaikka kaukolämpö olisi yhteistuotantolaitoksissa tuotettuna huomattavasti vihreämpi vaihtoehto. Tällä hetkellä kaukolämpökohteita siirretään maalämpöön, koska kaukolämpö on suhteessa huomattavasti kalliimpaa kuin maalämpöjärjestelmän kuluttama sähkö. Tässä työssä on tehty laskelmat erilaisilla energian hintojen kehityksen skenaarioilla. Erilaisia laskelmia tehtiin, koska hintojen kehitystä ei pysty ennustamaan varmasti ja haluttiin selvittää erilaisten hintakehitysten mahdolliset vaikutukset kannattavuuteen.

Yksi sähkön hinnan odotettavaan nousuun viittaava asia on myös se, että nykyisellään Suomessa on tarjolla EU:n kolmanneksi halvinta sähköä. Lisäksi Suomi on riippuvainen ulkomailta tuodusta sähköstä. Vuonna 2012 Suomen energiankulutuksesta 20 % tuli Pohjoismaista, Virossa ja Venäjältä. Tulevaisuudessa Suomessa pyritään lisäämään uusiutuvia energianlähteitä ilmastotavoitteiden mukaisesti ja samalla lisäämään myös omavaraisuutta. /32./ Edellä mainituista syistä työssä tehtiin laskelma myös säh-

kön hinnan suuremmasta noususta verrattuna kaukolämmön hintaan ja kaukolämmön hintojen tasaantumisesta. Sähkön vuotuinen hinnannousu oli vaihtoehtolaskelmassa 9 % ja kaukolämmön vain 4 %. Työssä tehtiin myös vastaavasti laskelma, jossa kaukolämmön hinnannousuna oli 9 % ja sähkön vain 4 %. Neljäs laskelma tehtiin maltillisilla sähkön 3 % hinnannousulla ja kaukolämmön 4 % hinnannousulla.

Kannattavuuslaskelmissa oletettiin, että PILP- laitteisto toimii tulevina vuosina samoilla tuotoilla ja kuluilla kuin ensimmäisenä käyttövuotena. Laskuissa huomioitiin kulut ja tuotot helmikuusta 2013 helmikuuhun 2014. Oletettavasti kuitenkin todellisuudessa tulevina vuosina PILP- laitteisto toimii ensimmäistä vuotta kannattavammin, kun järjestelmälle on löydetty optimaaliset säätösuureet.

PILP- järjestelmän vuotuisiin kuluihin huomioitiin neulaputkilämmönsiirtimen vuosittain suoritettava huolto, jossa puhdistetaan neulapinnalle tarttunut lika ja epäpuhtaudet. Huoltoon kuuluu imurointi ja korkeapainepesu tarkoitukseen sopivalla SP130-pesuaineella sekä ilmauksen tarkistaminen, neulapinnan tarkistaminen ja lämmönsiirtonesteen näytteenotto. Tässä työssä tehdyissä laskelmissa on käytetty tutkimuskohteen neulalämmönsiirtimien huollon hinnoitteluna kaikkienensa 500 €/vuosi sis. ALV 24 %. Huollon hinta on käytännössä aina tapauskohtainen. /33./

Kannattavuuslaskelma on suuntaa antava osoitus järjestelmän taloudellisista eduista. Järjestelmän tehokkuus, energian hintojen kehitys, korkotaso ja inflaatio vaikuttavat takaisinmaksuajan muodostumiseen.

13 TULOKSET JA POHDINTA

PILP- laitteistojen rakentaminen vanhoihin kerrostaloihin on lisääntynyt muutaman viime vuoden aikana ja lisääntyy edelleen. Eikä suotta, sillä näyttää siltä, että laitteistolla voidaan pienentää kerrostalon energiankulutusta merkittävästi. PILP- järjestelmien suunnitteluun ja toteutukseen on syytä kiinnittää kuitenkin huomiota, jotta laitteistosta saadaan kaikki potentiaali irti. Laitteiston säätö on tärkeää parhaan mahdollisen lopputuloksen saavuttamiseksi.

Kerrostalojen koneellinen poistoilmanvaihto ilman lämmöntalteenottoa on merkittävä lämpöhäviöiden aiheuttaja. Energia on viime vuosina kallistunut ja energian käytöstä maksavat tahot ovat alkaneet kiinnittää huomiota energiankulutukseen. Vanhoissa kerrostaloissa on syytä remontoida rappeutumisen takia tietenkin rakennuksen ulko-vaippaa, ikkunoita ja seiniä. Suurimmat lämpöhäviöt aiheutuvat kuitenkin koneellisesta poistoilmanvaihdosta. Koneellisen poistoilmanvaihdon lämmöntalteenotolla on energiansäästöpotentiaalia. Tämä tutkimus osoitti, että poistoilmalämpöpumpulla pystytään säästämään energiankulutuksessa suuria määriä. Ensimmäisenä vuonna tutkimuskohteen kokonaislämmitysenergiankulutus sähkön kulutuksen nousu huomioituna putosi 29,6 %. Laitteiston todellisia energiankulutuksia ja – tuottoja olisi mielenkiintoista tutkia tulevaisuudessa, kun käyttövuosia tulee lisää. Ensimmäisenä käyttövuonna laitteisto ei toiminut vielä aivan optimaalisesti, mutta tulokset ovat silti jo erittäin hyviä.

Kannattavuuslaskelmat tehtiin helmikuun 2013 – helmikuun 2014 välisenä aikana toteutuneilla energian mittaustiedoilla. Laskentatulokset löytyvät liitteestä 1. Tulosten perusteella PILP- laitteiston käyttö kerrostalon poistoilmanvaihdon lämmöntalteenotossa on hyvä ratkaisu. Vaikka investointi on suhteellisen iso, laitteistolla säästetään niin paljon lämmityskuluissa, että tutkittavassa kohteessa investointi maksaa itsensä takaisin ensimmäisen vuoden toteutuneiden kulutusten perusteella noin 8 vuodessa. Kyseisessä laskelmassa käytettiin sähkön vuotuisena hinnan kehityksenä 5 % ja kaukolämmön vuotuisena hinnan kehityksenä 6 %. 8 vuoden jälkeen laitteisto alkaisi tuottaa voittoa, laitteiston teknisen käyttöiän ollessa noin 20 vuotta. Todennäköisesti takaisinmaksuaika tulee olemaan todellisuudessa lyhyempi. Laskelmat ovat suuntaa antavia ja tekijöitä muuttamalla saadaan erilaisia tuloksia.

Kannattavuuslaskelmista tehtiin erilaisia versioita. Maltillisemmilla energian vuotuisilla hintakehityksillä sähkölle 3 % ja kaukolämmölle 4 %, takaisinmaksuaika pysyi 8 vuodessa. Sähkön hinnan vuosittaisen kehityksen ollessa 9 % ja kaukolämmön hinnan vuotuisen kehityksen ollessa 4 %, takaisinmaksuaika pitenisi 10 vuoteen. Mikäli taas kaukolämmön hinnan vuotuinen kehitys olisi 9 % ja sähkön hinnan vuotuinen kehitys 4 %, takaisinmaksuaika lyhenisi 7 vuoteen.

Liitteessä 2 on taulukoituna 16 eri simulointitapausta. Kuvassa 19. on simulointisäättöjen eri tekijät esitettynä tapaus 1:en avulla.

Tapaus	Lämpöpumpun antoteho, kW	Tmeno, mit, °C	Tpaluu, mit, °C	Tehonsäätö	"Putkikytkentä"				Tlmax, °C
					Comp 1a	Comp 1b	Comp 2a	Comp 2b	
1	40	80	60	-1	1	0	1	1	60

KUVA 19. Simulointitapaus 1

Simulointiohjelmalla testattiin 16 erilaista PILP- laitteiston säätötilannetta. 40 kW lämpöpumppu kokeiltiin muuttaa 60 kW lämpöpumppuun. Tapaus 1:ssä lämpöpumpun antotehona on 40 kW. Lämmitysverkoston menolämpötila 80 °C ja paluulämpötila 60 °C, ohjelmaan syötetään menolämpötilaksi 80 °C ja patteripiirin virtaama lämpötilaeron mukaisesti. Tässä kohteessa virtaama on 20 °C lämpötilaerolla 3,73 l/s.

Lämpöpumpun kahden eri kompressorin säätöä kokeiltiin muuttaa niin, että molemmat kompressorit tuottavat tarvittaessa lämpöä kaukolämmön paluuveteen ja molemmat voivat tuottaa tarvittaessa käyttövettä tai vain toinen voi tuottaa käyttövettä. Tämä säätö on taulukossa nimellä putkikytkentä. Comp 1b arvon ollessa 1 se tuottaa käyttövettä ja arvon ollessa 0 ainoastaan Comp 2b tuottaa käyttövettä.

Tehonsäätöä voitiin testata niin, että lämpöpumpulla pyritään tuottamaan ainoastaan patteriverkoston paluuvettä silloin kun sitä pystyy lämmittämään ja käyttövettä lämmitetään silloin, kun patteriverkoston paluupuolella ei ole tarvetta ja LKV:lle on lämmitystehontarvetta, tehonsäätö -1. Toinen vaihtoehto niin, että lämpöpumppu haastelee lämmityksen ja käyttöveden tarpeita ja lataa lämpöä aina siihen kohteeseen, missä on matalin lämpötilataso, tehonsäätö +1. Radiaattoriin meno- ja paluueden lämpötiloja muutettiin. Lämpöpumpun korkeinta tuottolämpötilaa testattiin 55 °C ja 60 °C välillä (Tlmax).

Simuloinneista saatujen lämpöpumpun sähkönkulutuslukemien ja lämmöntuottolukemien perusteella laskettiin energiakustannukset, jotka toteutuvat tutkittavan rakennuksen vuoden 2012 lämmönkulutusmäärillä. Kaukolämpökulutuksesta vähennettiin lämpöpumpulla saavutettavat kustannussäästöt eli lämpöpumpun lämpötuoton ja lämpöpumpun aiheuttaman sähköenergian kulutuksen erotus eri hintakehitysskenaarioilla. Hintakehitysskenaarioina käytettiin neljää eri skenaariota, joita käytettiin toteutuneidenkin kulutusten perusteella lasketuissa kannattavuuslaskelmissa. Simulointitapaukset löytyvät liitteestä 2.

Ennako-odotusten mukaisesti lämpöpumpun tehokkuuden kannalta radiaattoriin meno- ja paluueden lämpötilat 70/40 todettiin paremmiksi kuin 80/60. Toinen huomio oli 40 kW lämpöpumpuilla saatava parempi SCOP- luku kuin 60 kW lämpöpumpuilla. 60 kW lämpöpumppu tuottaa kuitenkin lämpöä niin paljon enemmän, että tämän hetkisillä energianhinnoilla se olisi tarkasteltavassa kohteessa kustannustehokkaampi kuin 40 kW lämpöpumppu. Mikäli kuitenkin tulevaisuudessa sähkön hinta nousee paljon verrattuna kaukolämmön hintaan, 40 kW lämpöpumppu pitää pintansa paremmin ja muuttuu kustannustehokkaammaksi paremman SCOP- luvun ansiosta. Nämä simuloinnit ja laskentatulokset vahvistavat käsitystä siitä, että lämpöpumpputekniikkaa käytettäessä hyvä lämpöpumpun tehokkuus eli hyvä SCOP- luku varmistaa kustannustehokkuuden myös tulevaisuudessa energian hintojen kehittyessä.

Automaation säädöt eli lämpöpumpun korkeimman tuottolämpötilan muuttaminen 55 °C ja 60 °C välillä ei juuri vaikuta vuotuisen tehokkuuteen eli SCOP- lukuun. 60 °C tuottolämpötilasäädöllä lämpöpumppu on käynnissä hieman pidemmän aikaa ja lämpötuotto on hieman suurempi kuin 55 °C. Erot tässä säädössä ovat hyvin pienet.

Simulointitulosten perusteella lämpöpumpun tehokkuus eli COP on parempi käytettäessä lämpöpumpulla tuotettua energiaa lämmitysveden lämmittämiseen kuin käyttöveden lämmittämiseen, koska käyttöveden lämmittämiseen tarvitaan korkeampi lämpötilataso. Lämmityksen priorisoinnin tai lämmityksen ja käyttöveden välisen optimoinnin vaikutus SCOP- lukuihin on pieni. Kuitenkin lämmityksen priorisointi on SCOP- luvun kannalta parempi, mutta lämmityksen ja käyttöveden optimoinnilla saadaan suurempi lämpötuotto. Simulointivertailuissa tulee lämpöpumpun luonne esille. Pienellä SCOP- luvulla saadaan suurempi tuotto ja suuremmalla SCOP- luvulla pienempi tuotto. Näiden välillä täytyy löytää kulloisessakin kohteessa ratkaisu, jonka tehokkuus eli SCOP- luku ja lämmön tuotto ovat tasapainossa keskenään.

Tutkimuskohteessa ensimmäisenä käyttövuonna toteutunut SCOP- luku oli 3,43. Simuloinnista saadun tapaus 1:en SCOP- luku oli 4,94, joka säädöiltään vastaa tutkimuskohdetta. Toteutunut lämpöpumpun lämpötuotto oli ensimmäisenä käyttövuonna 234 MWh. Simuloinnin antama lämpöpumpun lämpötuotto oli 313 MWh. Toteutuneet energiat löytyvät liitteestä 3. SCOP- lukujen ero selittyy tutkimuskohteen laitteistoon ensimmäisen vuoden aikana tehdyistä muutoksista ja hienosäädöistä. Ilmamäärät muuttuivat ja niitä säädettiin ensimmäisenä vuonna. Huonoin kuukausi oli toukokuu

2013, jolloin lämpöpumpun COP-luku oli vain 2,36 ja lämpötuotto 7 MWh. Lisäksi todellisessa käytössä on voinut olla jotain sellaista mitä ei simuloinnissa ole otettu huomioon, kuten asukkaat voivat tuulettaa huoneistoa pakkasilla, jolloin tulee lisää lämpöhäviöitä. Simuloinnin säädöissä saattoi olla jotain eroa tutkimuskohteeseen nähden. Säävuotena on simuloinnissa käytetty vuoden 2012 Helsinki-Vantaan säädataa, joka poikkeaa vuoden 2013 Jyväskylän säästä. Lämpöhäviölaskennan osalta vaipan rakennusosien lämpöhäviöissä voi olla laskentavirhettä, koska laskenta on sisältänyt myös arvioita. Rakenteiden lämmönläpäisykertoimien arvioidut arvot ovat voineet olla huonompia kuin todelliset arvot. Jos rakenteet on arvioitu todellisuutta huonommiksi, niin lämmitysenergian tarve on ollut todellisuutta suurempi. Se selittäisi myös osittain simuloinnissa lämpimän käyttöveden lämmittämiseen käytetyn pienemmän lämpömäärän. Simuloinnissa laitteisto toimii optimaalisesti koko vuoden ajan, siksi sen pitääkin antaa todellisuutta parempi tulos. Simulointitapausten väliset erot ovat johdonmukaisia ja säätöjen vaikutusten erot ovat vertailukelpoisia.

Simulointiohjelma toimi jo vähintäänkin kohtuullisesti, koska saadut tulokset korreloivat As Oy Vuorikilvestä saatujen mittausten kanssa. Ohjelma oli vasta valmistunut ja tässä työssä tutkittu kohde oli ensimmäinen todellinen laskentatesti. Retermia Oy tulee testaamaan ohjelmaa vielä lisää käytännön sovelluksilla ja lähitulevaisuudessa yritys ryhtyy käyttämään ohjelmaa suunnittelun apuna.

On syytä muistaa, että simulointi antaa tulokset niin, että järjestelmä toimii aina optimaalisesti ja tästä johtuen ohjelmasta saadut tulokset eivät voikaan olla täysin identtisiä todellisuuden kanssa. Lisäksi todelliseen käyttöön liittyy aina muuttuvia tekijöitä, joita ei pysty täysin tietokonemallinnuksella kuvaamaan, kuten lämpimän veden käytön mallinnus tuntitason kulutusprofiililla. Kokonaisuudessaan voidaan todeta, että simulointiohjelma on tervetullut apuväline PILP- järjestelmien suunnitteluun ja sillä pystytään saamaan totuudenmukaisia laskelmia.

LÄHTEET

1. Lammin Ikkuna Oy. Signal Window. WWW-dokumentti. <http://www.signal-window.com/signalwindow/> Päivitetty 10.3.2014. Luettu 10.3.2014.
2. Kouhia, Ilpo ym. 2010. Rakennuksen ulkovaipan energiakorjaukset. VTT-tutkimus. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2010/VTT-R-04017-10.pdf> Päivitetty 29.3.2011 Luettu 20.2.2014.
3. Virta, Jari, Pylsy, Petri. 2011. Taloyhtiön energiakirja. WWW-julkaisu. <http://www.taloyhtio.net/ajassa/energiakirja/> Päivitetty 29.1.2014 Luettu 29.1.2014.
4. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus. WWW-dokumentti. http://www.ara.fi/fi-FI/Rahoitus/Avustukset/Kuntien_myontamat_korjaus_ja_energiaavustukset Päivitetty 18.3.2013 Luettu 18.3.2013
5. Kaappola, Esko, ym. Kylmätekniiikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus. 2011.
6. Perälä, Rae. Lämpöpumput Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmistä. Helsinki: Alfamer Oy. 2009.
7. Seppänen, Olli. Rakennusten lämmitys. Espoo: Suomen LVI-yhdistysten liitto ry. 1995.
8. Energiatehokaskoti. WWW-dokumentti. http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/lampopumput Päivitetty 8.5.2013. Luettu 3.3.2014.
9. Nibe Energy Systems Oy. WWW-dokumentti. <http://www.nibe.fi/Tuotteet/Maalampopumput/Toiminta/> Päivitetty 3.3.2014. Luettu 3.3.2014.

10. Motiva Oy. Ilmalämpöpumpun energiataloudellinen käyttö. PDF-dokumentti.
http://www.motiva.fi/files/3472/Ilmalampopumpun_energiataloudellinen_kaytto.pdf
11. Retermia Oy. Retermia News 1/2014. PDF-dokumentti.
<http://www.retermia.fi/esitteet-ja-materiaalit/retermia-news/>
12. U-arvolaskuri. Motiva.
http://www.ekokumppanit.fi/arataskuri/uarvo.html?kentta=j_us_u/ Päivitetty 3.3.2005. Luettu 3.3.2014.
13. Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. PDF-dokumentti.
http://www.ymparisto.fi/download/YM_asetus_energiatodistuksesta_270213_supdf/27baf2b-e645-4464-afb8-cbfb162b5adc/31591 Päivitetty 26.2.2013. Luettu 3.3.2014.
14. Nibe Energy Systems Oy. Kiinteistölämpöpumput-esite. PDF-dokumentti.
<http://www.nibe.fi/upload/haato/Suuret%20kiinteist%C3%B6t/NIBE%20Lto%20esite%2006%202013.pdf>
15. EBM-papst. EC-puhaltimet. Esite 9/08. PDF-dokumentti.
http://www.ebmpapst.fi/fi/dat/media_manager/news/8/news-files/Tietoisku__Mita_erikoista_EC-puhaltimissa.pdf Päivitetty 21.11.2011. Luettu 9.4.2014.
16. Ouman Oy. Etähallittava automaatiojärjestelmä. <http://www.ouman.fi/> Päivitetty 10.4.2014. Luettu 10.4.2014.
17. Enermix Oy. WWW-dokumentti. <http://www.enermix.fi/etavalvonta> Päivitetty 10.4.2014 Luettu 10.4.2014.
18. Motiva Oy. Lämmitysverkoston perussäätö. WWW-dokumentti.
http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/lammitusverkoston_perussaatot Päivitetty 2.4.2014 Luettu 2.4.2014

19. Rakennusten kaukolämmitys määräykset ja ohjeet julkaisu K1/2013. Energia-teollisuus ry. PDF-dokumentti.
http://energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1_2013_rakennustenkaukolammitys_2_0.pdf
20. Luoto, Pekka. Kiinteistöliitto. PDF-dokumentti.
<http://www.kiinteistoyhdistysoulu.fi/wordpress/wp-content/uploads/2012/10/L%C3%A4mmitystarvelukul%C3%A4mp%C3%B6indexi-ja-muuta-termist%C3%B6%C3%A4.pdf>
21. Ilmatieteenlaitos. WWW-dokumentti.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>
Päivitetty 31.3.2014. Luettu 31.3.2014.
22. Motiva Oy. Vedenkulutus. WWW-dokumentti.
http://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/ mihin_ energiaa_ kuluu/ vedenkulutus
Päivitetty 14.4.2014. Luettu 14.4.2014.
23. Lähes nollaenergiarakentamisen laskennan lähtötiedot. Käyttöprofiilit-excel-
taulukko. FINVAC. 2014.
24. SFS-standardi. EN 14511-2:2013. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
25. IDA ESBO Käyttöohje. PDF-dokumentti.
<http://www.equaonline.com/esbo/IDAESBOKayttoohje.pdf> Päivitetty
23.12.2013. Luettu 20.1.2014
26. Rakennusten energiainvestointien kannattavuuden laskenta. Siren, Kai. Aalto
yliopisto. 2010. PDF-dokumentti. https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/ene-58.4129/materiaali/Ene-58_4129_energiainvestoinnit_2.pdf

27. Rahapolitiikka. Suomen Pankki. WWW-dokumentti.
<http://www.suomenpankki.fi/fi/rahopolitiikka/Pages/default.aspx> Päivitetty 15.4.2014. Luettu 15.4.2014.
28. Sähkön myynti- ja siirtohinnoista. Jyväskylän energia. PDF-dokumentti.
http://www.jyvaskylanenergia.fi/filebank/650-sahkohinnasto_2014_web.pdf
29. Kaukolämmön hinnoista. Jyväskylän energia. PDF-dokumentti.
http://www.jyvaskylanenergia.fi/filebank/647-kaukolampohinnasto_2014_web.pdf
30. Energian hankinta, kulutus ja hinnat. Tilastokeskus. WWW-dokumentti.
<http://www.stat.fi/til/ehkh/tau.html> Päivitetty 24.4.2014. Luettu 24.4.2014.
31. Diaesitys kaukolämmön hinnankorotuksesta. Energiateollisuus ry. PDF-dokumentti. <http://energia.fi/tilastot/kaukolammon-hinnat-tyyppitaloissa-eri-paikkakunnilla> Päivitetty 28.2.2014. Luettu 24.4.2014.
32. Uusiutuvien energialähteiden osuus sähkön ja lämmön tuotannossa kasvoi vuonna 2012. Tilastokeskus. WWW-dokumentti.
http://www.stat.fi/til/salatuo/2012/salatuo_2012_2013-11-05_tie_001_fi.html
Päivitetty 5.11.2013. Luettu 24.4.2014.
33. Castren, Markus. Puhelinkeskustelu. 16.4.2014. Retermia Oy.

Kannattavuuslaskut

Kannattavuuslasku 1													
Inflaatio %				2 Sähkön hinnannousu %/vuosi						5			
Korkokanta %				5 Kaukolämmön hinnannousu %/vuosi						6			
Energia-avustus (€)		18000								helmikuu2013-helmikuu2014			
Ensimmäinen vuosi lämpösästäö (€)		13615,83								(MWh)			
Ensimmäinen vuosi sähkölisäys (€)		8203,2		Lämpöpumpun antoteho						234,27			
Neulaputkilämmönsiirtimen huolto (€)		500		Lämpöpumpun ja apulaitteiden ottoenergia						68,36			
Vuosi	Investointi (€)	Tuotot (€)	Kulut (€)	Kassavirta (€)	Reaalikorko	Diskonttaustekijä	Diskontattu kassavirta (€)	Nykyarvo (€)	Sähkön hinta (€/MWh)	Kaukolämmön hinta (€/MWh)	Kaukolämpö kustannussäästö (€/a)	Sähkö kustannuskasvu (€/a)	Kaukolämmön perusmaksusäästö (€/a)
0	120000	27791,91	0,00	-92208,09	0,029	1,00	-92208,09		120,00	58,12	13615,83	8203,20	4379,28
1	0	11981,55	500,00	11481,55	0,029	0,97	11157,97	-81050,12	120,00	58,12	13615,83	8203,20	6568,92
2	0	12782,48	500,00	12282,48	0,029	0,94	11599,92	-69450,20	126,00	61,61	14432,78	8613,36	6963,06
3	0	13635,56	500,00	13135,56	0,029	0,92	12055,98	-57394,22	132,30	65,30	15298,75	9044,03	7380,84
4	0	14544,13	500,00	14044,13	0,029	0,89	12526,61	-44867,61	138,92	69,22	16216,67	9496,23	7823,69
5	0	15511,74	500,00	15011,74	0,029	0,87	13012,30	-31855,31	145,86	73,38	17189,67	9971,04	8293,11
6	0	16542,16	500,00	16042,16	0,029	0,84	13513,58	-18341,73	153,15	77,78	18221,05	10469,59	8790,70
7	0	17639,38	500,00	17139,38	0,029	0,82	14030,96	-4310,76	160,81	82,44	19314,32	10993,07	9318,14
8	0	18807,68	500,00	18307,68	0,029	0,80	14564,99	10254,23	168,85	87,39	20473,17	11542,73	9877,23
9	0	20051,56	500,00	19551,56	0,029	0,77	15116,22	25370,44	177,29	92,63	21701,57	12119,86	10469,86
10	0	21375,86	500,00	20875,86	0,029	0,75	15685,22	41055,66	186,16	98,19	23003,66	12725,86	11098,05
11	0	22785,67	500,00	22285,67	0,029	0,73	16272,58	57328,24	195,47	104,08	24383,88	13362,15	11763,94
12	0	24286,43	500,00	23786,43	0,029	0,71	16878,92	74207,17	205,24	110,33	25846,91	14030,26	12469,77
13	0	25883,92	500,00	25383,92	0,029	0,69	17504,86	91712,03	215,50	116,95	27397,73	14731,77	13217,96
14	0	27584,27	500,00	27084,27	0,029	0,67	18151,05	109863,08	226,28	123,97	29041,59	15468,36	14011,04
15	0	29394,01	500,00	28894,01	0,029	0,65	18818,16	128681,24	237,59	131,40	30784,09	16241,77	14851,70
16	0	31320,07	500,00	30820,07	0,029	0,63	19506,87	148188,11	249,47	139,29	32631,13	17053,86	15742,80
17	0	33369,81	500,00	32869,81	0,029	0,62	20217,89	168406,00	261,94	147,65	34589,00	17906,56	16687,37
18	0	35551,06	500,00	35051,06	0,029	0,60	20951,95	189357,95	275,04	156,50	36664,34	18801,88	17688,61
19	0	37872,14	500,00	37372,14	0,029	0,58	21709,80	211067,76	288,79	165,89	38864,20	19741,98	18749,93
20	0	40341,89	500,00	39841,89	0,029	0,56	22492,23	233559,98	303,23	175,85	41196,05	20729,08	19874,92

Kannattavuuslasku 2													
Inflaatio %				2 Sähkön hinnannousu %/vuosi						3			
Korkokanta %				5 Kaukolämmön hinnannousu %/vuosi						4			
Energia-avustus (€)		18000								helmikuu2013-helmikuu2014			
Ensimmäinen vuosi lämpösästäö (€)		13615,77								(MWh)			
Ensimmäinen vuosi sähkölisäys (€)		8203,32		Kaukolämmön ottoenergia vähentyminen						234,27			
Neulaputkilämmönsiirtimen huolto (€)		500		Sähkön ottoenergia kasvu						68,36			
Vuosi	Investointi (€)	Tuotot (€)	Kulut (€)	Kassavirta (€)	Reaalikorko	Diskonttaustekijä	Diskontattu kassavirta (€)	Nykyarvo (€)	Sähkön hinta (€/MWh)	Kaukolämmön hinta (€/MWh)	Kaukolämpö kustannussäästö (€/a)	Sähkö kustannuskasvu (€/a)	Kaukolämmön perusmaksusäästö (€/a)
0	120000	27791,73	0,00	-92208,27	0,029	1,00	-92208,27		120,00	58,12	13615,77	8203,32	4379,28
1	0	11981,37	500,00	11481,37	0,029	0,97	11157,80	-81050,47	120,00	58,12	13615,77	8203,32	6568,92
2	0	12542,66	500,00	12042,66	0,029	0,94	11373,44	-69677,04	123,60	60,44	14160,40	8449,42	6831,68
3	0	13128,86	500,00	12628,86	0,029	0,92	11590,92	-58086,11	127,31	62,86	14726,82	8702,90	7104,94
4	0	13741,04	500,00	13241,04	0,029	0,89	11810,30	-46275,82	131,13	65,38	15315,89	8963,99	7389,14
5	0	14380,33	500,00	13880,33	0,029	0,87	12031,58	-34244,23	135,06	67,99	15928,53	9232,91	7684,71
6	0	15047,87	500,00	14547,87	0,029	0,84	12254,83	-21989,41	139,11	70,71	16565,67	9509,90	7992,10
7	0	15744,88	500,00	15244,88	0,029	0,82	12480,05	-9509,35	143,29	73,54	17228,30	9795,19	8311,78
8	0	16472,63	500,00	15972,63	0,029	0,80	12707,30	3197,95	147,58	76,48	17917,43	10089,05	8644,25
9	0	17232,42	500,00	16732,42	0,029	0,77	12936,61	16134,56	152,01	79,54	18634,12	10391,72	8990,02
10	0	18025,64	500,00	17525,64	0,029	0,75	13168,01	29302,57	156,57	82,72	19379,49	10703,47	9349,62
11	0	18853,70	500,00	18353,70	0,029	0,73	13401,53	42704,10	161,27	86,03	20154,67	11024,58	9723,61
12	0	19718,09	500,00	19218,09	0,029	0,71	13637,22	56341,32	166,11	89,47	20960,86	11355,31	10112,55
13	0	20620,37	500,00	20120,37	0,029	0,69	13875,10	70216,42	171,09	93,05	21799,29	11695,97	10517,05
14	0	21562,14	500,00	21062,14	0,029	0,67	14115,21	84331,63	176,22	96,77	22671,26	12046,85	10937,73
15	0	22545,10	500,00	22045,10	0,029	0,65	14357,59	98689,22	181,51	100,65	23578,11	12408,26	11375,24
16	0	23570,99	500,00	23070,99	0,029	0,63	14602,26	113291,48	186,96	104,67	24521,24	12780,51	11830,25
17	0	24641,63	500,00	24141,63	0,029	0,62	14849,27	128140,75	192,56	108,86	25502,09	13163,92	12303,46
18	0	25758,93	500,00	25258,93	0,029	0,60	15098,66	143239,41	198,34	113,21	26522,17	13558,84	12795,60
19	0	26924,88	500,00	26424,88	0,029	0,58	15350,44	158589,85	204,29	117,74	27583,06	13965,60	13307,43
20	0	28141,53	500,00	27641,53	0,029	0,56	15604,67	174194,52	210,42	122,45	28686,38	14384,57	13839,72

LIITE 1(2).
Kannattavuuslaskut

Kannattavuuslasku 3

Inflaatio %			2 Sähkön hinnannousu %/vuosi		9								
Korkokanta %			5 Kaukolämmön hinnannousu %/vuosi		4								
Energia-avustus (€)	18000				helmikuu2013-helmikuu2014								
Ensimmäinen vuosi lämpösäästö (€)	13615,77				(MWh)								
Ensimmäinen vuosi sähkölisäys (€)	8203,32		Kaukolämmön ottoenergia vähentyminen		234,27								
Neulaputkilämmönsiirtimen huolto (€)	500		Sähkön ottoenergia kasvu		68,36								
Vuosi	Investointi (€)	Tuotot (€)	Kulut (€)	Kassavirta (€)	Reaalikorko	Diskonttaustekijä	Diskontattu kassavirta (€)	Nykyarvo (€)	Sähkön hinta (€/MWh)	Kaukolämmön hinta (€/MWh)	Kaukolämpö kustannussäästö (€/a)	Sähkö kustannuskasvu (€/a)	Kaukolämmön perusmaksusäästö (€/a)
0	120000	27791,73	0,00	-92208,27	0,029	1,00	-92208,27		120,00	58,12	13615,77	8203,32	4379,28
1	0	11981,37	500,00	11481,37	0,029	0,97	11157,80	-81050,47	120,00	58,12	13615,77	8203,32	6568,92
2	0	12050,46	500,00	11550,46	0,029	0,94	10908,59	-70141,88	130,80	60,44	14160,40	8941,62	6831,68
3	0	12085,40	500,00	11585,40	0,029	0,92	10633,22	-59508,66	142,57	62,86	14726,82	9746,36	7104,94
4	0	12081,50	500,00	11581,50	0,029	0,89	10330,07	-49178,59	155,40	65,38	15315,89	10623,54	7389,14
5	0	12033,38	500,00	11533,38	0,029	0,87	9997,40	-39181,19	169,39	67,99	15928,53	11579,66	7684,71
6	0	11935,94	500,00	11435,94	0,029	0,84	9633,40	-29547,79	184,63	70,71	16565,67	12621,82	7992,10
7	0	11782,29	500,00	11282,29	0,029	0,82	9236,12	-20311,67	201,25	73,54	17228,30	13757,79	8311,78
8	0	11565,69	500,00	11065,69	0,029	0,80	8803,50	-11508,17	219,36	76,48	17917,43	14995,99	8644,25
9	0	11278,52	500,00	10778,52	0,029	0,77	8333,37	-3174,80	239,11	79,54	18634,12	16345,63	8990,02
10	0	10912,38	500,00	10412,38	0,029	0,75	7823,41	4648,61	260,63	82,72	19379,49	17816,74	9349,62
11	0	10458,03	500,00	9958,03	0,029	0,73	7271,17	11919,78	284,08	86,03	20154,67	19420,24	9723,61
12	0	9905,34	500,00	9405,34	0,029	0,71	6674,06	18593,84	309,65	89,47	20960,86	21168,06	10112,55
13	0	9243,15	500,00	8743,15	0,029	0,69	6029,32	24623,16	337,52	93,05	21799,29	23073,19	10517,05
14	0	8459,22	500,00	7959,22	0,029	0,67	5334,03	29957,19	367,90	96,77	22671,26	25149,78	10937,73
15	0	7540,10	500,00	7040,10	0,029	0,65	4585,09	34542,28	401,01	100,65	23578,11	27413,26	11375,24
16	0	6471,04	500,00	5971,04	0,029	0,63	3779,24	38321,52	437,10	104,67	24521,24	29880,45	11830,25
17	0	5235,86	500,00	4735,86	0,029	0,62	2912,98	41234,50	476,44	108,86	25500,09	32569,69	12303,46
18	0	3816,81	500,00	3316,81	0,029	0,60	1982,64	43211,14	519,32	113,21	26522,17	35500,96	12795,60
19	0	2194,43	500,00	1694,43	0,029	0,58	984,31	44201,45	566,05	117,74	27583,06	38696,05	13307,43
20	0	347,41	500,00	-152,59	0,029	0,56	-86,14	44115,31	617,00	122,45	28686,38	42178,69	13839,72

Kannattavuuslasku 4

Inflaatio %			2 Sähkön hinnannousu %/vuosi		4								
Korkokanta %			5 Kaukolämmön hinnannousu %/vuosi		9								
Energia-avustus (€)	18000				helmikuu2013-helmikuu2014								
Ensimmäinen vuosi lämpösäästö (€)	13615,77				(MWh)								
Ensimmäinen vuosi sähkölisäys (€)	8203,32		Kaukolämmön ottoenergia vähentyminen		234,27								
Neulaputkilämmönsiirtimen huolto (€)	500		Sähkön ottoenergia kasvu		68,36								
Vuosi	Investointi (€)	Tuotot (€)	Kulut (€)	Kassavirta (€)	Reaalikorko	Diskonttaustekijä	Diskontattu kassavirta (€)	Nykyarvo (€)	Sähkön hinta (€/MWh)	Kaukolämmön hinta (€/MWh)	Kaukolämpö kustannussäästö (€/a)	Sähkö kustannuskasvu (€/a)	Kaukolämmön perusmaksusäästö (€/a)
0	120000	27791,73	0,00	-92208,27	0,029	1,00	-92208,27		120,00	58,12	13615,77	8203,32	4379,28
1	0	11981,37	500,00	11481,37	0,029	0,97	11157,80	-81050,47	120,00	58,12	13615,77	8203,32	6568,92
2	0	13469,86	500,00	12969,86	0,029	0,94	12249,11	-68801,36	124,80	63,35	14841,19	8531,45	7160,12
3	0	15108,72	500,00	14608,72	0,029	0,92	13408,06	-55393,29	129,79	69,05	16176,90	8872,71	7804,53
4	0	16912,14	500,00	16412,14	0,029	0,89	14638,74	-40754,55	134,98	75,27	17632,82	9227,62	8506,94
5	0	18895,62	500,00	18395,62	0,029	0,87	15945,48	-24809,08	140,38	82,04	19219,77	9596,72	9272,57
6	0	21076,06	500,00	20576,06	0,029	0,84	17332,85	-7476,23	146,00	89,42	20949,55	9980,59	10107,10
7	0	23471,93	500,00	22971,93	0,029	0,82	18805,72	13329,49	151,84	97,47	22895,01	10379,82	11016,74
8	0	26103,40	500,00	25603,40	0,029	0,80	20369,23	31698,72	157,91	106,25	24890,16	10795,01	12008,24
9	0	28992,45	500,00	28492,45	0,029	0,77	22028,83	53727,55	164,23	115,81	27130,28	11226,81	13088,98
10	0	32163,12	500,00	31663,12	0,029	0,75	23790,30	77517,85	170,80	126,23	29572,00	11675,88	14266,99
11	0	35641,59	500,00	35141,59	0,029	0,73	25659,74	103177,59	177,63	137,59	32233,48	12142,92	15551,02
12	0	39456,48	500,00	38956,48	0,029	0,71	27643,64	130821,23	184,73	149,97	35134,50	12628,63	16950,61
13	0	43638,99	500,00	43138,99	0,029	0,69	29748,85	160570,08	192,12	163,47	38296,60	13133,78	18476,17
14	0	48223,19	500,00	47723,19	0,029	0,67	31982,63	192552,71	199,81	178,18	41743,30	13659,13	20139,03
15	0	53246,24	500,00	52746,24	0,029	0,65	34352,70	226905,41	207,80	194,22	45500,19	14205,50	21951,54
16	0	58748,67	500,00	58248,67	0,029	0,63	36867,19	263772,60	216,11	211,70	49595,21	14773,72	23927,18
17	0	64774,74	500,00	64274,74	0,029	0,62	39534,75	303307,35	224,76	230,75	54058,78	15364,66	26080,62
18	0	71372,70	500,00	70872,70	0,029	0,60	42364,51	345671,86	233,75	251,52	58924,07	15979,25	28427,88
19	0	78595,20	500,00	78095,20	0,029	0,58	45366,18	391038,04	243,10	274,16	64227,24	16618,42	30986,39
20	0	86499,69	500,00	85999,69	0,029	0,56	48550,02	439588,06	252,82	298,83	70007,69	17283,16	33775,16

LIITE 2

Simulointitapaukset

Tapaus	Lämpöpumpun antoteho, kW	Tmeno, mit, °C	Tpaluu, mit, °C	Tehonsäätö	"Putkilykenta"				Tilmax, °C	Sähkø MWh	Sähkø MWh	Lämpötuot, kW	LP käyttövesitut	Lämmitys COP	Käyttövesi COP	Kokonais COP
					Comp 1a	Comp 1b	Comp 2a	Comp 2b								
1	40	80	60	-1	1	0	1	1	60	50,56	12,84	253,55	59,53	5,01	4,64	4,94
2	40	80	60	-1	1	0	1	1	55	50,33	12,83	252,88	59,51	5,02	4,64	4,95
3	60	80	60	-1	1	0	1	1	60	86,32	15,45	381,26	62,09	4,42	4,02	4,36
4	60	80	60	-1	1	0	1	1	55	85,65	15,44	379,46	62,08	4,43	4,02	4,37
5	40	80	60	1	1	1	1	1	60	65,48	6,80	317,28	26,36	4,85	3,88	4,75
6	40	80	60	1	1	1	1	1	55	64,25	7,12	294,01	27,69	4,58	3,89	4,51
7	60	80	60	1	1	1	1	1	60	104,69	7,86	449,75	27,12	4,30	3,45	4,24
8	60	80	60	1	1	1	1	1	55	102,80	8,36	444,94	28,87	4,33	3,45	4,26
9	40	70	40	-1	1	0	1	1	55	48,26	10,64	277,52	50,87	5,75	4,78	5,58
10	40	70	40	-1	1	0	1	1	60	48,26	10,62	277,53	50,84	5,75	4,79	5,58
11	60	70	40	-1	1	0	1	1	55	81,71	12,67	411,60	52,21	5,04	4,12	4,91
12	60	70	40	-1	1	0	1	1	60	81,34	12,65	410,19	52,09	5,04	4,12	4,92
13	40	70	40	1	1	1	1	1	55	57,68	6,78	323,59	26,26	5,61	3,87	5,43
14	40	70	40	1	1	1	1	1	60	57,68	6,76	323,60	26,18	5,61	3,87	5,43
15	60	70	40	1	1	1	1	1	55	92,48	7,92	457,43	27,06	4,95	3,42	4,83
16	60	70	40	1	1	1	1	1	60	92,55	7,90	457,46	27,05	4,94	3,42	4,82

Simulointien perusteella laskettu säätöarvojen kustannusvertailu erilaisilla energian hintojen kehitysskenaariolla

Tapaus	Sähkøkustannus (€)					Vuotuinen kaukolämpökulutus 751 MWh Kaukolämpökustannus (€)					Kokonaiskustannus vuodessa lämpö + sähkø sähkønn hinnalla X, kaukolämmön hinnalla X				
	120 €/MWh	186,16 €/MWh	156,57 €/MWh	260,63 €/MWh	170,80 €/MWh	200 €/MWh	58,12 €/MWh	58 €/MWh	82,72 €/MWh	126,23 €/MWh	120 €/MWh	186 €/MWh	156,57 €/MWh	260,63 €/MWh	170,8 €/MWh
1	7607,6	11802,0	9926,1	16523,2	10828,2	12679,4	29451,6	42915,6	36224,2	55277,9	33059,2	54717,6	46150,3	52747,4	66106,1
2	7578,6	11756,9	9888,2	16460,1	10786,5	12631,0	29492,4	42984,4	36282,9	55366,5	33071,0	54741,3	46170,5	52742,4	66153,4
3	12211,8	18944,6	15933,3	26523,0	17381,5	20333,0	17890,9	30150,2	25449,2	38835,3	30092,7	49094,8	41382,6	51972,2	56216,8
4	12131,3	18819,7	15828,3	26348,1	17266,9	20218,8	17986,0	30327,5	25598,9	39063,6	30117,3	49147,1	41427,1	51947,0	56330,5
5	8673,8	13456,0	11317,2	18838,9	12345,8	14456,4	23675,8	39921,4	33896,9	51421,2	32349,7	53377,4	45014,1	52535,8	63766,9
6	8564,4	13286,2	11174,4	18601,2	12190,0	14274,0	24951,3	42072,0	35512,2	54191,3	33515,7	53582,2	46686,6	54113,4	66381,3
7	13506,2	20952,7	17622,3	29334,4	19223,9	22510,4	15932,1	26864,2	22675,5	34602,7	29438,3	47816,8	40297,8	52010,0	53826,6
8	13338,4	20692,2	17403,2	28969,8	18984,5	22230,6	16110,1	27164,3	22928,9	34989,3	29448,5	47856,6	40332,1	51898,7	53974,2
9	7067,4	10963,9	9221,2	15349,8	10059,3	11779,0	24562,3	41416,2	34958,6	53346,0	31629,7	52380,1	44179,8	50308,4	63405,8
10	7065,7	10961,3	9219,0	15346,2	10056,9	11776,2	24563,3	41417,8	34960,0	53348,7	31629,0	52379,1	44179,0	50306,2	63405,6
11	11325,6	17569,8	14777,1	24598,3	16120,1	18876,0	16691,2	28144,1	23755,9	36251,4	28016,8	45713,9	38533,0	48354,2	52371,5
12	11278,3	17496,4	14715,4	24495,6	16052,8	18797,2	16780,2	28294,3	23882,7	36444,7	28058,6	45790,7	38598,1	48378,2	52497,6
13	7735,0	11999,5	10092,2	16799,7	11009,4	12891,6	23315,1	39319,2	33183,5	50637,8	31050,1	51312,7	43275,7	49983,2	61647,2
14	7732,6	11995,8	10089,1	16794,5	11006,0	12887,6	23318,8	39319,5	33188,8	50645,9	31051,4	51315,2	43277,9	49983,3	61651,9
15	12048,1	18690,7	15719,8	26167,5	17148,5	20080,2	15489,6	26118,1	22045,8	33641,7	27537,7	44808,7	37765,6	48213,3	50790,2
16	12055,0	18701,3	15728,7	26182,4	17158,2	20091,6	15482,6	26106,3	22039,9	33626,5	27537,6	44807,6	37764,6	48218,2	50784,8

Tutkimuskohteen toteutuneet lämpöpumpun energiat			
2013	Sähkö (MWh)	Lämpötuotto (MWh)	COP
helmikuu	8,26	35,70	4,32
maaliskuu	7,87	27,48	3,49
huhtikuu	4,92	18,42	3,75
toukokuu	3,42	10,81	3,16
kesäkuu	3,10	7,32	2,36
heinäkuu	4,16	11,51	2,77
elokuu	4,00	11,09	2,77
syyskuu	4,24	12,06	2,84
lokakuu	5,24	16,83	3,21
marraskuu	6,27	22,89	3,65
joulukuu	7,67	28,75	3,75
tammikuu	9,22	31,42	3,41
yhteensä	68,36	234,27	3,43