

Jukka Holopainen

Poistoilmalämpöpumpun kannattavuus asuin- kerrostalossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Rakentaminen, talotekniikka

Opinnäytetyö

1.3.2016

| | |
|---|---|
| Tekijä | Jukka Holopainen |
| Otsikko | Poistoilmalämpöpumpun kannattavuus asuinkerrostalossa |
| Sivumäärä | 62 sivua + 3 liitettä |
| Tutkinto | Insinööri (YAMK) |
| Koulutusohjelma | rakentaminen |
| Suuntautumisvaihtoehto | talotekniikka |
| Ohjaajat | toimitusjohtaja Tomi Mäkipelto yliopettaja Jukka Yrjölä |
| <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää asuinkerrostaloon asennetun poistoilmalämpöpumpputjärjestelmän kannattavuus ja investoinnin takaisinmaksuaika. Tavoitteena oli myös selvittää tekijöitä, joilla lämpöpumpun toimintaa voitaisiin nykyisestäään tehostaa. Tutkimuskohteina oli kolme Itä-Vantaalla sijaitsevaa asuinkerrostaloa. Taloissa oli poistoilmanvaihtojärjestelmä ja talot oli kytketty kaukolämpöön. Taloihin oli asennettu poistoilmalämpöpumppu vuosina 2011–2013. Kahdessa asuinkerrostalossa poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenottopatterit muutettiin kesällä 2016 lisäämällä toinen lämmöntalteenottopatteri sarjaan. Selvityksen lähtötietoina käytettiin kerrostalojen lämmitysenergian kulutustietoja (Enerkeyjärjestelmä), rakennusautomaation mittausdataa ja lämpöpumppujärjestelmästä mitattuja lämpötilatietoja.</p> <p>Lämmöntalteenottopatterista mitattiin poistoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus ennen patteria ja patterin jälkeen sekä patterin nesteen meno- ja paluulämpötilat. Mittauksissa huomattiin, että yhden kerrostalon lämmöntalteenottopatterit oli kytketty ns. myötävirtakytkennällä. Lämmöntalteenottopatteri mallinnettiin ja osoitettiin, että vastavirtakytkennällä lämmöntalteenottopatteri olisi noin 20 % tehokkaampi. Rakennuksesta poistuva mittausajan keskimääräinen vesihöyryn määrä oli mittauksien mukaan 5,22 kg/h, rakennus.</p> <p>Tulokset osoittivat, että poistoilmalämpöpumppu on asuinkerrostalossa kannattava investointi, kun se on huolellisesti suunniteltu, toteutettu ja ylläpidetty. Rasinkatu 20 suora takaisinmaksuaika oli noin yhdeksän vuotta. Lämpöpumpun toiminnan seuraaminen edellyttää erityisosaamista. Työn tuloksia voi hyödyntää poistoilmalämpöpumppujärjestelmän suunnittelussa.</p> | |
| Avainsanat | poistoilmalämpöpumppu, energiatehokkuus, lämmöntalteenottopatteri |

| | |
|---|---|
| Author | Jukka Holopainen |
| Title | Exhaust air heat pump profitability of a residential apartment building |
| Number of Pages | 62 pages + 3 appendices |
| Degree | Master of Engineering |
| Degree Programme | Civil Engineering |
| Specialisation option | Building Service Engineering |
| Instructor(s) | Tomi Mäkipelto, managing director Jukka Yrjölä, principal Lecturer |
| <p>The aim of this master thesis was to establish the profitability and payback period for exhaust air heat pump systems. The aim was also to find out how to make the use of the pump more effective. The systems were installed in three apartment buildings in Vantaa between the years 2011 and 2013. In one of the buildings, the recovery radiators were connected with a downstream connection. In two of the buildings, the heat pump recovery coil was modernized by adding a second heat recovery coil in series in the summer of 2016.</p> <p>Air temperature and relative humidity before and after the coil, as well as the coil input and output fluid temperatures were measured in the autumn of 2016. In addition, the energy consumption data of the same period was collected from the EnerKey system. The efficiency of the heat recovery coil was simulated with an Excel program.</p> <p>According to the measuring results the payback period of exhaust air heat pump systems was about nine years, using the current energy prices. The simulation results showed that a heat recovery coil with an upstream connection would be about 20% more efficient than a coil with a downstream connection. An exhaust air heat pump is a profitable investment in an apartment building if it is carefully designed, implemented and maintained. The heat pump operation requires special maintenance. The results of this thesis may be useful when design exhaust air heat pump systems to apartment buildings.</p> | |
| Keywords | Exhaust air heat pump system, energy, recovery coil |

Sisällys

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Taustat ja tavoitteet | 4 |
| 2.1 | Pariisin ilmastokokous 2015 | 5 |
| 2.2 | Energia- ja investointituki | 5 |
| 2.3 | Energiankulutus Suomessa | 6 |
| 2.4 | Energiankulutus asuinkerrostaloissa | 11 |
| 3 | Poistoilmalämpöpumppujärjestelmä | 14 |
| 3.1 | Poistoilmalämpöpumppuprosessi | 14 |
| 3.2 | Teoreettinen kylmäprosessi | 16 |
| 3.3 | Todellinen kiertoprosessi | 17 |
| 3.4 | Carnot lämpökerroin | 18 |
| 3.5 | Poistoilmalämpöpumppu | 18 |
| 4 | Case-kohteet | 24 |
| 4.1 | Perustiedot | 25 |
| 4.2 | Toimintaselostus Rasinmäki 4 | 29 |
| 4.3 | Lämmöntalteenottopatterit | 32 |
| 4.4 | Kulutuslukemat case kohteissa | 33 |
| 5 | Kannattavuustutkimus | 36 |
| 5.1 | Takaisinmaksuaika | 36 |
| 5.2 | Investoinnin nykyarvo | 38 |
| 5.3 | Herkkyysanalyysi | 38 |
| 5.4 | Kannattavuuslaskelmat | 39 |
| 6 | Rasinkatu 4:n kenttämittaukset | 41 |
| 6.1 | Mittaustulokset | 43 |
| 6.2 | Huoneistosta poistuva vesihöyry | 47 |
| 6.3 | Lämmöntalteenottopatterin mallintaminen | 49 |
| 6.4 | Tulosten luotettavuus | 56 |
| 7 | Pohdinta | 57 |
| 8 | Yhteenveto | 59 |

Liite 1. Rasinkatu 4 vesivirtamittauspöytäkirja.

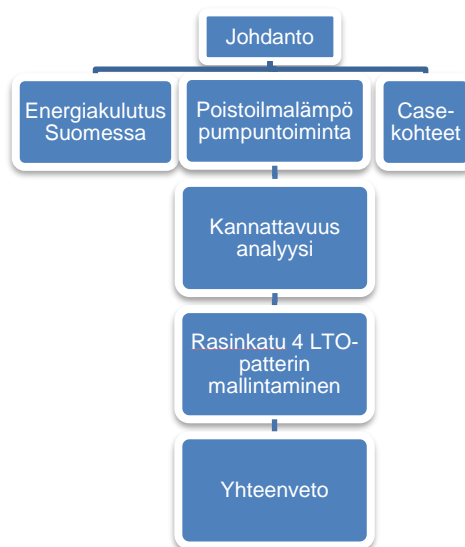
Liite 2. Rasinkatu 4 Ilmanvaihdon mittauspöytäkirja.

Liite 3. Rasinkatu 4 Ekocoilin lamellipatterin mitoitusajo.

1 Johdanto

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin tavoitteena on vähentää rakennusten energiankulutusta ja hiilidioksidipäästöjä parantamalla rakennusten energiatehokkuutta [1]. Energiatehokkuusvaatimukset koskettavat sekä uudis- että luvanvaraista korjausrakentamista. Energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä ei tarvitse toteuttaa korjausrakentamisessa, mikäli toimenpiteet eivät ole teknisesti, toiminnallisesti tai taloudellisesti mahdollisia.

Opinnäytetyö on jaoteltu viiteen osaan kuvan 1 mukaisesti. Tavoitteena on arvioida poistoilmalämpöpumpuinvestoinnin kannattavuus kolmessa asuinkerrostalossa, joihin oli asennettu poistoilmapumppujärjestelmä. Ensimmäisessä osassa kuvataan työn tausta ja tavoitteet sekä esitetään olemassa olevat energiatehokkuusvaatimukset, poistoilmalämpöpumppujen vaihtoehtoiset ratkaisut asuinkerrostalossa ja toteutuneita energiansäästöjä.



Kuva 1. Työn jaottelu.

Toisessa osassa keskitytään energiakäyttöön suomalaisissa asuinkerrostaloissa ja kuvataan energian hinnan kehitystä viime vuosikymmenten aikana. Samalla on pohdittu tekijöitä, joilla on suurin säästöpotentiaali asuinkerrostaloissa.

Kolmannessa osassa tutustutaan lämpöpumppuprosesseihin, poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaatteeseen ja laitteiston komponentteihin.

Case-osiossa selvitetään lämpöpumpun toimintaa kolmessa tutkimuskohteessa. Kohteista kuvataan perustiedot, lämpöpumppujen asennustavat ja toteutuneet energiankulutukset vuosina 2008–2015. Osiossa esitetään käytännön toteutustapoja järjestelmistä.

Talousosiossa pohditaan eri laskentatavoilla poistoilmapumpun kannattavuutta kohteissa sekä miten voitaisiin saavuttaa nykyistä parempi energiatehokkuus. Etukäteen oli tiedossa, että vain yhdessä kohteessa on saavutettu laskennallinen energiansäästö. Työssä pohditaan syitä toteutuneeseen energiansäästöön ja sitä, miksi tavoitteisiin ei päästy.

Laskennallisesti heikoimpaan takaisinmaksukohteeseen tehtiin kenttämittaukset, joissa uudet lämmöntalteenottopatterit mallinnettiin.

Ennen 1980-lukua rakennetuissa asuinkerrostaloissa ei juuri käytetty lämmöntalteenottoa, vaan lämmin poistoilma poistui joko painovoimaisesti tai huippumurilla poistoilma-kanavistosta ulkoilmaan. Tällöin noin 25–35 % rakennuksen kokonaislämpöhäviöistä poistuu poistoilman kautta ulkoilmaan. Kiinteistöjen omistajat ovat olleet kiinnostuneita energiansäästöinvestoinneista, joilla poistoilmasta saadaan otettua lämpöenergiaa talteen ja hyödyntää rakennuksen ja käyttöveden lämmitykseen kannattavasti.

Markkinoilla on tällä hetkellä lämmöntalteenottojärjestelmiä (LTO), joilla poistoilmasta voidaan siirtää lämpöenergiaa ilmanvaihdon tuloilman lämmitykseen tai rakennuksen lämmitykseen ja lämpimään käyttöveteen. Vanhemmissa asuinkerrostaloissa on yleensä painovoimainen tai koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä. Koneellisesta poistoilmajärjestelmästä voidaan poistoilman lämpöenergia siirtää esimerkiksi lämminvesivaraajaan. Kun järjestelmässä on mukana lämpöpumppu, järjestelmästä käytetään nimeä poistoilmalämpöpumppu (PILP). Poistoilmalämpöpumppu asennetaan yleensä

lämmönjakohuoneeseen, josta lämpöjohtoputket johdetaan lämmöntalteenottopatterille. Lämmöntalteenottopatterit sijoitetaan yleensä katolle lähelle huippuimuria. Investointina asuinkerrostalossa poistoilmalämpöpumpun asennus on kallis, joten kiinteistön omistajat haluavat investointilaskelmia laitteiston kannattavuudesta sekä luotettavasti toimivia järjestelmiä. Investointia voidaan mitata muun muassa takaisinmaksumenetelmällä tai sijoitetun pääoman tuottavuudella. Suomeen asennettujen poistoilmalämpöpumppujen säästetyn energian kulutuksesta ei ole vielä saatu riittävän laajaa otantaa. Tämä on pitänyt uusien asuinkerrostalojen poistoilmalämpöpumppu markkinaa vielä maltillisina.

Opinnäytetyön tilaajalla Helsingin seudun opiskelija-asuntosäätiö (HOAS)) on paljon asuinrakennuskohteita pääkaupunkiseudulla, ja opinnäytetyön tavoitteena on laskea miten taloudellisia lämpöpumppujärjestelmät ovat investointina olleet ja arvioida, ovatko samantyylliset investoinnit kannattavia tulevaisuudessa. Samalla tarkistellaan, onko jo asennetuissa poistoilmalämpöpumpuissa ongelmia ja pohditaan, miten ne voitaisiin seuraavissa kohteissa välttää.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kolmen asuinkerrostaloon asennetun poistoilmalämpöpumppujärjestelmän kannattavuutta ja investoinnin takaisinmaksuaika. Tavoitteena oli myös selvittää tekijöitä, joilla lämpöpumpun toimintaa voitaisiin nykyisestään tehostaa.

Opinnäytetyöhön valittiin kolme kohdetta, joihin oli asennettu poistoilmalämpöpumppu vuosien 2011–2013 aikana. Näistä kohteista oli saatavilla veden sekä sähkö- ja lämpöenergian kulutustiedot vuosilta 2008–2015. Lämmönkulutukset on normitettu, jotta vuodet ovat vertailukelpoisia. Ennakkotietona ennen opinnäytetyön tekemistä oli, että vain yhdessä kohteessa on saavutettu laskennallinen energiansäästö. Opinnäytetyössä pohditaan mahdollisia syistä ja toimenpiteitä, joilla energiasäästötavoitteet voitaisiin saavuttaa. Opinnäytetyössä on tarkasteltu, miten myötävirta- ja vastavirtakytkentä vaikuttaa poistoilmalämpöpumpunkaishinmaksu-aikaan.

Opinnäytetyössä tutkittiin pääkaupunkiseudulla sijaitsevan kolmen asuinkerrostalon poistoilmalämpöpumpun kannattavuutta omistajan näkökulmasta. Tutkimuskohteina oli Itä-Vantaalla sijaitsevat asuinkerrostalot osoitteissa Rasinkatu 4, Rasinkatu 10 ja Rasinkatu 20. Kiinteistöjen omistaja on Helsingin seudun opiskelija-asuntosäätiö (HOAS).

Asuinkerrostalot ovat kaikki 12-kerroksisia ja hankevaiheessa investointi oli todennettu laskennallisesti kannattavaksi. Jokainen kohde oli erillinen hanke.

2 Taustat ja tavoitteet

Eurooppa on sitoutunut Kioton sopimuksen toisen velvoitekauden myötä vähentämään päästöjä vuosina 2013–2020 vuoden 1990 päästöjen tasolle. Tämän myötä Euroopan Unioni on asettanut kunnianhimoiset tavoitteet direktiiveissä päästötavoitteiden saavuttamiseksi. Suomi on sitoutunut noudattamaan energiatehokkuusdirektiiviä (EED) ja rakennusten energiatehokkuusdirektiiviä (EPBD). Asuinrakennusten käyttämä energia kokonaisenergian käytöstä Suomessa on noin 20 %. Vuonna 2014 asuinrakennusten käyttämä energiankulutus oli noin 64 terawattituntia (TWh) /2/. Tämä energiankulutus piti sisällään rakennusten lämmittämisen ja kotitalouslaitteet.

Suomessa direktiivien myötä muun muassa rakentamismääräyskokoelmat ovat tiukentuneet sekä uuden energiatehokkuuslain myötä on alettu tekemään rakennuksissa energiakatselmuksia. Vuoden 2015 alussa voimaan tullut energiatehokkuuslaki velvoittaa suuria yrityksiä tekemään energiakatselmuksen neljän vuoden välein. Yrityksen energiakatselmus on järjestelmällinen menettely, jolla saadaan riittävästi tietoa koko konsernin tai yrityksen energiankulutusprofiilista, tunnistetaan mahdollisuudet kustannustehokkaaseen energiansäästöön, määritetään säästön suuruus ja raportoidaan katselmuksen tuloksista. Yrityksen energiakatselmuksessa otetaan huomioon kaikki yrityksen energiankäyttökohteet, joita ovat rakennukset, teollinen ja kaupallinen toiminta sekä liikenne. Yrityksen energiakatselmukseen on sisällytettävä erillisiä kohdekohtaisia katselmuksia riittävästä määrästä yrityksen toimintoja, jotta voidaan muodostaa luotettava kuva yrityksen kokonaisenergiatehokkuudesta ja sen parantamismahdollisuuksista. /3/

Samalla yliopistotason koulutuksessa on lähdetty kouluttamaan lähes nollaenergiarakentamista. Lähes nollaenergiarakentamisella tarkoitetaan, että rakennuksella on erittäin korkea energiatehokkuus ja merkittävä osa tarvittavasta energiasta tuotetaan uusiutuvalla energialähteillä. Uusiutuvaa energiaa ovat esimerkiksi aurinko-, tuuli-, vesi- ja bioenergia ja maalämpö.

2.1 Pariisin ilmastokokous 2015

Pariisin ilmastokokouksen uusi ilmastosopimuksen luonnos toistaa vuonna 2010 sovitun tavoitteen rajoittaa ilmaston lämpeneminen alle kahteen asteeseen. Sopimukseen halutaan, että lisäksi määriteltäisiin toiminnallisemmin, miten tuohon tavoitteeseen päästään. Tälle pitkän aikavälin tavoitteelle on useita vaihtoehtoja – toiset konkreettisia ja yksiselitteisiä, toiset laveampia. EU:n ja Suomen näkemyksen mukaan päästöt tulisi vähintään puolittaa vuoden 1990 tasolta vuoteen 2050 mennessä ja vuosisadan loppuun mennessä pyrkiä nollapäästöihin. /4/

2.2 Energia- ja investointituki

Motiva myöntää energiatukea energiakatselmuksiin ja energiatehokkuuteen liittyviin projekteihin. Seuraavassa on esitetty tukien määrät.

Energiatuen osuus hyväksyttävistä kustannuksista voi olla energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista annetun valtioneuvoston asetuksen (1063/2012) mukaan enintään:

- kuntasektorin uusiutuvan energian katselmuksat 60 %
- kuntasektorin, mikroyritysten ja pk-yritysten energiakatselmuksat 50 %
- muut energiakatselmuksat, -analyysit ja selvityshankkeet 40 %
- uusiutuviin energialähteisiin ja energiatehokkuuteen liittyvät investoinnit, uusi teknologia 40 %
- uusiutuviin energialähteisiin liittyvät ja energiatehokkuuteen liittyvät investoinnit, tavanomainen teknologia 30 %
- muut energiantuotannon ympäristöhaittoja vähentävät investoinnit 30 %. /5/

Hallitus hyväksyi 25.2.2016 valtioneuvoston asetuksen uusiutuvan energian ja uuden energiateknologian investointituen myöntämisen yleisistä ehdoista. Tukiohjelma liittyy erityisesti hallituksen ”Biotalous ja puhtaat ratkaisut”-kärkihankkeeseen 1: ”Hiilettömään, puhtaaseen, uusiutuvaan energiaan kustannustehokkaasti”.

Investointituki on tarkoitettu tulevaisuuden energiaratkaisuihin vuoteen 2030 tähtäävien kansallisten ja EU-tavoitteiden saavuttamiseksi. Hallitusohjelman mukaan uusiutuvan

energian käyttöä lisätään kestävästi niin, että sen osuus nousee 2020-luvulla yli 50 prosenttiin, ja omavaraisuus yli 55 prosenttiin. Hallitusohjelmassa on myös asetettu tavoitteeksi nostaa liikenteen uusiutuvien polttoaineiden osuus vuoteen 2030 mennessä 40 prosenttiin sekä luopua kivihiilen käytöstä energiantuotannossa ja puolittaa tuonti öljyn käyttö kotimaan tarpeisiin 2020-luvun aikana. Investointitukea varten on tarkoitus varata vuosina 2017 ja 2018 yhteensä 80 miljoonaa euroa.

Investointitukea hakeneet hankkeet kilpailevat keskenään. Tuen myöntäminen perustuu kokonaisharkintaan, jossa otetaan huomioon tuotettavan energiamäärän ja kustannustehokkuuden ohella muun muassa hankkeen toteutettavuus sekä hankkeeseen sisältyvän teknologian uutuusarvo ja teknologian tai hankkeen monistettavuus. /5./

Investointituki on opinnäytetyön kirjoittamishetkellä uusi asia ja edellytyksiä tuettaville investointikohteille ei ole määritetty. Energia- ja investointitukea haettaessa kannattaa myös miettiä hybridijärjestelmiä, joille voi saada laajemman tuen. Asuinkerrostalossa hybridiratkaisu voisi olla esimerkiksi poistoilmalämpöpumppu-, aurinkokeräin- ja maalämpö -yhdistelmä.

Tuet ovat merkittävässä roolissa investointilaskelmia tehdessä, mutta kuitenkin näiden varaan ei voi täysin varmasti mennä. Opinnäytetyössä ei ole tukien osuutta investointilaskelmissa.

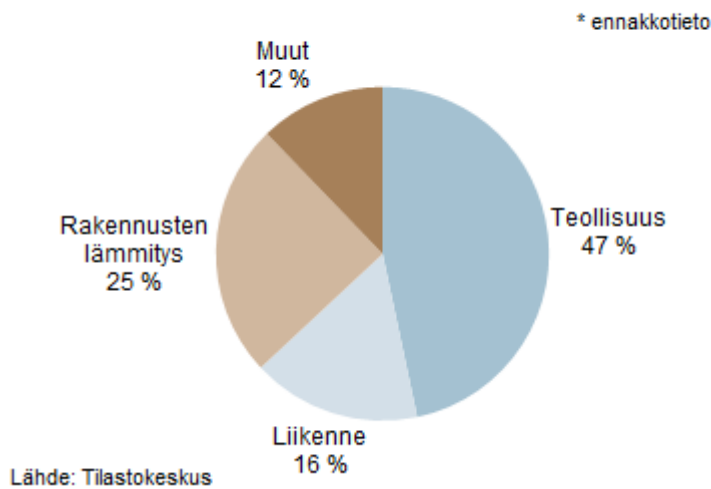
2.3 Energiankulutus Suomessa

Energian kokonaiskulutus Suomessa oli Tilastokeskuksen ennakkotietojen mukaan noin 1 340 PJ eli 372 TWh vuonna 2014 /6/.

Rakennusten lämmitys ja rakennuksissa käytetty huoneisto- ja kiinteistösähkö (yhteensä noin 120 TWh) kattavat noin 38 % ja rakennustarvikkeiden valmistus ja rakentaminen noin 4 % koko Suomen energian loppukäytöstä. Rakennusten energian loppukäyttö jakautuu lämmityssähköön (12 %), kaukolämpöön (29 %), öljyyn ja maakaasuun (14 %), puuhun ja pellettiin (12 %) sekä huoneisto- ja kiinteistösähköön (noin 33 %). /8./

Energian kulutus on Suomessa kasvanut tasaisesti nykypäivään asti. Rakennusten lämmittämiseen Motivan mukaan kuuluu kokonaisenergian käytöstä 25 %. /6./ Kiristyvien energiatehokkuusvaatimuksien takia etsitään jatkuvasti uusia tapoja säästää energiaa rakennuksissa. Kuvassa 2 on esitetty energian loppukäytön jakaantuminen sektoreittain.

Energian loppukäytön jakaantuminen sektoreittain 2014*



Kuva 2. Energian loppukäytön jakautuminen sektoreittain 2014 /6/.

Suomessa teollisuuden energiankäytön vähenemisen takia rakennusten lämmittämisen osuus kokonaisenergian käytöstä tulee nousemaan. Uudemmissa rakennuksissa noudatetaan uusia rakentamismääräyksiä, joissa on määritelty muun muassa tiukemmat U-arvot, vuotoilmaeroin ja lämmöntalteenoton minimimäärä.

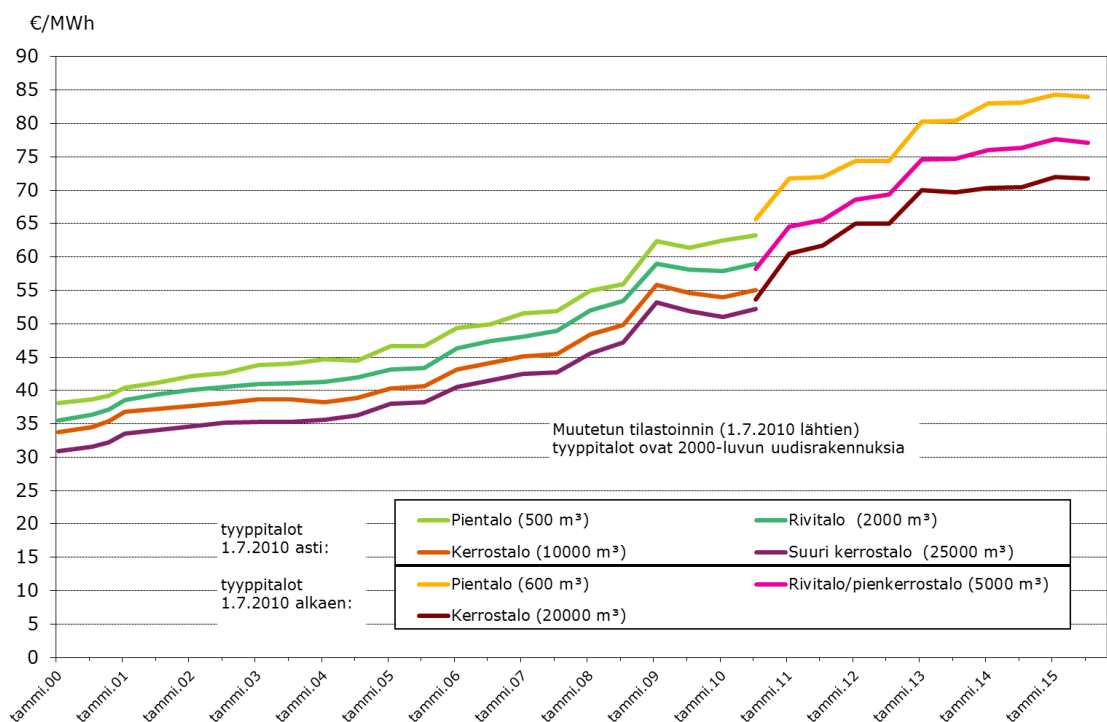
Energian hinta on kasvanut viime vuosikymmenet tasaisesti. Sähkön hinta on kerrostaloasukkaalla noussut 123 % vuosina 1992–2015. Taulukossa 1 on kerätty tilastokeskuksen haikkoneella kerrostalojen hinnat vuosina 1992–2015. Suomessa sähkö on tällä hetkellä halpaa verrattuna muihin Euroopan valtioihin.

Taulukko 1. Sähkönhinnan kehitys asuinkerrostaloissa 1992–2015 /7/.

| | Tammikuu | |
|--|------------------|------------------|
| | Hinta snt/kWh | Vuosimuutos % |
| K1 (Kerrostalohuoneisto, ei sähkökiuasta, pääsulake 1x25 A, sähkön käyttö 2 000 kWh/vuosi) | | |
| 1992 | 8,21 | . |
| 1993 | 8,91 | 8,5 |
| 1994 | 9 | 1 |
| 1995 | 9,17 | 2 |
| 1996 | 9,94 | 8,4 |
| 1997 | 9,97 | 0,3 |
| 1998 | 10,06 | 0,9 |
| 1999 | 9,71 | -3,5 |
| 2000 | 9,47 | -2,4 |
| 2001 | 9,48 | 0,1 |
| 2002 | 10,11 | 6,7 |
| 2003 | 10,77 | 6,5 |
| 2004 | 11,77 | 9,3 |
| 2005 | 11,52 | -2,2 |
| 2006 | 11,76 | 2,1 |
| 2007 | 12,53 | 6,5 |
| 2008 | 13,16 | 5 |
| 2009 | 14,61 | 11 |
| 2010 | 14,88 | 1,8 |
| 2011 | 17,28 | 16,1 |
| 2012 | 17,78 | 2,9 |
| 2013 | 18,07 | 1,6 |
| 2014 | 18,28 | 1,2 |
| 2015 | 18,3 | 0,1 |

Sähkön hinta on taulukon 1 mukaan kasvanut välillä 2000–2015 yli 120 %. Kaukolämmön hinta on kasvanut vuosien 2000–2015 asuinkerrostaloissa noin 118 % (kuva 3). Kaukolämpö on pääosin sähköntuotannon sivutuote, joka on ympäristöystävällinen lämmitystapa. Kaukolämmön kilpailijoiksi ovat tulleet muun muassa maa- ilma-, vesilämpöpumput. Viitaten Mirkka Heiskasen opinnäytetyöhön ”Kaukolämpö- ja maalämpöjärjestelmän kustannusvertailu pientalon lämmitysjärjestelmänä” on vertailtu kauko- ja maalämpöä. Opinnäytetyössä on todettu maalämmön olevan kirjoitushetkellä kustannustehokkain ratkaisu /8/.

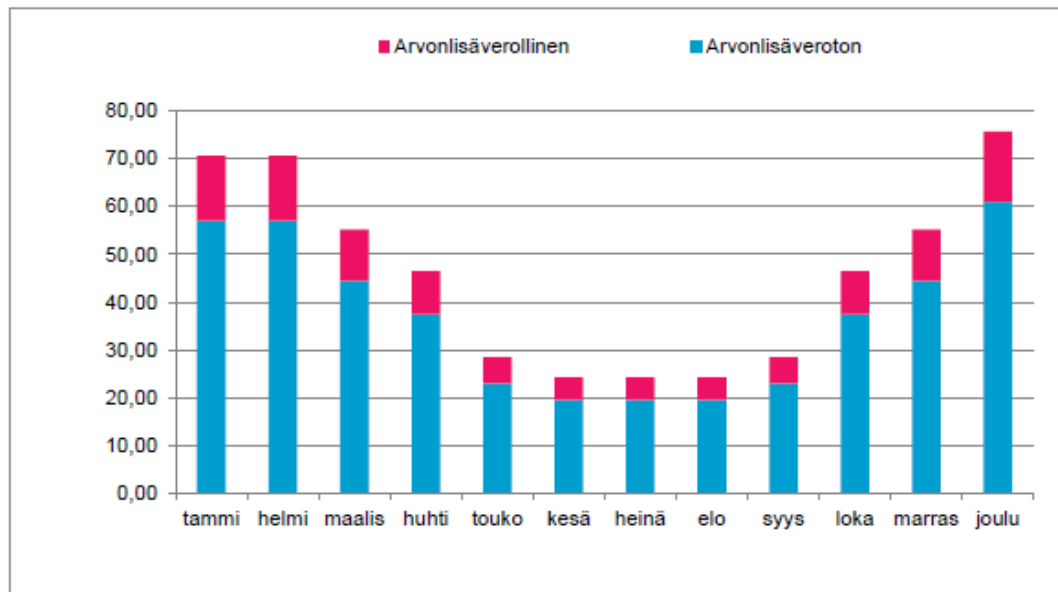
Sähkön hinnoittelussa sähköntuottajien välillä ei ole isoja hintaeroja, mutta kaukolämpöhintoissa on kaukolämpötuottajien välillä isoja hintaeroja. Kannattavuuslaskelmissa on hyvä huomioida alueellinen hinnoittelueroinen. Vantaan Energian kaukolämpöhintojen hinnoittelussa on otettu käyttöön kuukausihinnan vaihtelu käytön mukaan. Kuvassa 3 voidaan todeta, että joulukuussa kaukolämmön hinta on kalleimmillaan ja kesäkuukausina halvimmillaan. Osassa tapauksissa kesäkuukausina on halvempi käyttää pelkästään kaukolämpöä ja jättää poistoilmalämpöpumppu pois päältä.



Kuva 3. Kaukolämpöhintojen kehitys 2000–2015 /9/.

Kuvassa 4 on esitetty kaukolämmön energiamaksut vuodelta 2016.

| ENERGIAMAKSU €/MWh | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | tammi | helmi | maalis | huhti | touko | kesä | heinä | elo | syys | loka | marras | joulu |
| aiv 0% | 56,95 | 56,95 | 44,50 | 37,50 | 23,00 | 19,60 | 19,60 | 19,60 | 23,00 | 37,50 | 44,50 | 61,05 |
| aiv 24% | 70,62 | 70,62 | 55,18 | 46,50 | 28,52 | 24,30 | 24,30 | 24,30 | 28,52 | 46,50 | 55,18 | 75,70 |

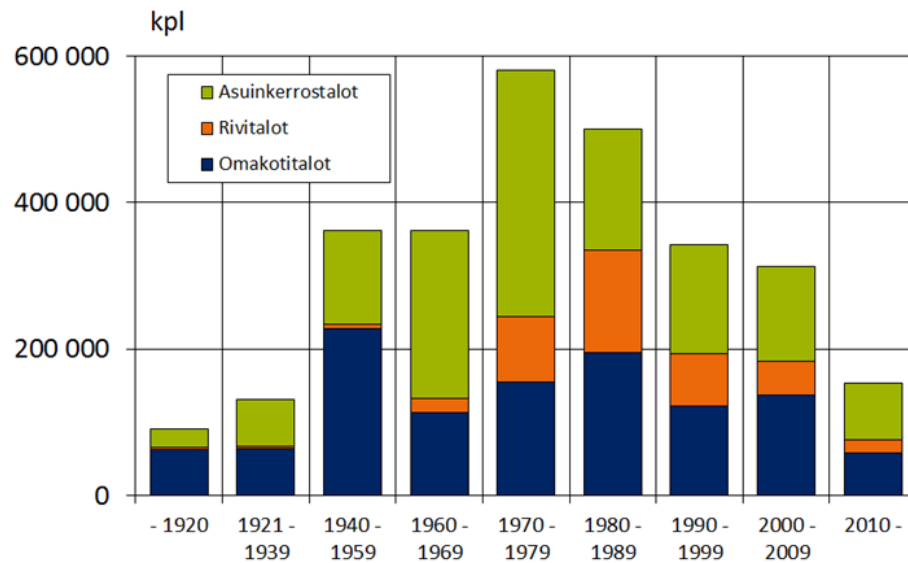


Kuva 4. Vantaan Energian energiamaksut 2016 /10/.

Kaukolämmön ja sähköenergian hinnan on arvioitu kallistuvan tulevien vuosien aikana. Yksi syy tähän on Suomen sähköverkon ylläpito ja korjaus, joka tulee näkymään sähkönsiirtomaksuissa. Erään arvioin mukaan energian- ja sähkön hinta tulee nousemaan seuraavan kahdenkymmenen vuoden aikana ainakin yhtä paljon kuin se on noussut viimeisen kahdenkymmenen vuoden. Sähkön siirtohintaa on muuttumassa energiaperusteisesta tehoperusteiseksi.

Rakennusten energiatehokkuutta koskevat määräykset ovat tiukentuneet 2000-luvun aikana. Viimeinen muutos on tullut voimaan 2013. Suurin osa Suomen asuinrakennuksista on rakennettu ennen 2000-lukua (kuva 5). Juuri näihin rakennuksiin pitäisi löytää energiatehokkaita ratkaisuja, jolla saataisiin energiatehokkuuden edellyttämiä energiansäästöjä.

Asuntokannan ikäjakauma vuonna 2014



Lähde: Tilastokeskus

Rakennusteollisuus

7.12.2015

Kuva 5. Asuinrakennusten ikäjakauma /11/.

2.4 Energiankulutus asuinkerrostaloissa

Suomen asuintokanta vuonna 2010 oli 2,81 miljoona asuntoa, josta omakotitaloissa oli 1,14 miljoona asuntoa, rivitaloissa 0,38 miljoona asuntoa ja asuinkerrostaloissa 1,23 miljoona asuntoa. Vuonna 2014 asumisen osuus energian loppukäytöstä oli keskimäärin 20 prosenttia /2/.

1960–1970-luvulla väestön muutto alkoi keskittymään kaupunkeihin ja kerrostalojen massatuotanto käynnistettiin. Kerrostalot tehtiin elementeistä ja LVI-tekniikka rakennuksissa oli ajanmukaista. Käytännössä LVI-tekniikka koostui lämmönjakokeskuksesta, koneellisesta poistoilmavaihdosta, patteriverkosta sekä vesi- ja viemärijärjestelmistä. 1980-luvulla kehittyi lämmönjakokeskuksen automaatio ja tämän avulla pystyttiin säättämään mm. menoveden lämpötilaa ulkolämpötilan mukaan. Poistoilma on yleensä johdettu kerrostaloissa ulkoilmaan ilman, että siitä otetaan lämpöenergiaa talteen.

Energiasäästö tavoitteet ja samalla hinnan nousu ovat herättäneet asuinkerrostalojen asukkaat harkitsemaan vaihtoehtoisia energiansäästötapoja. Poistoilmapumppu on yksi

vaihtoehto, jolla poistoilmasta voidaan siirtää lämpöenergiaa rakennuksen ja käyttöveden lämmitykseen. Ruotsissa ja Norjassa on poistoilmalämpöpumppuja asennettu jo 1980–1990-luvulta lähtien. Suomeen poistoilmalämpöpumput ovat vasta tulossa. Taulukon 2 mukaan vuonna 2015 lämpöpumppuja asennettiin noin 1700 poistoilmalämpöpumppua. Poistoilmalämpöpumppujen asennus olemassa oleviin asuinkerrostaloihin on vaikeaa, koska järjestelmään on asennettava lämpöjohtoputkisto lämmönjakokeskuksesta poistoilman lämmöntalteenotolle. Pientaloon poistoilmalämpöpumpun asentaminen on yksinkertaisempaa. Potentiaalia Suomessa poistoilmalämpöpumppujen asentamiselle on niin pientaloissa kuin asuinkerrostaloissakin.

Taulukko 2. Toimitetut lämpöpumput Suomessa vuonna 2015 /12/.



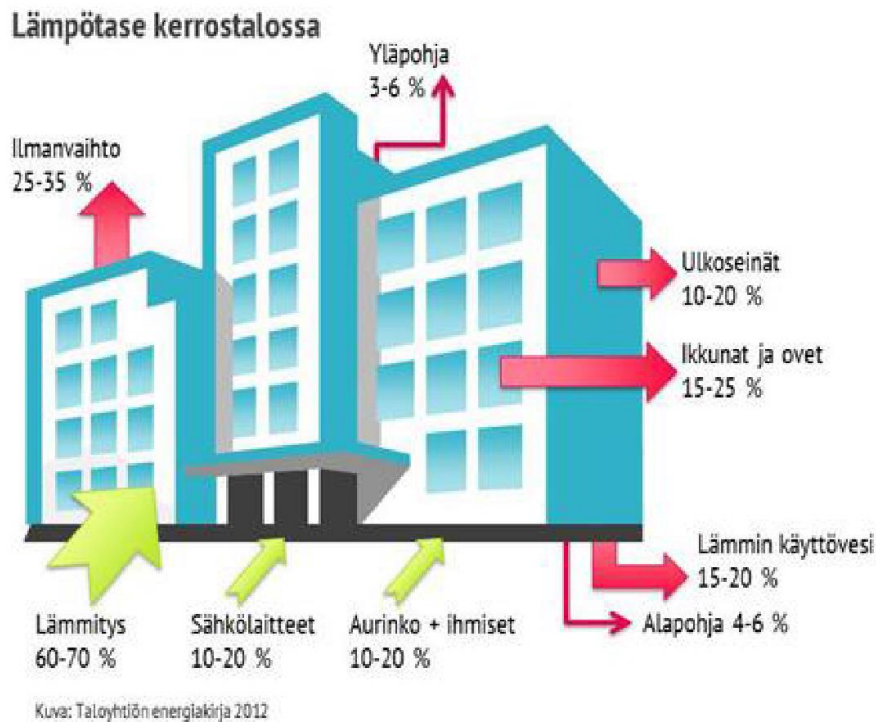
Toimitetut ja lasketut lämpöpumput Suomessa vuonna 2015 (2014 kursivoilla ollen)

| Lämmönlähde | Lämmönjako | Vuosi | Mitoituslämpöteho (kW) | | | | | Yhteensä | Muutos % |
|-------------------|-------------------|-------|------------------------|------|-------|--------|----------|----------|----------|
| | | | 0-6 | 7-10 | 11-25 | 26-100 | 101-1000 | | |
| Ulkoilma | Vesi (UVLP) | 2015 | 96 | 1818 | 677 | 113 | | 2704 | 82,7 % |
| | | 2014 | 68 | 926 | 378 | 108 | | 1480 | |
| | ilma (ILP) | 2015 | 44058 | 715 | 230 | 24 | | 45027 | -14,8 % |
| | | 2014 | 51647 | 1045 | 114 | 16 | | 52822 | |
| Poistoilma | Vesi, ilma (PILP) | 2015 | 1777 | 7 | 0 | 0 | | 1784 | 1,0 % |
| | | 2014 | 1761 | 6 | 0 | 0 | | 1767 | |
| Maa, vesi, kallio | Vesi, ilma (MLP) | 2015 | 2017 | 4296 | 2117 | 765 | 15 | 9210 | -17,2 % |
| | | 2014 | 2064 | 6226 | 1950 | 867 | 18 | 11125 | |
| Yhteensä | | 2015 | 47948 | 6836 | 3024 | 902 | 15 | 58725 | -12,6 % |
| | | 2014 | 48392 | 8392 | 3426 | 981 | 20 | 67194 | |

Yhteenvedon laati ja sen oikeellisuudesta vastaa:
Suomen Lämpöpumppuyhdistys SULPU ry

Helsingissä , 19.1. 2016

Asuinkerrostalojen lämpöhäviöt ovat esitetty kuvassa 6. Tästä kuvasta voidaan todeta, että ilmanvaihdon kautta poistuu kerrostaloissa 25–35 % lämmöstä. Ulkoseinien, yläpohjan, ikkunoiden ja ovien kautta poistuu noin 28–51 % ja lämpimän käyttöveden kautta poistuu 15–20 % /12/.

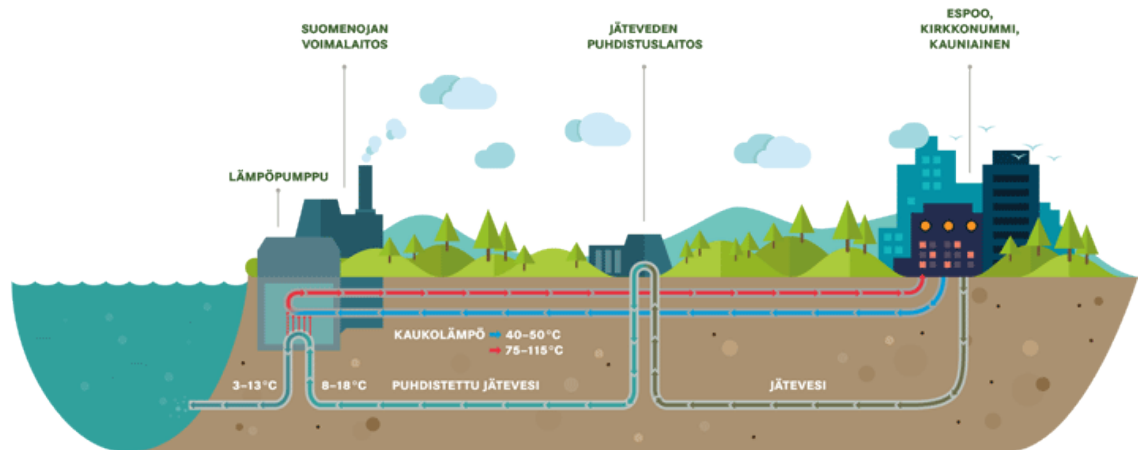


Kuva 6. Lämpötase kerrostalossa /13/.

Lisäeristyksillä voidaan saada parempaa energiatehokkuutta. Lisäeristettäviä rakennusosia asuinkerrostalossa ovat muun muassa ulkoseinät, yläpohja, ikkunat ja ovet. Lisäeristys toteutetaan yleensä julkisivuremontin yhteydessä, jolloin investointikustannukset ovat järkevä.

Rakennuksista otetaan lämpöä talteen eri järjestelmillä, kuten ilma-, ilmavesi- ja maalämpöpumpuilla. Yksi tapa on ottaa lämpöenergiaa talteen jätevedestä. Teknologia ei ole vielä niin kehittynyt, että rakennuksista saataisiin lämmöntalteenottoa jätevedestä kustannustehokkaalla tavalla. Vuonna 2015 Fortum alkoi ottamaan lämpöä talteen jätevedestä Espoon Suomenojalla. Lämmöntalteenotto jätevedestä on vaikeampi prosessi, koska jätevesi pitäisi puhdistaa ennen kuin lämpöä otetaan talteen. Kuvassa 7 on esitetty Fortumin malli jäteveden lämmöntalteenotosta. Fortum käyttää talteen otetun lämpöenergian kokonaisuudessaan kaukolämmitykseen. HSY vastaa puhdistetun jäteveden toimittamisesta Fortumin lämpöpumppulaitokselle. Viilentynyt vesi palautetaan HSY:n vedenpuhdistamolle, mistä se ohjataan poistotunnelia pitkin mereen. Jätevedestä saadaan pumpattua talteen lämpöä arviolta 15 000 omakotitalon vuosikulutuksen verran.

/14/



Kuva 7. Fortum Suomenojan lämmöntalteenotto jätevedestä /14/.

Yksi vaihtoehto on ottaa lämpöenergiaa talteen poistoilmasta. Uudemmissa rakennuksissa otetaan lämpöenergiaa talteen omalla lämmöntalteenotto (LTO) -laitteistolla, mutta tähän järjestelmään tarvitaan myös ilmanvaihdon tuloilmakanavisto. Vanhemmissa asuinkerrostaloissa, joissa on vain koneellinen poistoilmanvaihto, voidaan poistoilmalämpöpumpulla siirtää lämpöenergiaa poistoilmasta esimerkiksi lämminvesivaraajaan. Yleensä poistoilmalämpöpumpua käytetään asuinkerrostaloissa, joissa on rappukohittaiset poistot. Parempi hyöty saadaan, kun asuinkerrostalojen poistoilmavirta ja lämpösisältö on korkea. Matalissa rakennuksissa, joissa on paljon porraskäytäviä, useasti tarvitaan useampia lämmöntalteenottopattereita tai kanavointia katolla.

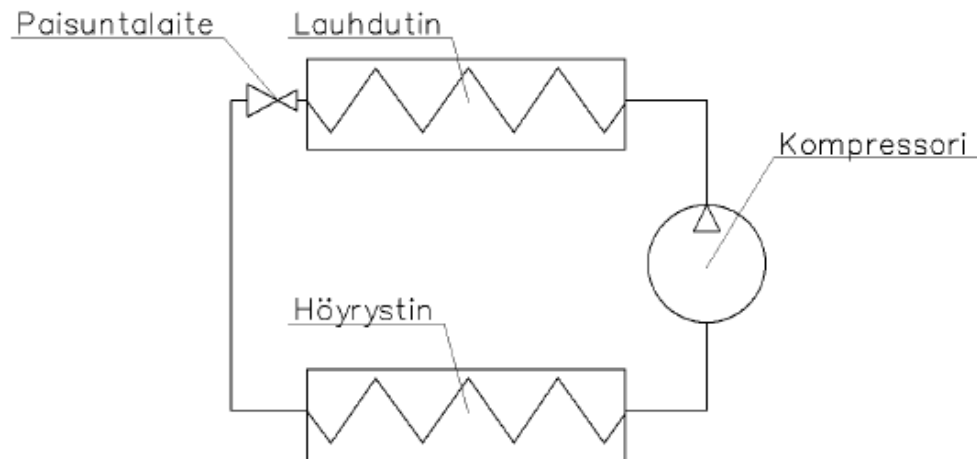
3 Poistoilmalämpöpumpujärjestelmä

3.1 Poistoilmalämpöpumppprosessi

Kylmäteknisessä kiertoprosessissa siirretään prosessiin tehdyn työn avulla lämpöä matalammasta lämpötilasta korkeampaan /15/. Lämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineen kiertoprosessiin, jossa kiertävä kylmäaine höyrystyy ja lauhtuu. Koneisto koostuu höyrystimestä, kompressorista, lauhtimesta ja paisuntalaitteesta.

Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy ympäristöä matalammassa lämpötilassa sitoen lämpöä ympäristöstä. Kylmäprosessissa kompressor imee matalapaineisen kylmäainehöyryn ja puristaa sen korkeampaan paineeseen, ja samalla höyryn lämpötila kohoaa. Lauhduttimessa ympäristöä korkeammassa lämpötilassa oleva höyry nesteytyy eli lauhduttuu luovuttaen lämpöä ympäristöön. Paisuntalaitteessa nestemäisen kylmäaineen paine laskee, jolloin neste muuttuu neste-höyryseokseksi, ja samalla seoksen lämpötila laskee. Tämän jälkeen kierto piirissä alkaa uudelleen. /16./

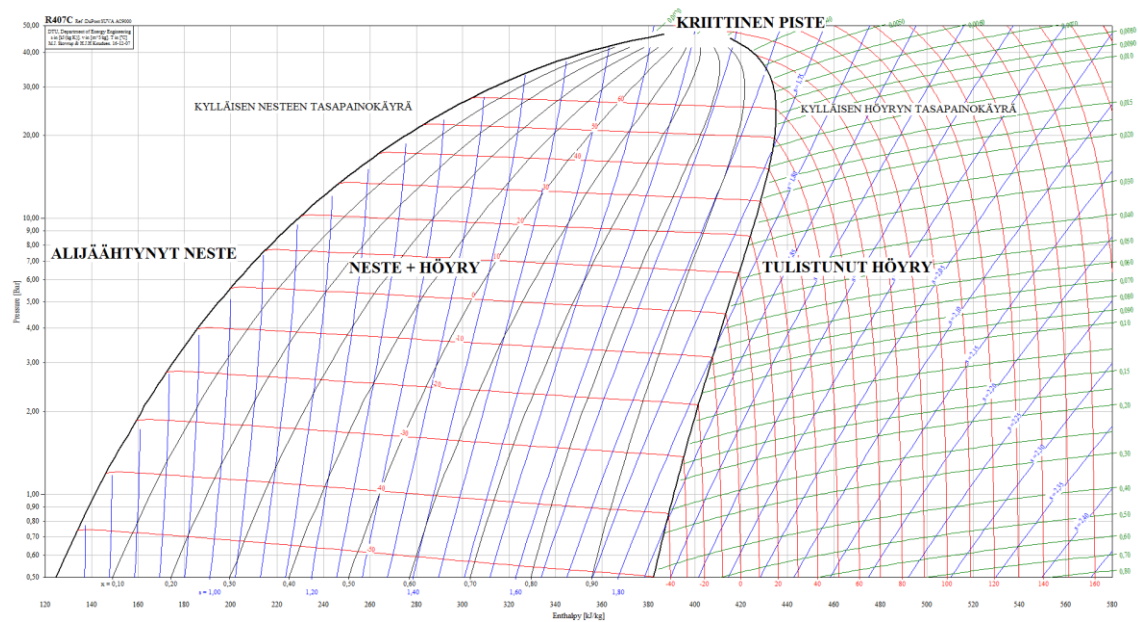
Poistoilmalämpöpumpujärjestelmään pääkomponentteihin kuuluvat yleensä poistoilmapatteri (lämmöntalteenottopatteri), poistoilmalämpöpumppu, tasaussäiliö, siirrin ja pumppu. Kuvassa 8 on esitetty lämpöpumpun pääkomponentit.



Kuva 8. Lämpöpumpun pääkomponentit.

Kylmäaineen ominaisuudet esitetään log p,h -diagrammilla. Diagrammissa näkyvät kylmäaineen paine ja entalpia eri prosessin tilasta. Entalpia toisena akselina antaa mahdollisuuden lukea mm. lämpömäärät ja puristustyön (massayksikköä kohden) janoina. Paine toisena akselina on jäähdytysprosesseja käsiteltäessä käytännöllinen tärkeiden paineen muutosten takia. /15./ Log p,h -diagrammissa paineasteikko on logaritminen.

Log p,h -diagrammi jakaantuu kylmää nesteen ja kylmää höyryn tasapainokäyriin. Kriittinen piste on nesteen ja höyryn jakajana, jolloin olomuoto kylmäaineessa muuttuu. Kriittisessä pisteessä kylmäaine on höyryn ja nesteen sekoitus.



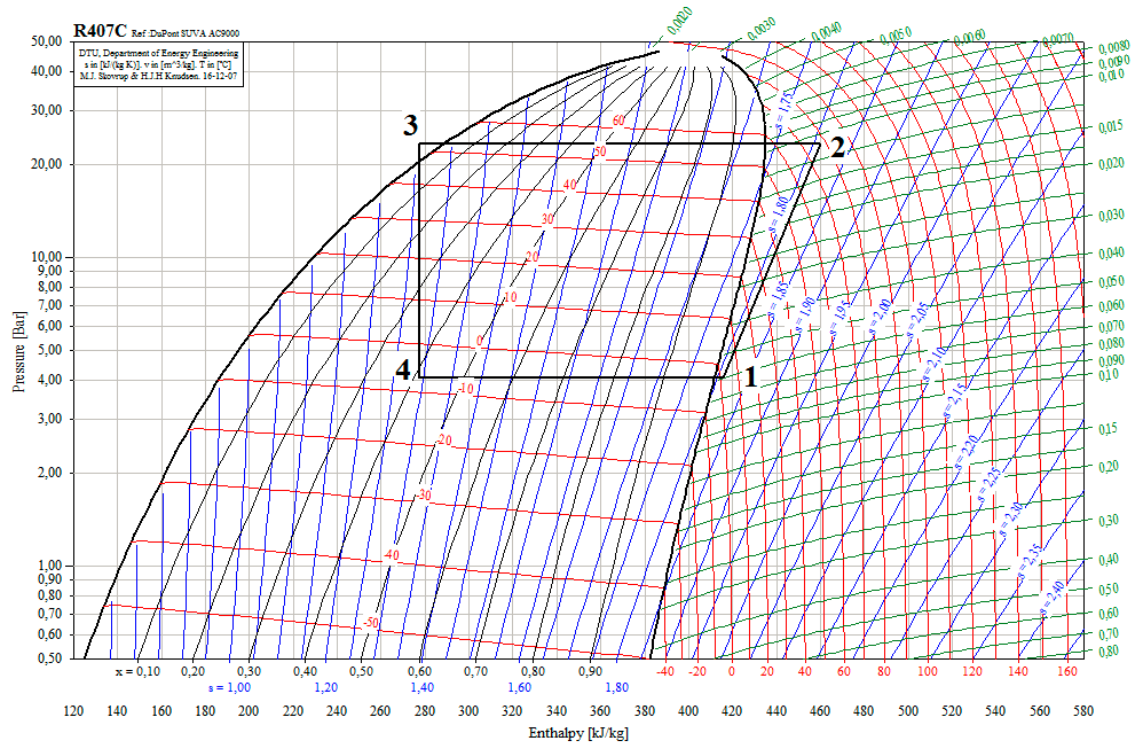
Kuva 9. Kylmäaineen log p,h -tilapiirros.

Log p,h -diagrammista tarvitaan vakiolämpötila- vakioaine-, vakioitiheys-, vakioentalpia- ja vakiohöyrpitoisuuskäyrät, jotta pystytään esittämään koko kylmätekniinen prosessi.

3.2 Teoreettinen kylmäprosessi

Teoreettinen kylmäprosessi on esitetty kuvan 10 log p, h -diagrammin mukaisesti. Kylmäaine höyrystyy ja hieman tulistuu höyrystimessä vakioaineessa kuvan 10 mukaan kohdassa 4–1. Kompressor imee tulistuneen höyryn ja puristaa sen korkeampaan paineeseen, jolloin höyry tulistuu lisää kohdassa 1–2. Häviötön puristus, jossa ei tapahdu lämmönsiirtoa, on isentrooppinen, ja silloin prosessi kulkee vakioentropiakäyriä pitkin.

Lauhduttimessa kylmäaineesta poistuu tulistus, höyry lauhtuu ja lopulta neste hieman alijäähtyy vakioaineessa kohdassa 2–3. Lauhduttimessa neste johdetaan paisuntalaitteelle, jossa kylmäaineen paine laskee ja neste muuttuu neste-höyryseokseksi 3–4. Samalla seoksen lämpötila laskee. Entalpia-asteikolla osuus kohdassa 4–1 on höyrystimen sitoma lämpö Q_0 , osuus kohdassa 1–2 on kompressorin tekemä työ W ja osuus kohdassa 2–3 on lauhduttimen luovuttama lämpö Q_1 . /16./



Kuva 10. Teoreettinen kylmäprosessi log p, h-tilapiirroksessa.

3.3 Todellinen kiertoprosessi

Todellisessa kiertoprosessissa syntyy paljon erilaisia häviöitä ja teoreettista hyötysuhdetta ei saavuteta. Suurimmat häviöt syntyvät kompressorissa, lauhduttimissa, höyrystymisessä ja putkistoissa. Puristuksessa osa työstä muuttuu kitkan johdosta lämmöksi, jolloin tapahtuu lämpöhäviöitä. Todellinen prosessi ei ole isentrooppinen, vaan entalpia kasvaa log p, h-tilapiirroksessa vasemmalle (kuva 10). Todellisen kiertoprosessi kaava:

$$COP(\varepsilon) = \frac{Q_1}{W_k} = \eta_{ka} \times \eta_{is} \times \eta_{is} \times \eta_{mek} \times \eta_{moot} \times \varepsilon_c \quad (1)$$

COP on todellisen lämpöpumppuprosessin lämpökerroin

Q_1 on lauhduttimen luovuttama lämpö, kWh

W_k on kompressorin tekemä työ, kWh

η_{ka} on kiertoaineen termodynaminen hyötysuhde

η_{is} on isentrooppinen hyötysuhde

η_{mek} on kompressorin mekaaninen hyötysuhde

η_{moot} on käyttömoottorin hyötysuhde välityksineen

ε_c on Carnot lämpökerroin

3.4 Carnot lämpökerroin

Carnot'in prosessi on ranskalaisen insinööri Sadi Carnot`n kehittämä teoria, miten lämpövoimakoneista saavutetaan suurin hyötysuhde. Ideaalisessa Carnot`n kiertoprosessissa höyrystyminen ja lauhtuminen eli lämmöntuonti ja poisto systeemissä tapahtuvat vakioämpötiloissa ja kokonaan kylläisen höyryn ja kylläisen nesteen välisellä 2-faasialueella. Carnot`n kaava esitetään seuraavasti:

$$\varepsilon_c = \frac{T_1}{T_1 - T_h} \quad (2)$$

*ε_c on Carnot lämpökerroin
 T_1 on lauhtumislämpötila, K
 T_h on höyrystimislämpötila*

3.5 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumpussa (PILP) käytetään energialähteenä rakennuksen omaa koneellista poistoilmaa. Poistoilmalämpöpumppu tarvitsee jatkuvan poistoilmavirran, joka yksikössä m³/h on asuinrakennuksessa noin 0,5 kertaa rakennuksen poistoilmakoneen palvelualueen ilmatilavuus. Poistoilmasta siirretään lämpöenergiaa lämpöpumpulla rakennuksen lämmitykseen ja/tai lämpimän käyttöveden esilämmitykseen ja lämmittämiin lämmönsiirtimen ja tasaussäiliön avulla. Kokovuotinen hyöty saadaan kosteiden tilojen vesikiertoisesta lattialämmityksestä ja lämpimän käyttöveden esilämmityksessä. Yleensä vanhemmissa asuinkeuhkaloissa ei ole kosteiden tilojen erillistä vesikiertoista lattialämmityspiiriä, mutta uusissa kohteissa suunnitteluvaiheessa asiaa kannattaa pohdita.

Asuinkeuhkaloissa suositellaan investoinnin yhteydessä uusittavan kierroslukuohjatut matalaenergiapuhaltimet sekä rakennusautomaatiikka.

Poistoilmalämpöpumppu tarvitsee toimiakseen sähköä. Poistoilmalämpöpumpun hyötysuhdetta kuvataan lämpökertoimella, joka kertoo kuinka paljon lämpöpumppu tuottaa lämpöä verrattuna sen käyttämään sähköenergiaan. Tyypillinen poistoilmalämpöpumpun vuosilämpökerroin on noin 3 eli se tuottaa vuodessa kolminkertaisen määrän lämpöä verrattuna sen käyttämään sähköön /21/. Lämpöpumpun avulla lauhtumislämpötila

saadaan nostetuksi yli 40 °C:seen. Käyttövesi saadaan lämmitettyä lämpöpumpulla tu-
listuksen myötä.

Poistoilmalämpöpumppu käyttöikä on keskimäärin 20 vuotta. Huoltokustannukset ovat
keskimäärin 800 € vuodessa kohteesta riippuen. Isommissa järjestelmissä huoltokustan-
nukset nousevat parin tuhanteen euroon. Poistoilmalämpöpumpun kallein huoltokohde
on kompressori, jonka keskimääräinen vaihtoväli on 10 vuotta. Kuvassa 11 on kuva teh-
dasvalmisteisesta lämpöpumppukeskuksesta.



Kuva 11. Tehdasvalmisteinen kaukolämmönjakokeskus yhdistetty lämpöpumppuun /17/.

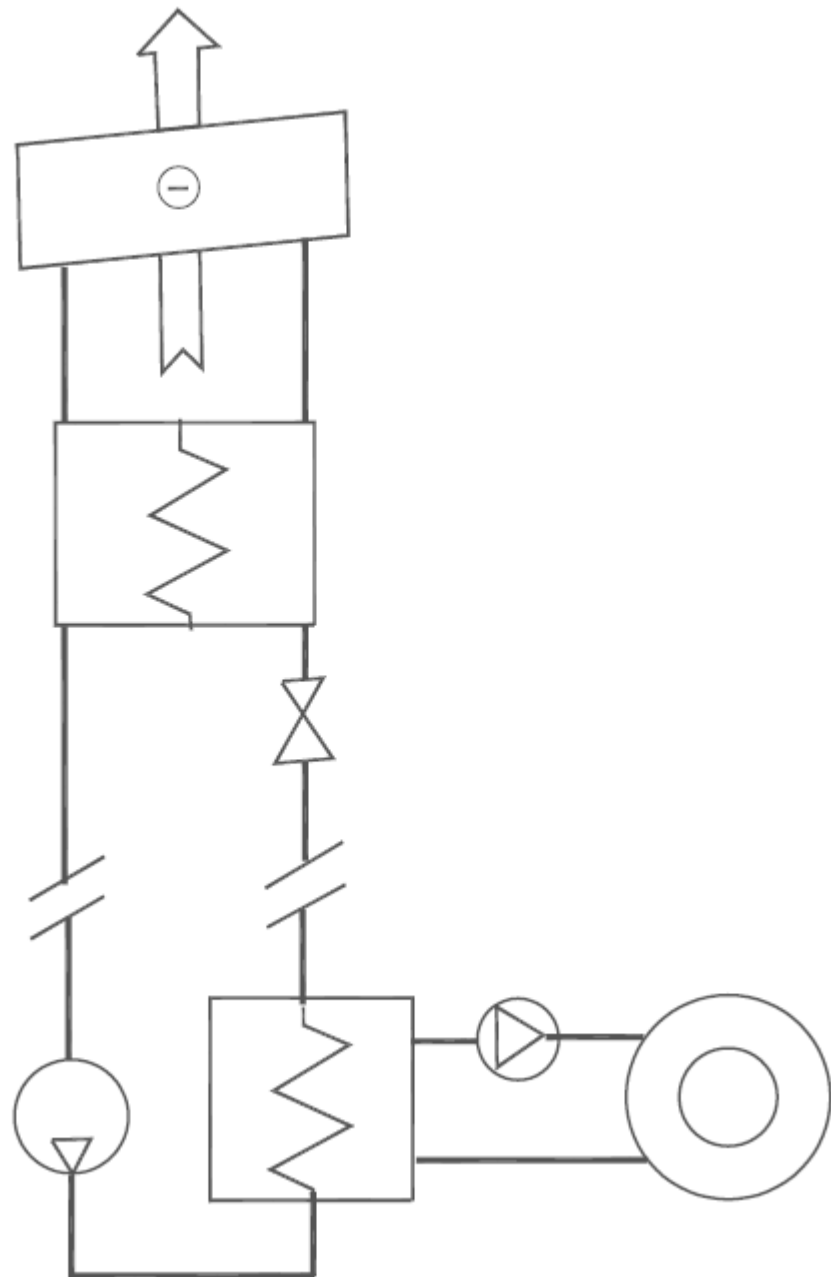
Poistoilmalämpöpumpun lämpökerroin kerroin saadaan seuraavalla kaavalla 3.

$$\text{Lämpökerroin} = \frac{\text{Tuotettu lämpö (kWh)}}{\text{Käytetty sähkö (kWh)}} \quad (3)$$

Lämpöpumppu toimii sitä paremmalla lämpökertoimella, mitä matalammalla lämpötilata-
solla se luovuttaa lämmön /16/.

Kuvassa on 12 on havainnollistettu poistoilmalämpöpumpun toiminta. Poistoilmaa virtaa
höyrystimen läpi, jossa poistoilman lämpöenergiaa siirtyy patterissa virtaavaan kylmäai-
neeseen, jolloin kylmäaine höyrystyy. Kylmäainehöyry virtaa lämpöpumppuun, jossa
kompressori nostaa kylmäaineen painetta ja lämpötilaa korkeammaksi. Tämän jälkeen
lämpöenergiaa siirretään lauhduttimelta lämminvesivaraajaan. Kylmäneste taas siirtyy

paisuntaventtiille, jossa osa seoksen lämpötila voimakkaasti laskee. Seos siirtyy edelleen höyrystispattereille.



Kuva 12. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate.

Kompressorit

Kompressorin tehtävänä on kylmäaineen paineen korottaminen höyrystyspaineesta lauhtumisaineeseen /18/. Kylmäkoneissa käytetään hermeettisiä, puolihermeettisiä tai avokompressoreita.

Lämpöpumpuissa käytetään pääsääntöisesti hermeettisiä mäntä- ja scroll-kompresso-reita. Hermeettiset koneet ovat ilmatiiviisti suljettuja eikä niitä voida erikseen avata. Kompressorin mennessä epäkuntoon yleensä hermeettinen kompressorit joudutaan vaihtamaan. Kompressorit valinnassa kannattaa ottaa huomioon muun muassa lämpö-kerroin, jolla on iso vaikutus energiankulutukseen.



Kuva 13. Lämpöpumppu ja lämminvesivaraaja.

Lauhdutin

Lauhduttimen tehtävänä on nesteyttää kompressorin puristama kylmäainehöyry. Yleisimmin käytetään ilma- ja nestejäähdytteisiä vesilauhduttimia /16/. Poistoilmalämpöpumpuissa lämmönsiirrin toimii lauhduttimena.

Paisuntaventtiili

Paisuntaventtiilin tavoitteena on vapauttaa paineellinen kylmäaine eteenpäin prosessissa. Paisuntaventtiilinä käytetään joko mekaanista termostaattista paisuntaventtiiliä tai

elektronista paisuntaventtiiliä, joka pystyy mukautumaan vaihteleviin käyttöolosuhteisiin /18/.

Höyrystin

Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy ja sitoo lämpöä ympäristöstä /18/. Poistoilmalämpöpumpuissa höyrystimenä toimii lämmöntalteenottopatteri, joka sitoo poistoilmasta vapautuvan lämpimän ilman kylmäaineeseen.

Kylmäaineet

Kylmäaineet ovat kaasuja, joita käytetään väliaineena lämmönsiirtämiseen kylmäkoneistossa. Kylmäaineilta vaaditaan eri käyttötarkoituksissa erilaisia ominaisuuksia. Seuraavia ominaisuuksia kylmäaineissa on hyvä ottaa huomioon: suuri höyrystymislämpö, pieni viskositeetti, hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet, suuri tilavuustuotto tai höyrystymispaine /18/.

Kylmäaineita on jaoteltu kolmeen ryhmään.

Yksikomponenttinen kylmäaine on yhdestä aineesta koostuva kylmäaine, jonka höyrystyminen ja lauhtuminen tapahtuvat vakioämpötilassa.

Atseotrooppinen kylmäaine on kahden tai useamman yksikomponenttisen kylmäaineen seos, jonka höyrystyminen ja lauhtuminen tapahtuvat vakioämpötilassa. Kylmäaineen tunnus alkaa numerolla 5.

Tseotrooppinen kylmäaine on kahden tai useamman yksikomponenttisen kylmäaineen seos höyrystymisen ja lauhtumisen yhteydessä tapahtuu muutos. Kylmäaineen tunnus alkaa numerolla 4. /18./

Yleisimpiä kylmäaineita poistoilmalämpöpumpuissa käytetään R407C. Kylmäaineen valintaa miettiessä pitää ottaa huomioon muun muassa koneiston lämpökerroin, käyntipaineet, puristus- ja tulistuslämpötila. Kuvassa 11 on kuvattu R407C kylmäaineen kylmäprosessi log p,h -tilapiirroksena

Lämmönsiirrin

Lämmityksen tai lämpimän käyttöveden esilämmitykseen pitää hankkia kaukolämpölaitteistoon oma lämmönsiirrin. Kaukolämpökeskuksen uuden lämmönsiirtimen asennukseen pitää hyväksyttää alueen lämmöntuottajalta. Jos kaukolämpökeskus alkaa olemaan yli puolen välin käyttöiästä, niin kannattaa harkita uusia koko kaukolämmönkeskus. Uuden siirtimen asentamisesta aiheutuvat muutostyöt tulevat kalliiksi, siksi uusi kaukolämmönkeskus tulee yleensä halvemmaksi vaihtaa kokonaan.

Tasaussäiliö

Lämmityksen ja lämpimän käyttöveden lämmittämisessä ei voida koko ajan hyödyntää poistoilmalämpöpumpulla tuottamaa lämpöenergiaa. Tämän vuoksi tarvitaan tasaussäiliötä. Yleensä kerrostalojen poistoilmalämpöpumpuissa käytetään yli tuhannen litran tasaussäiliöitä.

Lämmöntalteenottopatteri

Asuinkerrostaloissa joudutaan asentamaan erillinen lämmöntalteenottopatteri, josta lämmin poistoilma otetaan talteen. Yleensä lämmönsiirtopatteri asennetaan poistoilmakanavaan lähelle poistoilma-aukkoa, esim. kammioon kanavan- taikoneenrakennososaksi. Lämmönsiirtopatterin tehtävä on siirtää putkistossa olevan liuoksen avulla lämpö takaisin kiertoon. Suosituimpia lämmönsiirtopattereita ovat neula- ja lamellipatterit, jotka eivät tarvitse erillistä esisuodatusta.

Putkisto

Lämmönsiirtopatteri siirtää poistoilmasta talteen otetun lämmön nesteeseen, joka johdetaan putkistoa pitkin lämpöpumpulle. Siirtoputkisto voidaan rakentaa useammalla eri tavalla kiinteistön rakenteista riippuen. Mahdollisia tapoja reitittää putkisto ovat mm.

- rakennuksen ulkopinnalla
- porraskäytävää pitkin
- vanhan roskakuilun kautta
- tuuletusparvekkeita pitkin
- vanhaa piippua pitkin /19/.

4 Case-kohteet

Case-kohteet ovat vuosina 1973–1978 rakennettuja asuinkerrostaloja, joissa on koneellinen poistoilmanjärjestelmä. Rakennukset on kytketty kaukolämpöön. Asuinkerrostalot ovat 12 kerroksisia. Kohteet Rasinkatu 4 ja 10 ovat rakenteeltaan samantyyliisiä, ja katolle on asennettu kahden huippuimurin päälle Ekocoilin lamellipatteri (kuva 14). Rasinkatu 20 on rakennettu yhdellä poistoilmakanavalla ja yhdellä huippuimurilla. Kohteeseen siihen on asennettu yksi isompi Hydrocellin harjapatteri. Poistoilmalämpöpumpputjärjestelmät on asennettu lämmönjakohuoneisiin. Kohteisiin Rasinkatu 4 ja 10 on asennettu kahdella poistoilmalämpöpumpulla 30 kW ja kahdella 1000 litran varaajalla. Rasinkatu 20 on varustettu kolmella poistoilmalämpöpumpulla 25 kW ja kolmella 1000 litran varaajalla. Jokainen poistoilmalämpöpumppu on varustettu kahdella scroll-kompressorilla.

Poistoilmalämpöpumpputjärjestelmät on tehty samalla periaatteella. Poistoilmasta talteen otettava lämpöenergia siirretään lämminvesivaraajaan, joka toimii käyttöveden ja lämmitysverkoston lämmittämiseen.

Putkiston on yhdistetty katolla ja viety rappukäytävässä kotelon sisällä lämmönjakohuoneeseen. Putkiston koko on DN 80 ja käytännössä läpivientien pitää olla DN 125.

Kaukolämpötoimittajat Helen ja Vantaan Energia edellyttävät, että mitoitustehona pitää käyttää pääasiallisena lämmitysmuodolla tuotettua energiaa, joka on näissä kohteissa kaukolämpö. Käytännössä poistoilmalämpöpumpun asennus ei siis suoran pienennä tilavuusvesivirtaa tai mitoitustehoa. Vantaan Energialla mitoitusteho määritetään toteutuneen huipputehontarpeen mukaan eli jos poistoilmalämpöpumpulla saadaan leikattua huipputehoa, niin tällä on vaikutus mitoitustehoon. /28./

Kuvassa 14 on esitetty Rasinkatu 4 katolla oleva lämmöntalteenottojärjestelmän patteri.



Kuva 14. Rasinkatu 4 katolla oleva lämmöntalteenottojärjestelmän patteri.

4.1 Perustiedot

Taulukoissa 3–5 on esitetty case-kohteiden perustiedot.

Taulukko 3. Rasinkatu 4:n perustiedot.

| | | | | Vuosi | Sähkön kulutus (kWh) | Kaukolämmön kulutus (MWh) (normitettu) | Käyttöveden kulutus m ³ |
|---|--|---|------------------|-------|----------------------------|--|---------------------------------------|
| Rakennusvuosi | 1973 | Kaukolämmön hinta | 55 € /MWh | 2008 | 43 711 | 684,5 | 4780,20 |
| Omistaja | Helsingin seudun opiskelija- asuntosää- tiö (HOAS) | Sähkön hinta | 0,09 € /kWh | 2009 | 50 653 | 726 | 4566,57 |
| Rakennustilavuus | 17610 m ³ | Huoltokustan- nukset: | | 2010 | 50 211 | 623,68 | 4814,01 |
| Kerrosala | 5380 m ² | Automaatio huolto | 600 € / vuosi | 2011 | 53 916 | 648,64 | 4680,51 |
| Kerroslukumäärä | 12 | Lämpöpump- puhuolto | 800 € / vuosi | 2012 | 47 639 | 635,35 | 4986,78 |
| Asuntojen lukumäärä | 72 kpl | LTO-patterien puhdistus | 400 € / vuosi | 2013 | 47 468 | 613,3 | 4780,20 |
| Poistoilmalämpö pumppu | Gebwell 2 x T25kW | Poistoilmaläm- pöpumpun valmistumisvu- osi | 2013 | 2014 | 119 210 | 404,81 | 4670,20 |
| Poistoilmalämpö pumput kesäkuukaudet päällä | 2013- 2014 | | | 2015 | 116 335 | 372,01 | 4801,87 |
| Poistoilmalämpö pumput kesäkuukaudet pois päällä | 2015- 2016 | | | 2016 | 124663 | 415,07 | 5284,05 |



Kuva 15. Rasinkatu 4 /29/.

Taulukko 4. Rasinkatu 10 perustiedot.

| | | | | Vuosi | Sähkön kulutus (kWh) | Kaukolämmön kulutus (MWh) (normitettu) | Käyttöveden kulutus m ³ |
|--|--|---|---------------|-------|----------------------------|--|---------------------------------------|
| Rakennusvuosi | 1974 | Kaukolämmön hinta | 55 € /MWh | 2008 | 66 311 | 703,1 | |
| Omistaja | Helsingin seudun opiskelija- asuntosäätiö (HOAS) | Sähkön hinta | 0,09 € /kWh | 2009 | 68 929 | 706,98 | |
| Rakennustilavuus | 17610 m ³ | Huoltokustan- nukset: | | 2010 | 65 865 | 683,6 | |
| Kerrosala | 5380 m ² | Automaatio- huolto | 600 € / vuosi | 2011 | 65 094 | 796,2 | |
| Kerroslukumäärä | 12 | Lämpöpumppu- huolto | 800 € / vuosi | 2012 | 66 385 | 626,76 | 1941,51 |
| Asuntojen lukumäärä | 72 kpl | LTO-patterien puhdistus | 400 € / vuosi | 2013 | 65 027 | 677,71 | 2419,97 |
| Poistoilmalämpö- pumppu | Gebwell 2 x T25kW | Poistoilmalämpö pumpun valmistumisvuosi | 2013 | 2014 | 133 161 | 415,77 | 2340,25 |
| Poistoilmalämpö- pumput kesäkuukaudet päällä | 2013-2014 | | | 2015 | 136 041 | 362,71 | 2535,07 |
| Poistoilmalämpö- pumput kesäkuukaudet pois päällä | 2015-2016 | | | 2016 | 428,43 | 6074,76 | 2635,95 |



Kuva 16. Rasinkatu 10 /29/.

taulukko 5. Rasinkatu 20 perustiedot.

| | | | | Vuosi | Sähkön kulutus (kWh) | Kaukolämmön kulutus (MWh) (normitettu) | Käyttöveden kulutus m ³ |
|--|--|--|---------------|-------|----------------------------|--|---------------------------------------|
| Rakennusvuosi | 1978 | Kaukolämmön hinta | 55 € /MWh | 2008 | 92 747 | 871,71 | |
| Omistaja | Helsingin seudun opiskelija- asuntosäätiö (HOAS) | Sähkön hinta | 0,09 € /kWh | 2009 | 91 195 | 878,84 | |
| Rakennustilavuus | 22200 m ³ | Huoltokustan- nukset: | | 2010 | 87 223 | 798,42 | |
| Kerrosala | 6240 m ² | Automaatio- huolto | 600 € / vuosi | 2011 | 110 783 | 825,78 | |
| Kerroslukumäärä | 12 | Lämpöpumppu- huolto | 800 € / vuosi | 2012 | 232 779 | 323,12 | 4204,72 |
| Huoneistojen lukumäärä | 94 kpl | LTO-patterien puhdistus | 400 € / vuosi | 2013 | 245 358 | 227,76 | 4268,27 |
| Poistoilmalämpö- pumppu | Gebwell 3 x T30kW | Poistoilma- lämpöpumpun valmistumisvuosi | 2011 | 2014 | 235 763 | 222,59 | 4177,46 |
| Poistoilmalämpö- pumput kesäkuukaudet päällä | 2011-2014 | | | 2015 | 198 533 | 275,76 | 4240,64 |
| Poistoilmalämpö- pumput kesäkuukaudet pois päällä | 2015-2016 | | | 2016 | 209 603 | 433,71 | 4213,63 |



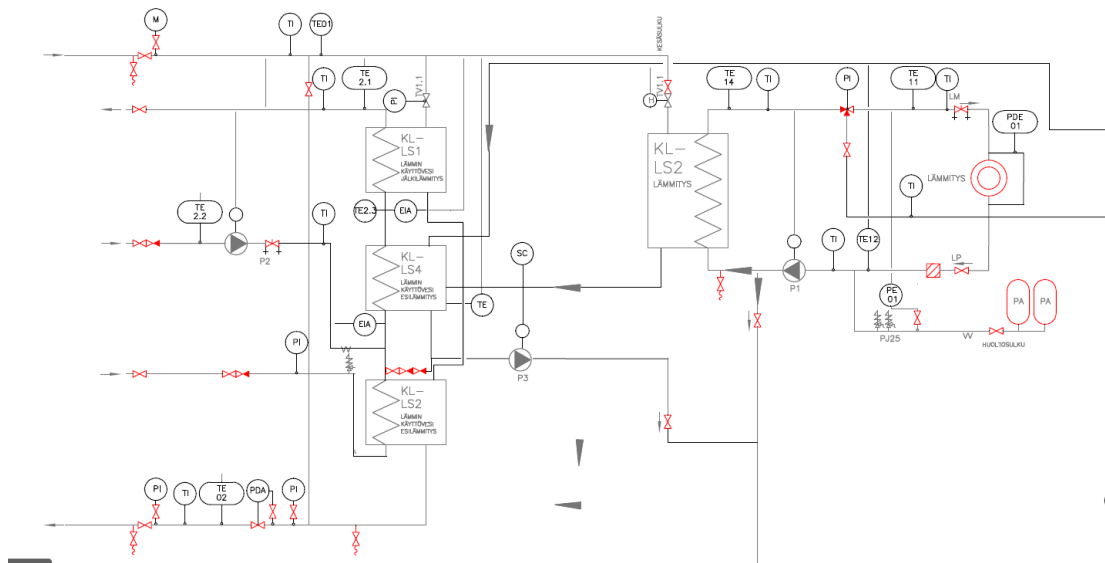
Kuva 17. Rasinkatu 20 /27/.

Kohteisiin Rasinkatu 4 ja 10 on asennettu poistoilmalämpöpumpun yhteydessä uusi kaukolämmönalajakokeskus. Kohteessa Rasinkatu 20 on tehty vanhaan kaukolämpökukseen muutokset.

4.2 Toimintaselostus Rasinmäki 4

Käyttöveden kiertopumppu P2 käy aina. Pumppu P3 käy, jos varaajalta tulevan veden lämpötila on korkeampi kuin LS4 vaihtimelle tuleva esilämmitetty käyttövesi. Käyttövesipumpun P3 kierrosnopeutta säätämällä pyritään pitämään LS4 vaihtimelta lähtevä käyttövesi asetusarvossaan 58–60 °C. Jos lämpötila ei jostain syystä saavuta asetusarvoa, avautuu kaukolämmön säätöventtiili TV11 lämpötila-anturin TE21 mittaustuloksen perusteella, kunnes asetusarvo +58 °C.

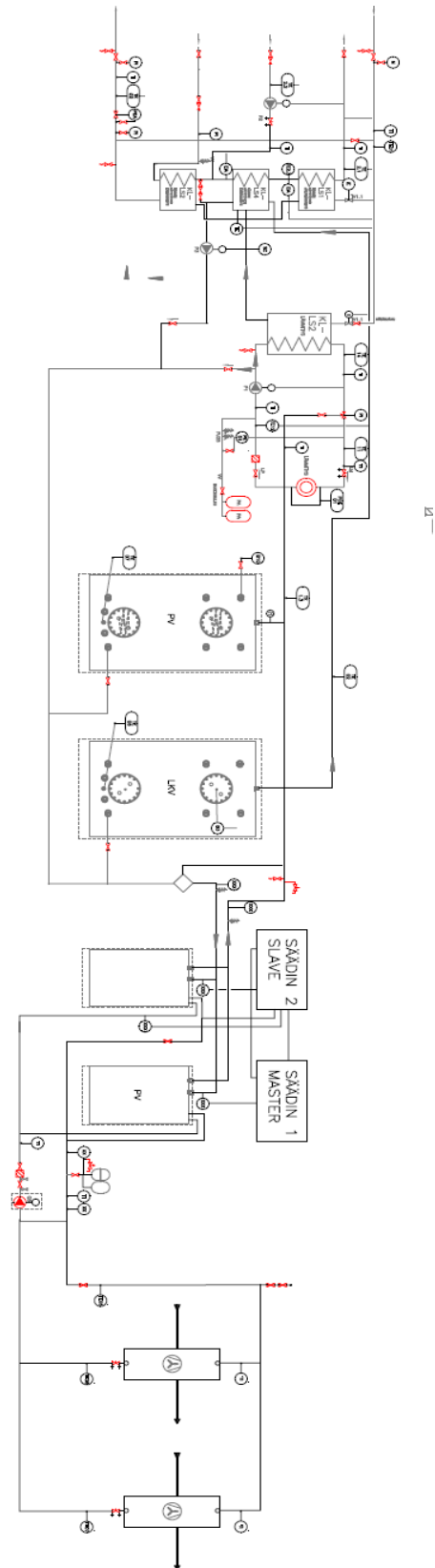
Rasinkatu 4:n kytkentäkaavio on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Kytentäkaavio Rasinkatu 4.

Patteriverkoston lämmityksen kiertovesipumppu P1 käy aina. Säätojärjestelmä ohjaa pumpun kierrosnopeutta pitäen paine-eron verkoston yli asetusarvossaan. Säätojärjestelmä ohjaa sarjassa säätoventtiileitä TV21/TV23 patteriverkoston menoveden lämpötila-anturin TE11 ja paluuvden lämpötila-anturin TE12 ja ulkolämpötila-anturin TE3 mitausarvojen perusteella pitäen patteriverkoston menoveden lämpötilan säätoikäyrän mukaisena. Patteriverkoston menoveden lämpötila muuttuu ulkolämpötilan mukaan. Patteriverkoston lämpötilan säätoiventtiili TV23 avautuu ensin ja jos lämpö ei riitä avautuu TV21 tarpeen mukaan. Kaukolämpöpuolen säätoiventtiili TV21 avautuu, mikäli varaajalta tulevan veden lämpötila ei riitä. Lämmönvaihtimelta LS3 lähtevän veden lämpötilaa TE14 pyritään säätamään asetusarvoonsa sekoitusventtiilillä TV12, mikäli lämpötila ei saavuta asetusarvoaan avataan kaukolämpö venttiiliä TV21 virtaama.

Sekoitusventtiili TV12 säätaa varaajan kautta kierrätettävän kaukolämpövaihtimien kautta kierrätettävän veden määrää pitäen verkostoon menevän lämpötilan TE23 kohdalla asetusarvossaan. Varaajien yhteiden linjasäätoventtiilit on säädetävä siten, että lämmitys- ja latauspiirien lämpötilat ovat tasaantuneet mahdollisimman hyvin. Jos lämmöntalteenottopatterin palaavan liuoksen lämpötila laskee raja-arvon alapuolelle, niin huippuimurin taajuusmuuttaja nostaa puhaltimen pyörimisnopeutta. Jos palaavan liuoksen lämpötila laskee alle raja-arvon, niin automatiikka sammuttaa poistoilmalämpöpumpun. Rasinkatu 4 kytentäkaavio on esitetty kuvassa 20.



Kuva 19. Kytkentäkaavio tarkennus Rasinkatu 4.

4.3 Lämmöntalteenottopatterit

Kohteissa Rasinkatu 4 ja 10 on asennettu Ekocoilin lamellilämmöntalteenottopatteri. Kesän 2016 aikana lämmöntalteenottopatterien tehokkuutta parannettiin lisäämällä toinen Ekocoilin lämmöntalteenottopatteri sarjaan.

Kohteessa Rasinmäki 20 on katolle asennettu Hydrocellin harjalämmönsiirrin, jonka läpi kiertää etyleeniglykoliseos. Kuvassa 20 on esitetty kohteen harjalämmönsiirrin. Harjalämmönsiirrin ei tarvitse käyttää esisuodatusta, mutta säännöllinen harjalämmönsiirtimen pesu auttaa keräämään lämpöä paremmin. Lämmöntalteenottopatterin likaantumisessa paine-ero siirtimen yli kasvaa ja lämmönsiirtokyky heikkenee.



Kuva 20. Rasinmäki 20 harjalämmönsiirrin.

4.4 Kulutuslukemat case kohteissa

Kuvissa 23–25 esitetyt case-kohteiden kulutuslukemat vuosilta 2008–2015 on haettu Enerkey-energiankulutusseurantajärjestelmästä. Kulutuslukemista käy ilmi kaukolämmön normitettu ja kiinteistönsähkön kulutus. Kaukolämmön kulutuksen normituksella tarkoitetaan, että eri kuukausia ja vuosi voidaan vertailla /20/. Lämmitysenergian normitus lasketaan kaavalla 4.

$$Q_{norm} = \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} * Q_{toteutunut} + Q_{lämmön\ käyttövesi} \quad (4)$$

Q_{norm} on rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus (MWh)
 $S_{toteutunut\ vpkunta}$ on toteutunut lämmitystarveluku vuosi – tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla (°C vrk)
 $S_{N\ vpkunta}$ on normaalivuoden tai – kuukauden (1981 – 2010) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla (°C vrk)
 $Q_{toteutunut}$ on rakennusten tilojen lämmittämiseen kuluva energia (MWh)
 $Q_{lämmön\ käyttövesi}$ on käyttöveden lämmittämiseen vaatima energia (MWh).

Kaukolämmön normitus perustuu lämmitystarvelukuihin ja korjauskertoihin, jotka löytyvät ilmatieteenlaitoksen verkkosivuilta. Enerkey-energiankulutusseurantaohjelma normittaa lämmitysenergiankulutuksen. Poistoilmalämpöpumppu käyttää myös sähköä lämmittämiseen ja tähän mennessä sähköä ei ole normeerattu. Enerkeyn mukaan poistoilmalämpöpumpun sähkönkulutuksen normeerausta ei ole mietitty käyttöönotettavaksi /32/. Toisaalta poistoilmalämpöpumppu tuottaa saman verran lämpöä käyttöveteen ja lämmittämiseen eikä ole riippuvainen lämmitystarvelukuihin. Enerkey ei normita kaukolämmön kulutusta kesä-elokuuta.

Esimerkkilaskenta kaukolämmön normitukseen on tehty kaavalla 4. Esimerkki kuukaudeksi valittiin helmikuu 2016. Kaukolämmön kulutus oli 47,32 MWh ja käyttöveden kulutus 657,97 m³. Lämpimän käyttöveden osuudeksi arvioidaan 30%, josta tulee 72,1 m³. Käyttöveden lämmittämiseen vaatima energia lasketaan kaavalla 5.

$$Q_{lämmön\ käyttövesi} = \frac{\rho * c_p * V * (t_2 - t_1)}{3600} \quad (5)$$

ρ on veden tiheys (1000 kg/m³)

c_p on veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 $\frac{kJ}{kg\ ^\circ C}$)

$$V \text{ on vedenkulutus (m}^3\text{)}$$

$$t_2 \text{ on lämmitetyn veden lämpötila (55°C)}$$

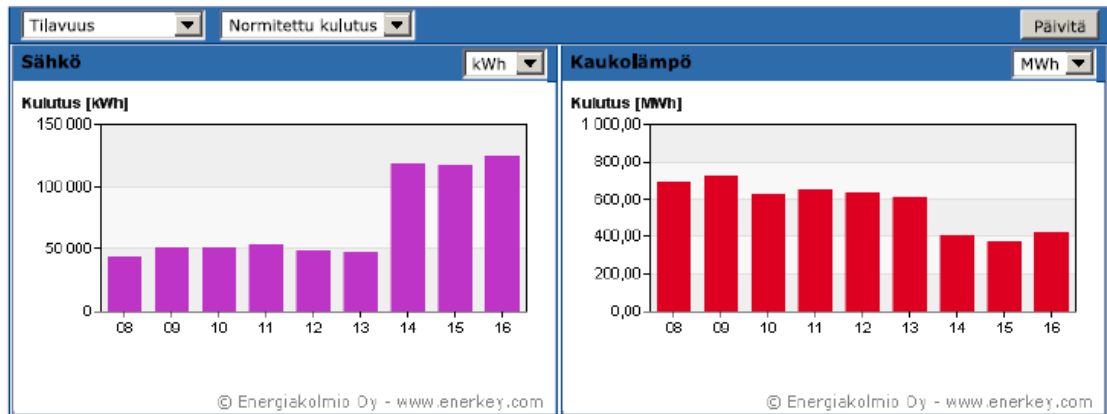
$$t_1 \text{ on lämmitettävän veden lämpötila (5°C)}$$

Kun lämpimän käyttövedenkulutus lisätään kaavaan, niin käyttöveden lämmittämiseen vaatimaksi energiaksi saadaan 12,7 MWh. Näin ollen tilojen lämmittämiseen tarvittava energia on 47,32 MWh - 12,7 MWh, josta tulee 34,6 MWh.

Motivan sivuilta saadaan toteutunut lämmitystarveluku $S_{\text{toteutunut vpkunta}}$ Vantaan kohdalta se on 640 °Cvrk ja normaalivuoden lämmitystarveluku SN_{vpkunta} on 510 °Cvrk. Kun saadut luvut laitetaan kaavaan 4, saadaan helmikuun 2016 normitettu kaukolämmön kulutus /20/.

$$Q_{\text{norm}} = \frac{510 \text{ °Cvrk}}{640 \text{ °Cvrk}} * 34,6 \text{ MWh} + 12,7 \text{ MWh} = 56,1 \text{ MWh}$$

Kuvassa 20 on esitetty Rasinkatu 4:n kulutustiedot.



| Sähkö | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | |
|--------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Kulutus [kWh] | 43 711 | 50 653 | 50 211 | 53 916 | 47 639 | 47 468 | 119 210 | 116 335 | 124 663 | |
| Muutos [%] | | 2,2 % | 15,9 % | -0,9 % | 7,4 % | -11,6 % | -0,4 % | 151,1 % | -2,4 % | 7,2 % |
| Kaukolämpö | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | |
| Kulutus [MWh] | 602,73 | 674,56 | 676,98 | 573,52 | 626,99 | 559,84 | 372,56 | 326,47 | 395,03 | |
| Muutos [%] | | -9,2 % | 11,9 % | 0,4 % | -15,3 % | 9,3 % | -10,7 % | -33,5 % | -12,4 % | 21,0 % |
| Normitettu kulutus [MWh] | 684,50 | 726,00 | 623,68 | 648,64 | 635,35 | 613,30 | 404,81 | 372,01 | 415,07 | |
| Muutos [%] | | -4,3 % | 6,1 % | -14,1 % | 4,0 % | -2,0 % | -3,5 % | -34,0 % | -8,1 % | 11,6 % |

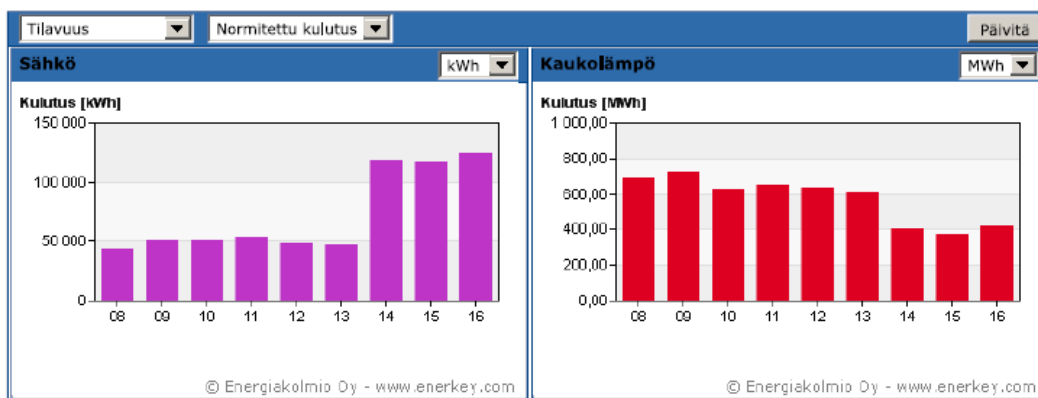
Kuva 21. Rasinkatu 4:n kulutustiedot vuosilta 2009–2015.

Talukossa 6 on esitetty Rasinkatu 4:n vuoden 2016 kulutustiedot kuukausittain.

Taulukko 6. Rasinkatu 4:n vuoden 2016 kulutuslukemat kuukausittain.

| Kuukausi | Sähkö [kWh] | | | Kaukolämpö [MWh] | | | Käyttövesi [m³] | | |
|-----------------|----------------|----------------|--------------|------------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|
| | 2015 | 2016 | Muutos [%] | 2015 | 2016 | Muutos [%] | 2015 | 2016 | Muutos [%] |
| Tammikuu | 11 474 | 12 724 | 10,9 % | 59,05 | 82,85 | 40,3 % | 391,78 | 461,92 | 17,9 % |
| Helmikuu | 9 755 | 11 435 | 17,2 % | 45,04 | 47,23 | 4,9 % | 363,04 | 657,97 | 81,2 % |
| Maaliskuu | 11 219 | 12 176 | 8,5 % | 38,86 | 45,33 | 16,6 % | 417,72 | 532,48 | 27,5 % |
| Huhtikuu | 12 106 | 12 215 | 0,9 % | 22,11 | 26,32 | 19,0 % | 377,35 | 529,65 | 40,4 % |
| Toukokuu | 13 585 | 4 890 | -64,0 % | 6,51 | 24,54 | 277,0 % | 410,91 | 456,26 | 11,0 % |
| Kesäkuu | 4 393 | 4 922 | 12,1 % | 20,71 | 20,23 | -2,3 % | 311,66 | 332,27 | 6,6 % |
| Heinäkuu | 4 100 | 4 622 | 12,7 % | 18,53 | 17,43 | -5,9 % | 312,33 | 314,34 | 0,6 % |
| Elokuu | 4 224 | 4 707 | 11,4 % | 19,49 | 18,97 | -2,7 % | 373,82 | 351,44 | -6,0 % |
| Syyskuu | 11 430 | 4 940 | -56,8 % | 4,09 | 22,73 | 455,7 % | 428,76 | 387,72 | -9,6 % |
| Lokakuu | 12 306 | 17 763 | 44,3 % | 21,39 | 13,27 | -38,0 % | 489,80 | 398,73 | -18,6 % |
| Marraskuu | 10 999 | 16 873 | 53,4 % | 30,52 | 38,53 | 26,2 % | 515,28 | 445,92 | -13,5 % |
| Joulukuu | 10 745 | 17 397 | 61,9 % | 40,17 | 39,80 | -0,9 % | 409,42 | 415,35 | 1,4 % |
| Yhteensä | 116 335 | 124 663 | 7,2 % | 326,47 | 397,23 | 21,7 % | 4 801,87 | 5 284,05 | 10,0 % |

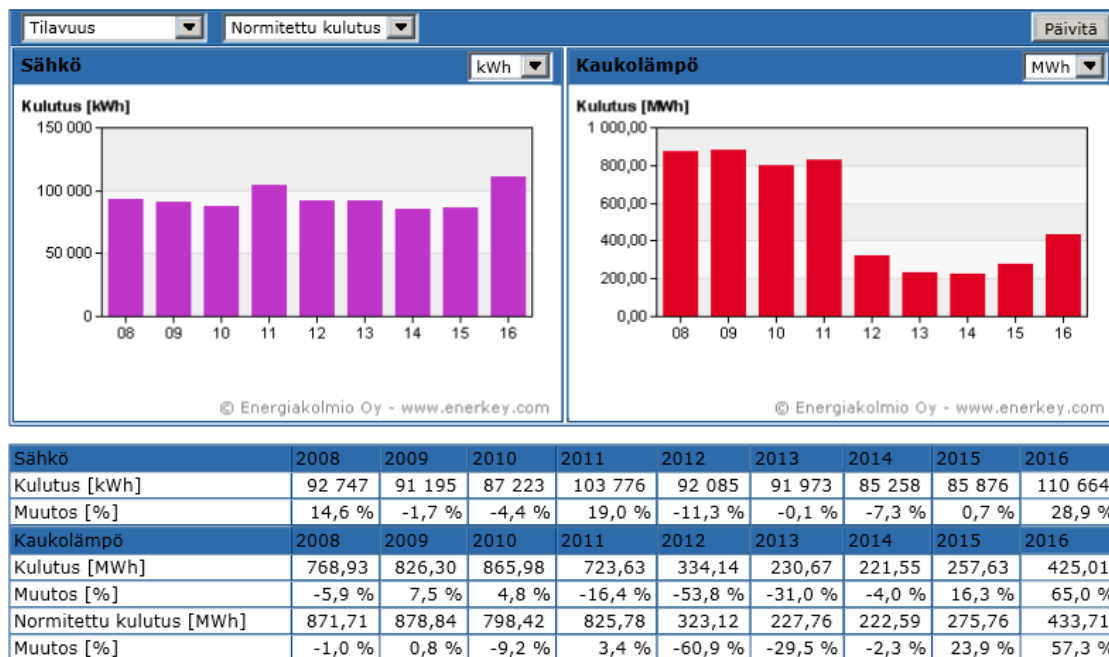
Kuvassa 21 on esitetty Rasinkatu 10:n kulutustiedot 2009–2015.



| Sähkö | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|--------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Kulutus [kWh] | 43 711 | 50 653 | 50 211 | 53 916 | 47 639 | 47 468 | 119 210 | 116 335 | 124 663 |
| Muutos [%] | | 2,2 % | 15,9 % | -0,9 % | 7,4 % | -11,6 % | -0,4 % | 151,1 % | -2,4 % |
| Kaukolämpö | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Kulutus [MWh] | 602,73 | 674,56 | 676,98 | 573,52 | 626,99 | 559,84 | 372,56 | 326,47 | 395,03 |
| Muutos [%] | | -9,2 % | 11,9 % | 0,4 % | -15,3 % | 9,3 % | -10,7 % | -33,5 % | -12,4 % |
| Normitettu kulutus [MWh] | 684,50 | 726,00 | 623,68 | 648,64 | 635,35 | 613,30 | 404,81 | 372,01 | 415,07 |
| Muutos [%] | | -4,3 % | 6,1 % | -14,1 % | 4,0 % | -2,0 % | -3,5 % | -34,0 % | -8,1 % |

Kuva 21. Rasinkatu 10 kulutustiedot vuosilta 2009–2015.

Kuvassa 22 on esitetty Rasinkatu 20:n kulutustiedot vuosilta 2009–2015.



Kuva 22. Rasinkatu 20:n kulutustiedot vuosilta 2009–2015.

Kohteissa vuonna 2015 on otettu poistoilmalämpöpumppu pois käytöstä kesäkuukausina, koska Vantaan Energia käyttää kausittaista kaukolämmöntariffia. Kulutustietojen mukaan poistoilmalämpöpumppujen kausikäyttö ei ole muuttanut merkittävästi sähkön- tai kaukolämmönkokonaiskulutusta. Kausihinnoittelun vaikutusta ei ole tutkittu opinnäytetyössä.

5 Kannattavuustutkimus

5.1 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajan laskennassa tavoitteena on määrittää investoinnin kannattavuus /21/. Investoinnin vaikutus rahoitukseen on kannattavuuden ohella keskeinen seikka, joka varsinkin tiukan rahatilanteen aikana on jopa määräävin tekijä ratkaisussa. Menetelmä ei niinkään osoita investoinnin kannattavuus- vaan rahoitusvaikutuksia, koska se ei ota huomioon tapahtumia takaisinmaksuajan jälkeen. Menetelmä suosii investointeja, joissa sidottu pääoma saadaan nopeasti takaisin. Sitä voidaan käyttää yhtenä valintakriteerinä tukemaan muiden menetelmien tuloksia ja osoittamaan juuri investoinnin rahoitusvaikutusta.

Suora takaisinmaksuaika (elinkaari 20 vuotta)

Takaisinmaksumenetelmässä selvitetään, minkä ajan kuluessa investoinnin yhteenlasketut nettotuotot ylittävät perushankintakustannukset. Suorassa takaisinmaksulaskennassa ei oteta huomioon laskentakorkoa ja vuotuinen nettotuotto on vakio. Takaisinmaksuaika on hankintameno per vuotuinen nettotuotto. Menetelmä on yksikertaisuuden takia yleisimmin käytettävä kannattavuuslaskentamenetelmä /21/. Takaisinmaksu on ratkaistu kaavalla 6.

$$\frac{\text{Investoinnin hankintameno}}{\text{Vuotuiset nettotuoto}} = \text{Takaisinmaksuaika} \quad (6)$$

Korollinen takaisinmaksuaika

Korollisessa takaisinmaksuajassa otetaan korkotekijä huomioon. Korko otetaan huomioon diskonttaustekijää käyttämällä. Tällöin vuotuiset nettotuotot on ensin diskontattava investointiajankohtaan. Korollinen takaisinmaksuaika on ratkaistu kaavalla 7.

$$n = \frac{\ln \frac{T}{T - Hi}}{\ln(1 + i)} \quad (7)$$

T on vuotuiset nettotuotot
H on hankintahinta
I on korkotekijä.

Sisäinen korkokanta (internal rate of return)

Sisäisellä korkokannalla saadaan investoinnin kannattavuuden tulos tuotto prosenttina. Investointi on kannattava, kun sisäinen korkokanta (IRR) on suurempi tai yhtä suuri kuin investoinnilta vaadittava tuotto. Investointi ei ole kannattava, jos sisäinen korkokanta on pienempi kuin investoinnilta vaadittava tuotto. Sisäinen korkokanta on määritetty Excelin tavoitteen haulla, jossa investoinnin nykyarvo on määritetty nolnaan muuttamalla korkokantaa. Sisäinen korkokanta on ratkaistu kaavalla (8) /22/.

$$I_0 = \frac{S_1}{1+r} + \frac{S_2}{(1+r)^2} + \frac{S_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{S_n}{(1+r)^n} \quad (8)$$

S_t = Nettovirta vuonna t
I₀ = Investoinnin kustannus vuonna 0 (perusinvestointi)
r = Investoinnin sisäinen korkokanta eli IRR.

5.2 Investoinnin nykyarvo

Investoinnin nykyarvon laskenta LCC (life cycle cost) tarkoittaa rakennuksen-, järjestelmän tai laitteen elinkaaren hankinta-, käyttö-, kunnossapito- ja uusimiskustannusten nykyarvon summaa. Elinkaarikustannuslaskenta on kiinteistöpolaskelmista käytännönläheinen ja helpommin toteutettavissa perinteisin laskentamenetelmin tai atk-tekniikkaa hyödyntäen. Elinkaarilaskenta voidaan tehdä yksittäisestä laitteesta, järjestelmästä tai koko rakennuksesta /23/. Jäännösarvo pidetään tässä investoinnissa nollassa. Elinkaarikustannukset on ratkaistu kaavalla 9.

$$N = kT + dJ - H = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} T + \frac{1}{(1+i)^n} J - H \quad (9)$$

T on vuotuiset vakionettotuotot (tuotot – menot)

k on jälkeempäin suoritettujen jaksollisten maksujen diskonttauskerroin

J on jäännösarvo

d on diskonttauskerroin

H on hankintahinta

i on korkoprosentti /100.

5.3 Herkkyysanalyysi

Tulevaisuuteen liittyy aina epävarmuutta, joten investoinnin kannattavuuden laskenta pohjautuu aina epävarmoihin laskentatietoihin, muun muassa energiahinnan nousuun. Hankkeisiin liittyy riskejä. Investointien suunnittelun yhteydessä käsitteet epävarmuus ja riski on perinteisesti erotettu toisistaan. Molemmat käsitteet liittyvät epävarmaan tietämykseen tulevaisuudesta. Riskinä puhuttaessa tietämyksen aste on sikäli korkeampi, että tiedetään tai oletetaan tiedettävän tulevaisuudessa mahdollisina pidettävien tapahtumien lisäksi myös niiden sattumistodennäköisyydet. Epävarmuuden vallitessa tapahtuvalle päätöksenteolle ja suunnitellulle on ominaista, ettei eri tapahtumien sattumistodennäköisyyksiä tunneta tai oleteta tunnetuksi. Tässä merkityksessä riskiä voidaan kutsua mitattavissa olevaksi epävarmuudeksi. Epävarmuuden aste vaikuttaa siten riskiin ja luonnehdittuun epävarmuuteen.

Investointiin liittyvän epävarmuuden analysointiin käytetään yleensä herkkyysanalyysijä. Niiden avulla tutkitaan, kuinka investoinnin kannattavuus muuttuu, jos yhtä tai useampaa tekijää muutetaan. Jokaisen muutoksen jälkeen laskenta suoritetaan uudelleen

ja tutkitaan, mikä vaikutus muutoksella on lopputulokseen. Riskiä ajatellen on välttämätöntä tutkia erityisesti sellaiset mahdolliset arviointivirheet, jotka vaikuttaisivat investoinnin kannattavuuteen epäedullisesti. Näitä epävarmuustekijöitä poistoilmalämpöpumpuissa ovat muun muassa lämmön ja sähkön hinnan nousu, huoltokustannukset, ilmasto ja reaalinousu.

Kun jokaiselle kannattavuuskomponenteille tehdään herkkyysanalyysi, saadaan selville komponentit, joiden arviointivirheiden vaikutus investoinnin kannattavuuteen on kaikkein voimakkain. Vastaavasti herkkyysanalyysi paljastaa ne osatekijät, joiden arviointivirheiden vaikutus investoinnin kannattavuuteen on vähäisempi. Tämän jälkeen voidaan keskittyä lopputuloksen kannalta tärkeimpiin tekijöihin. /22./

5.4 Kannattavuuslaskelmat

Kannattavuuslaskelmissa käytettiin taulukon 2–4 mukaisia pohjatietoja. Hankintamena käytetään keskimääräistä poistoilmalämpöpumpuinvestointia HOAS:n kiinteistöissä. Huoltokustannuksissa otettiin huomioon kiinteistön etäenergiapalvelu, lämpöpumppu- ja automatiikkahuolto sekä patterien puhdistus. Kannattavuuslaskelmat tehtiin neljällä eri tavalla. Reaalikorkokantana olen käyttänyt SFS 16627:ssä mainittua vertailukelpoista reaalista korkokantaa 3 %:a. Opinnäytetyön kannattavuuslaskelmissa ei otettu huomioon kaukolämpötoimittajan kausihinnoittelua /23/.

Kohteiden Rasinkatu 4 ja 10 sähkö- ja kaukolämmön kulutuksen keskiarvoksi on määritetty ennen poistoilmalämpöpumpun asennusta vuodet 2008–2013. Poistoilmalämpöpumpun asennuksen jälkeisen sähkö- ja normitetun kaukolämmön kulutuksen keskiarvoksi määritettiin vuodet 2014–2015.

Rasinkatu 20 sähkö- ja kaukolämmön kulutuksen keskiarvoksi on määritetty ennen poistoilmalämpöpumpun asennusta vuodet 2008–2012. Poistoilmalämpöpumpun asennuksen jälkeisen sähkö- ja normitetun kaukolämmön kulutuksen keskiarvoksi määritettiin vuodet 2013–2015.

Kiinteistöomistajille on yleensä takaisinmaksuaika kriteerinä ollut, että takaisinmaksun ollessa alle 6 vuotta investointi tehdään nopeasti takaisinmaksuajalle. 7–15 vuoden investointia harkitaan tarkasti ja yli 15 vuoden takaisinmaksuajalla investointiin pitää olla muita investoinnin syitä kuin talous.

Taulukko 7. Kohteiden kannattavuuslaskelmat.

| | Rasinkatu 4 | Rasinkatu 10 | Rasinkatu 20 |
|--|--------------|--------------|--------------|
| Hankintameno | 140 000,0 € | 140 000,0 € | 140 000,0 € |
| Pitoaika | 20 | 20 | 20 |
| Vuotuiset nettotuotot | 6 680,4 € | 9 090,1 € | 16 240,0 € |
| Korkoprosentti | 3 % | 3 % | 3 % |
| Suora takaisinmaksuaika (kaava 5) | 21,0 | 15,4 | 8,6 |
| Korollinen takaisinmaksuaika (kaava 6) | 33,5 | 21,0 | 10,1 |
| Sisäinen korkokanta (kaava 7) | -0,4 % | 2,6 % | 9,8 % |
| Elinkaarilaskenta LCC (kaava 8) | - 45 990,2 € | - 2 419,6 € | 126 860,1 € |

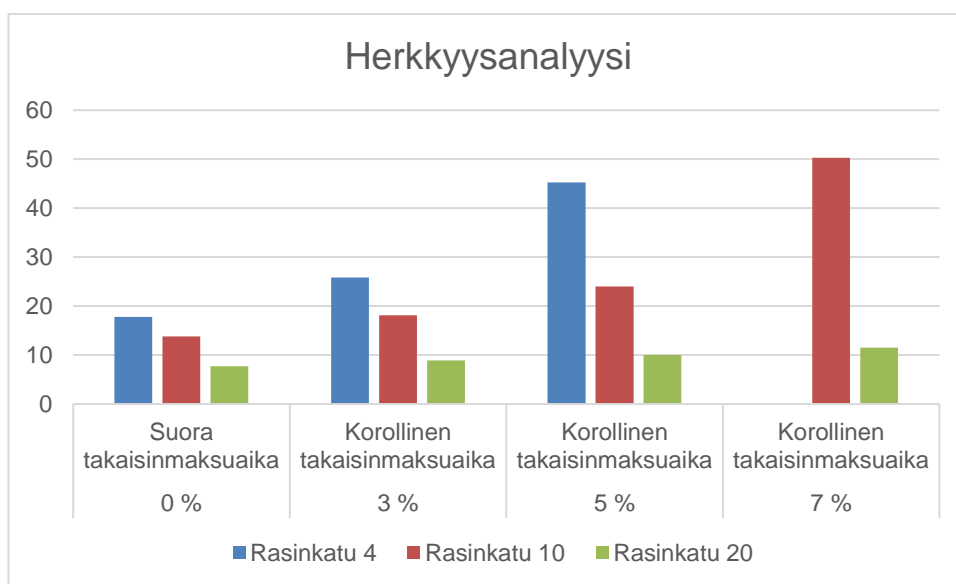
Taulukossa 7 on esitetty korollinen takaisinmaksuaika, suora takaisinmaksuaika, sisäinen korkokanta ja elinkaarilaskenta (LCC).

Alkuperäisessä tiedossa oli, että kohteiden Rasinkatu 4 ja 10 kannattavuus oli heikkoa. Laskelmat osoittavat saman asian varsinkin Rasinkatu 4 kohdalla. Takaisinmaksuaika vertailussa kannattaa aina ottaa huomioon myös korollinen korkokanta.

Sisäinen korkokanta investointina on Rasinkatu 4:ssä heikko, Rasinkatu 10:ssä tyydyttävä ja Rasinkatu 20:ssä hyvä.

Elinkaarilaskennassa osoitettiin, että kohteissa Rasinkatu 4 ja 10 investoinnin nettonykyarvo on negatiivinen ja Rasinkatu 20:ssä positiivinen.

Korollisessa korkokannassa on hyvä tehdä myös herkkyysanalyysiä. Kuvassa 23 on tehty herkkyysanalyysi suoralle takaisinmaksuajalle 0–7 %:n korkokannan välille. Kohteissa joissa on pitkät takaisinmaksuajat, korkokannan vaikutus on suuri.



Kuva 23. Herkkyysanalyysi korkokannan muutoksella.

6 Rasinkatu 4:n kenttämittaukset

Rasinkatu 4:n poistoilmalämpöpumpun osalta oli tiedossa, ettei järjestelmän tuottavuus ole suunnitellulla tasolla. Kohteeseen rakennettiin uusia lämmöntalteenottopattereita vuoden 2016 kesän aikana. Muutostyön taustalla oli epäily, että lämmöntalteenottopatterit olivat alimitoitettuja ja tämän myötä lämpöä ei saada siirrettyä riittävästi lämpöpumpulle.

Ensimmäinen lämmöntalteenottopatteri uusittiin uudella Ekocoilin kaksoislamellipatterilla (kuva 24) ja toiseen oli laitettu päällekkäin kaksi vanhaa patteria. Kenttämittaukset suoritettiin 17–21.10.2016 Rasinkatu 4:ssä. Mittauksessa käytettiin Teknocalorin IAQ-CALC-lämpötila- ja suhteellisen kosteudenmittaria sekä Eltekin dataloggeria patterin nesteen lämpötilojen mittaamiseen. Mittauksen yhteydessä rakennusautomaatiolla tallennettiin trendikäyrä samoista mittauspisteistä.



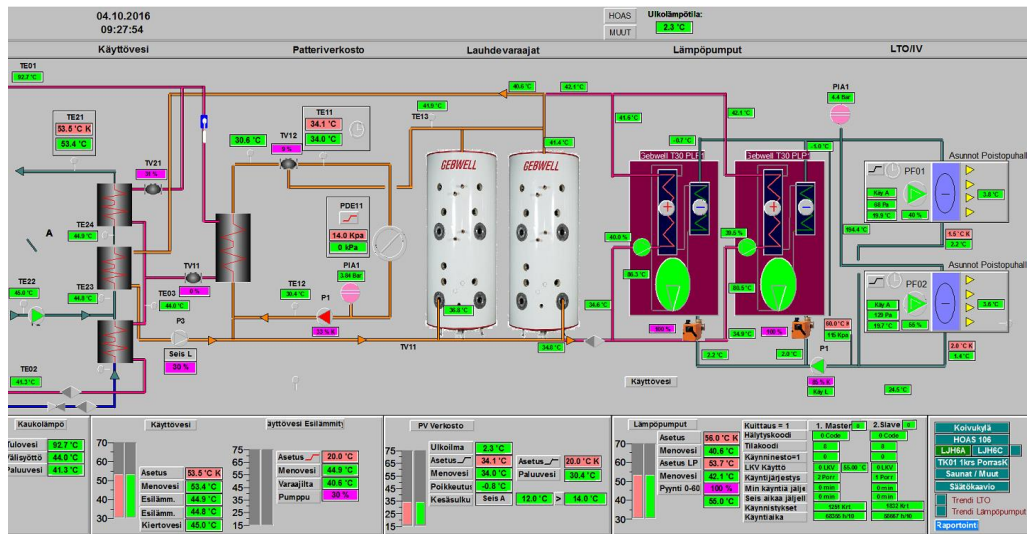
Kuva 24. Rasinkatu 4:n Ekocoillamellipatteri.

Mittaukset tehtiin molempiin lämmöntalteenottopattereihin. Mitattavat kohteet olivat lämpötila ja suhteellinen kosteus ennen ja jälkeen lämmöntalteenottopatterin sekä patterin nestelämpötilat meno- ja paluupuolelta.

Mittausten yhteydessä mitattiin lämmöntalteenottopatterinvesivirrat. Huoneistojen poistoilmavirrat on mitattu ja säädetty vuonna 2014. Mittauspöytäkirjojen perusteella määritettiin puhaltimen ilmavirrat.

Mittauksen ajaksi puhaltimen taajuusmuuttajat lukittiin arvoon 50–55 % ja nestepuolen pumpun taajuusmuuttaja arvoon 80 %.

Kuvassa 25 on kohteen kiinteistöautomaatiosta kuvakaappaus, josta otettiin myös trendiseuranta.



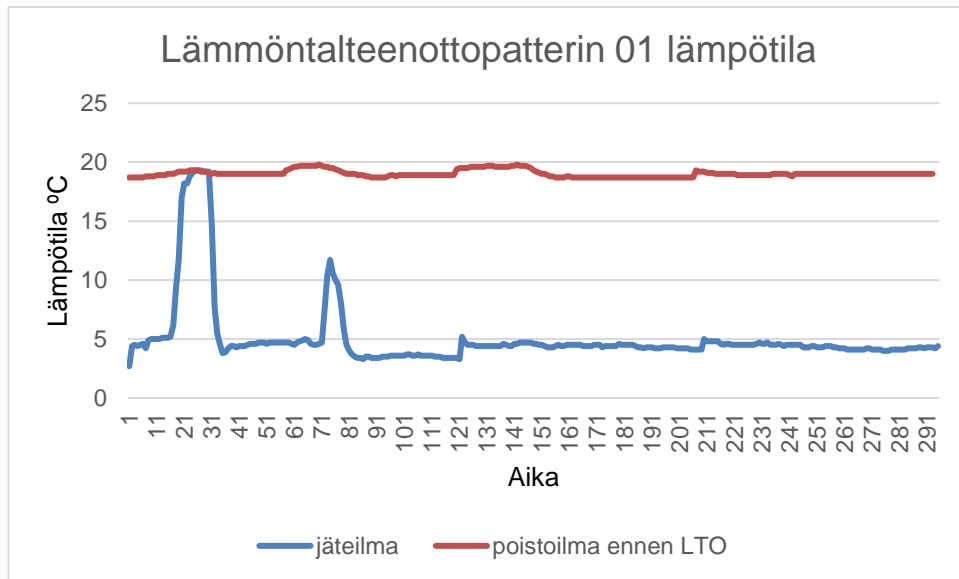
Kuva 25. Kiinteistöautomaatio kuva.

6.1 Mittaustulokset

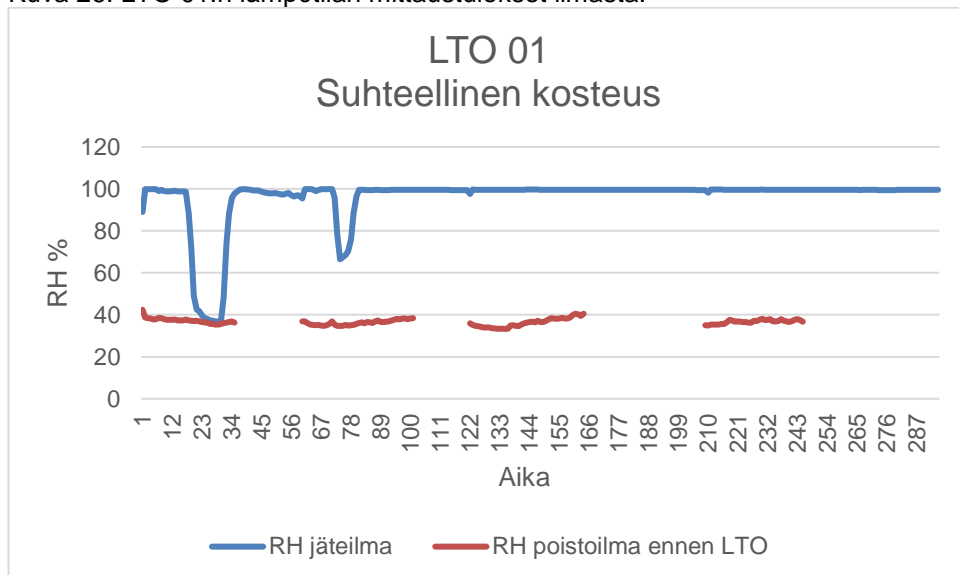
Mittauksissa huomattiin, että lämmöntalteenottopatterit oli kytketty myötävirtakytkennällä. Syytä miksi lämmöntalteenottopatterit olivat kytketty myötävirtakytkennälle ei opinäytetyön aikana tullut esiin.

Lämmöntalteenottopatterin muutoksesta aiheutuvaa tehon parannusta ei pystytty vertailemaan kenttämittauksilla. Lämmöntalteenottopatterin mallintamisosiossa käydään las kennallinen parannus, kun kohteeseen on asennettu ns. tuplapatterit tai jos kytkentä olisi tehty vastakytkennällä.

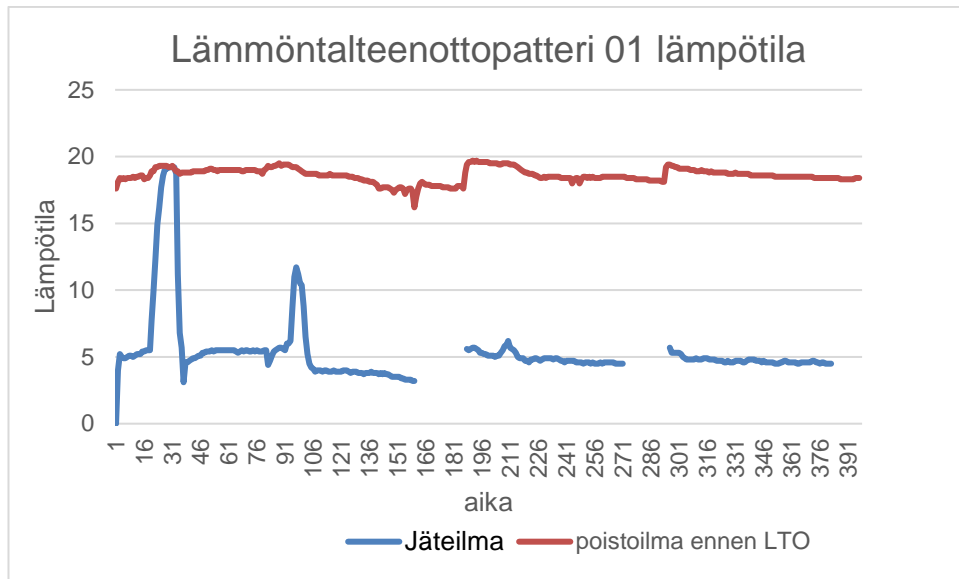
Mittaustulokset ovat esitetty kuvissa 26–30. Kuvissa on esitetty mittaustulokset LTO 01 ja LTO 02:n lämpötila ja suhteellinen kosteus.



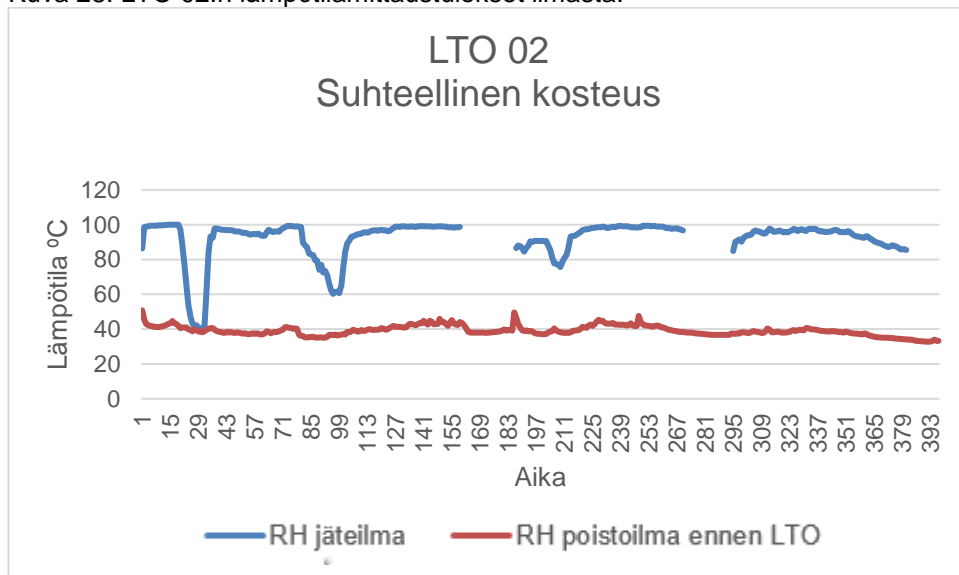
Kuva 26. LTO 01:n lämpötilan mittaustulokset ilmasta.



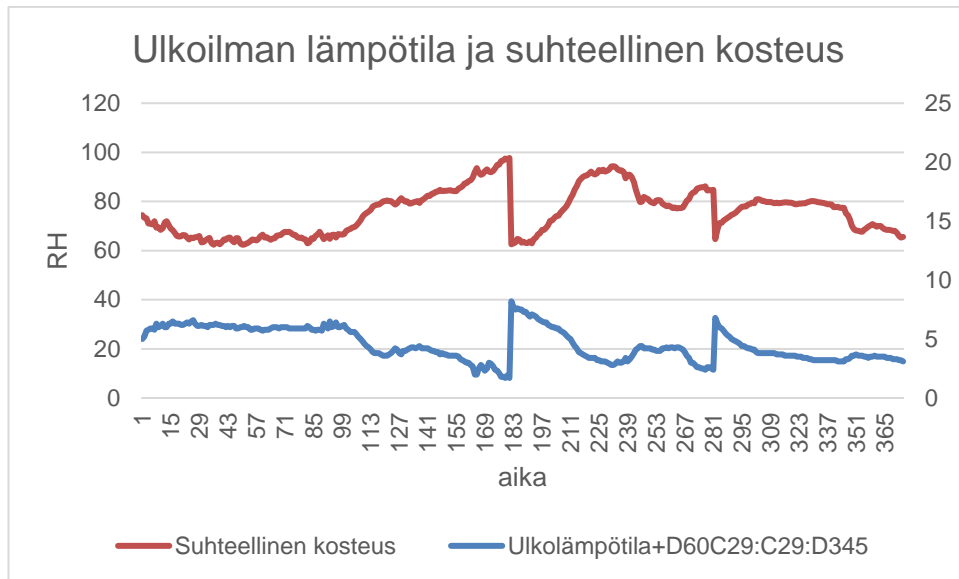
Kuva 27. LTO 01:n suhteellisen kosteuden mittaustulokset.



Kuva 28. LTO 02:n lämpötilamittaustulokset ilmasta.



Kuva 29. LTO 02:n suhteellisen kosteudenmittaustulokset.



Kuva 30. Ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus.

Mittauksien aikana mittareiden paristot vaihdettiin vuorokausittain. Mittareiden paristot eivät kestäneet joka kerta vuorokautta, mistä aiheutui kaavioon tyhjiä kohtia.

Mittausten perusteella voidaan tulkita, että mediaani ilman lämpötilat ja suhteellinen kosteus ennen LTO:ta ja jäteilma patterilla LTO 01 ovat seuraavat:

Ennen LTO:ta 19 °C ja RH 36,7 %.

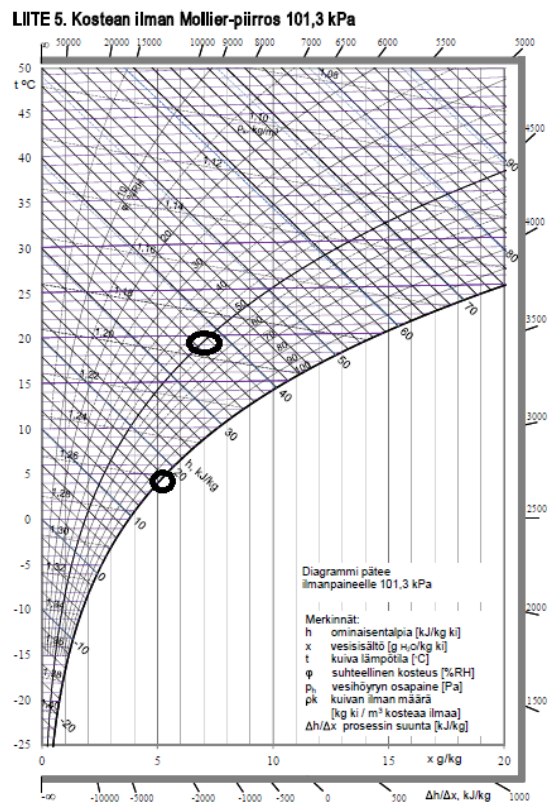
Jäteilma 4,4 °C ja RH 99,5 %.

LTO 02:n patterilla lämpötila ja suhteellinen kosteus ovat seuraavat:

Ennen LTO 18,6 °C ja RH 38,6 %.

Jäteilma 4,8 °C ja RH 96,2 %.

LIITE 5. Kostean ilman Mollier-piirros 101,3 kPa



Kuva 31. Kostean ilman Mollier-piirros /24/.

Ulkoilman keskimääräinen lämpötila ja suhteellinen kosteus ovat seuraavat:

Lämpötila 4,5 °C ja RH 75,9 %.

6.2 Huoneistosta poistuva vesihöyry

Lämpötilojen avulla laskettiin kylläisen ilman vesihöyryn paine P_{hs} . Vesihöyryn kyllästyspaine ratkaistaan kaavalla 10.

$$p_{hs} = e^{\frac{77,345 + 0,0057 \cdot T \cdot \frac{7235}{T}}{T^{8,2}}} \quad (10)$$

p_{hs} on vesihöyryn kyllästyspaine (Pa)

e on Neperin luku

T on ilman lämpötila (K).

Mitatun suhteellisen kosteuden ja suureen P_{hs} avulla laskettiin vesihöyryn osa-paine P_h .

Vesihöyryn osapaine ratkaistaan kaavalla 11.

$$p_h = \varphi \times p_{hs} \quad (11)$$

p_h on vesihöyryn osapaine (Pa)
 φ on suhteellinen kosteus (%/100)
 p_{hs} on vesihöyryn kyllästyspaine (Pa).

Absoluuttinen kosteus saatiin laskettua suureen p_h avulla. Absoluuttisten kosteuksien hetkellisistä arvoista laskettiin koko mittausajan keskiarvot.

Absoluuttinen kosteus ratkaistaan kaavalla 12.

$$x = 0,622 \frac{p_h}{p - p_h} \quad (12)$$

x on absoluuttinen kosteus (kg/kgk.i)
 p_h on vesihöyryn osapaine (Pa)
 p on normaali ilmakehänpaine (101 325 Pa).

Mittaustulosten perusteella haluttiin selvittää huoneistossa tulevan vesihöyryn määrä. Mittauksien perusteella laskettiin absoluuttisten kosteuksien erot mittausajan keskiarvoina ulkoilman ja poistoilman välillä ($x_u - x_p$). Poistoilmavirtana on käytetty liitteen 2 mukaisia ilmanvaihdon mittauspöytäkirjan arvoja.

Ilmaan vapautunut vesihöyry ratkaistaan kaavalla 13.

$$q_{mv} = q_{vp} \times (x_p - x_u) \times \rho_i \quad (13)$$

q_{mv} on ilmaan siirtynyt vesi (kg/h)
 q_{vp} on poistoilmavirta (1,75 m³/s)
 x_p on poistoilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kgk.i)
 x_u on ulkoilman absoluuttinen kosteus keskiarvona $\left(\frac{kg}{kgk} \cdot i\right)$.
 ρ_i on ilman tiheys 1,2 $\frac{kg}{m^3}$

Lämmöntalteenottopatteri 01 palvelualueella on 36 asuntoa, joissa asuu arviolta 60 henkilöä vaikutusalueen alla. Kohteessa asuu opiskelijoita, joten he ovat huoneistoissa pääosin iltaisin ja öisin.

Poistuvan vesihöyryn kohteeksi otettiin lämmöntalteenottopatteri 01 ja ajankohdaksi määritettiin koko mittausaika. Lämmöntalteenottopatterin 01 kautta laskennan mukaan poistuvan vesihöyryn määrä on 2,66 kg/h ja kuutiolavuuteen nähden poistuvan vesihöyryn määrä on 1,29 g/m³/h. Rakennuksesta kokonaisuudessaan vesihöyryä poistuu arvioilta 5,22 kg/h.

Rakennuksen sisäilmassa olevan vesihöyryn määrään vaikuttaa kosteuden sisäinen tuotto ja kosteuden poistuminen. Kosteuden tuottoon vaikuttavat ihmisten toiminta kuten peseytyminen, pyykin kuivatus ja ruuanlaitto. Aikuisen ihmisen kosteuden tuotto huoneenlämmössä on n. 1–3 kg/vrk.

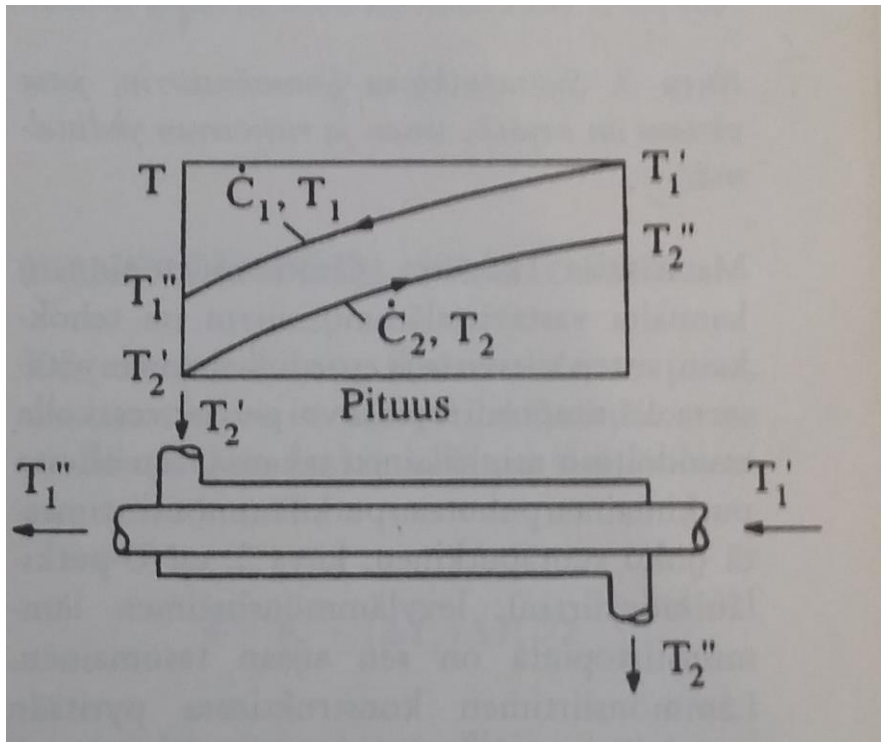
Björkholz:n lämpö- ja kosteuskirjassa on esimerkkilaskenta 80 m²:n kokoisesta asunnosta oleskelee jatkuvasti keskimäärin kaksi henkilöä ja ilmanvaihto on 0,4 l/h. Tästä kehittyy tästä sisäilmaan vesihöyryä 2,1 g/m³/h /26/.

6.3 Lämmöntalteenottopatterin mallintaminen

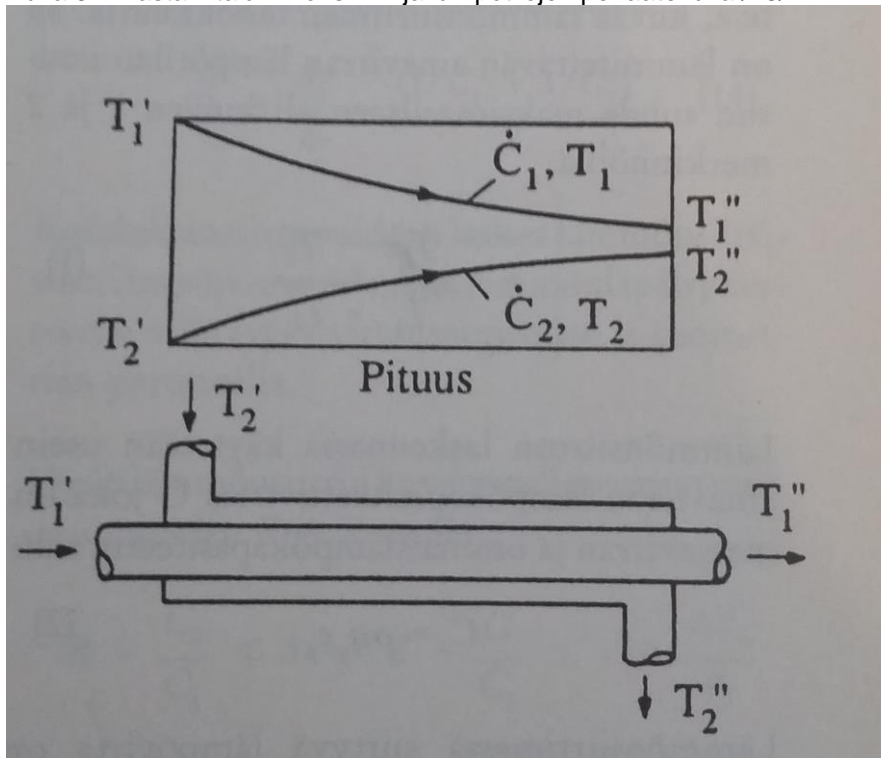
Lämmöntalteenottopatterin mallintamisessa lähdettiin tarkistelemaan, kuinka paljon iso on myötävirta- ja vastavirtakytkennän välinen ero. Mallintamisessa käytettiin Excelin ratkaisintyökalua. Oletuksena on, ettei kondenssia tapahdu prosessissa.

Ensimmäinen mallinnus tehtiin normaalilla vastavirtakytkennällä ja laskennassa käytettiin patterin mitoitusajon (liite 3) arvoja. Vastavirtakytkentä on yleisesti käytetty tapa. Lämmönsiirtopinnan hyödyntämisen kannalta vastavirtalämmönsiirrin on tehokkain ja myötävirtalämmönsiirrin epätehokkain /27/. Kuvassa 32 on esitetty vastavirtalämmönsiirrimen ja myötälämmönsiirrimen lämpötilojen periaatteellinen kulku arvioimaan, paljonko myötä- ja vastavirtakytkennän lämmönsiirtotehot eroavat toisistaan. Todellisuudessa kohteissa on kaksi ristivirtapatteria kytketty myötävirtaan.

Toinen mallinnus tehtiin myötävirtakytkennällä (kuva 33) ja näiden erotuksesta saatiin tieto, kuinka monta prosenttia tehokkaampi on vastavirtakytkentä.



Kuva 32. Vastavirtalämmönsiirrin ja lämpötilojen periaatekuva /25/.



Kuva 33. Myötävirtalämmönsiirrin ja lämpötilojen periaatekuva /25/.

Excelin ratkaisintyökalulla on ratkaistu neljä tuntematonta muuttujaa. Patterin mitoituspöytäkirjan (liite 3) mukaan poistoilma ennen lämmöntalteenottoa on 23 °C ja nesteen menolämpötila 3 °C. Mallinnuksessa käytettiin mitattuja vesi- ja ilmavirtoja. Muuttujat olivat ilmanlämpötila pattereiden välissä ja jäteilma sekä nesteen lämpötila pattereiden välissä ja paluulämpötila.

Excelin ratkaisimeen määritettiin vastavirtalämmönsiirtimelle (kuva 35) seuraavat ehdot (14-17):

$$\dot{C}_n \times (x - 3^\circ\text{C}) = \dot{C}_i \times (k - z) \quad (14)$$

$$\dot{C}_n \times (x - 3^\circ\text{C}) = G \times \theta_{ln2} \quad (15)$$

$$\dot{C}_n \times (y - x) = \dot{C}_i \times (23^\circ\text{C} - k) \quad (16)$$

$$\dot{C}_n \times (y - x) = G \times \theta_{ln1} \quad (17)$$

\dot{C}_n on nesteen lämpökapasiteettivirta

\dot{C}_i on ilman massavirta

G on patterin konduktanssi

θ_{ln1} on alemman lämmöntalteenottopatterin logaritminen keskilämpötila

θ_{ln2} on ylemmän lämmöntalteenottopatterin logaritminen keskilämpötila.

Ratkaisimeen lisättiin seuraavat reunaehdot.

$$k > x$$

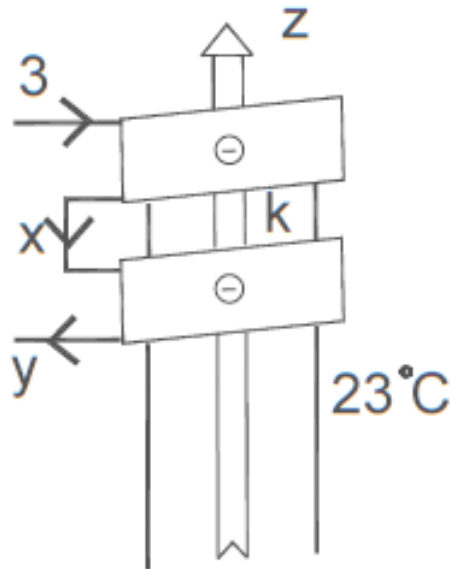
$$23 > y$$

$$z > 3$$

Lämmöntalteenottopatterin logaritminen lämpötilaero ratkaistaan kaavalla 12 ja 13. Laskelmissa käytettiin liite 3 mukaisia maahantuojan arvoja,

$$\theta_{ln1} = \frac{(23^\circ\text{C} - y) - (k - x)}{\ln \frac{23^\circ\text{C} - y}{k - x}} \quad (18)$$

$$\theta_{ln2} = \frac{(k - x) - (z - 3^\circ\text{C})}{\ln \frac{k - x}{z - 3^\circ\text{C}}} \quad (19)$$



Kuva 34. Vastavirtakytkennän mallinnuksen periaate kuva.

Excelin ratkaisimeen määritettiin myötävirtalämmönsiirtimelle (kuva 35) seuraavat ehdot:

$$\dot{C}_n \times (b - 3^\circ\text{C}) = \dot{C}_i \times (23^\circ\text{C} - c) \quad (20)$$

$$\dot{C}_n \times (b - 3^\circ\text{C}) = G \times \theta_{ln1} \quad (21)$$

$$\dot{C}_n \times (d - b) = \dot{C}_i \times (c - a) \quad (22)$$

$$\dot{C}_n \times (d - b) = G \times \theta_{ln2} \quad (23)$$

\dot{C}_n onnesteen lämpökapasiteettivirta

\dot{C}_i on ilman massavirta

G on patterin konduktanssi

θ_{ln1} on alemman lämmöntalteenottopatterin logaritminen keskilämpötila

θ_{ln2} on ylemmän lämmöntalteenottopatterin logaritminen keskilämpötila

Ratkaisimeen lisättiin seuraavat reunaehdot.

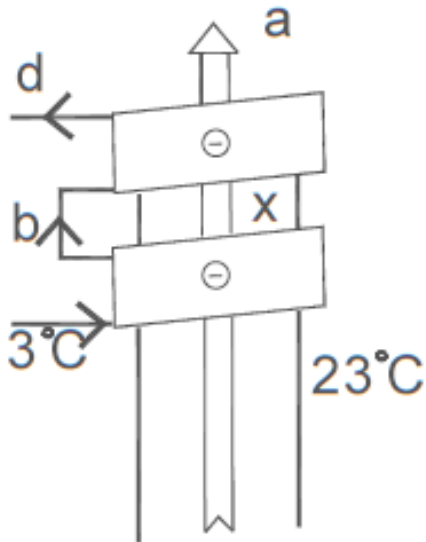
$$a > d$$

$$c > b$$

Lämmöntalteenottopatterin logaritminen keskilämpötila ratkaistaan kaavalla 23 ja 24.

$$\theta_{ln1} = \frac{(23^{\circ}\text{C} - 3^{\circ}\text{C}) - (c - b)}{\ln \frac{23^{\circ}\text{C} - 3^{\circ}\text{C}}{c - b}} \quad (24)$$

$$\theta_{ln2} = \frac{(c - b) - (a - d)}{\ln \frac{c - b}{a - d}} \quad (25)$$



Kuva 35. Myötävirtakytkennän mallinnuksen periaate kuva.

Lämmöntalteenottopatterin tehon ja logaritmisen keskilämpötilan avulla lasketaan G konduktanssi. Lähtöarvoina käytettiin liite 3 mukaista patterin mitoitusajoa. Lämmöntalteenottopatterin konduktanssi ratkaistaan kaavalla 26.

$$G = \frac{\phi}{\theta_{ln}} \quad (26)$$

G on konduktanssi ($\frac{W}{K}$)

ϕ on lämmöntalteenottopatterin teho

θ_{ln} on lämmöntalteenottopatterin logaritminen keskilämpötila.

Logaritminen keskilämpötila ratkaistaan seuraavalla kaavalla 27.

$$\theta_{ln} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}} \quad (27)$$

θ_1 on tulevan ilman ja palaavan nesteen välinen erotus ($^{\circ}\text{C}$)

θ_2 on jäteilman ja menevän nesteen välinen erotus ($^{\circ}\text{C}$).

Etyleeniglykolin virtauksen, tiheyden ja ominaislämpökapasiteetin avulla lasketaan nesteen lämpökapasiteettivirta.

Nesteen lämpökapasiteettivirta ratkaistaan seuraavalla kaavalla 28.

$$\dot{C}_n = q_v \times \rho_n \times c_p \quad (28)$$

$\dot{C}_n =$ etyleeniglykolin lämpökapasiteettivirta

$q_v =$ nesteenvirta ($1,94 \frac{l}{s}$)

$\rho_n =$ etyleeniglykolin tiheys ($1053 \frac{kg}{m^3}$)

$c_p =$ etyleeniglykolin ominaislämpökapasiteetti ($3,56 \frac{kJ}{kgK}$).

Ilmanmassavirran ja ominaislämpökapasiteetin avulla lasketaan ilman lämpökapasiteettivirta. Ilman lämpökapasiteettivirta ratkaistaan kaavalla 29.

$$\dot{C}_i = q_m \times c_p \quad (29)$$

$\dot{C}_i =$ ilman lämpökapasiteettivirta

$q_m =$ ilman massavirta ($1,80 \frac{m^3}{s}$)

$c_p =$ ilman ominaislämpökapasiteetti ($1,00 \frac{kJ}{kgK}$)

Vastakytkennällä saadut tulokset ovat esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Vastavirtakytkennällä lasketut lämpötilat.

| | | |
|---------------------------|-------|----|
| Poistoilma ennen LTO | 23,00 | °C |
| Ilman patterien välissä | 9,21 | °C |
| Jäteilma | 4,67 | °C |
| | | |
| Tulevan neste | 3,00 | °C |
| Ilman patterien välissä | 4,12 | °C |
| Palaava neste | 7,54 | °C |
| | | |
| Patterin 1 teho | 8,16 | kW |
| Patterin 2 teho | 24,82 | kW |
| Pattereiden teho yhteensä | 32,99 | kW |

Myötävirtakytkennällä saadut tulokset ovat esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Myötävirtakytkennällä lasketut lämpötilat.

| | | | |
|-------|---------------------------|-------|----|
| Ilma | Poistoilma ennen LTO | 23,00 | °C |
| | Ilman patterien välissä | 9,51 | °C |
| | Jäteilma | 7,20 | °C |
| | | | |
| Neste | Tulevan neste | 3,00 | °C |
| | Ilman patterien välissä | 6,34 | °C |
| | Palaava neste | 6,91 | °C |
| | | | |
| Teho | Patterin 1 teho | 24,29 | kW |
| | Patterin 2 teho | 4,14 | kW |
| | Pattereiden teho yhteensä | 28,43 | kW |

Excelin ratkaisimella ratkaistiin yhtälöryhmästä lämpötilat. Myötävirtakytkennällä lämmöntalteenottopatterin laskennalliseksi tehoksi saadaan 28,34 kW ja vastavirtakytkennällä 32,99 kW. Kytkeäntöjen välinen ero on 16,02 %. Myötävirtakytkennällä laskennassa huomattiin, että lämmönsiirrin 1:n tehoksi tuli 24,29 kW ja lämmönsiirrin 2:n tehoksi jäi vain 4,14 kW. Vastavirtakytkennällä teho jakaantui paljon paremmin molemmille lämmönsiirtimille taulukon 6 mukaisesti.

Toinen mallinnus tehtiin Rasinkatu 4:n mitatuilla arvoilla. Laskennassa käytettiin kenttämittauksissa mitattuja vesivirtoja. Poistoilmavirta saatiin vuoden 2014 ilmapirtamittauspöytäkirjoista. LTO 01:n patterin vesivirtamittauksissa saatiin arvoksi 1,83 l/s (liite 1) ja ilmapirraksi 1,75 m³/s (liite 2). Taulukossa 10 ja 11 on esitetty vasta- ja myötävirtakytkennän tulokset.

Taulukko 10 Rasinkatu 4 vastavirtakytkennällä lasketut lämpötilat.

| | | |
|---------------------------|-------|----|
| Poistoilma ennen LTO | 19,00 | °C |
| Ilman patterien välissä | 6,26 | °C |
| Jäteilma | 0,98 | °C |
| | | |
| Tulevan neste | -1,60 | °C |
| Ilman patterien välissä | 0,01 | °C |
| Palaava neste | 3,90 | °C |
| | | |
| Patterin 1 teho | 11,04 | kW |
| Patterin 2 teho | 26,68 | kW |
| Pattereiden teho yhteensä | 37,72 | kW |

Taulukko 11. Rasinkatu 4 myötävirtakytkennällä lasketut lämpötilat.

| | | |
|---------------------------|-------|----|
| Poistoilma ennen LTO | 19,00 | °C |
| Ilman patterien välissä | 6,22 | °C |
| Jäteilma | 3,58 | °C |
| | | |
| Tulevan neste | -1,60 | °C |
| Ilman patterien välissä | 2,30 | °C |
| Palaava neste | 2,96 | °C |
| | | |
| Patterin 1 teho | 26,75 | kW |
| Patterin 2 teho | 4,77 | kW |
| Pattereiden teho yhteensä | 31,52 | kW |

Myötävirtakytkennällä lämmöntalteenottopatterin laskennalliseksi tehoksi saadaan 37,72 kW ja vastavirtakytkennällä 31,52 kW. Kytkentöjen välinen ero on 19,7 %.

6.4 Tulosten luotettavuus

Automatiikasta saatujen trenditietojen pohjalta ilman lämpötila- ja kosteusmittauksien tulokset olivat yhdenmukaiset. Kenttämittauksen ja automatiikasta saatujen lämpötilamittausten perusteella havaittiin, että poistoilman lämpötila oli kammiossa ennen lämmöntalteenottopatteria noin 19 °C astetta, vaikka poistoilman lämpötilan oletettiin olevan vähintään 21 °C. Lämmöntalteenottopatterit oli sijoitettu ilmanvirtaussuunnassa puhaltimen jälkeen kammioon. Ilman jäähtyminen kammiossa ennen lämmöntalteenottopatteria saattoi johtua siitä, että ilma sekoittui kammiossa. Lämmöntalteenottopatterit oli kytketty myötävirtakytkennällä, ja patterille tulevan nesteen lämpötila oli noin -1,6 °C.

Lämmöntalteenottopatterin nesteen lämpötilan mittauksessa huomattiin jälkikäteen, että mittausanturit olivat liian lähellä putkiston eristämättä olevia laippoja, mikä vaikutti mittaus tulokseen. Mittaus tulokset olisivat olleet luotettavampia, jos laipat olisi myös eristetty.

7 Pohdinta

Kaukolämpö on sähkötuotannon oheistuotetta. Yhteiskunnan näkökulmasta kaukolämpö tiheissä taajamissa on järkevä lämmitysmuoto rakennusten lämmitykseen. Kaukolämmitysalueen ulkopuolella poistoilmalämpöpumppu on varteenotettava vaihtoehto. Kannattavuuslaskelmat sanelevat järkevyyden. Kaukolämmön tuottajat on jo alkanut käyttää kausihinnoittelua, joka edesauttaa kaukolämmön valitsemista päälämmönlähteeksi. Kausihinnoittelun myötä kohteissa on otettu poistoilmalämpöpumppu pois päältä. Tämä vähentää poistoilmalämpöpumpun kokonaiskannattavuutta kaukolämpöalueella.

Poistolämpöpumppujärjestelmä on hyvin toteutettuna kannattava investointi. Ongelmana on, ettei poistoilmalämpöpumppujen mahdollisiin ongelmiin reagoida riittävän nopeasti. Järjestelmien tehokkuutta voidaan parantaa toimintaprosessia, lämmöntalteenottopatterin kapasiteetin riittävyttä ja kulutusta seurataan reaaliaikaisesti.

Opinnäytetyössä mittausajankohtana poistoilmapuhaltimien taajuusmuuttajat olivat 50–55 %:n teholla, joka on noin 75 % maksimi poistoilmavirrasta. Poistoilmapuhallinta ajetaan harvemmin pienemmillä teholla. Tämä aiheuttaa sen, että poistoilmavirta on huoneistoissa kaksitehonopeuskoneeseen verrattuna tehokkaampi.

Poistoilmalämpöpumpun huippuimureiden taajuusmuuttajia ajetaan kolmella eri taajuusmuuttaja-alueella: hidas 35–45 %, keskinopea 40–60 % ja nopea 55–75 %. Aikaohjelmaksi on määritetty lämmityskaudella klo 23.00–8.00 hidas klo 8.00–23.00 keskinopea. Kesäajat keskinopea klo 23.00–8.00 ja nopea klo 8.00–23.00. Poistoilmalämpöpumppu ohjaa huippuimurin tehoa järjestelmän tehontarpeen mukaan. Jos lämmöntalteenottopatterin palaavan liuoksen lämpötila laskee raja-arvon alapuolelle, huippuimurin taajuusmuuttaja nostaa kierrosaluetta. Jos palaavan liuoksen lämpötila laskee alle raja-arvon, automatiikka sammuttaa poistoilmalämpöpumpun

Tehokkaampi poistoilmavirta parantaa itse poistoilmalämpöpumpun tehokkuutta, mutta huoneistot ottavat korvausilman pääsääntöisesti ulkoilmasta ja lämmityskustannukset kasvavat siltä puolen. Samalla myös puhaltimen ottama sähkönkulutus on isompi.

Poistoilmalämpöpumpukohteissa on mielestäni energiasäästön kannalta tehokasta ajaa koneita poistokanavapaineen perusteella siten, että koneet saavat asetusarvonsa ulkolämpötilaan perustuen siten, että asetettua kanavapainetta muutetaan kaskadisäätönä ulkolämpötilakäyrältä.

Poistoilmalämpöpumput lisättyinä aurinkopaneeliin ja muut hybridijärjestelmä voivat tuottaa parempaa kannattavuutta rakennuksissa. Rakennusten omistajien kannattaa tutkia investointivaiheessa, mitä mahdollisuuksia on hakea investointitukea hankkeeseen.

Kohteiden lämmöntalteenottopatterin myötavirtakytkentää ei löytynyt opinnäytetyön kirjoittamisen aikana mitään syytä. Vastavirtakytkennällä saavutetaan laskennallisesti noin 20 %:n tehon parannus. Tämän vuoksi kohteissa Rasinkatu 4 ja 10 lämmöntalteenottopattereiden kytkentä pitäisi tehdä vastavirtakytkennällä.

Poistoilmalämpöpumppujen rakentamisessa on yleisesti ollut haasteena rakennusautomaatiotoiminta ja ammattimainen prosessin seuraaminen. Monet isommat poistoilmalämpöpumppujärjestelmät rakennetaan tapauskohtaisesti. Yleensä lämpöpumppujärjestelmät ovat oman automatiikan takana eivätkä keskustele suoraan muun kiinteistöautomaatiikan kanssa. Automatiikalla on suuri vaikutus poistoilmalämpöpumpun energiatehokkaaseen toimintaan.

Poistoilmalämpöpumpun rakentamisen jälkeen ylläpito ja prosessin seuraaminen on jäänyt usein kiinteistön omistajan vastuulle. Kiinteistön omistajan on vaikea seurata investoinnin kannattavuutta, jos organisaatiossa ei ole hyvää talotekniikka osaamista järjestelmästä. Suosittelen kiinteistöjen omistajia harkitsemaan etäenergiahallintakeskusta, jotta alan ammattialiset pystyvät reagoimaan nopeasti järjestelmän epäkohtiin. Poistoilmalämpöpumppujärjestelmän ylläpito- ja huoltokokonaisuutta ei markkinoilla tullut vastaan. Lämmöntalteenoton patterin puhtautta pitäisi vuosittain seurata ja tarvittaessa puhdistaa tai pestä pinnat. Lämpöpumpun ja automatiikan huolto on tärkeä osa-alue, että poistoilmalämpöpumppu toimii optimaalisesti. Ostajan kannattaa vaatia laitetoimittajilta tai urakoitsijalta palvelua, jossa saadaan mm. huolto, kulutuslukemat, prosessintoimivuus ja käyntiajat raportoitua.

8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tutkimuskohteena olivat Rasinkatu 4, 10 ja 20, jotka ovat asuinkerrostaloja Vantaalla. Rakennuksien pääenergialähteenä on kaukolämpö, ja energiatehokkuusinvestointina kohteisiin on lisätty poistoilmalämpöpumppu vuosien 2011–2013 aikana. Työn aiheena oli tutkia rakennuksen lämpöpumppujärjestelmien kannattavuutta. Samalla on pohdittu syitä, miten poistoilmalämpöpumpun toimintaa voidaan tehostaa ja esittää niihin ratkaisu.

Tutkimuksen perustana käytettiin Enerkey-valvontaohjelmiston kulutuslukemia, kohteeseen tehtyjä kenttämittauksia ja rakennusautomaatiosta saatuja mittaustietoja.

Työssä tarkasteltiin kolmen kohteen osalta investoinnin kannattavuutta eri näkökulmilta. Tarkastelussa kävi ilmi, että hyvin suunniteltu ja tehty poistoilmalämpöpumppuratkaisu on hyvä energiasäästömalli. Tästä esimerkikohde oli Rasinkatu 20.

Kohteiden Rasinkatu 4 ja 10 lämmöntalteenottopattereihin tehtiin muutostöitä kesän 2016 aikana. Kohteisiin lisättiin sarjaan toinen lämmöntalteenottopatteri.

Kenttämittauksissa mitattiin ennen ja jälkeen lämmöntalteenottopatterin asennuksen ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus sekä patterien nesteen lämpötilat. Lämpötilojen perusteella laskettiin rakennuksesta poistuva mittausajan keskimääräinen vesihöyryn määrä, joka oli 5,22 kg/h.

Rasinkatu 4 lämmöntalteenottopatterin oli asennettu myötävirtakytkennällä. Lämmöntalteenottopatteri mallinnus osoitti, että vastavirtakytkennällä lämmöntalteenottopatteri olisi noin 20 % myötävirtakytkentää tehokkaampi. Poistoilmalämpöpumppu ohjasi rakennusten poistoilmavirtaa lämpöpumpun tehontarpeen mukaan. Tämä lisää ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaa energiankulutusta lämmityskaudella.

Työssä saadut tulokset voivat auttaa rakennuttajaa tulevien saneerauskohteiden lämmitysjärjestelmävalinnassa.

Lähteet

- 1 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi 2010/31/EU
- 2 Asumisen energiakulutus 2014. Verkkodokumentti. Tilastokeskus. http://www.stat.fi/til/asen/2014/asen_2014_2015-11-20_fi.pdf. Luettu 13.2.2016.
- 3 Pakollinen suuren yrityksen energiakatselmus. Verkkodokumentti. Motiva. http://www.motiva.fi/toimialueet/energiakatselmustoiminta/pakollinen_suuren_yrityksen_energiakatselmus. Luettu 22.2.2016.
- 4 Pariisin ilmastopimuksen ainekset 2016. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. [http://www.ymparisto.fi/FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastomuutoksen_hillitseminen/Kansainvaliset_ilmastoneuvottelut/Blogi_uutta_ilmastopimusta_rakentamassa/Pariisin_ilmastopimuksen_ainekset_koos\(35764\)](http://www.ymparisto.fi/FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastomuutoksen_hillitseminen/Kansainvaliset_ilmastoneuvottelut/Blogi_uutta_ilmastopimusta_rakentamassa/Pariisin_ilmastopimuksen_ainekset_koos(35764)). Luettu 13.2.2016.
- 5 Investointituet uusiutuvalle energialle 2017. Verkkodokumentti. Motiva. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa/uusiutuvan_energian_tuet/investointituet_uusiutuvalle_energialle. Luettu 12.3.2016.
- 6 Energian kokonaiskulutus 2016. Verkkodokumentti. Motiva. http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto_suomessa/energian_kokonaiskulutus. Luettu 13.2.2016.
- 7 . Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin, snt/kWh (Hinnat sisältävät sähköenergian, siirtomaksun ja verot) 2016. Verkkodokumentti. Tilastokeskus. http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehi/050_ehi_tau_105_fi.px/table/tableViewLayout1/?rxid=31ba8db7-1937-4587-97c1-d8a56c6727f1 luettu 22.2.2016
- 8 Heiskanen, Mirka. 2013. Kaukolämpö- ja maalämpöjärjestelmän kustannusvertailu pientalon lämmitysjärjestelmän. Insinööriö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 9 Kaukolämmön hinnat 2016. Verkkodokumentti. Energia. <http://energia.fi/tilastot/kaukolammon-hinnat-tyyppitaloissa-eri-paikkakunnilla>. Luettu 12.3.2016.

- 10 Vantaan Energian energiamaksut 2016. Verkkodokumentti. Vantaan Energia. http://frantic.s3-eu-west-1.amazonaws.com/vantaanenergia/uploads/20150903065927/Kaukolammon_myyntihinnasto_010120161.pdf.
[Luettu 12.3.2016.](#)
- 11 Asuntokanta 2014. Verkkodokumentti. Rakennusteollisuus. <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/Kuviopankki/Asuntomarkkinat/Asuntokanta/>.
[Luettu 12.3.2016.](#)
- 12 Toimitetut ja laskutetut lämpöpumput vuonna 2015. Verkkodokumentti. Suomen lämpöpumppuyhdistys. <http://www.sulpu.fi/documents/184029/208772/SULPU%2C%20myydyt%20l%2C%A4mp%C3%B6pumput%202015%2C%20%281%29.pdf>.
[Luettu 13.2.2016.](#)
- 13 Energian käyttö Suomessa 2016. Verkkodokumentti. Motiva. [http://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoja_energian_ ja_ vedenkulutuksesta/lammitysenergiankulutus](http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoja_energian_ ja_vedenkulutuksesta/lammitysenergiankulutus).
[Luettu 29.12.2016.](#)
- 14 Lämpöä kerätään talteen jopa jätevedestä 2016. Verkkodokumentti. Fortum. <http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/kaukolampo/tutustu-kaukolampoon/tulevaisuuden-lampo/suomenoja/pages/default.aspx>.
[Luettu 22.2.2016.](#)
- 15 Aittomäki, Antero, 2008, Kylmäteknikka, Gummerus kirjapaino Oy.
- 16 Hakala, Pertti & Kaappola, Esko. 2007. Kylmälaitoksen suunnittelu. 2. tarkistettu-painos. Jyväskylä: Opetushallitus. Gummerus Kirjapaino Oy.
- 17 Kaukolämpöpaketti 2016. Verkkodokumentti. Gebwell Oy. www.gebwell.fi.
[Luettu 8.12.2016.](#)
- 18 Kylmätekniset perusteet. Kaappola, Hirvelä, Jokela, Kianta. 2012. Opetushallitus
- 19 Taloyhtiö LTO 2016. Verkkodokumentti. Enermix. <http://www.enermix.fi/taloyhtioto>.
[Luettu 12.3.2016.](#)
- 20 Kulutuksen normitus 2016. Verkkodokumentti. Motiva. <http://www.motiva.fi/kulutuksennormitus>.
[Luettu 27.12.2016.](#)

- 21 Neilimo Kari & Uusi-Rouva Erkki 2009. Johdon laskentatoimi. Helsinki: Edita Prima Oy
- 22 Leppiniemi Jarmo & Puttonen Vesa 2002. Yrityksen rahoitus. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö.
- 23 SFS EN 16627. Kestävän rakentaminen. Rakennusten taloudellisen suoritusasteen arviointi. Laskentamenetelmä. 2015.
- 24 Sandberg, Esa.2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Taloteknikka-julkaisut Oy.
- 25 Myyryläinen Leevi 2008. Elinkaariajattelu kiinteistöpidossa. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus Oy.
- 26 Björkholz Dick 1998. Lämpö ja kosteus. Saarijärvi: Gummerus kirjapaino Oy.
- 27 Seppänen Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry.
- 28 Puhelinkeskustelu kaukolämpötarkistaja Pasi Nissinen Vantaan Energia 9.3.2016
- 29 Kohdetiedot 2016. Verkkodokumentti. Helsingin opiskelijasäätiö.
www.hoas.fi/kohteet. Luettu 8.12.2016.
- 30 Ottavainen, Anne 2017. Service Specialist. Energia Oy. Sähköpostikeskustelu 7.2.2017.

Rasinkatu 4 ilmvirtamittapöytäkirja.



Lehti 1 / 7 Lehteä

Helytie 28 A
00950 Helsinki
Puh. 040 - 5187225
Y - 2370176-6

ILMAMÄÄRÄMITTAUSPÖYTÄKIRJA

K.osa

Kortteli/tila

Tontti/Nro:

KOHDE: RASINKATU 4

01360 VANTAA

| Tila | Kpl | Puhalluselin | TULOILMA L/S | | | Mitattu | Suunniteltu | POISTOILMA L/S | | | Mitattu | Suunniteltu |
|---------------------------|-----|------------------------------|--------------|----|-----|---------|-------------|----------------|-----|-----|---------|-------------|
| | | | m/s | Pa | AS. | | | m/s | Pa | AS. | | |
| PK01PF01(28HZ),1/2 (14HZ) | | | | | | | | | | | | |
| PK01PF02(35HZ),1/2 (20HZ) | | ASUNNOT MITATTU IKKUNA AUKI. | | | | | | | | | | |
| AS 72 / K | | | | | | | | 1 KSO - 125 | 75 | -3 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 KSO - 100 | 90 | -3 | 15 | 15 |
| VH | | | | | | | | 1 KSO - 100 | 20 | -13 | 3 | 3 |
| AS 71 / K | | | | | | | | 1 KSO - 125 | 70 | -2 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 50 | 9 | 15 | 15 |
| AS 70 / K | | | | | | | | 1 KSO - 125 | 90 | -4 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 85 | -5 | 10 | 10 |
| VH | | | | | | | | 1 KSO - 100 | 95 | -15 | 5 | 3 |
| AS 69 / K | | | | | | | | 1 KSO - 125 | 55 | 0 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 KSO - 100 | 65 | -7 | 10 | 10 |
| VH | | | | | | | | 1 KSO - 100 | 85 | -15 | 3 | 3 |
| AS 68 / K | | | | | | | | 1 KSO - 125 | 60 | 0 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 KSO - 100 | 55 | 3 | 15 | 15 |
| AS 67 / K | | | | | | | | 1 KSO - 125 | 60 | 0 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 KSO - 100 | 80 | -2 | 15 | 10 |
| VH | | | | | | | | 1 KSO - 100 | 20 | -13 | 3 | 3 |
| AS 66 / K | | | | | | | | 1 KSO - 125 | 70 | -2 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 75 | 3 | 14 | 15 |
| VH | | | | | | | | 1 KSO - 100 | 20 | -13 | 3 | 3 |
| AS 65 / K | | | | | | | | 1 KSO - 125 | 65 | -1 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 45 | 9 | 14 | 15 |
| AS 64 / K | | | | | | | | 1 KSO - 125 | 70 | -2 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 KSO - 100 | 80 | -8 | 10 | 10 |
| VH | | | | | | | | 1 KSO - 100 | 100 | -15 | 5 | 3 |
| AS 63 / K | | | | | | | | 1 KSO - 125 | 50 | 2 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 KSO - 100 | 65 | -7 | 10 | 10 |
| VH | | | | | | | | 1 KSO - 100 | 80 | -15 | 4 | 3 |
| AS 62 / K | | | | | | | | 1 KSO - 125 | 55 | 0 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 45 | 9 | 14 | 15 |
| | | | | | | | | | | | | 388 |

Mittausasuorittaja: TIMO MALINEN & JANNE TUOMIKANGAS

Pvm: 29.1.2014

Mittari: AIRFLOW TA460



Lehti 2 / 7 Lehteä

Helytie 28 A
00950 Helsinki
Puh. 040 - 5187225
Y - 2370176-6

ILMAMÄÄRÄMITTAUSPÖYTÄKIRJA

K.osa

Kortteli/tila

Tontti/Nro:

KOHDE: RASINKATU 4

01360 VANTAA

| Tila | Kpl | Puhalluselin | TULOILMA L/S | | | Mitattu | Suunniteltu | POISTOILMA L/S | | | Mitattu | Suunniteltu |
|-----------|-----|--------------------|--------------|----|-----|---------|-------------|----------------|-----|-----|---------|-------------|
| | | | m/s | Pa | AS. | | | m/s | Pa | AS. | | |
| AS 61 / K | | | | | | | | 1 KSO - 125 | 60 | 0 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 70 | -4 | 15 | 15 |
| VH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 20 | -11 | 3 | 3 |
| AS 60 / K | | | | | | | | 1 URH - 125 | 55 | 5 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 70 | -4 | 15 | 15 |
| VH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 20 | -12 | 20 | 20 |
| AS 59 / K | | | | | | | | 1 URH - 125 | 55 | 5 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 40 | 10 | 14 | 15 |
| AS 58 / K | | | | | | | | 1 URH - 125 | 70 | 2 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 95 | -6 | 10 | 10 |
| VH | | | | | | | | 1 KSO - 100 | 100 | -12 | 6 | 3 |
| AS 57 / K | | | | | | | | 1 KSO - 125 | 50 | 2 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 70 | -3 | 10 | 10 |
| VH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 80 | -15 | 4 | 3 |
| AS 56 / K | | | | | | | | 1 URH - 125 | 50 | 4 | 19 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 40 | 11 | 14 | 15 |
| AS 55 / K | | | | | | | | 1 URH - 125 | 55 | 4 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 65 | 6 | 15 | 15 |
| VH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 20 | -11 | 3 | 3 |
| AS 54 / K | | | | | | | | 1 KSO - 125 | 55 | 0 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 65 | 6 | 15 | 15 |
| VH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 20 | -9 | 4 | 3 |
| AS 53 / K | | | | | | | | 1 KSO - 125 | 55 | 0 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 40 | 10 | 14 | 15 |
| AS 52 / K | | TURVAKETJU KIINNI! | | | | | | 1 KSO - 125 | | | | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 URH - 100 | | | | 10 |
| VH | | | | | | | | 1 KSO - 100 | | | | 3 |
| AS 51 / K | | | | | | | | 1 KSO - 125 | 50 | 2 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 60 | -1 | 10 | 10 |
| VH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 75 | -15 | 4 | 3 |
| AS 50 / K | | | | | | | | 1 KSO - 125 | 55 | 0 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 URH - 100 | 45 | 10 | 15 | 15 |

Mittausasuorittaja: TIMO MALINEN & JANNE TUOMIKANGAS

410

Pvm:29.1.2014
Mittari : AIRFLOW TA460



Lehti 3 / 7 Lehtä

Helytie 28 A
00950 Helsinki
Puh.040 - 5187225
Y - 2370176-6

ILMAMÄÄRÄMITTAUSPÖYTÄKIRJA

K.osa
Kortteli/tila
Tontti/Nro:
KOHDENRASINKATU 4
01360 VANTAA

| Tila | TULOILMA L/S | | | | | | POISTOILMA L/S | | | | | | | |
|-----------|--------------|--------------|-----|----|-----|---------|----------------|-----|------------|-----|-----|-----|---------|-------------|
| | Kpl | Puhalluselin | m/s | Pa | AS. | Mitattu | Suunniteltu | Kpl | Poistoelin | m/s | Pa | AS. | Mitattu | Suunniteltu |
| AS 49 / K | | | | | | | | 1 | KSO - 125 | | 55 | 0 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 55 | 7 | 15 | 15 |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 25 | -9 | 4 | 3 |
| AS 48 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 60 | 3 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 60 | 6 | 15 | 15 |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 20 | -9 | 4 | 3 |
| AS 47 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 70 | 2 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 40 | 10 | 15 | 15 |
| AS 46 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 60 | 3 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 75 | -3 | 11 | 10 |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 100 | -15 | 6 | 3 |
| AS 45 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 50 | 6 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 60 | -1 | 10 | 10 |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 80 | -15 | 4 | 3 |
| AS 44 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 55 | 4 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 45 | 10 | 15 | 15 |
| AS 43 / K | | | | | | | | 1 | KSO - 125 | | 60 | 0 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 60 | 6 | 15 | 15 |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 35 | -14 | 3 | 3 |
| AS 42 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 60 | 3 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 60 | 6 | 15 | 15 |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 25 | -9 | 3 | 3 |
| AS 41 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 70 | 2 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 40 | 10 | 15 | 15 |
| AS 40 / K | | | | | | | | 1 | KSO - 125 | | 60 | 0 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 70 | -2 | 10 | 10 |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 90 | -15 | 4 | 3 |
| AS 39 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 60 | 3 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 60 | -1 | 10 | 10 |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 100 | -15 | 4 | 3 |
| AS 38 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 60 | 3 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 45 | 10 | 15 | 15 |

Mittausensorittaja:TIMO MALINEN & JANNE TUOMIKANGAS

433

Pvm:29.1.2014

Mittari : AIRFLOW TA460



Lehti 4 / 7 Lehtä

Helytie 28 A
00950 Helsinki
Puh.040 - 5187225
Y - 2370176-6

ILMAMÄÄRÄMITTAUSPÖYTÄKIRJA

K.osa
Kortteli/tila
Tontti/Nro:
KOHDENRASINKATU 4
01360 VANTAA

| Tila | TULOILMA L/S | | | | | | POISTOILMA L/S | | | | | | | |
|-----------|--------------|--------------|-----|----|-----|---------|----------------|-----|------------|-----|-----|-----|---------|-------------|
| | Kpl | Puhalluselin | m/s | Pa | AS. | Mitattu | Suunniteltu | Kpl | Poistoelin | m/s | Pa | AS. | Mitattu | Suunniteltu |
| AS 37 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 55 | 4 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 60 | 6 | 15 | 15 |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 35 | -14 | 3 | 3 |
| AS 36 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 50 | 6 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 50 | 9 | 15 | 15 |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 30 | -9 | 5 | 3 |
| AS 35 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 90 | -1 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 70 | 4 | 15 | 15 |
| AS 34 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 100 | -1 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 45 | 2 | 10 | 10 |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 65 | -15 | 4 | 3 |
| AS 33 / K | | | | | | | | 1 | KSO - 125 | | 70 | -2 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 55 | -1 | 10 | 10 |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 100 | -15 | 4 | 3 |
| AS 32 / K | | | | | | | | 1 | KSO - 125 | | 50 | 2 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 60 | 6 | 15 | 15 |
| AS 31 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 45 | 6 | 19 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 40 | 10 | 14 | 15 |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 30 | -12 | 3 | 3 |
| AS 30 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 60 | 3 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 60 | 6 | 15 | 15 |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 40 | -12 | 4 | 3 |
| AS 29 / K | | | | | | | | 1 | KSO - 125 | | 100 | -5 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 65 | 4 | 14 | 15 |
| AS 28 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 100 | -1 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 60 | -1 | 10 | 10 |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 70 | -15 | 4 | 3 |
| AS 27 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 70 | 2 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 60 | -1 | 10 | 10 |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 100 | -15 | 4 | 3 |
| AS 26 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 45 | 6 | 20 | 20 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|-------------|--|----|---|----|----|
| AS 14 / K | | | | | | | | | 1 URH - 125 | | 55 | 6 | 20 | 20 |
| KPH | | | | | | | | | 1 URH - 100 | | 60 | 6 | 15 | 15 |

Mittauksensuorittaja: TIMO MALINEN & JANNE TUOMIKANGAS

427

Pvm: 29.1.2014

Mittari: AIRFLOW TA460



Lehti 6 / 7 Lehteä

Helytie 28 A
00950 Helsinki
Puh. 040 - 5187225
Y - 2370176-6

ILMAMÄÄRÄMITTAUSPÖYTÄKIRJA

K.osa

Kortteli/tila

Tontti/Nro:

KOHDE: RASINKATU 4

01360 VANTAA

| Tila | TULOILMA L/S | | | | | POISTOILMA L/S | | | | | 01360 VANTAA | | | | |
|-----------|--------------|-------------------------|-----|----|-----|----------------|-------------|---------------------|------------|-----|--------------|-----|---------|-------------|--|
| | Kpl | Puhalluselin | m/s | Pa | AS. | Mitattu | Suunniteltu | Kpl | Poistoelin | m/s | Pa | AS. | Mitattu | Suunniteltu | |
| AS 13 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 60 | 3 | 20 | 20 | |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 55 | 7 | 15 | 15 | |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 60 | -15 | 3 | 3 | |
| AS 12 / K | | | | | | | | 1 | KSO - 125 | | 60 | 0 | 20 | 20 | |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 50 | 9 | 15 | 15 | |
| VH | | VENTTIILI EI LAHDE IRTI | | | | | | 1 | URH - 100 | | 30 | -9 | 5 | 3 | |
| AS 11 / K | | | | | | | | 1 | KSO - 125 | | 85 | -4 | 20 | 20 | |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 45 | 9 | 14 | 15 | |
| AS 10 / K | | | | | | | | 1 | KSO - 125 | | 90 | -5 | 20 | 20 | |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 60 | -1 | 10 | 10 | |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 90 | -15 | 4 | 3 | |
| AS 9 / K | | | | | | | | 1 | KSO - 125 | | 80 | -4 | 20 | 20 | |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 85 | -1 | 10 | 10 | |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 100 | -15 | 4 | 3 | |
| AS 8 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 60 | 3 | 20 | 20 | |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 60 | 6 | 15 | 15 | |
| AS 7 / K | | | | | | | | 1 | URH - 125 | | 50 | 6 | 20 | 20 | |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 45 | 10 | 15 | 15 | |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 40 | -12 | 4 | 3 | |
| AS 6 / K | | | | | | | | 1 | KSO - 125 | | 60 | 0 | 20 | 20 | |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 55 | 8 | 15 | 15 | |
| VH | | | | | | | | EI PAASE MITTAAMAAN | | | | | 3 | | |
| AS 5 / K | | | | | | | | 1 | KSO - 125 | | 85 | -4 | 20 | 20 | |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | 45 | 9 | 15 | 15 | |
| AS 4 / K | | TURVAKETJU | | | | | | 1 | KSO - 125 | | | | | 20 | |
| KPH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | | | | 10 | |
| VH | | | | | | | | 1 | URH - 100 | | | | | 3 | |
| AS 3 / K | | | | | | | | 1 | KSO - 125 | | 80 | -4 | 20 | 20 | |
| KPH | | | | | | | | 1 | KSO - 100 | | 70 | -6 | 11 | 10 | |

Lämmöntalteenotonpatterin mitoitusajo.

TARJOUSNUMEROMME 91584-TE



| | | 1 | 2 |
|---------------------|-------------------|--------------------------------------|---------------|
| PATTERI | | | |
| LUKUMÄÄRÄ | | 4 | 4 |
| KOJE | | | |
| KOJENO | | | |
| TYYPPI | | | |
| KÄYTTÖ | | LTO | LTO |
| KÄTISYYS | | | |
| LAMELLITYYPPI | | A15 / AL 0.12 | A15 / AL 0.12 |
| KEHYSMATERIAALI | | AL | AL |
| LIUOS | | Etyleenigly | Etyleenigly |
| PITOISUUS | % | 25 | 25 |
| OP.LEVEYS | mm | 1300 | 1300 |
| OP.KORKEUS | mm | 900 | 900 |
| KEH.LEVEYS | mm | 1400 | 1400 |
| KEH.KORKEUS | mm | 1000 | 1000 |
| KEH.SYVYYS | mm | 240 | 240 |
| TEHO | kW | 30.3 | 38.6 |
| ILMAN TILAVUUSVIRTA | m ³ /s | 1.5 | 1.75 |
| ILMAN MASSAVIRTA | kg/s | 1.8 | 2.1 |
| TULEVA ILMA | oC | 23 | 19 |
| TUL. SUHT. KOSTEUS | % | 30 | 37 |
| TULEVA ILM. ENT | kJ/kg | 36.4 | 31.9 |
| LÄHTEVÄ ILMA | oC | 6.5 | 2.9 |
| LÄH. SUHT. KOSTEUS | % | 86 | 91 |
| LÄHTEVÄ ILM. ENT | kJ/kg | 19.6 | 13.5 |
| ILMAN NOPEUS | m/s | 1.28 | 1.5 |
| ILMAN PAINEHÄVIÖ | Pa | 27.1 | 36 |
| TULEVA NESTE | oC | 3 | -1.6 |
| LÄHTEVÄ NESTE | oC | 7 | 2.8 |
| NESTEVIRTA | l/s | 1.94 | 2.25 |
| NESTE NOPEUS | m/s | 1.17 | 1.36 |
| NESTEEN PAINEHÄVIÖ | kPa | 28 | 38 |
| PUTKIYHDE | DN | 50 L | 50 L |
| HYÖTYSUHDE | % | | |
| RIVISYYS | | 6 | 6 |
| LAMELLIJAKO | mm | 2.5 | 2.5 |
| NESTETILAVUUS | l | 24.6 | 24.6 |
| PAINO | kg | 70 | 70 |
| ERISTYS | | | |
| PISARANEROTIN | | | |
| TIPPUVESIALLAS | | On | On |
| PINNOITUS | | | |
| HOPEAPITOISUUS | % | 2 | 2 |
| JÄÄT.SUOJAMUHEVA | kpl | | |
| HUOM | | | |
| HUOM2 | | | |
| 1. | EC-LTop | - 1300 - 900 - 6 - 2.5 - 50 L - 10 - | - 15 |
| 2. | EC-LTop | - 1300 - 900 - 6 - 2.5 - 50 L - 10 - | - 15 |

POSTIOSOITE

Ekocool Oy
Leppäkuja 3
14200 TURENKI
SUOMI

VAT NO: FI07321085
Y-tunnus: 0732108-5

PUHELIN

+358-3-644 000