



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

VANHAN KERROSTALON ENERGIATEHOK- KUUDEN PARANTAMINEN

Joel Mertanen

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2018
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-talotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-talotekniikka

MERTANEN, JOEL

Vanhan kerrostalon energiatehokkuuden parantaminen

Opinnäytetyö 54 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Maaliskuu 2018

Opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää, kuinka vanhan kerrostalon energiatehokkuutta voidaan parantaa erityisesti LVI-taloteknisin keinoin. Työssä tutkittiin myös lämmöntalteenoton ja maalämmön kannattavuutta Tampereella sijaitsevaan 1980-luvulla rakennettuun kerrostaloon.

Kannattavuutta tarkasteltiin As Oy Pohjolankatu 10:n isännöitsijältä sekä Högfors GST:ltä saatujen tietojen perusteella. Rakennuksen nykyinen kaukolämmön kulutus on keskimäärin 571 MWh vuodessa, mutta maalämmön ja lämmöntalteenoton avulla kulutus voidaan vähentää noin 120–220 MWh vuodessa. Takaisinmaksuajaksi kyseiselle järjestelmälle saatiin 8–13 vuotta.

Vanhassa kerrostalossa energiansäästöä voidaan saavuttaa korjaamalla rakennuskantaa sekä taloteknisillä järjestelmillä, kuten lämpöpumpuilla, aurinkokeräimillä ja lämmöntalteenottojärjestelmillä. Merkittävää energiansäästöä voidaan myös saavuttaa vähentämällä huolimattomuudesta tai ymmärtämättömyydestä johtuvaa energiankulutusta. Selvitys osoitti, että lämmöntalteenoton ja maalämmön käyttäminen vanhan kerrostalon energiatehokkuuden parantamiseen on varteenotettava vaihtoehto, mikäli lähtötiedot on tarkastettu ja todettu oikeiksi, sekä suunnittelu, asennus ja valvonta suoritetaan huolellisesti.

ABSTRACT

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

MERTANEN, JOEL

Improving the Energy Efficiency of an Old Apartment Building

Bachelor's thesis 54 pages, appendices 2 pages
March 2018

The purpose of the thesis was to study how to improve energy efficiency in an old apartment building, especially by the means of HVAC technology. The project also examined the profitability of heat recovery and geothermal heat in an apartment house built in Tampere in the 1980's.

The profitability analysis was made by using the data obtained from the property manager of Pohjolankatu 10 and from Högfors GST. The current consumption of district heat in the building is approximately 571 MWh per year, but by the means of geothermal heat and heat recovery, it is possible to reduce the consumption of district heat to approx. 120–220 MWh per year. The repayment period for this system is 8–13 years.

In an old apartment building, energy savings can be achieved by repairing the building, as well as by using building service systems such as heat pumps, solar collectors and heat recovery systems. Significant energy savings can also be achieved by reducing the energy consumption due to negligence or lack of understanding. The analysis showed that the use of heat recovery and geothermal energy is a considerable alternative to improve the energy efficiency of an old apartment building, if the source of data is verified and found correct, and planning, installation and supervision are accomplished carefully.

Key words: energy efficiency, hybrid system

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	RAKENTAMISMÄÄRÄYKSET SUOMESSA.....	7
	2.1 Yleisesti	7
	2.2 Energiatehokkuus.....	7
	2.3 Määräysten vaikutus energiatehokkuuteen	8
3	PAIKKAKUNTAKOHTAISET ASIAT.....	9
	3.1 Luvat	9
	3.2 Energia-avustus.....	9
4	KERROSTALOT SUOMESSA.....	10
	4.1 Rakennuskanta	10
	4.2 Kerrostalojen ilmanvaihto.....	11
	4.2.1 Painovoimainen ilmanvaihto.....	11
	4.2.2 Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä.....	12
	4.2.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä	12
5	LÄMMITYSENERGIAN KULUTUS.....	14
	5.1 Lämpöhäviöiden muodostuminen.....	14
	5.2 Lämmitysenergian kulutuksen esittäminen.....	15
6	ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN	16
	6.1 Yleisesti	16
	6.2 Poistoilman lämmöntalteenotto	17
	6.3 Lämpöpumput.....	18
	6.3.1 Maalämpöpumppu.....	19
	6.3.2 Ilmalämpöpumput	21
	6.4 Aurinkoenergia	23
	6.4.1 Aktiivinen aurinkoenergia.....	24
	6.5 Patteriverkoston säätö	25
7	HYBRIDIJÄRJESTELMÄN VAIKUTUS KAUKOLÄMPÖÖN.....	27
	7.1 Yleisesti	27
	7.2 Kytkennät.....	27
8	KAUKOLÄMMÖN ENERGIA- JA TEHOMAKSUT	29
	8.1 Maksujen koostuminen	29
	8.2 Maksuperusteiden tarkistaminen	29
9	ESIMERKKIKOHDE	31
	9.1 Rakennuksen tiedot.....	31
	9.2 Energiankulutus	32
	9.3 Poistoilman lämmöntalteenotto yhdistettynä maalämpöön	35

9.3.1	Järjestelmän toiminta	35
9.3.2	Järjestelmän komponentit	37
9.3.3	Sähköliittymän riittävyys	38
9.3.4	Maalämmön poraus	39
9.3.5	Järjestelmän kannattavuus.....	41
10	POHDINTA.....	47
	LÄHTEET.....	49
	LIITTEET	53
	Liite 1. Högforsin arviot järjestelmän tuotoista ja kulutuksista	53
	Liite 2. Högforsin arvioimat kumulatiiviset laskelmat ja takaisinmaksuaika .	54

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on selvittää, kuinka vanhan kerrostalon energiatehokkuutta voidaan parantaa erityisesti LVI-taloteknisin keinoin. Työ on rajattu käsittelemään lähinnä ilmanvaihto- ja lämmitystekniikkaa, joten rakenteiden parantamista tai muita energiansäästötoimenpiteitä ei tässä työssä käsitellä. Työssä tutkitaan myös lämmöntalteenoton ja maalämmön kannattavuutta Tampereella sijaitsevaan 1980-luvulla rakennettuun kerrostaloon.

Suomessa on laadittu rakennusten energiatehokkuutta koskevia määräyksiä, joiden tavoitteena on rakennusten energiatehokkuuden parantaminen ja uusiutuvan energian käytön lisääminen, sekä rakennusten energiankulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen pienentäminen. Peruskorjauksen tarpeessa ovat tällä hetkellä, sekä lähitulevaisuudessa lähinnä 1960–1980-lukujen talot, joiden talotekniikka ja rakenteet alkavat olla käyttöikänsä loppupuolella. Kerrostalojen saneerauksen yhteydessä energiatehokkuuden parantaminen on järkevää ottaa esille jo pelkästään energian kallistumisen, sekä yleisen asumisviihtyvyyden ja terveellisemmän sisäilman takia.

Energiansäästöä voidaan saavuttaa korjaamalla rakennuskantaa esimerkiksi lisäeristämällä, ikkunoiden vaihdolla, sekä taloteknisillä järjestelmillä. Merkittävää energiansäästöä voidaan myös saavuttaa vähentämällä energiankulutusta huolimattomuudesta tai ymmärtämättömyydestä johtuvista seikoista.

2 RAKENTAMISMÄÄRÄYKSET SUOMESSA

2.1 Yleisesti

Maankäyttö- ja rakennuslaki määrittelee rakentamiseen liittyvät edellytykset, tekniset vaatimukset, rakentamisen lupamenettelyn ja viranomaisvalvonnan. Ympäristöministeriön julkaisema Suomen rakentamismääräyskokoelma kokoaa maankäyttö- ja rakennuslakiin täydentäviä asetuksia ja niihin liittyviä ohjeita (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2016.)

Rakentamista koskevat asetukset uudistuivat tammikuussa 2018. Uudistuksen tarkoituksena oli rakentamismääräysten selkeyttäminen, sekä sääntelyn soveltamisen yhtenäisyys ja ennakoitavuus. Uudistetussa rakentamismääräyskokoelmassa käy selkeämmin ilmi, koskeeko määräys uudisrakentamista vai rakennuksen korjaus tai muutostyötä (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2016.)

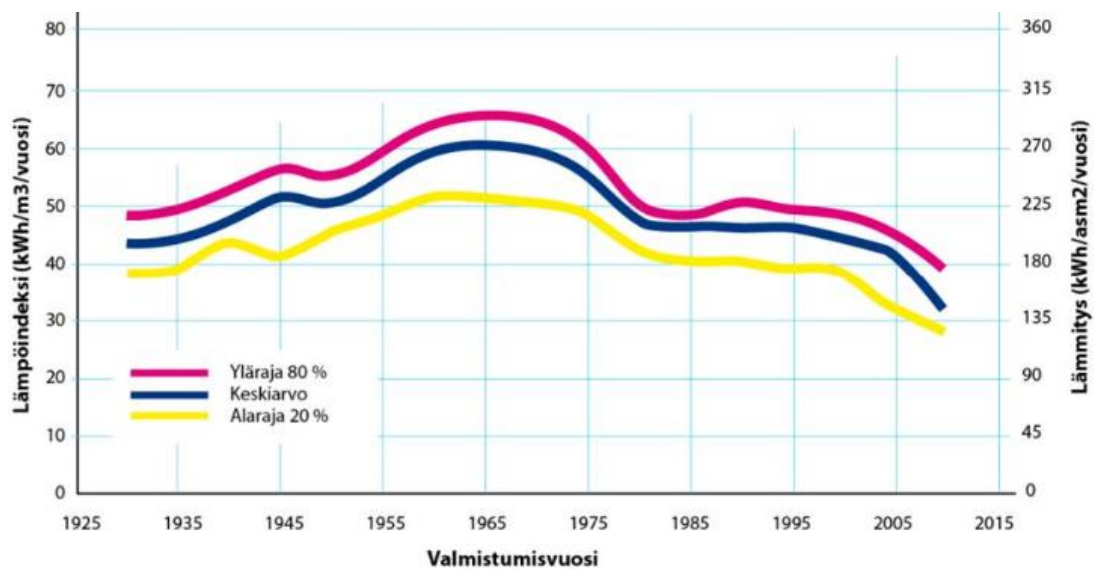
2.2 Energiatehokkuus

Rakennusten energiatehokkuuteen liittyvien määräysten tavoitteena on lisätä rakennusten energiatehokkuutta ja uusiutuvan energian käyttöä, sekä vähentää rakennusten energian kulutusta ja hiilidioksidipäästöjä (Rakennusten energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö 2017).

Rakennuksen energiatehokkuuden parantamista korjaus- ja muutostöissä koskee ympäristöministeriön asetus 4/13. Rakennuksen energiatehokkuutta on mahdollista parantaa käytännössä kolmella eri tavalla. Ensimmäinen vaihtoehto on parantaa kiinteistön rakenteita niin, että ne vastaavat remontin jälkeen nykyvaatimuksia. Toinen tapa on vähentää standardikäyttöön perustuvaa energiankulutusta, jolloin tarkastellaan rakennuksen vuosittaista energiankäyttöä suhteessa rakennuksen pinta-alaan. Kolmas tapa on pienentää rakennuksen kokonaisenergiankulutusta (E-lukua), sille vaadittuun tasoon (Olemassa olevan rakennuksen energiatehokkuus 2017.)

2.3 Määräysten vaikutus energiatehokkuuteen

Kuviosta 1 nähdään, kuinka rakentamismääräysten muutokset ovat parantaneet asuinkerrostalojen energiatehokkuutta. Vuonna 1978 rakennusten lämmöneristysmääräyksiä kiristettiin noin 30 %, mikä näkyy 1970–1980-luvun taitteessa lämpöindeksien alenemisena. 1960–1970-luvun kerrostaloissa energiankulutus on ollut suurimmillaan, mikä selittyy osittain tuolloin yleistyneen koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän takia. Poistoilman lämmöntalteenotto tuli rakentamismääräysten vaatimukseksi vuonna 2003, mikä näkyy taas lämpöindeksin alenemisena vuoden 2004 jälkeen (Virta, J & Pysly, P. 2011, s 20–22.)



KUVIO 1. Asuinkerrostalojen energiankulutus 1925-2015 (Virta, J & Pysly, P. 2011, s 23)

3 PAIKKAKUNTAKOHTAISET ASIAT

3.1 Luvat

Rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseen liittyy myös asioita, jotka vaativat kaupungilta tai kunnalta erillisen luvan. Hankkeelle voidaan vaatia toimenpidelupa, jos siihen liittyy huomattava kaupunkikuvallinen tai naapurin etuun vaikuttava näkökulma. Rakennuslupa vaaditaan, jos hanke vaikuttaa rakennuksen kerrosalaan, terveellisyteen tai turvallisuuteen (Julkisivumuutokset 2016.)

Teknisten järjestelmien asennuksissa täytyy noudattaa voimassa olevan asemakaavan määräyksiä ja rakentamiseen liittyviä säännöksiä. Järjestelmät pitää suunnitella rakennuksen luonteeseen ja kaupunkikuvaan sopiviksi. Mikäli järjestelmät eivät sovellu ympäristöön tai niistä on haittaa naapureille ja liikenteelle, niin rakennusvalvontaviranomainen voi velvoittaa kiinteistön haltijan purkamaan tai muuttamaan kyseiset järjestelmät (Julkisivumuutokset 2016.)

3.2 Energia-avustus

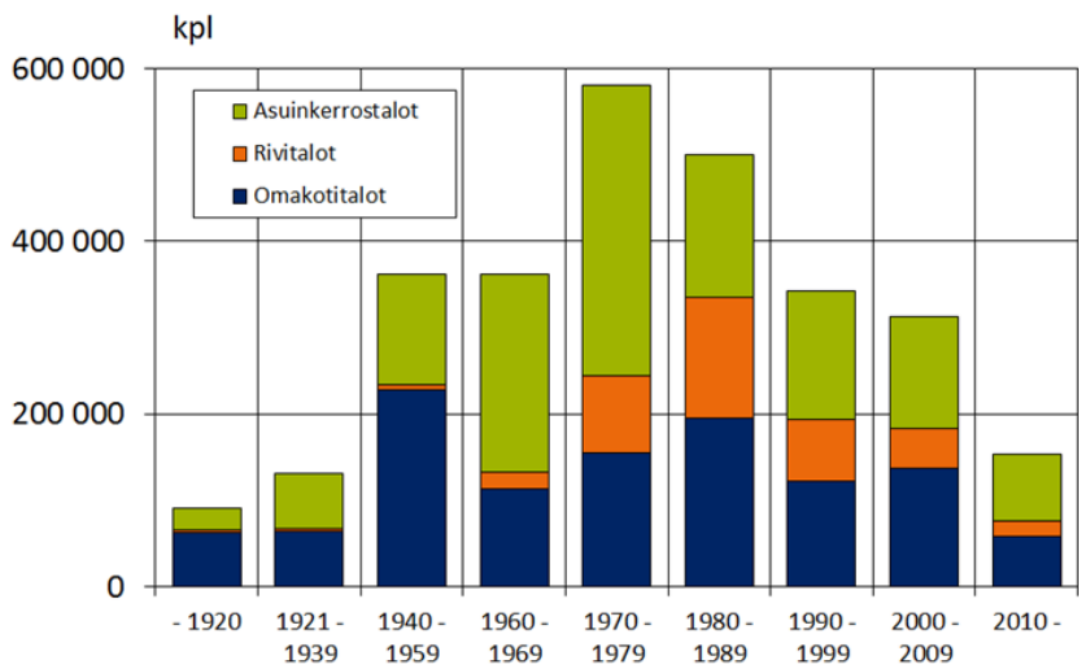
Energia-avustus on käytännössä valtion myöntämää rahoitusta, jonka tarkoituksena on edistää uuden energiateknologian käyttöä ja markkinoille saamista. Energiatukea voidaan myös myöntää sellaisiin investointi- ja selvityshankkeisiin, jotka edistävät uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä, energiansäästöä, energian tuotannon ja käytön tehostamista tai vähentävät niiden ympäristöhaittoja (Energiatuki 2017.)

Energia-avustusta on saatu aikaisemmin ARAlta, eli Asumisen rahoitus- ja kehittämisskeskukselta. Nykyään energia-avustusta ei kuitenkaan myönnetä asunto-osakeyhtiöille, asuinkiinteistöille, maatiloille tai valtion laitoksille. Tähän vaikuttaa valtion nykyinen taloudellinen tilanne. Energia-avustusta voivat vielä kuitenkin saada mm. yritykset ja kunnat (Energiatuki 2017.)

4 KERROSTALOT SUOMESSA

4.1 Rakennuskanta

Suomessa on noin 2,8 miljoonaa asuntoa, joista noin 44 % on kerrostalohuoneistoja. Asuinkerrostalojen rakentaminen kasvoi voimakkaasti 1960-luvulla, mutta suurin osa Suomen asuntokannasta on rakennettu 1970–1980-luvuilla. (Perustietoja asumisesta 2017.) Kuviossa 2 on esitetty asuntokannan ikäjakauma vuonna 2014.



KUVIO 2. Asuntokannan ikäjakauma Suomessa vuonna 2014 (Tilastokeskus 2017)

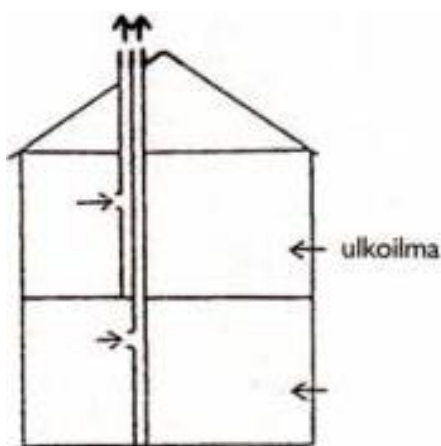
Peruskorjauksen tarpeessa ovat nyt ja lähitulevaisuudessa 1960–1980-lukujen talot, joiden talotekniikka ja rakenteet alkavat olla käyttöikänsä loppupuolella. Kun kiinteistössä tehdään suurta remonttia, niin samalla olisi järkevää parantaa kiinteistön energiatehokkuutta (Korjausrakentaminen 2017.)

4.2 Kerrostalojen ilmanvaihto

Ilmanvaihdon tarkoituksena on luoda rakennukseen terveellinen ja viihtyisä sisäilma. Ilmanvaihtojärjestelmän tehtävänä on poistaa syntyvät epäpuhtaudet ja tuoda sisälle raitista ulkoilmaa. Epäpuhtauksia syntyy mm. ihmisten aineenvaihdunnasta ja toiminnoista, asumisesta, rakennus- ja sisustusmateriaaleista, sekä ulkoilmasta ja joskus myös radonista. Kerrostalossa ilmanvaihtojärjestelmä voi olla toteutettu painovoimaisesti, koneellisella poistolla tai koneellisella tulo- ja poistoilmalla (Ilmanvaihdon vaikutus 2008.)

4.2.1 Painovoimainen ilmanvaihto

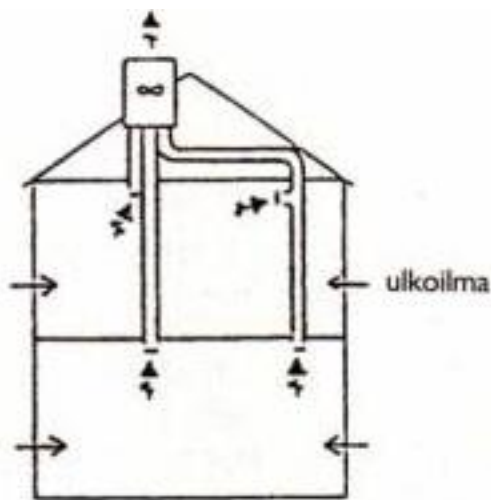
Painovoimainen ilmanvaihto oli 1970-luvulle asti eniten käytetty järjestelmä. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa tyypillisesti keittiö, pesuhuone, WC-tila, pukuhuone ja sauna varustettiin poistoilmaventtiilillä, joista poistoilma johdettiin hormia pitkin vesikatolle. Järjestelmän toiminta perustuu painovoimaan, joka syntyy sisä- ja ulkoilman tiheuserosta, sekä ilmareitin korkeuserosta. Kylmä ilma on tiheämpää kuin lämmin ilma, joten paine-ero on talvella suurempi, mitä enemmän ulkona on pakkasta. Kesällä taas paine-ero voi olla myös negatiivinen. Tuulella on myös merkittävä vaikutus järjestelmän toimintaan (Sandberg 2014, s 114.) Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate (Ilmanvaihto 2008)

4.2.2 Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä

1960-luvun puolessa välissä rakennuksiin alettiin suunnitella koneellista poistoilmajärjestelmää. Se oli vallitseva järjestelmä vielä 1970-luvullakin. Siinä yleensä keittiö, pesuhuone, WC-tila, vaatehuone ja sauna varustettiin poistoilmaventtiilillä, joiden kautta poistoilma johdettiin vesikatonle huippuimurin avulla. Yleensä huippuimuria ohjattiin asuntokohtaisesti keittiön liesituulettimelta (Sandberg 2014, s 115.) Koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaate on esitetty kuvassa 2.



KUVA 2. Koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaate (Ilmanvaihto 2008)

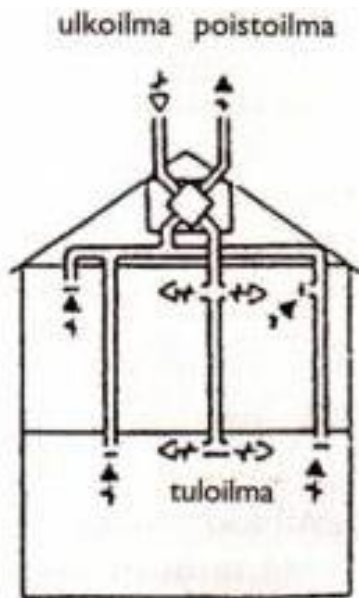
4.2.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä

1970-luvun puolessa välissä alettiin kehittää myös ilmanvaihtojärjestelmää, jossa on koneellinen tulo- ja poistoilma, sekä lisäksi lämmöntalteenotto. Järjestelmä yleistyi kerrostaloissa kuitenkin vasta 1990-luvun jälkeen, jolloin alettiin käyttää myös asuntokohtaisia ilmanvaihtokoneita (Sandberg 2014, s 116, 118.)

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa ilma puhalletaan sisään ja ulos ilmanvaihtokoneen kautta. Järjestelmän etuna on, että ennen tuloilman sisään puhallusta raitisilma voidaan esilämmittää lämmöntalteenoton ja esilämmityspatterin avulla. Lisäksi sisään tuleva ilma voidaan suodattaa ja näin estää esimerkiksi katu- ja siitepölyjen pääsyn huoneilmaan (Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto 2016.)

Kerrostaloissa koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä voidaan toteuttaa joko asunto- tai rakennuskohtaisesti. Rakennuskohtaisessa järjestelmässä koko rakennusta palvelee yhteinen tulo- ja poistoilmanvaihtokone. Asuntokohtaisessa järjestelmässä jokaisessa huoneistossa on oma ilmanvaihtokone, jonka tehoa asukas voi säätää oman tarpeensa mukaan (Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto 2016.)

Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon avulla saadaan hallittu ilmanvaihto kaikkiin huoneisiin. Vastaavasti kuin muissakin ilmanvaihtojärjestelmissä, myös tässä järjestelmässä tulee huolehtia siirtoilman pääsy huoneesta toiseen (Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto 2016.) Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon toimintaperiaate on esitetty kuvassa 3.

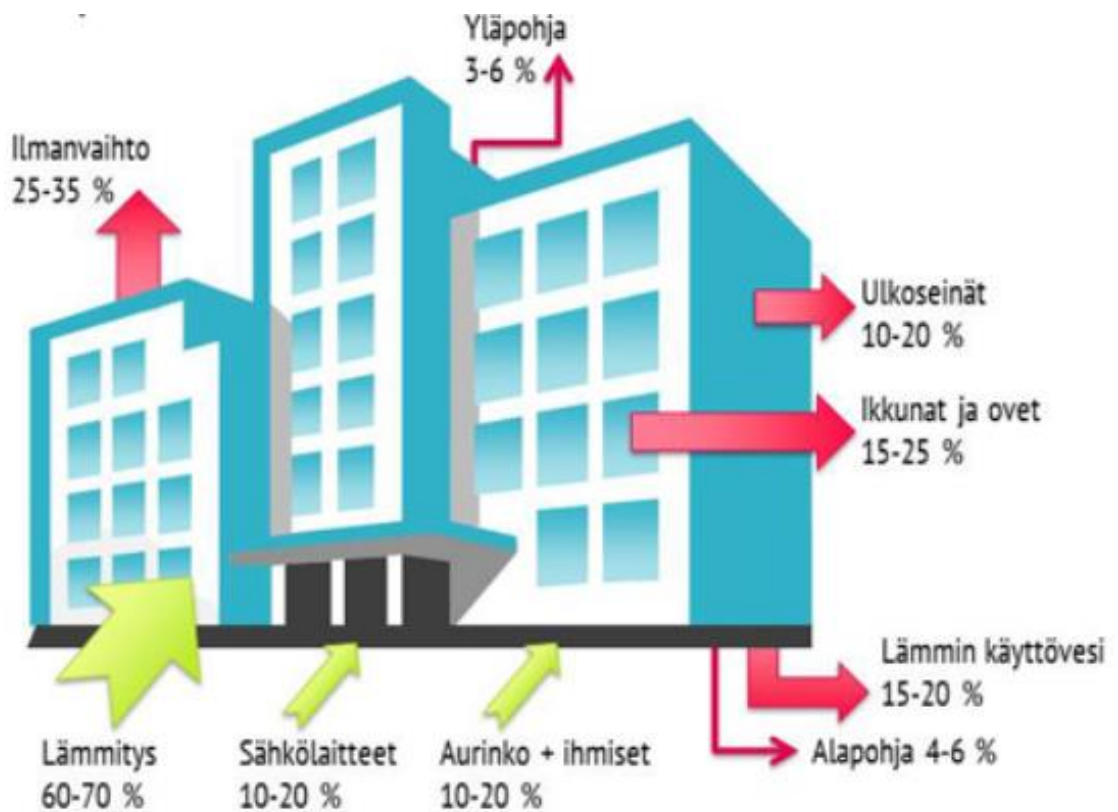


KUVA 3. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon toimintaperiaate (Ilmanvaihto 2008)

5 LÄMMITYSENERGIAN KULUTUS

5.1 Lämpöhäviöiden muodostuminen

Energiansäästämisen kannalta on tärkeää tietää, mistä rakennuksen lämpöhäviöt muodostuvat (kuva 4). Kerrostalossa lämmitysenergiaa kuluu ulkoseinien, ylä- ja alapohjan, sekä ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöihin. Ilmanvaihto on suurin yksittäinen lämpöhäviöreitti. Rakenteista johtuvat lämpöhäviöt ovat yhteensä lähes yhtä suuria lämpöhäviöreittejä. Asuinrakennuksissa myös lämpimän käyttöveden osuus energiankulutuksesta on huomattava (Seppänen 2001, s 399.)



KUVA 4. Kerrostalon lämpöhäviöiden muodostuminen (Motiva 2017)

Lämmitystekniikka on siis keskeinen asia rakennusten energiankäytössä, sillä lämmityslaitteilla hoidetaan rakennuksen, käyttöveden ja ilmanvaihtoilman lämmitys (Seppänen 2001, s 1). Yleisin lämmitysmuoto kerrostaloissa on kaukolämpö, ja lämmönjakotapana vesikiertoinen patterilämmitys (Lämmöntuotto, kaukolämpö 2016).

5.2 Lämmitysenergian kulutuksen esittäminen

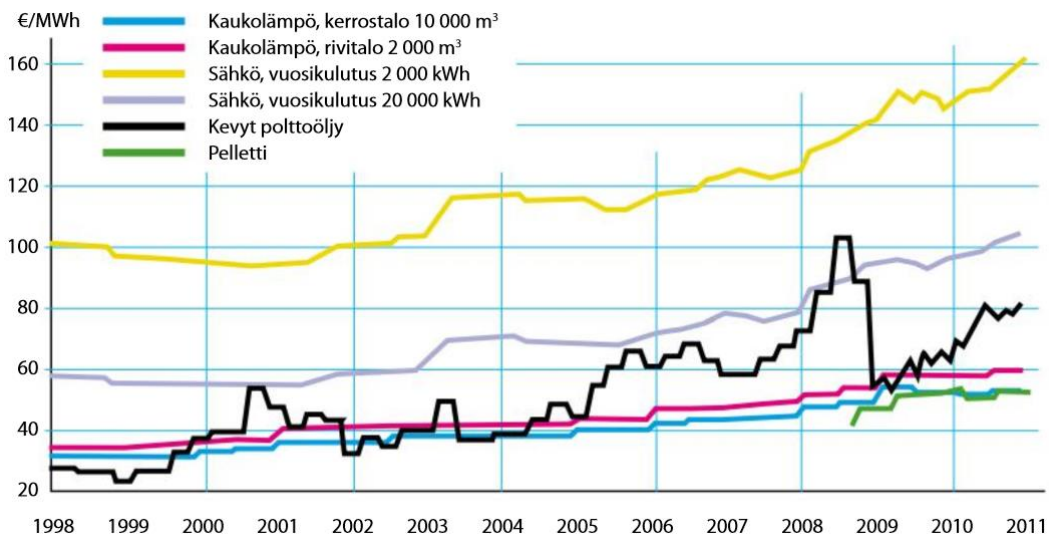
Lämmitysenergian kulutus ilmoitetaan yleensä vuotuisena ominaiskulutuksena joko rakennuksen tilavuuteen tai rakennuksen pinta-alaan nähden. Kun kulutus ilmoitetaan suhteessa rakennuksen tilavuuteen, niin puhutaan lämpöindeksistä. Lämpöindeksi ilmoitetaan normeerattuna, eli korjattuna kunkin vuoden lämpötilakorjatulla luvulla. Lämpötilakorjatulla kulutuksella tarkoitetaan eri vuosina toteutuneita kulutustietoja, jotka on muutettu vertailukelpoisiksi keskenään ulkoilman lämpötilaeroista huolimatta hyödyntämällä ilmatieteenlaitoksen määrittämää päiväkohtaista lämmitystarvelukua ja normaalivuoden lämmitystarvelukua. Mikäli lämmitysenergiankulutus halutaan ilmoittaa asuinpinta-alaa kohden, niin muuntokerroina kerrostalolle voidaan käyttää arvoa 4,5. Muuntokerroin perustuu tilastotietoihin asuinkerrostalojen tilavuuksista, sekä asuinpinta-aloista (Virta, J & Pysly, P. 2011, s 20.)

6 ENERGIA TEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

6.1 Yleisesti

Rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen tulisi lähtökohtaisesti aloittaa tutkimalla kiinteistön käyttöä ja ylläpitoa. Ensin täytyy huolehtia siitä, että kiinteistöä käytetään oikein, sekä varmistaa rakenteiden kunto ja teknisten järjestelmien toiminta. Näiden toimenpiteiden jälkeen voidaan miettiä, kuinka energiatehokkuutta ja sisäilman laatua voidaan parantaa kunnostus- ja korjaustoimilla (Virta, J & Pysly, P. 2011, s 12.)

Jossain vaiheessa kiinteistön rakenteille ja teknisille järjestelmille tulee aika, jolloin niitä joudutaan kunnostamaan tai uusimaan. Tässä yhteydessä kannattaa yleensä miettiä energiatehokkuuden parantamista jo pelkästään energian jatkuvan kallistumisen vuoksi. Esimerkiksi sähkön ja kaukolämmön hinnat nousevat jatkuvasti markkinoilla tapahtuvien muutosten ja energiapolitiikan seurauksena (Virta, J & Pysly, P. 2011, s 12.) Kuviossa 3 on esitetty energian hinnan kehitys Suomessa.



KUVIO 3. Energian hintakehitys (Virta, J & Pysly, P. 2011, s 12)

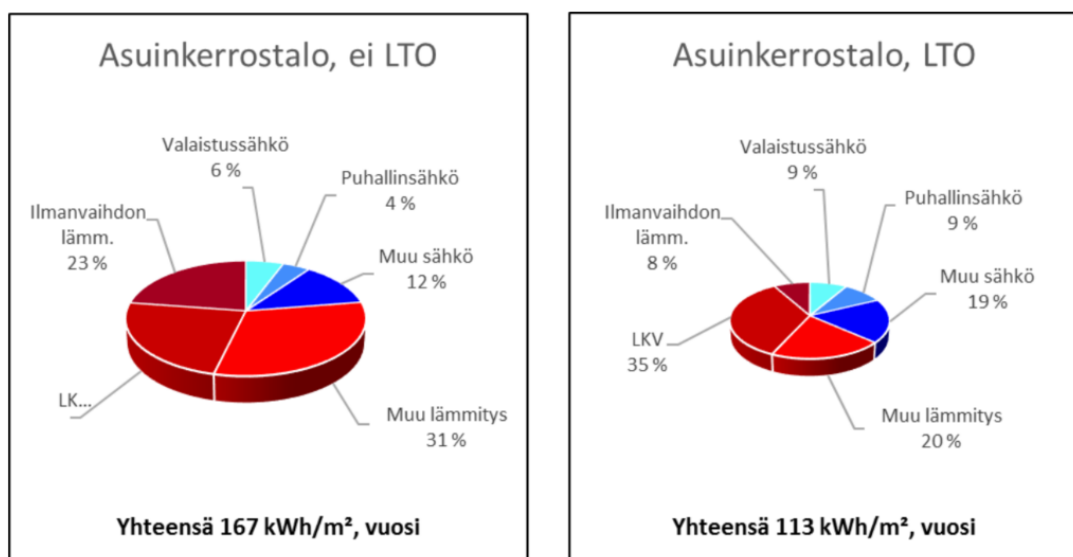
Rakennuksen energiatehokkuuden parantamisessa pitäisi pyrkiä kokonaistaloudelliseen ratkaisuun, eikä keskittyä pelkästään energiansäätöön. Parhaimmillaan energiatehokkuuden parantaminen parantaa myös kiinteistön sisäilman laatua, joka vaikuttaa ihmisten

terveyteen ja elämänlaatuun. Energiansäätön toimenpiteitä ei tulisi tehdä sisäilman laadun kustannuksella (Virta, J & Pysly, P. 2011, s 12-13.)

Korjausrakentamisessa energiatehokkuuden parantamiseen on useita vaihtoehtoja. Energiansäästöä voidaan saavuttaa korjaamalla rakennuskantaa esimerkiksi lisäeristämällä, ikkunoiden vaihdolla ja taloteknisillä järjestelmillä. Merkittävää energiansäästöä voidaan myös saavuttaa vähentämällä energiankulutusta huolimattomuudesta tai ymmärtämättömyydestä johtuvista seikoista, korjaamalla laitevikoja tai huonoja säätölaitteita, sekä väärää säätö- ja ohjauslaitteiden asetusarvoja (Seppänen 2001, s 402-403.)

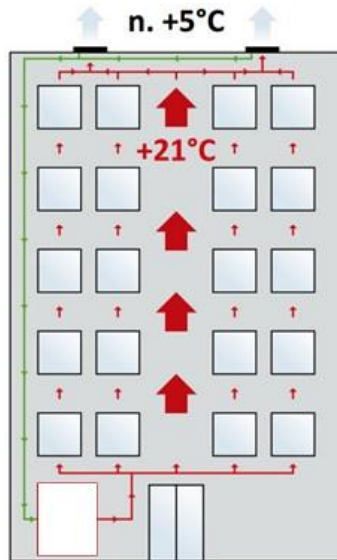
6.2 Poistoilman lämmöntalteenotto

Kerrostalo jossa on pelkkä koneellinen poisto eli koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä hukkaa poistoilman mukana ulkoilmaan huomattavan määrän lämpöenergiaa. Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmällä voidaan suurin osa lämmöstä ottaa talteen ja hyödyntää sitä käyttöveden, sekä kiinteistön lämmittämiseen. Lämmöntalteenotolla täydennetään yleensä jo olemassa olevaa lämmitysjärjestelmää ja se voidaan asentaa esimerkiksi kaukolämmön tai lämpöpumpun rinnalle. Järjestelmän käyttöönotto edellyttää koneellista poistoa, sekä vesikiertoista lämmönjakotapaa (Poistoilman lämmöntalteenotto 2017.) Kuviossa 4 on havainnollistettu ilmanvaihdon lämmöntalteenoton merkitystä.



KUVIO 4. Lämmöntalteenoton vaikutus asuinkerrostalossa (Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet 2017)

Lämmöntalteenottojärjestelmän periaatteena on, että huippuimurin tilalle asennetaan lämmöntalteenottoyksikkö, jossa oleva lämmönsiirrin kerää poistoilmassa olevan lämmön ja siirtää sen lämmönkeruunesteeseen. Lämmönkeruuneste johdetaan putkistoa pitkin tekniseen tilaan, jossa lämmönsiirrin siirtää lämpöenergian uudelleen käytettäväksi (Periaate 2017.) Kuvassa 5 on esitetty periaate poistoilman lämmöntalteenotosta kerrostalossa.



KUVA 5. Poistoilman lämmöntalteenoton periaate (Nibe 2017)

6.3 Lämpöpumput

Lämpöpumppuja hankitaan usein energiankulutuksen pienentämiseen ja niitä käytetään rakennusten, sekä käyttöveden lämmittämiseen. Lämpöpumput toimivat samalla periaatteella kuin kylmälaitteet, kuten jääkaapit ja pakastimet. Kylmälaitteet keräävät lämmön ruokatavaroista ja siirtävät sen laitteen ulkopuolelle, kun taas lämpöpumppu kerää lämpöä maaperästä, vedestä tai ilmasta, ja siirtää sen rakennukseen (Lämpöpumput 2017.)

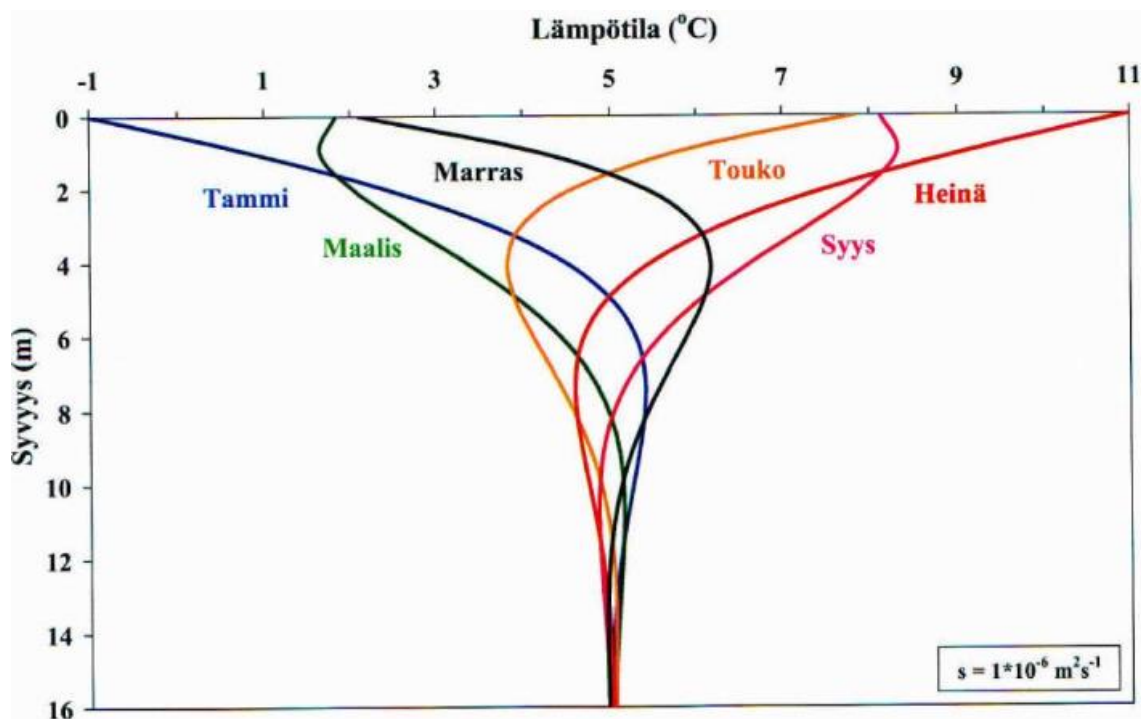
Lämpöpumput voidaan jakaa karkeasti maalämpö- ja ilmalämpöpumppuihin. Lämpöpumpun valintaan vaikuttaa monet eri tekijät, kuten olemassa oleva lämmitysjärjestelmä, asunnon koko, lämmöntarve, ilmasto ja olosuhteet. Lämpöpumppuja ovat esimerkiksi

ilma-ilmalämpöpumppu, ilma-vesilämpöpumppu, poistoilmalämpöpumppu ja maalämpöpumppu (Lämpöpumput 2013).

Lämpöpumpun hyötysuhdetta kuvaa lämpökerroin COP (Coefficient Of Performance), joka kertoo tuotetun lämmön suhteesta siihen kulutettuun sähkөөn. Esimerkiksi COP 4 tarkoittaa, että yhdellä kilowatilla saadaan tuotettua neljä kilowattia lämpöenergiaa. Vuosihyötysuhdetta kuvaa taas SCOP (Seasonal Coefficient Of Performance), mikä kuvaa koko lämmityskauden hyötysuhdetta, joka vastaa paremmin laitteen todellista hyötysuhdetta. Suomessa myytävien laitteiden SCOP-lukema tulee olla laskettu Helsingin ilmasto-olosuhteisiin perustuvilla laskelmilla (Hyötysuhteiden erot 2018.) Paras lämpökerroin saavutetaan, kun lämpötilaero lämmönkeruun ja -luovutuksen välillä on mahdollisimman pieni (Lämpökerroin kuvaa hyötysuhdetta 2017.) Näin ollen lämpöpumput soveltuvatkin parhaiten matalia lämpötiloja käyttäviin lämmitysverkostoihin, kuten esimerkiksi lattialämmitysverkoston (Vesikiertoinen lattialämmitys sopii maalämpöön 2017).

6.3.1 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu hyödyntää maaperään, kallioon tai vesistöihin varastoitunutta lämpöenergiaa. Maalämmössä käytettävä energia on peräisin auringosta, sekä maan sisuksista peräisin olevasta geotermisestä energiasta. Suomessa auringon säteilyn vaikutus maan lämpötilaan rajoittuu lähinnä maan pintakerrokseen, joten suurin osa käytetystä maalämmöstä on geotermistä lämpöenergiaa. Pintamaan lämpötila tasoittuu ja vakiintuu noin 15 m syvyydessä (Geoenergia 2018.) Maalämpöä voidaan hyödyntää rakennusten lämmittämiseen keräämällä lämpöä pystysuoran porakaivon, vaakakeruuputkiston tai vesistöön sijoitetun putkiston avulla. Suomessa pientalojen porakaivon syvyytenä käytetään yleensä maksimissaan noin 200 m, mutta suuremmissa kohteissa kaivon syvyytenä voidaan käyttää jopa 300 m. Vaakakeruuputkisto asennetaan yleensä noin 2 m syvyyteen siten, että putkistosta ei ole haittaa esimerkiksi tontin istutuksille. Vesistöissä lämmönkeruuputkien olisi oltava vähintään 3 m syvyydessä. Lämmönkeruuputkistossa kiertää yleensä jäätyvätön neste, johon maaperään varastoitunut lämpöenergia sitoutuu (Lämmöntalteenotto 2017.) Kuvassa 6 on esitetty maan lämpötila syvyyden funktiona.



KUVA 6. Maaperän pintakerroksen lämpötila syvyyden funktiona (Leppäharju 2008, s 7)

Maalämpöpumpulla voidaan lämmittää huoneistojen lisäksi myös käyttövedtä. Valmistajasta riippuen käyttöveden lämmitykseen voidaan käyttää joko tulistuspiiriä hyödyntävää lämpöpumppua, jossa esilämmitetyn käyttöveden lämpötila nostetaan lopulliseen lämpötilaan erillisellä lämmönsiirtimellä, tai vaihtuvan lauhdutuksen lämpöpumppua, jossa lämmitetään vuorotellen joko lämmitysverkostoa tai käyttövedtä sen käyttötilanteesta riippuen. Joissain tilanteissa käyttöveden lämpötilan nostamiseen joudutaan käyttämään myös sähkövastusta (Maalämpöpumppujen tekniikkaa 2017.)

Maalämpöpumppuja käytetään yleisimmin pientaloissa, mutta niitä voidaan käyttää myös isommissa kohteissa, kuten kerrostaloissa. Vanhaan kerrostaloon maalämpöpumppu voidaan asentaa, mikäli käytössä on vesikiertoinen lämmönjakotapa. Kerrostaloon sopiva lämmönkeruutapa on yleensä porakaivo, sillä se ei vaadi suurta tonttia. Mikäli maalämmöllä halutaan korvata kokonaan esimerkiksi kaukolämpö, on otettava huomioon pattereiden uudelleen mitoitus. Maalämmön lämmitysverkoston menoveden lämpötila on tyyppillisesti +30–40 °C ja kaukolämmössä olevan kiinteistön lämmitysverkoston menoveden lämpötila on yleensä noin +60–70 °C. Tästä syystä lämmityspattereita joudutaan yleensä isontamaan tai lisäämään (Lämmitysjärjestelmän vaihtaminen 2017.)

Maalämpöjärjestelmän rakentaminen edellyttää toimenpidelupaa lämmitysjärjestelmää vaihdettaessa. Vesistöön sijoitettava keruuputkisto vaatii myös vesistöalueen omistajan suostumuksen. Vesistöön sijoitettavasta keruuputkistosta tulee myös tehdä vesirakennusilmoitus elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselle. Ennen hankkeen aloittamista on selvitettävä, sijaitseeko tontti pohjavesi- tai muulla erityisalueella, ja onko maan alla vaurioitumisvaarassa olevia rakenteita tai teknisiä järjestelmiä. Jos lämpökaivoa suunnitellaan paikkaan, jossa on tai on ollut pilaantunutta maata, niin on selvitettävä, onko poraaminen mahdollista (Maalämpölupa 2016.)

6.3.2 Ilmalämpöpumput

Ilmalämpöpumppu hyödyntää ulkoa tai rakennuksen poistoilmasta saatavaa lämpöenergiaa, jota hyödynnetään huoneiston lämmittämiseen tai jäähdyttämiseen. Ilmalämpöpumput voidaan jakaa ilma-, ilma-vesi-, sekä poistoilmalämpöpumppuihin. Ulkoilmalämpöpumpussa on otettava huomioon lämpötilaero ulko- ja sisäilman välillä. Laitteesta riippuen ulkoilmalämpöpumpun suorituskyky heikkenee merkittävästi, kun ulkoilman lämpötila laskee alle $-15...-20\text{ °C}$, jolloin pumppu tuottaa lämpöä vain saman verran, kun se kuluttaa sähköä (Ilma-ilmalämpöpumppu 2008.)

Yleensä energiansäästöä saavutetaan paremmin Etelä-, kuin Pohjois-Suomessa, koska Etelä-Suomessa ilmasto on yleensä lämpimämpi. Toisaalta Pohjois-Suomessa lämmityskausi on pidempi, joten siellä vuosittainen energiansäästön mahdollisuus on suurempi (Ilmalämpöpumppu 2017.)

Ilma-ilmalämpöpumppu

Ilma-ilmalämpöpumppu hyödyntää ulkoilmasta saatavaa lämpöenergiaa, joka luovutetaan suoraan huoneilmaan. Ilma-ilmalämpöpumppua voidaan käyttää, joko huoneiston lämmittämiseen tai viilentämiseen, mutta ei käyttöveden lämmittämiseen. Ilma-ilmalämpöpumppu koostuu tavallisesti sisä- ja ulkoyksiköstä, joista toinen toimii höyrystimenä ja toinen lauhduttimena riippuen käytetäänkö pumppua lämmitys vai jäähdytystarkoituk-

seen. Suomessa ilma-ilmalämpöpumppua käytetään yleensä tukilämmitysmuotona varsinaisen lämmitysmuodon rinnalla, koska sillä ei pystytä kattamaan kylmimmän kauden lämmitystehontarvetta (Ilma-ilmalämpöpumppu 2008). Ilma-ilmalämpöpumppu soveltuu parhaiten pientaloihin suoran sähkölämmityksen rinnalle. Suhteellisesti suurin säästö saadaan pinta-alaltaan ja ominaiskulutukseltaan suurimmissa taloissa, jolloin energiansäästön mahdollisuus on suurempi (Ilmalämpöpumppu 2017).

Kerrostalokohteisiin ilma-ilmalämpöpumppua ei yleensä suositella muuten, kuin jäähdytyskäyttöön, sillä ongelmana on yleensä ulkoyksikön muodostama kondenssivesi, joka jäätyy helposti talvella (Ilmalämpöpumppu kerrostalossa 2017). Jos kaukolämpöä käytävässä kerrostalossa halutaan käyttää ilmalämpöpumppua jäähdyttämisen lisäksi myös lämmityskäyttöön, niin ilmalämpöpumpun kannattavuus riippuu siitä, että käyttäkö ilmalämpöpumppua yksittäinen huoneisto vai kerrostalon kaikki huoneistot. Yksittäisessä huoneistossa käytettävän ilmalämpöpumpun kannattavuus riippuu siitä, että mitataanko ja laskutetaanko kaukolämpöä huoneistokohtaisesti. Jos kaukolämpöä ei mitata huoneistokohtaisesti, niin asukas maksaa kaukolämmön lisäksi myös ilmalämpöpumpun käyttämän sähkön. Kaukolämmön ja sähkön hinta, ilmalämpöpumpun hyötysuhde ja sisäyksikön sijainti vaikuttavat myös lämmityksen kannattavuuteen (Ikonen 2014.)

Kerrostaloissa ilmalämpöpumpun ulkoyksikkö asennetaan yleensä parvekkeelle, koska muuten sillä olisi vaikutusta rakennuksen julkisivuun. Ulkoyksikön sijoittamisessa on myös otettava huomioon mahdollinen meluhaitta, sillä laitteen on myös täytettävä rakennusmääräyksissä annetut desibelivaatimukset. Lisäksi huoneiston ulkopuolelle tehtäviin muutoksiin on yleensä saatava taloyhtiön suostumus. (Ilmalämpöpumppu kerrostalossa 2017.)

Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumppu hyödyntää ulkoilmasta saatavaa lämpöenergiaa, joka luovutetaan vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Ilma-vesilämpöpumppua voidaan käyttää huoneiston, sekä käyttöveden lämmittämiseen. Vesi voidaan lämmittää kuitenkin ainoastaan noin 50 °C lämpötilaan, joten korkeampaan veden lämpötilaan päästään esimerkiksi sähkövastuksen tai muun lisälämmönlähteen avulla (Ilma-vesilämpöpumppu, UVLP 2017.)

Ilma-vesilämpöpumppua käytetään yleensä enimmäkseen pientaloissa, sillä suuremmissa kiinteistöissä varaajia ja lämpöpumppuyksiköitä tarvitaan mahdollisesti useita, mikä nostaa luonnollisesti kustannuksia. Ilma-vesilämpöpumppua kannattaa harkita, mikäli maalämmön asennus ei ole jostain syystä mahdollista toteuttaa. Ilma-vesilämpöpumpun rinnalle tarvitaan yleensä myös varalämmitysjärjestelmä. Esimerkiksi pientaloissa varaavan takan käyttö kylmimpien ilmojen aikana on hyvä tapa vähentää ostettavan sähköenergian määrää (Ilma-vesilämpöpumppu, UVLP 2017.)

Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppu käyttää hyödykseen rakennuksesta poistettavan ilman lämpöenergiaa, joten lämpöpumppu tarvitsee toimiakseen koneellisen poistoilman. Lämpöpumpulla voidaan lämmittää tuloilmaa, lämmintä käyttövettä tai vesikiertoista lämmitysjärjestelmää. Poistoilmalämpöpumpulla ei voida kuitenkaan tuottaa kaikkea talon tarvitsemaa lämmitysenergiaa. Kylmimmillä ilmoilla loppu lämmitystarve voidaan tuottaa esimerkiksi sähköllä tai kaukolämmöllä (Poistoilmalämpöpumppu 2017.)

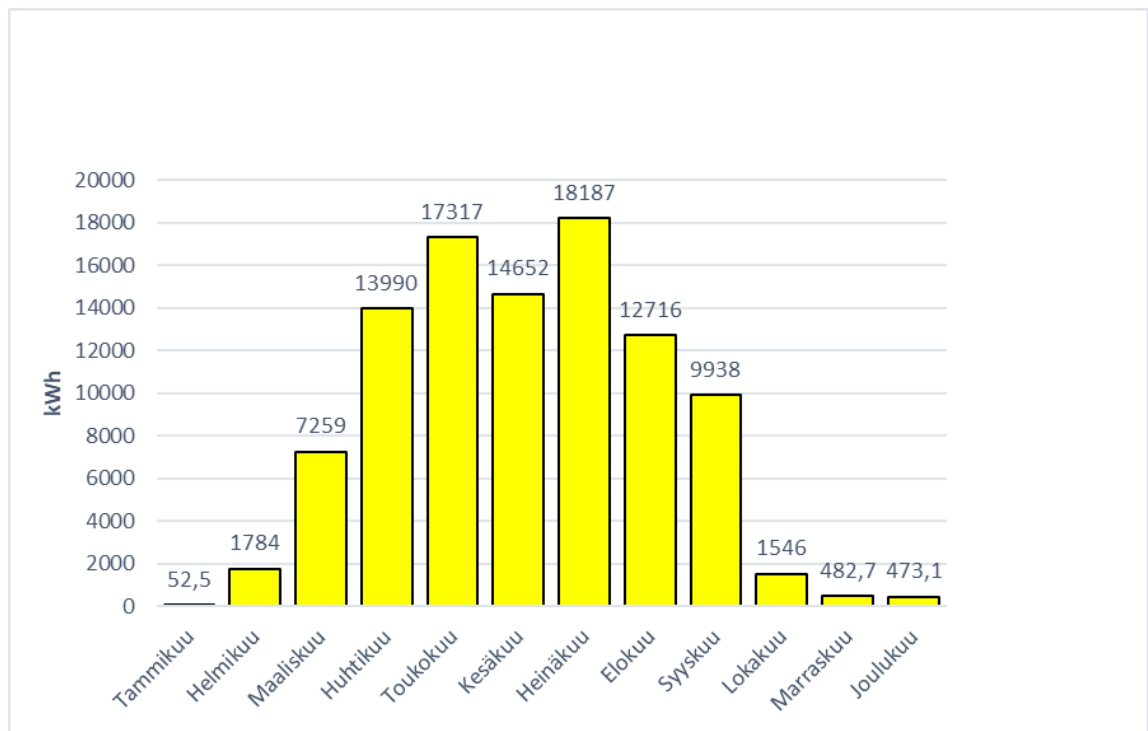
Poistoilmalämpöpumpulle, kuten muillekin lämmöntalteenottolaitteille on eduksi, jos rakennuksen poistoilma poistuu rakennuksesta mahdollisimman keskitetysti, sillä lämmöntalteenottopatteri on asennettava jokaiseen huippuimuriin. Kerrostaloissa talteen otettu lämpö johdetaan putkistoja pitkin yleensä lämmönjakuhuoneeseen, joka sijaitsee normaalisti rakennuksen pohjakerroksessa. Vanhoissa kerrostaloissa putkistot voidaan sijoittaa esimerkiksi rakennuksen ulkoseinälle, hissikuiluun, käytäville tai muihin kuiluihin (Sepänen 2001, s 381–382.)

6.4 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia tarkoittaa auringon säteilyenergian hyödyntämistä. Aurinko säteilee Suomessa yhtä tehokkaasti kuin esimerkiksi Pohjois-Saksassa, missä aurinkoenergialla kateetaan jo yli 5 % sähköntuotannosta. Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää tehokkaimmin yleensä maaliskuusta syyskuun loppuun saakka. Auringon säteilyä on mahdollista hyödyntää sekä sähkön että lämmön tuotantoon. Aurinkopaneeleilla tuotetaan sähköä ja aurinkokeräimillä kerätään lämpöenergiaa (Aurinkoenergia on luotettava valinta 2018.)

Aurinkolämmitys voidaan jakaa passiiviseen ja aktiiviseen lämmitykseen. Passiivisessa lämmityksessä hyödynnetään pääasiassa rakenteellisia seikkoja, jotka otetaan huomioon jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Aktiivisessa aurinkolämmityksessä hyödynnetään aurinkoenergiaa erilaisilla laitteilla, kuten aurinkokeräimillä (Seppänen 2001, s 335, 347.)

Kuviossa 5 on esitetty aurinkokeräimillä saatavan energian määrää Tampereella. Kuvio on saatu dynaamisella simuloinnilla, jossa simuloitiin Tampereella sijaitsevaa kerrostaloa (As Oy Pohjolankatu 10). Rakennuksen katolle sijoitettiin 250 m² etelään suunnattuja tyhjiöputkikeräimiä 45° kulmassa.



KUVIO 5. Aurinkokeräimillä saatava energia kuukausittain

6.4.1 Aktiivinen aurinkoenergia

Aktiivisessa aurinkolämmityksessä käytetään erilaisia aurinkokeräintyyppisiä, joita ovat nestekiertoinen tasokeräin, ilmakiertoinen tasokeräin, tyhjiöputkikeräin ja keskittävät keräimet. Keräin toimii siten, että auringon tuottama lämpö siirtyy aurinkokeräimen sisällä olevissa putkissa virtaavaan nesteeseen. Lämmennyt neste siirretään putkistoa pitkin lämmitysjärjestelmään tai lämminvesivaraajaan myöhempää käyttöä varten. Lämmön-

siirtoaineena käytetään Suomen olosuhteissa yleensä vesi-glykoliseosta nesteen jäätyksen ehkäisemiseksi. Aurinkokeräimet pyritään suuntaamaan siten, että suurin osa aurinгон säteilystä saadaan hyötykäyttöön. Kerätyn energian määrä riippuu kerääjien kokonaispinta-alasta, jonka tulee olla oikeassa suhteessa lämmöntarpeeseen nähden (Seppänen 2001, s 338–339.)

Aurinkokeräimiä voidaan käyttää käyttöveden, sekä rakennuksen lämmitykseen. Mitä alhaisempi lämmitysjärjestelmän lämpötilataso on, niin sitä enemmän aurinkoenergiaa saadaan hyödynnettyä. Aurinkolämmitys ei voi toimia yksinään päälämmitysjärjestelmänä, vaan se vaatii aina lisälämmitystä. Järjestelmä kannattakin mitoittaa siten, että se kattaa vain 30–70 % vuotuisesta lämmöntarpeesta (Seppänen 2001, s 344–345.)

Aurinkojärjestelmien kannattavuuteen vaikuttaa myös merkittävästi aurinkoenergian saatavuus, sekä ulkoilman lämpötila. Aurinkolämmityksen käytössä on ongelmana se, että yleensä kerääjistä saadaan vähiten lämpöenergiaa juuri silloin, kun lämmityksen tarve on suurimmillaan. Aurinkolämpöä kannattaakin varastoida esimerkiksi lämminvesivaraajaan, silloin kun sitä on saatavilla (Seppänen 2001, s 335.)

Aurinkoenergian käytön haasteena on myös keräimien puhtaana pitäminen, sillä keräimien likaantuminen voi alentaa merkittävästi järjestelmän hyötysuhdetta. Keräimien puhtaanapitoon ja likaantumisen ehkäisemiseen on erilaisia keinoja, kuten keräimen pinnoittaminen, käsin puhdistus, mekaaninen puhdistus ja sähköstaattinen puhdistus (Soklic, A. 2014.) Ympäristötekijät, kuten vesisade ja tuuli auttavat myös pitämään keräimien pintoja puhtaampina, mutta niiden vaikutusta yksinään ei yleensä pidetä kovin tehokkaina (Gaofa, H. 2011).

6.5 Patteriverkoston säätö

Patteriverkoston säädön tarkoituksena on, että pattereiden lämmönluovutus saataisiin vastaamaan huoneen lämmöntarvetta. Verkoston säätäminen on välttämätöntä, koska käytännössä pattereiden mitoitus on epätarkkaa, sekä rakenteiden eristys ei aina vastaa laskelmissa käytettyä. Verkoston säätäminen suoritetaan usein huolimattomasti rahan, ajan tai ammattitaidon puutteen vuoksi. Vanhoissa kiinteistöissä verkostonsäätö on usein suoritettu puutteellisesti jo rakennuksen käyttöönottovaiheessa. Huonon verkostonsäädön

takia järjestelmässä on epätasapaino ja vesivirrat eivät vastaa lämmöntarvetta, joten koko verkoston menoveden lämpötilaa joudutaan ohjaamaan muutaman kylmän huoneen perusteella. Tästä johtuen rakennuksen muut huoneet lämpenevät liikaa, jolloin hukataan energiaa. Verkoston tasapainottamisella saavutetaan merkittäviä lämmitysenergian säästöjä (Seppänen 2001, s 172–173.)

Patteriverkoston vesivirrat jakaantuvat eri linjojen ja pattereiden kesken siten, että siellä kohdassa missä virtausvastusta on vähiten, kulkee eniten vettä. Patterin lämmönluovutusta säädetään menoveden lämpötilaa muuttamalla tai säätämällä patterin läpi kulkevaa vesivirtaa. Huonelämpötilojen tasaaminen perustuu patterin kautta kulkevan vesivirran säätämiseen. Patterilinjojen säätäminen tapahtuu linjasäätöventtiileillä, joilla voidaan säätää linjassa virtaavaa vesimäärää. Patterin kautta kulkevaa vesivirtaa säädetään patteriventtiilillä (Seppänen 2001, s 174.)

Patteriverkoston säätöä ei kannata suorittaa, mikäli rakennus ja sen lämmityslaitteet eivät ole tarpeeksi hyvässä kunnossa säätötyön suorittamiseksi. Rakenteiden kautta tapahtuva lämpöhäviö aiheuttaa suurta lämpöhukkaa ja voi aiheuttaa huoneen lämpötilojen epätasaisuutta. Ilmanvaihtoon liittyvät korjaustyöt olisi myös suositeltavaa tehdä säätötyön yhteydessä. Lisäksi lämmitysjärjestelmässä tulee olla automaattinen säätölaitteisto, joka säätää pattereille virtaavan menoveden lämpötilan ulkoilman lämpötilan perusteella. Patteri- ja linjasäätöventtiilien säätötyö edellyttää myös toimivia venttiileitä (Seppänen 2001, s 174–176.)

Oikein tehdyllä patteriverkoston perussäädöllä saavutetaan asumisviihtyvyyden parane- mista ja mahdollisesti jopa 10–15 % säästöä energiankulutuksessa. Kustannussäästöt riip- puvat kuitenkin paljon kiinteistön lämmitysolosuhteiden lähtötilanteesta. Huonelämpö- tilojen pudottaminen yhdellä asteella laskee asuinkerrostalon lämmityskustannuksia keski- määrin viisi prosenttia. Energiansäästöä ei synny, mikäli huonelämpötiloja ei voida pu- dottaa lähtötilanteesta (Patteriverkoston perussäätö 2017.)

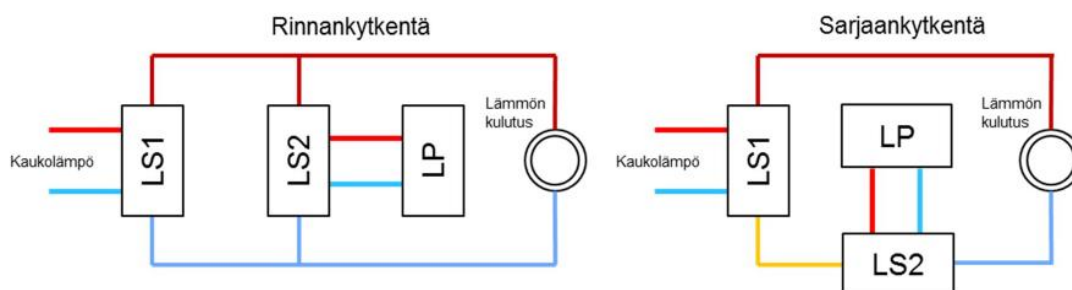
7 HYBRIDIJÄRJESTELMÄN VAIKUTUS KAUKOLÄMPÖÖN

7.1 Yleisesti

Kaukolämpöjärjestelmä on suunniteltu kattamaan rakennusten lämmitystarve kaikissa olosuhteissa. Rinnakkaislämmönlähteet, kuten esimerkiksi kerrostaloihin tarkoitetut lämmöntalteenottojärjestelmät tuottavat vain osan rakennuksen lämmöntarpeesta, joten kaukolämpöä tarvitaan usein täydentävänä lämmönlähteenä. Rinnakkaislämmönlähteet pienentävät kaukolämmön kulutusta ja kytkennästä riippuen nostavat kaukolämpöverkoston palaavan veden lämpötilaa tai leikkaavat kaukolämmön kulutusta. Nämä molemmat heikentävät sekä kaukolämpöverkoston että yhteistuotannon tehokkuutta (Räimä, Similä & Niemi 2015, s 3–6.)

7.2 Kytkenät

Kytkenöille on kaksi päätyyppiä (kuva 7); rinnan- ja sarjaankytkentä. Rinnankytkennässä kaukolämpö ja rinnakkaislämmönlähde lämmittävät samaa lämmönjakeluverkostosta palaavaa vettä. Tämä tarkoittaa sitä, että rinnakkaislämmönlähde leikkaa pelkästään kaukolämmön kulutusta, mutta ei jäähtymää. Rinnakkaislämmönlähteisiin liitetään usein myös lämminvesivaraaja, mikä parantaa rinnakkaislämmön hyötyä. Sarjaankytkennässä rinnakkaislämmönlähde esilämmittää paluuvirtausta ja käyttövettä ennen kaukolämpösiirrintä. Tämä nostaa esimerkiksi lämpöpumpun tehokkuutta ja tuotantoa, mutta nostaa kaukolämmön paluulämpötilaa (Räimä, Similä & Niemi 2015, s 3–6.)



KUVA 7. Kaukolämmön ja rinnakkaislämmönlähteen periaatteelliset kytkennät (Räimä, Similä & Niemi 2015, s 4)

Kaukolämpöyhtiöiden näkökulmasta rinnakkaislämmönlähteet vaikuttavat niiden liiketoimintaan negatiivisesti. Kaukolämmön paluueden jäähtymisen ja kaukolämmön kulutuksen vähentäminen johtavat yleensä kaukolämmön perusmaksun nostamiseen. Rinnakkaislämmönlähteiden, erityisesti lämpöpumppujen käyttö kaukolämmön rinnalla lisää myös primäärienergian kulutusta, ja samalla huonontaa kaukolämpölaitoksen sähköntuotannon hyötysuhdetta (Räimä, Similä & Niemi 2015, s 4–5.)

8 KAUKOLÄMMÖN ENERGIA- JA TEHOMAKSUT

8.1 Maksujen koostuminen

Kaukolämpölasku koostuu tyypillisesti mitatusta energiamaksusta ja tehomaksusta. Energiamaksun hintaan vaikuttavat kaukolämmön tuotantoon käytetyt polttoaineet ja lämmönhankinnan kustannukset. Tehon tai vesivirran tarpeeseen perustuvalla tehomaksulla katetaan pääosin lämmönhankinnan ja -siirron kustannuksia. Tehomaksujen osuus on keskimäärin 10–50 % vuotuisesta kaukolämpölaskusta. Energiamaksujen osuus koko laskusta on yleensä pienempi vähän kaukolämpöä käyttävillä asiakkailla (Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina 2014.)

8.2 Maksuperusteiden tarkistaminen

Jos kaukolämmön maksun perusteet ovat muuttuneet vuosien kuluessa, niin vanhat sopimusperusteet eivät välttämättä vastaa enää nykyisiä määräyksiä. Saman ikäisten ja -tyyppisten, mutta eri aikaan kaukolämpöön liittyneiden rakennusten maksuperusteet voivat tästä johtuen olla erilaiset, vaikka niiden todellinen tehontarve olisikin sama. Rakennusten kaukolämmön tarve vaihtelee merkittävästi myös käytöstä ja käyttäjistä riippuen (Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina 2014.)

Asiakkaalla on oikeus tarkistuttaa maksuperusteet lämpösopimuksen ja sopimusehtojen mukaisesti. Muutostarve voi syntyä, kun esimerkiksi rakennukseen on tehty energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä. Kaukolämpöyrityksellä tulee olla avoin ja selkeä tapa, jolla asiakkaan tehonkäyttö tai -tarve voidaan tarkastaa (Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina 2014.)

Kaukolämpöyritys voi tarkistaa laskutusperusteet joko omasta aloitteestaan tai asiakkaan pyynnöstä. Tarkastuspyynnössä tulisi olla kirjallinen kuvaus rakennuksessa mahdollisesti tehdyistä korjaus- tai muutostöistä, jotka ovat saattaneet vaikuttaa kaukolämmön tehon tai vesivirran tarpeen muuttumiseen esimerkiksi lämmityslaitteiden uusinnan tai korjausrakentamisen vuoksi (Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina 2014.)

Maksuperustetta muutetaan joko pienemmäksi tai suuremmaksi mittauksista saatujen tietojen perusteella. Tarkistaminen voidaan tehdä luotettavasti aikaisintaan ensimmäisen lämmityskauden jälkeen. Kun maksuperustetta muutetaan, niin asiakkaalle on tiedotettava muutoksesta selkeästi (Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina 2014.)

9 ESIMERKKIKOHDE

Tampereella sijaitsevan 1980-luvulla rakennetun asuinkerrostalon (kuva 8) tavoitteena on laskea lämmitysenergian kulutusta poistoilman lämmöntalteenoton, sekä maalämmön avulla. Rakennuksen nykyinen lämmöntuottotapa on kaukolämpö ja lämmönsiirtotapana toimii vesikiertoinen patterilämmitys. Ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen poistoilma.



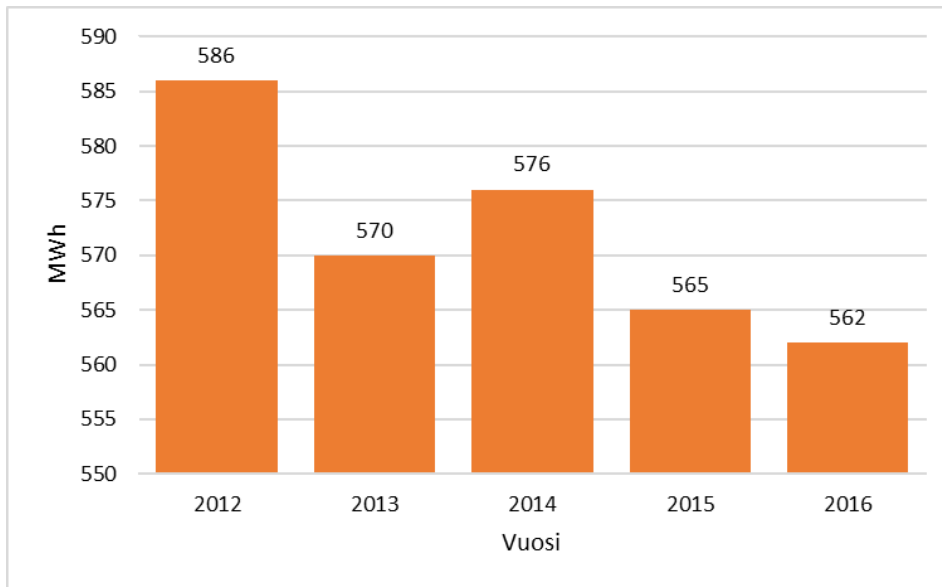
KUVA 8. As Oy Pohjolankatu 10

9.1 Rakennuksen tiedot

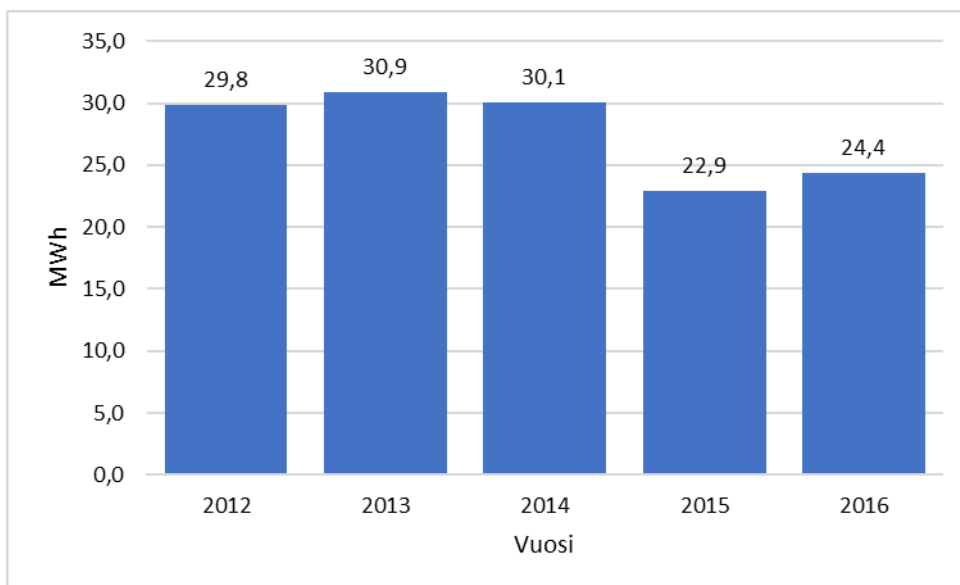
Sijainti:	Tampere
Taloyhtiö:	As Oy Pohjolankatu 10
Talon valmistumisvuosi:	1983
Lämmitystapa:	Kaukolämpö
Ilmanvaihto:	Koneellinen poisto
Rakennusten lukumäärä:	1 kpl
Huoneistojen lukumäärä:	66 kpl
Rakennuksen pinta-ala:	4752 m ²
Lämmitettävä pinta-ala:	3978 m ²
Rakennuksen tilavuus:	16450 m ³

9.2 Energiankulutus

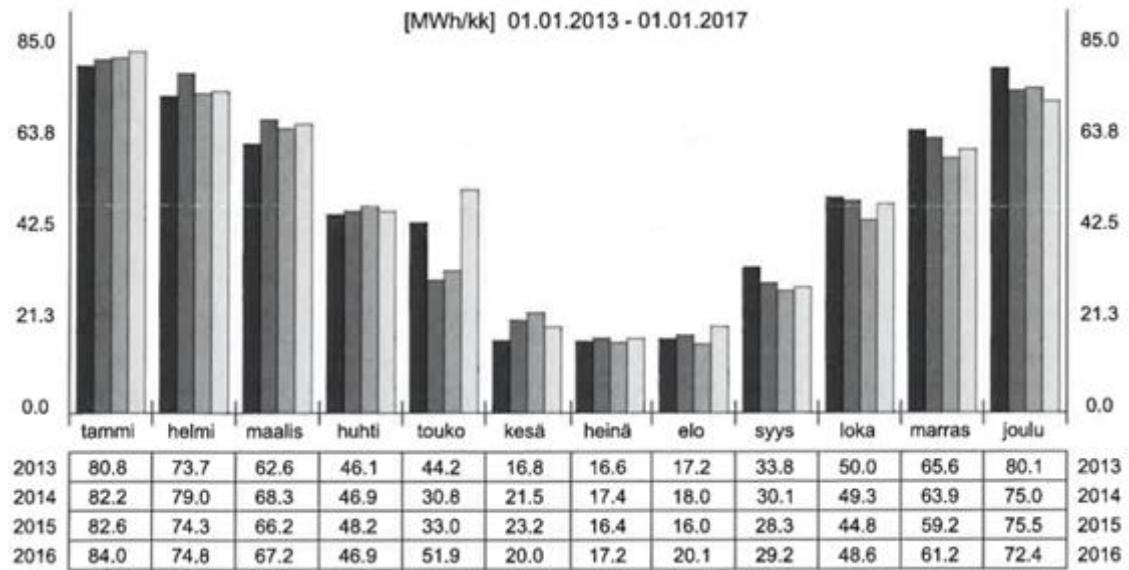
Rakennuksen energiankulutukset saatiin selville taloyhtiön toimintakertomuksesta vuodelta 2016. Vuosien 2012–2016 lämpötilakorjatut kaukolämmön keskipöytäkulutukset nähdään kuviosta 6. Vuosien 2012–2016 sähkönkulutukset nähdään kuviosta 7. Kuviosta 8 nähdään tarkemmin, kuinka kaukolämmön kulutus on jakautunut eri kuukausille.



KUVIO 6. Kaukolämmön kulutukset vuosina 2012–2016



KUVIO 7. Sähkönkulutukset vuosina 2012–2016



KUVIO 8. Kaukolämmönkulutus kuukausittain vuosina 2013–2016 (Kaukolämmön käyttöraportti 2017)

Kuviosta 8 huomataan myös, kuinka paljon kaukolämpöä on kulunut pelkästään käyttöveden lämmittämiseen. Kesäaikaan rakennusta ei tarvitse lämmittää, joten käyttöveden lämmittämiseen kuluva keskikulutus saadaan, kun lasketaan kesä–elokuussa saatujen kaukolämmön kulutusten keskiarvo. Kaukolämmön käytöstä käyttöveden lämmittämiseen kuluu keskimäärin 18,4 MWh/a.

Taulukossa 1 on esitetty rakennuksen lämpöindeksit vuosilta 2012–2016. Taulukossa 2 on taas esitetty lämpöindeksien vertailuarvoja eri ikäisille asuinkerrostaloille. Kun rakennuksen lämpöindeksejä verrataan taulukon 2 arvoihin niin huomataan, että rakennuksen lämpöindeksit ovat alle vertailuryhmän lämpöindeksien.

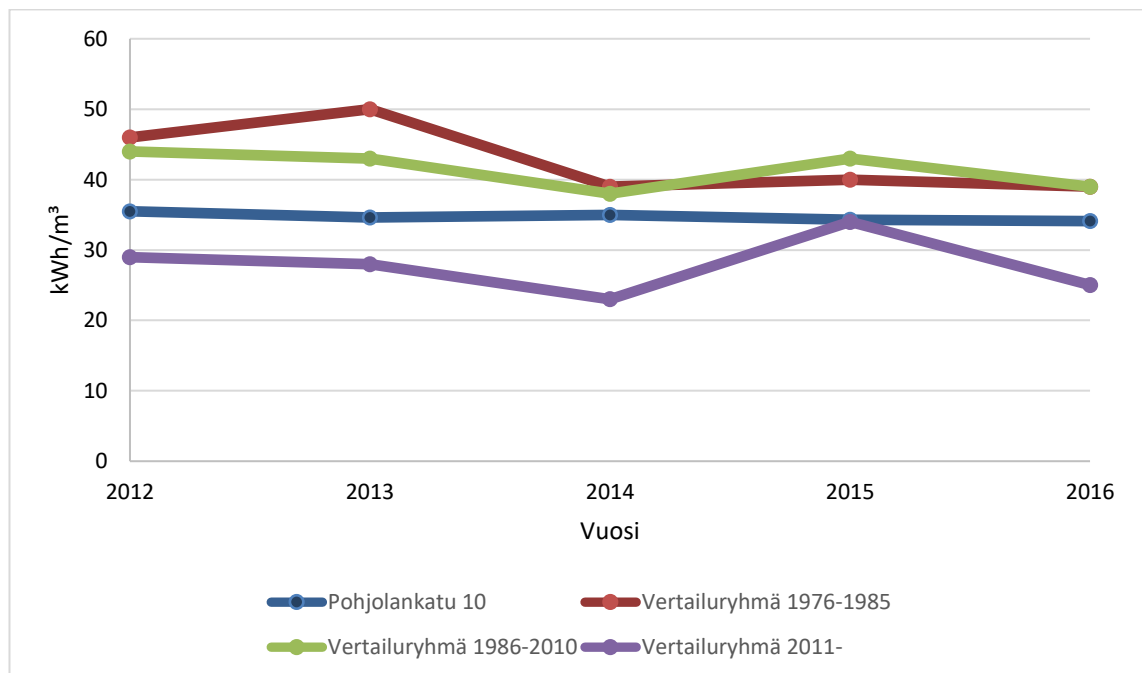
TAULUKKO 1. Lämpöindeksit vuosilta 2012–2016

Vuosi	2012	2013	2014	2015	2016
Lämpöindeksi (kWh/m ³)	35,5	34,6	35	34,3	34,1

TAULUKKO 2. Vertailukiinteistöjen lämpöindeksit vuosilta 2012–2016 (Kaukolämmön käyttöraportti 2017)

Rakennusluokka	Rakennuksen valmistumisvuosi	Vertailuryhmän lämpöindeksi 2012 kWh/m ³	Vertailuryhmän lämpöindeksi 2013 kWh/m ³	Vertailuryhmän lämpöindeksi 2014 kWh/m ³	Vertailuryhmän lämpöindeksi 2015 kWh/m ³	Vertailuryhmän lämpöindeksi 2016 kWh/m ³
03 Asuinkerrostalot	- 1945	47	45	37	38	39
	1946 - 1955	52	48	41	47	40
	1956 - 1965	52	52	42	45	42
	1966 - 1975	53	49	42	44	41
	1976 - 1985	46	50	39	40	39
	1986 - 2010	44	43	38	43	39
2011 -	29	28	23	34	25	
Yleinen		32	31	30	30	27

Kuviossa 9 on vertailtu Pohjolankatu 10:n lämpöindeksejä kaiken ikäisten asuinkerrostalojen kanssa. Kuvioista huomataan, että Pohjolankatu 10:n lämpöindeksit ovat myös alemmat, kuin 1986–2010 vuosien vertailuryhmän asuinkerrostaloissa. Tämä saattaa selittyä osin sillä, että kyseisen rakennuksen valmistumisvuosi on 1983, joka on lähellä 1976–1985 vertailuryhmän loppupäätä ja taas 1986–2010 vertailuryhmän alkupäätä.



KUVIO 9. Asuinkerrostalojen lämpöindeksivertailu

9.3 Poistoilman lämmöntalteenotto yhdistettynä maalämpöön

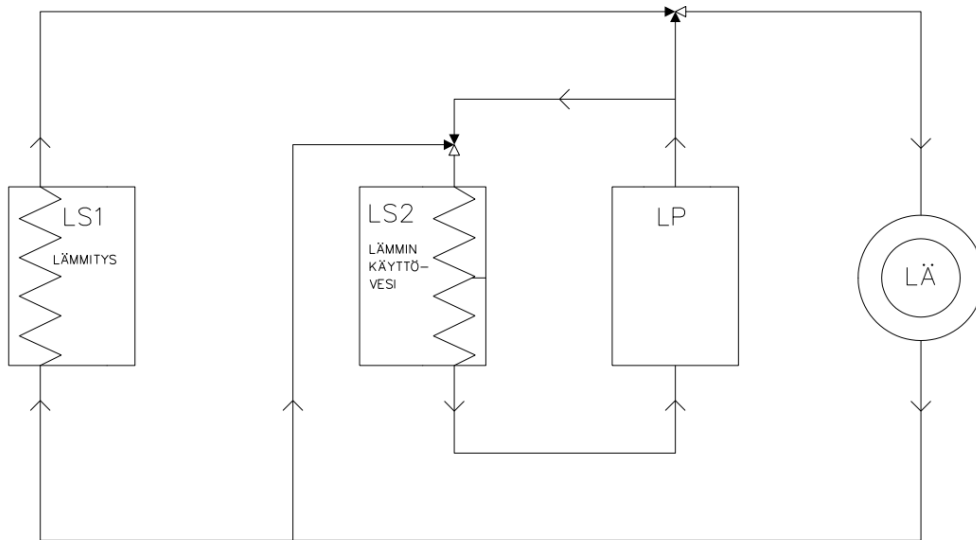
Poistoilman lämmöntalteenoton ja maalämmön kannattavuutta lähdettiin tutkimaan Högfors GST:n tarjoaman hybridijärjestelmän avulla. Högforsin järjestelmässä yksi lämpöpumppu hyödyntää sekä maasta että poistoilmasta saatavan energian. Hybridijärjestelmän rinnalle jää käyttöön vielä kaukolämpö, jolla veden lämpötila saadaan nostettua tarvittaessa korkeammaksi. Mikäli kaukolämpö haluttaisiin jättää kokonaan pois, niin lämmitysjärjestelmä pitäisi varustaa jollain muulla varajärjestelmällä, kuten esimerkiksi sähkökattilalla. Koska patteriverkoston menoveden lämpötila voidaan nostaa kaukolämmön avulla nykyiseen lämpötilaan, niin pattereiden ja putkistojen uudelleen mitoitus ei tarvitse tehdä. Näin myös lämpöpumpun hyötysuhde pysyy hyvänä, kun veden lämpötilaa ei tarvitse nostaa lämpöpumpun avulla yli 55 °C.

9.3.1 Järjestelmän toiminta

Högforsin automaatiojärjestelmä ohjaa hybridijärjestelmän kokonaisuutta. Järjestelmä on etäohjattavissa ja säädettävissä etävalvomosta. Lämmön tuottamiseen käytetty sähköenergia mitataan Modbus-rajapinnan kautta Högforsin Fiksu-järjestelmään. Järjestelmä laskee tuotetusta ja kulutetusta energiasta hyötysuhteen, kustannussäästöt ja energiamäärät, sekä luo niistä raportit määräajoin.

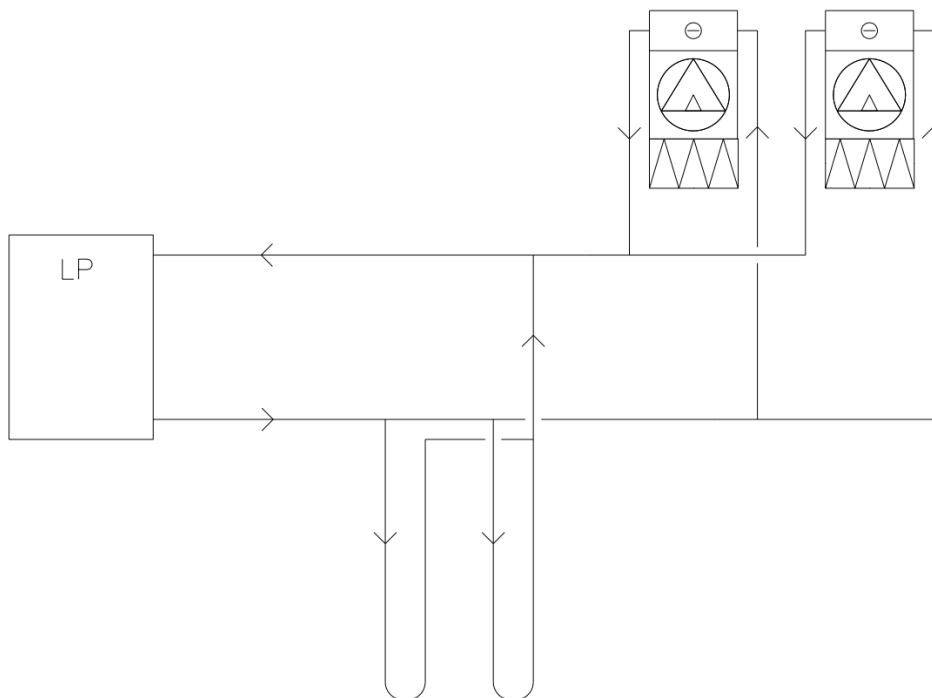
Tässä järjestelmässä lämmitysverkosto kytketään rinnankytkennällä siten, että kaukolämpö ja lämpöpumppu lämmittävät samaa lämmönjakeluverkostosta palaavaa vettä. Lämmitysverkoston lämmitys tapahtuu kuitenkin ensisijaisesti lämmönkeruujärjestelmän tuottamalla lämmöllä. Kaukolämmöllä varmistetaan lämmön riittävyys. Automaatiojärjestelmä optimoi säätöjä energiakustannusperusteisesti.

Käyttöveden lämmitys hoidetaan puolestaan sarjaankytkennällä siten, että lämpöpumppu ja lämmitysverkostosta palaava vesi esilämmittävät käyttövettä ennen kaukolämpösiirintä. Kun lämmitysverkostossa ei tarvita lämmönkeruujärjestelmällä tuotettua lämpöä, niin hyödynnetään sitä käyttöveden esilämmitykseen. Lämmitysverkoston yksinkertaistettu kytkentäkaavio on esitetty kuvassa 9.



KUVA 9. Yksinkertaistettu kytkentäkaavio lämmitysverkostosta

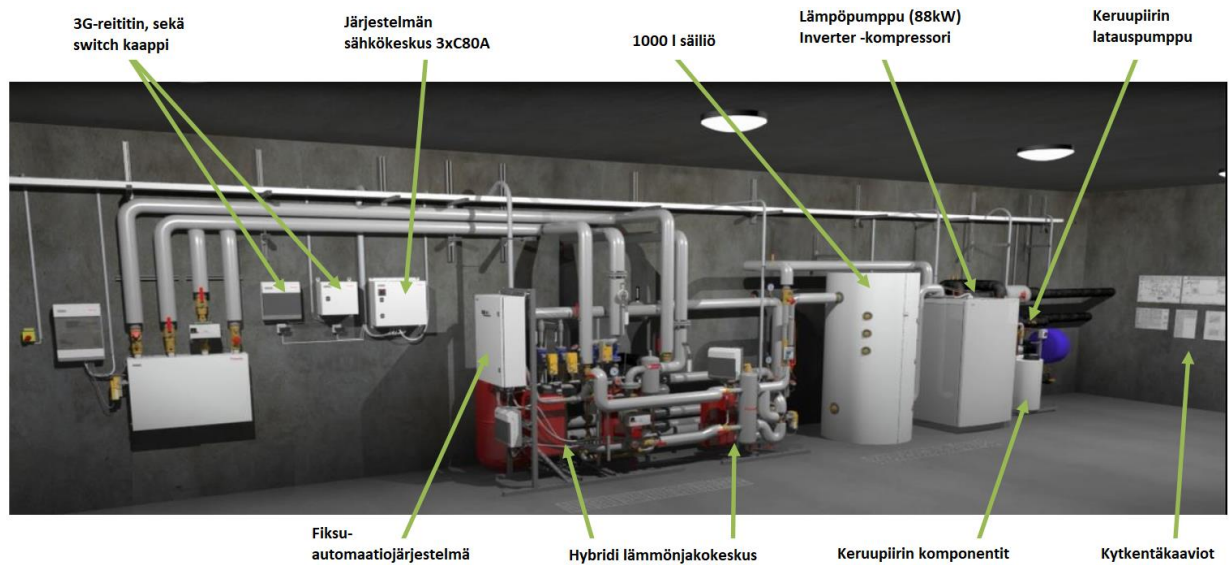
Högfors GST:n mitoitusten mukaan maalämpöä varten tarvitaan kaksi porakaivoa, joiden yhteispituus on 400 m. Keruupiirissä kiertävä neste on 30 % propyleeniglykoli-vesiseos. Poistoilman lämmöntalteenottoyksiköitä tarvitaan kaksi, koska rakennuksessa on kaksi huippuimuria. Kuvassa 10 on esitetty yksinkertaistettu kytkentäkaavio keruupiiristä.



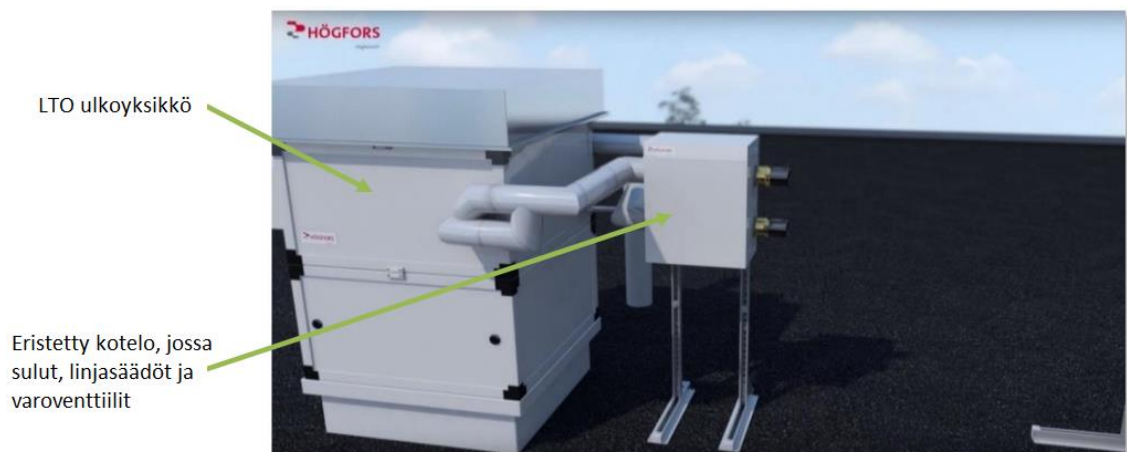
KUVA 10. Yksinkertaistettu kytkentäkaavio keruupiiristä

9.3.2 Järjestelmän komponentit

Kuvassa 11 on esitetty lämmönjakohuoneeseen sijoitettavat pääkomponentit, sekä kuvassa 12 on esitetty vesikatolle tulevat komponentit. Kuvassa 13 on esitetty esimerkiksi ullakolle sijoitettavat komponentit.



KUVA 11. Lämmönjakohuoneeseen tulevat pääkomponentit (Högfors GST 2018, muokattu)



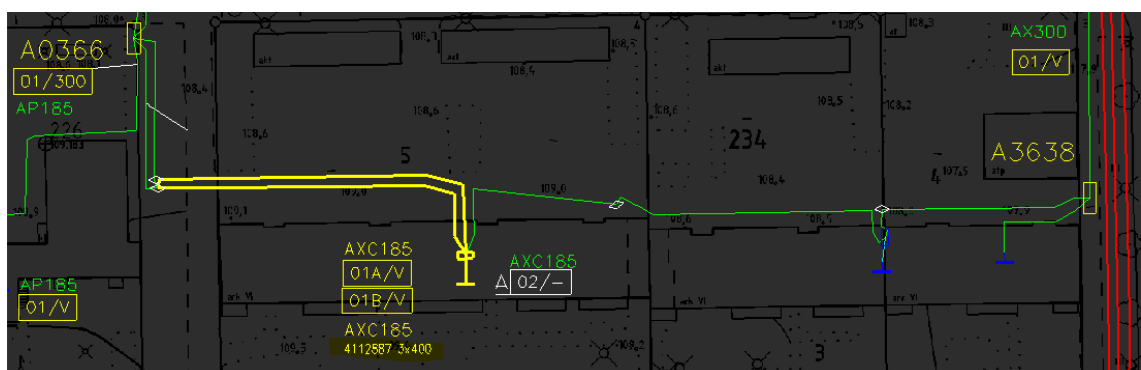
KUVA 12. Vesikatolle tulevat komponentit (Högfors GST 2018, muokattu)



KUVA 13. Esimerkiksi ullakolle sijoitettavat komponentit (Högfors GST 2018, muokattu)

9.3.3 Sähköliittymän riittävyys

Högfors GST:n hybridijärjestelmän vaatima sulakekoko kiinteistön pää- tai ryhmäkeskuksesta on 3xC80 A. Tampereen sähkölaitoksen mukaan kiinteistön nykyisen sähköliittymän koko on 3x400 A ja kiinteistönmittauksen etusulake on 3x100 A. Tampereen sähkölaitoksen mukaan kiinteistössä on nykyään verkkoyhtiön rengaskeskus, joka poistuu, mikäli pääkeskukseen tehdään muutoksia. Kiinteistön sähköliittymä on esitetty kuvassa 14.



KUVA 14. Kiinteistön sähköliittymä

Vaikka nykyiset pääsulakkeet ovat isommat, kuin mitä lämpöpumppu vaatii, niin sulakkeiden koko ei välttämättä riitä lämpöpumpun asennuksen jälkeen, koska lämpöpumpun

vaatiman sähkön lisäksi on huomioitava myös rakennuksen muu sähkön käyttö. Nykyistä sähkön käyttöä voidaan arvioida esimerkiksi mittaamalla kulutusta noin parin viikon ajan. Sähkökeskukseen voi myös mahdollisesti vaihtaa isommat sulakkeet, jolloin itse sähkökeskusta ei tarvitse uusia. Sähkön ammattilaisen tulisi varmistaa nykyisten sulakkeiden riittävyys, sekä sulakekoon suurentamisen mahdollisuus.

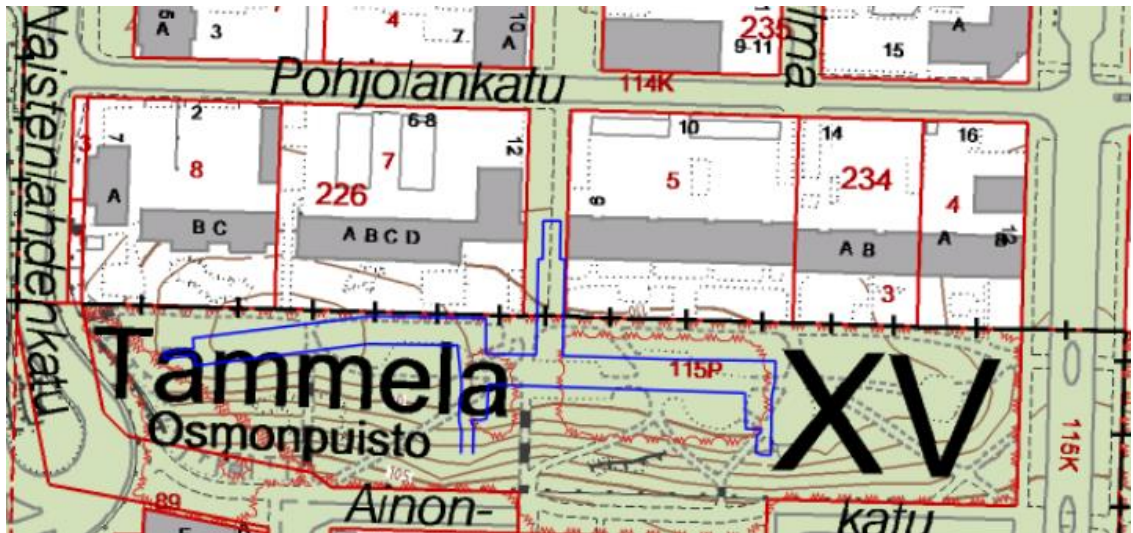
9.3.4 Maalämmön poraus

Tampereen kaupungin rakennusjärjestyksen mukaan As Oy Pohjolankatu 10 ei sijaitse lämpökaivojen kieltoalueella, joten maalämpöluvan saamiselle ei pitäisi olla estettä. Kuvaan 15 on merkattu punaisella lämpökaivojen kieltoalueet Tampereen keskustan lähistöllä.



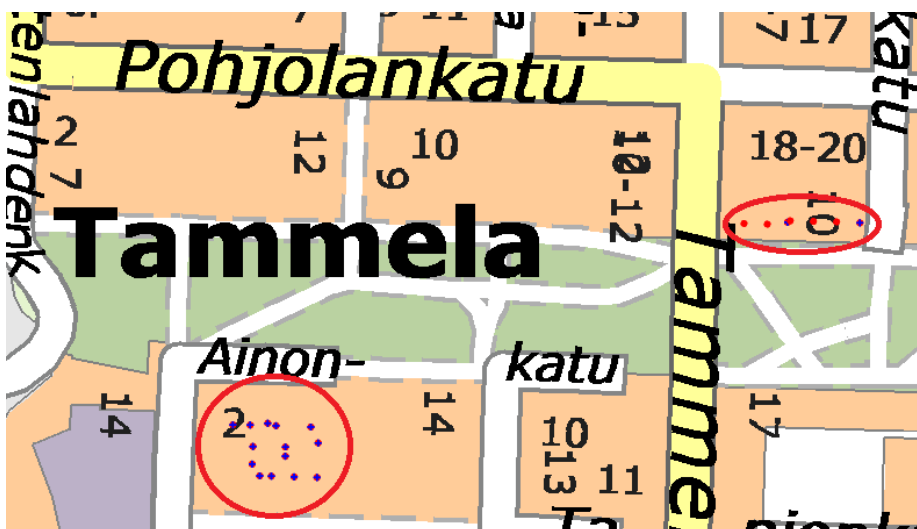
KUVA 15. Lämpökaivojen kieltoalueet Tampereen keskustassa (Tampereen karttapalvelu 2018)

Rakennus sijaitsee kuitenkin melko lähellä Osmonpuiston luolaa, joten se täytyy ottaa suunnittelussa huomioon. Luolan rajat on merkattu kuvaan 16 sinisellä viivalla.



KUVA 16. Osmonpuiston luola (Tampereen karttapalvelu 2018)

Tampereen kaupungin rakennusjärjestyksen (2014) mukaan porauksessa on myös otettava huomioon lämpökaivojen keskinäinen vähimmäisetäisyys, mikäli lämpökaivoja sijaitsee kahden eri kiinteistön alueella. Vähimmäisetäisyydeksi on määrätty 15 metriä, jotta vierekkäiset reiät eivät vaikuttaisi vähentävästi toisensa energiamäärän saantiin tai aiheuta maaperän routimista. Reikää ei saa porata myöskään ilman naapurin suostumusta 7,5 metriä lähemmäksi naapuritontin rajaa. Lämpökaivon etäisyys viemäreistä, vesijohtoista ja kaukolämpöputkista tulee olla vähintään 3 metriä. Kuvassa 17 on esitetty lähistöllä olemassa olevat maalämpökaivot.



KUVA 17. Lähistöllä olevat maalämpökaivot (Tampereen karttapalvelu 2018)

9.3.5 Järjestelmän kannattavuus

Nämä järjestelmän kannattavuuslaskelmat perustuvat Högfors GST:n tekemiin arvioihin, ilmanvaihdon mittauspöytäkirjaan (2016), sekä taloyhtiön toimintakertomuksesta (2016) saatuihin tietoihin. Högfors GST:n arviot järjestelmän tuotoista ja kulutuksista on esitetty liitteessä 1.

Järjestelmän kannattavuuden laskennassa on otettu huomioon seuraavat asiat:

Lähtötiedot:

- Kaukolämmön keskikulutus 571 MWh/a.
- Käyttöveden keskikulutus 4510 m³/a.
- Mitatut poistoilmamäärät molemmille huippuimureille -1325 l/s ja -1144 l/s.
- Säävyöhyke 2.

Oletukset:

- Kaukolämmön hinta ensimmäisenä vuotena 77,85 €/MWh.
- Sähkön hinta ensimmäisenä vuotena 110 €/MWh.
- Lämpöpumpun SCOP 3,7.
- Lämmitysenergian hinta lämpöpumpulla (sähkön hinta/SCOP) 29,7 €/MWh.
- Lämmitysenergian hinta lämpöpumppu + kaukolämpö 39,9 €/MWh.
- Yleinen 2 % vuotuinen hintojen nousu.

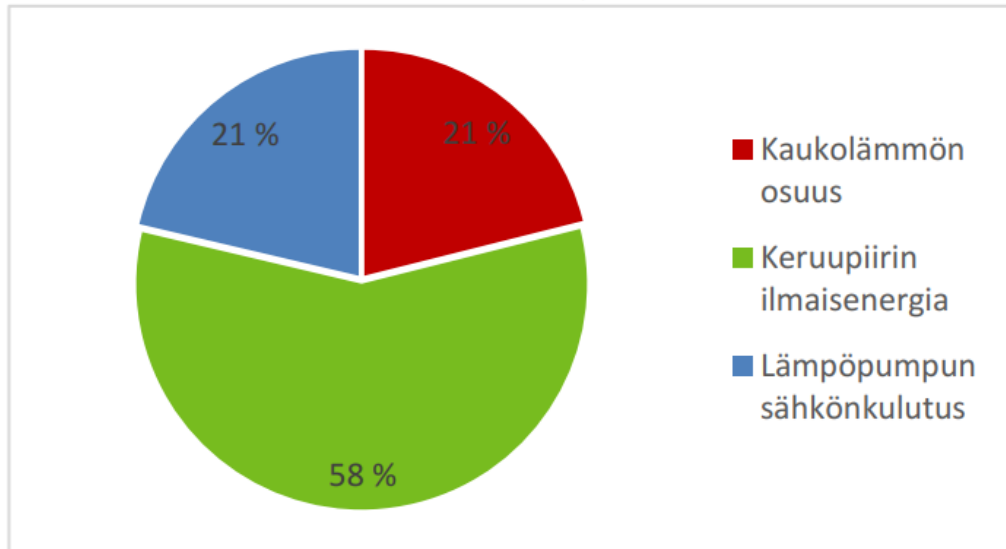
- Kaukolämpölaitteisto (18600 €), poistoilmapuhaltimet (8680 €) ja niihin liittyvä automaatio (5580€) ovat käyttöikänsä päässä, joten niistä aiheutuvat kustannukset on vähennetty laskelmissa.
- Lämpöpumpun kompressorin uusiminen 15 vuoden kuluttua, sillä kompressorin tekninen käyttöikä on noin 15 vuotta. Kompressorien käyttöikä voi kuitenkin lyhentyä merkittävästi, mikäli lämpöpumppujärjestelmä on mitoitettu virheellisesti.
- Poistoilmapuhaltimien käyttöajat: 18h/vrk puhaltimet käyvät 60 % teholla ja 6h/vrk puhaltimet käyvät 100 % teholla.
- Tehostuksen pakkasraja -5 °C
- Poistoilman ka lämpötila 21 °C
- Poistoilmapuhaltimien sähkönkulutus 7826 kWh/a.
- Maapiiristä saatava energia 62 MWh/a
- Keruupiiristä saatava energia yhteensä 328,8 MWh/a
- Lämpöpumpun kuluttaman sähkön osuus 121,8 MWh/a

Laskennassa ei ole otettu huomioon seuraavia asioita:

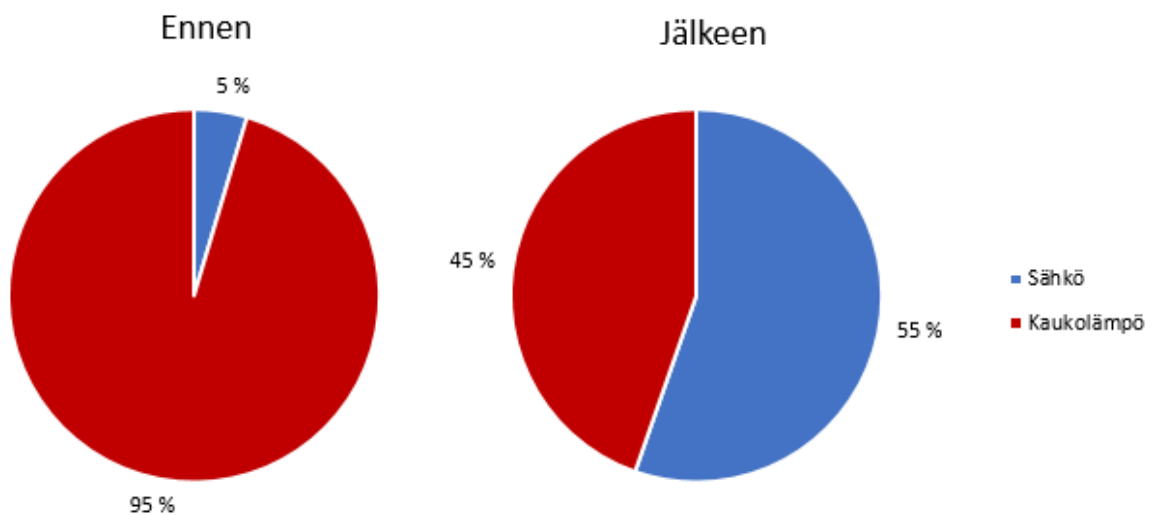
- Kaukolämmön perusmaksun mahdollista muutosta.
- Mahdollisesti tarvittavan lainan korkoa.
- Mahdollista sähköliittymän ja -keskuksen uusintaa.

Poistoilman lämmöntalteenoton ja maalämmön avulla kaukolämmön kulutukseksi jää noin 120,5 MWh/a. Lämpöpumppu vaatii kuitenkin toimiakseen sähköä, joten kiinteistön

sähkönkulutus tulee nousemaan lämpöpumpun myötä. Lämpöpumpun kuluttaman sähkön osuus on noin 121,8 MWh/a. Energian käytön jakautuminen on esitetty kuviossa 10. Kuviossa 11 on esitetty sähkön ja kaukolämmön kokonaiskulutuksien suhteet ennen ja jälkeen hybridijärjestelmän asennusta.



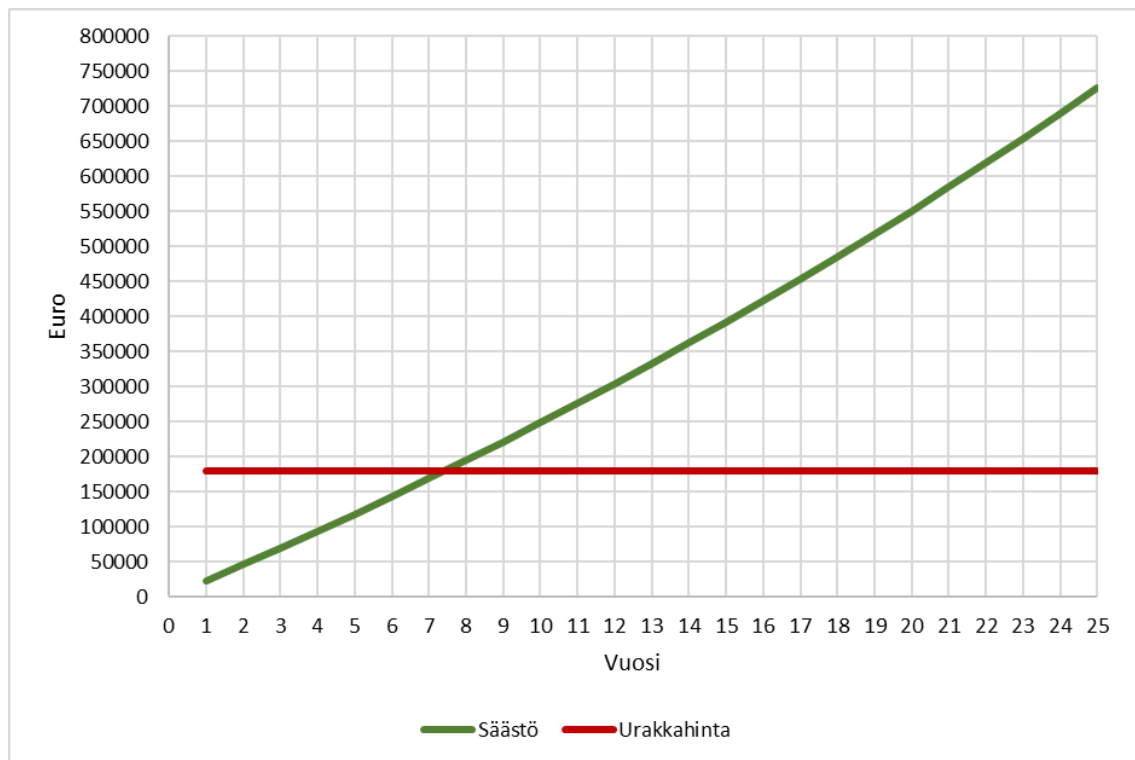
KUVIO 10. Energian käytön jakautuminen hybridijärjestelmän myötä (Arviot järjestelmän tuotoista ja kulutuksista 2018)



KUVIO 11. Sähkön ja kaukolämmön kokonaiskulutuksien suhteet

Järjestelmän takaisinmaksuaika

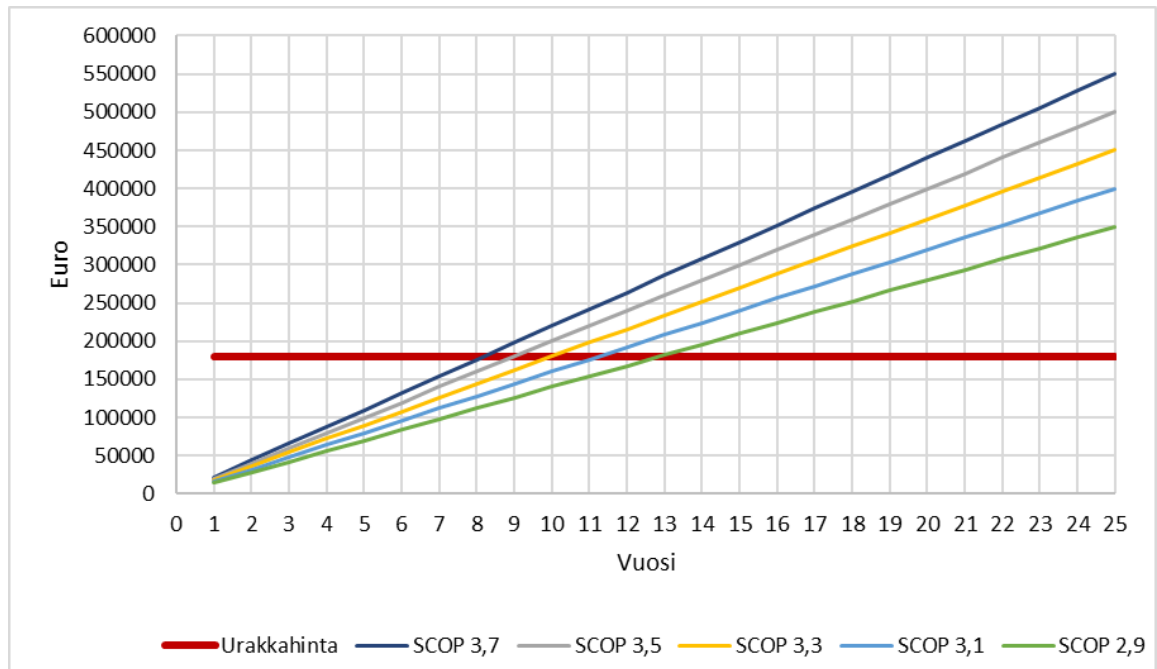
Urakan kokonaishinnaksi muodostuu noin 215 000 € (172 000 €, alv 0 %), mutta edellä mainittujen vähennysten jälkeen urakkahinnaksi jää noin 180 000 € (145 000 €, alv 0 %). Järjestelmän käyttöiäksi on arvioitu noin 25 vuotta. Järjestelmän takaisinmaksuaika voidaan laskea jakamalla hankintahinta vuosittain saadulla säästöllä. Högforsin laskelmien mukaan järjestelmän takaisinmaksuajaksi saadaan noin 7,8 vuotta. Järjestelmän tuottama kokonaissäästö on noin 710 000 € sisältäen huollot ja laitteistousinnat. Järjestelmän tuottamaa säästöä voidaan havainnoida kuviosta 12. Högfors GST:n arvioidut kumulatiiviset laskelmat ja takaisinmaksuaika on esitetty liitteessä 2.



KUVIO 12. Järjestelmällä saatavaa säästöä kuvaava käyrä

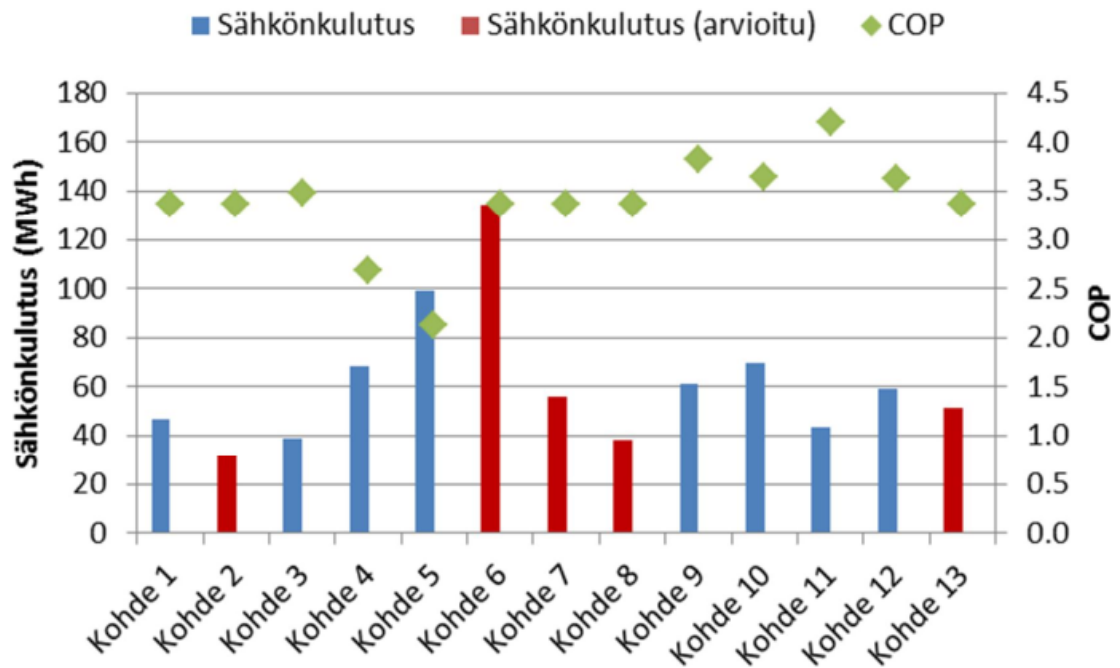
Högforsin laskelmissa on otettu huomioon myös etähallintajärjestelmän tuomat säästöt turhissa huolto- ja säätökäynneissä, mikä lyhentää takaisinmaksuajan pituutta. Laskelmiin vaikuttaa kuitenkin merkittävästi lämpöpumpun SCOP-arvo, joka ei välttämättä ole Högforsin laskelmissa käytetty 3,7. Etenkin kovien pakkasten aikaan lämpöpumpun hyötysuhde laskee, kun lämmöntalteenottopattereita joudutaan sulattamaan.

Högforsin tekemille laskelmille tehtiin herkkyystarkastelu, jossa vertailtiin SCOP-arvon vaikutusta takaisinmaksuajan pituuteen. Kuviossa 13 on esitetty eri SCOP-arvojen vaikutusta takaisinmaksuajkaan. Tässä tarkastelussa ei ole otettu huomioon etähallintajärjestelmän tuomia säästöjä, joten esimerkiksi toisin kuin Högforsin laskelmissa SCOP-arvolla 3,7 takaisinmaksuajaksi saadaan noin 8,3 vuotta. Kuviosta huomataan, että kun SCOP-arvo putoaa esimerkiksi arvoon 2,9, niin järjestelmän takaisinmaksuajaksi saadaan noin 12,7 vuotta.



KUVIO 13. SCOP-arvon vaikutus järjestelmän takaisinmaksuajkaan

Vuotuista lämpökerrointa voidaan myös verrata käytännössä toteutuneisiin arvoihin. Kuviossa 14 on esitetty 13 eri kerrostalokohteen poistoilmalämpöpumpun toteutuneita lämpökertoimia yhden vuoden aikana. Kuviosta huomataan, että lämpökerroin on suurimmassa osassa kohteista noin 3,5. Maalämpöpumpun lämpökerroin on energiateollisuuden mukaan tyypillisesti 2,5–3,5.



KUVIO 14. Toteutuneita lämpökertoimia PILP-järjestelmissä (Räimä, Similä & Niemi 2015, s 24)

Laskelmien, kirjallisuuden ja käytännössä toteutuneiden arvojen perusteella järjestelmän vuotuisen lämpötilakertoimen arvioidaan olevan 2,9–3,7. Näin ollen järjestelmän todellinen takaisinmaksuaika on arviolta 8–13 vuotta. Taulukossa 3 on esitetty saadut lopputulokset.

TAULUKKO 3. Arvioidut järjestelmän takaisinmaksuaikat ja säästöt

Vuotuinen lämpötilakerroin	Takaisinmaksuaika	Säästö vuodessa	Kaukolämmön tarve
SCOP 3,7 (Högfors GST)	7,8 vuotta	n. 23 000 €	120,5 MWh/a
SCOP 3,7	8,3 vuotta	n. 22 000 €	120,5 MWh/a
SCOP 3,5	9,1 vuotta	n. 20 000 €	145 MWh/a
SCOP 3,3	10 vuotta	n. 18 000 €	169,5 MWh/a
SCOP 3,1	11,3 vuotta	n. 16 000 €	194 MWh/a
SCOP 2,9	12,7 vuotta	n. 14 000 €	218 MWh/a

10 POHDINTA

Vanhan kerrostalon energiatehokkuuden parantamista lähdettiin tutkimaan erityisesti LVI-taloteknisin keinoin. Tutkimus on lähinnä teoreettinen ja kannattavuuslaskelmat perustuvat yhden laitetoimittajan tekemiin mitoituksiin ja laskelmiin. Laskelmissa on käytetty monia oletuksia, joten saatuja tuloksia tulee pitää suuntaa antavina. Laskelmissa käytetyn SCOP-arvon herkkyytarkastelun ja kirjallisuuden SCOP-arvojen vertailun jälkeen järjestelmän lopulliseksi takaisinmaksuajaksi saatiin 8–13 vuotta. Kaukolämmön kulutus on mahdollista laskea noin 120–220 MWh vuodessa.

Järjestelmän todellista takaisinmaksuaikaa on vaikea arvioida, sillä sähkön ja kaukolämmön hintojen kehitystä on vaikea ennustaa. Takaisinmaksuajan tarkkuuteen ja luotettavuuteen vaikuttavat myös lähtötietojen oikeellisuus, sekä laitetoimittajan tekemät mitoitukset ja arviot esimerkiksi asennuskustannuksista. Ennen lähtötietojen antamista laitetoimittajille kannattaisi tutkia myös rakennuksen nykyisten poistoilmamäärien riittävyys, sekä varmistaa korvausilman hallittu sisääntulo, jotta asuntoihin saataisiin varmasti terveellisemmät ja viihtyisämmät olosuhteet. Energiantehokkuustoimenpiteitä ei tulisi tehdä asumisen terveellisyyden tai viihtyvyyden kustannuksella.

Järjestelmän kannattavuuteen vaikuttavat todellisuudessa myös kanavistoissa tapahtuvat lämpöhäviöt, sillä poistoilman keskilämpötila ei välttämättä ole Högforsin laskelmissa käytetty +21 °C. Etenkin ullakkotilan kanavistojen eristykset olisi hyvä tarkastaa, jotta mahdollisten lämpöhäviöiden määrää saataisiin pienennettyä. Järjestelmän takaisinmaksu-aikaan vaikuttaa myös merkittävästi vuotuinen lämpökerroin, joka voi laskea huomattavasti etenkin kovien pakkasjaksojen aikaan, kun poistoilman kosteudesta johtuen lämmöntalteenottopattereihin kertynyttä jäätä joudutaan sulattamaan.

Hankkeeseen ryhtyessä olisi järkevää pyytää mitoituslaskelmia useilta eri laitetoimittajilta. Erityisesti maalämpökaivojen suunnittelu on tärkeässä roolissa. Maalämpökaivojen oikein mitoituksella ja suunnittelulla on merkittävä vaikutus järjestelmän kannattavuuteen. Hankkeeseen on hyvä ottaa pätevä suunnittelija, sekä puolueeton valvoja. Järjestelmän asennustyöt tulisi myös teettää yrityksellä, jolla on kokemusta vastaavanlaisten

järjestelmien asennuksista. Virheelliset asennukset tai mitoitukset tulevat jälkikäteen korjattuna kalliimmaksi, kuin mitä huolellinen suunnittelu, asennus- ja valvontatyö maksavat.

Rakennuksessa on myös mahdollista hyödyntää muitakin energiatehokkuutta parantavia järjestelmiä, kuten esimerkiksi aurinkokeräimiä. Tässä työssä aurinkoenergian hyödyntämiseen ei otettu kantaa, mutta aurinkoenergian hyödyntäminen olisi myös mielenkiintoinen tutkimuksen aihe, sillä sen käyttö varmasti lisääntyy tulevaisuudessa.

Loppujen lopuksi hybridijärjestelmän takaisinmaksuaika ei ole ainakaan teoriassa ole mahdollisesti pitkä, joten poistoilman lämmöntalteenoton ja maalämmön käyttö vanhan kerrostalon energiatehokkuuden parantamiseen on varteenotettava vaihtoehto, vaikka kaukolämpöä joudutaankin vielä käyttämään järjestelmän rinnalla. Tämä edellyttää kuitenkin, että lähtötiedot ovat tarkastettu ja todettu oikeiksi, sekä suunnittelu, asennus ja valvonta suoritetaan huolellisesti. Järjestelmä ei ole myöskään liian monimutkainen, joten on suurempi todennäköisyys, että laitteet toimivan oikein, jolloin huolto- ja ylläpitokustannukset eivät nouse liian korkeiksi.

LÄHTEET

Aurinkoenergia on luotettava valinta 2018. Areva Solar. Luettu 27.1.2018.

<http://www.arevasolar.fi/fi/aurinkoenergia>

Arviot järjestelmän tuotoista ja kulutuksista 2018. Högfors GST. Kuvamateriaali. Tulostettu 2.2.2018.

Energiatuki 2017. Tekes. Luettu 1.10.2017.

<https://www.tekes.fi/rahoitus/pk-yritys/energiatuki/>

Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet 2017. The Finnish Association of HVAC Societies. Tiedotusmateriaali. Tulostettu 19.1.2018.

Gaofa, H. 2011. Review of Self-cleaning Method for Solar Cell Array. Luettu 17.1.2018. Vaatii käyttöoikeuden.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705811026361>

Hakala, P & Kaappola, E. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Tampere: Suomen yliopistopaino Oy.

Hyötysuhteiden erot 2018. Nilan Suomi Oy. Luettu 27.1.2018.

<https://blog.nilan.fi/cop-scop-hyotysuhteiden-erot>

Högfors GST 2018. Hybridi LTO-järjestelmä tarjouksen sisältö. Kuvamateriaali. Tulostettu 24.1.2018.

Ikonen, E. 2014. Energia. Energiatietoa. Luettu 28.10.2017.

<http://www.energia.com/fi/energiatietoa>

Ilmalämpöpumppu 2017. Motiva. Luettu 28.10.2017.

https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/remontoi_ja_huolla/energiatehokas_sahkolammitys/lampopumpun_hankinta/ilmalampopumppu

Ilmalämpöpumppu kerrostalossa 2017. Refgourp. Luettu 28.10.2017.

<http://www.ilmalampopumput.fi/fi/mika-ihmeen-lampopumppu/ilmalampopumppu-kerrostalossa>

Ilmanvaihdon vaikutus 2008. Sisäilmayhdistys. Luettu 17.1.2018.

<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisaimasto/Ilmanvaihdon-vaikutus>

Ilmanvaihto 2008. Sisäilmayhdistys. Kuvamateriaali. Tulostettu 19.1.2018.

<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Ilmavirtaukset-rakennuksessa>

Ilma-ilmalämpöpumppu 2008. Motiva. Luettu 28.10.2017.

<https://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>

Ilma-vesilämpöpumppu, UVLP 2017. Motiva. Luettu 14.1.2018.

https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/ilma-vesilampopumppu_uvlp

Julkisivumuutokset 2016. Tampereen kaupunki. Luettu 1.10.2017.

<https://www.tampere.fi/asuminen-ja-ymparisto/rakentaminen/rakennusvalvonta/lait-ja-ohjeet/julkisivumuutokset.html>

Kaukolämmön käyttöraportti 2017. Tampereen sähkölaitos. Luettu 13.9.2017.

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto 2016. Opas ilmanvaihdosta. Hengitysliitto. Luettu 27.11.2018.

<http://www.hometalkoot.fi/file/15934.pdf>

Korjausrakentaminen 2017. Rakennusteollisuus. Luettu 1.10.2017.

<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Korjausrakentaminen1/>

Leppäharju, N. 2008. Kalliolämmön hyödyntämiseen vaikuttavat geofysikaaliset ja geologiset tekijät. Oulu: Pro gradu-tutkielma, Oulun yliopisto, fysikaalisten tieteiden laitos.

Lämmitysjärjestelmän vaihtaminen 2017. Motiva. Luettu 26.10.2017.

https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf

Lämmöntalteenotto 2017. Gebwell. Luettu 26.10.2017.

<https://www.gebwell.fi/maalampo/maalammon-toimintaperiaate/>

Lämmöntuotto, kaukolämpö 2016. Motiva. Luettu 17.1.2018.

https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/taloyhtiöt/energiaeksperttitoiminta/lahtotilanteeseen_tutustuminen/lammontuotto_kaukolampo

Lämpökerroin kuvaa hyötysuhdetta 2017. Motiva. Luettu 5.10.2017.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput

Maalämpöpumppujen tekniikkaa 2017. Motiva. Luettu 26.10.2017.

https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf

Lämpöpumput 2013. Energiakorjaus. Luettu 5.10.2017.

www.energiakorjaus.info/wp-content/uploads/2013/08/Pientalo_16_Lampopumput_2013_02_01.pdf

Lämpöpumput 2017. Motiva. Luettu 5.10.2017.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput

Geoenergia 2018. Geologian tutkimuskeskus. Luettu 10.3.2018.

<http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/geoenergia/>

Maalämpölupa 2016. Tampereen kaupunki. Luettu 1.10.2017.

<https://www.tampere.fi/asuminen-ja-ymparisto/rakentaminen/rakennusvalvonta/rakentamiseen-tarvittavat-luvat/maalampolupa.html>

Nibe 2017. Nibe. Kuvamateriaali. Tulostettu 19.1.2018.

<http://www.nibe.fi/tuotteet/kiinteistolampopumput/kiinteistolampopumput/kiinteistolto/>

Olemassa olevan rakennuksen energiatehokkuus 2017. Ympäristö. Luettu 1.10.2017.
http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Olemassa_olevan_rakennuksen_energiatehokkuus

Patteriverkoston perussäätö 2017. Motiva. Luettu 5.10.2017.
https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/patteriverkoston_perussaato

Perustieoja asumisesta 2017. Rakennusteollisuus. Luettu 1.10.2017.
<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Asuminen/Lukuja-asumisesta/>

Periaate 2017. Gebwell. Luettu 4.10.2017.
<https://www.gebwell.fi/gebwell-combi/poistoilman-lammontalteenotto/>

Poistoilmalämpöpumppu 2017. Motiva. Luettu 14.1.2018.
https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/poistoilmalampopumppu

Poistoilman lämmöntalteenotto 2017. Gebwell. Luettu 4.10.2017.
<https://www.gebwell.fi/gebwell-combi/poistoilman-lammontalteenotto/>

Rakennusten energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö 2017. Ympäristöministeriö. Luettu 1.10.2017.
http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakennuksen_energiatehokkuutta_koskeva_lainsaadanto

Räimä, Similä & Niemi (toim.) 2015. Poistoilmalämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä. Teknologian tutkimuskeskus. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus (VTT).

Sandberg, E. (toim.) 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka osa 1. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. Suomen LVI-liitto ry.

Soklic, A. 2014. Deposition and possible influence of a self-cleaning thin TiO₂/SiO₂ film on a photovoltaic module efficiency. Luettu 17.1.2018. Vaatii käyttöoikeuden.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cattod.2014.10.021>

Suomen rakentamismääräyskokoelma 2016. Ympäristöministeriö. Luettu 1.10.2017.
http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma

Taloyhtiön energiakirja 2012. Motiva. Kuvamateriaali. Tulostettu 19.1.2018.
https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa_energian_ja_vedenkulutuksesta/lammitysenergiankulutus

Tampereen karttapalvelu 2018. Tampereen kaupunki. Kuvamateriaali. Tulostettu 24.1.2018.

Tampereen kaupungin rakennusjärjestys 2014. Tampereen kaupunki. Luettu 24.1.2018.

Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina 2014. Suositus K15. Energiateollisuus. Luettu 27.1.2018.

https://energia.fi/files/586/Teho_ja_vesivirta_SuositusK15_2014.pdf

Tilastokeskus 2017. Rakennusteollisuus. Tiedotusmateriaali. Tulostettu 19.1.2018.

<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/Kuvio-pankki/Asuntomarkkinat/Asuntokanta/>

Vesikiertoinen lattialämmitys sopii maalämpöön 2017. Motiva. Luettu 26.10.2017.

https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf

Virta, J & Pysly, P. 2011. Taloyhtiön energiakirja. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy.

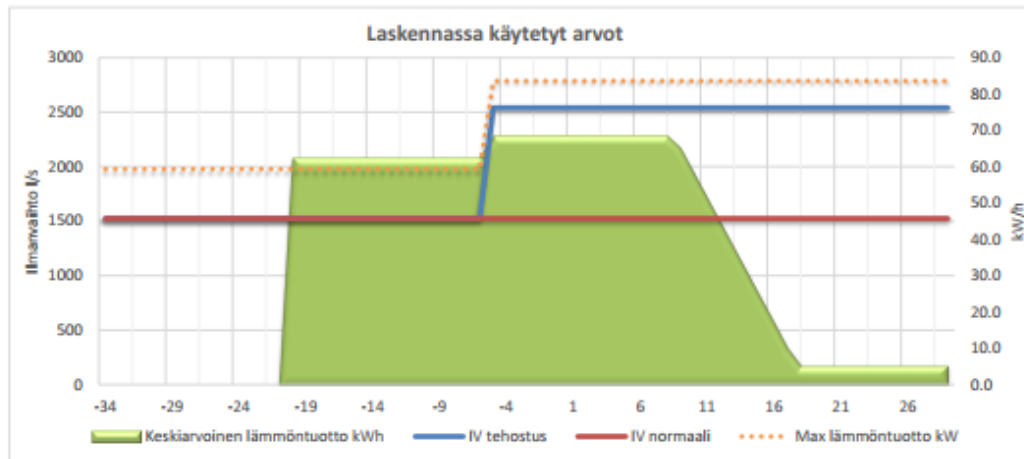
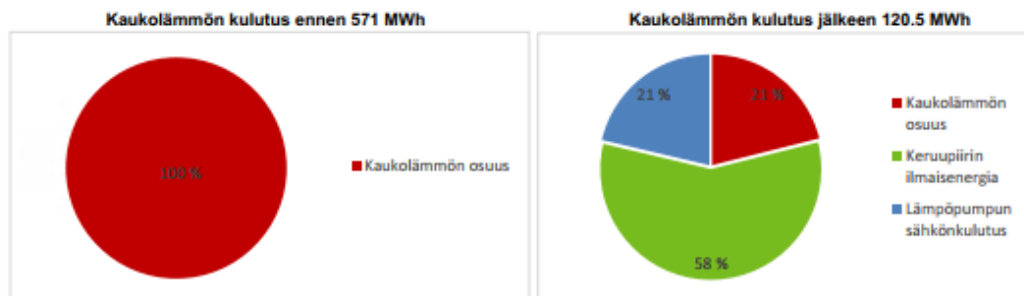
LIITTEET

Liite 1. Högforsin arviot järjestelmän tuotoista ja kulutuksista

Arviot järjestelmän tuotoista ja kulutuksista						HÖGFORS HYBRIDLTO		
Kohde	As Oy Pohjolankatu 10							
Säilytysyhte	II	Teho l/s	Teho %	Δt	Jäähdytysteho kW	Lämmitysteho kW		
Minimi ilmamäärä	18.0 h/vrk	1524.6	60 %	18.0	46.2	63.3		
Maksimi ilmamäärä	6.0 h/vrk	2541	100 %	16.1	61.0	83.6		
Tehostuksen pakkasraja	-5 °C							
Poistoilman ka lämpötila	21.0 °C							
Lämpökaivot	400 metriä							
Lämpökaivoista saatava energia	62 MWh /a	25	W/m		10.0	13.7		
Keruupiiristä saatava energia yhteensä	328.8 MWh /a	57.6% kokonaiskulutuksesta. CO2 päästöjen alenema 72331 kg/a						
Sähkön kulutus	121.8 MWh /a							
Laitteiston energiantuotto	450.5 MWh /a	78.9 % kokonaiskulutuksesta						
Lämpökerroin (SCOP)	3.7							
Poistoilman LTO vuosihyötysuhde	107.3 %							
Puhaltimien sähkönkulutus	7826 kWh /a	860.9	eur					
SFP tehostus/normaali	0.68/0.42							

* Puhaltimien sähkön kulutukseen vaikuttaa suuresti LTO kennoston painehäviöt. Mikrokanavakennon painehäviöt on hyvin pieni mikä pienentää puhaltimien sähkön kulutusta radikaalisti vuositasolla verrattuna perinteisiin kennotyyppeihin.

1. vuoden säästö	21 680 eur	
15 vuoden kokonaissäästö	374 929 eur	Laskennassa huomioitu 2%:n vuosittaiset hinnankorotukset
25 vuoden kokonaissäästö	694 431 eur	



- Ulkolämpötilan nousussa lämpöpumpun kaikkea tuotettua lämmitysenergiaa ei enää pystytä käyttämään hyödyksi.
- Laskenta tehty TRY2012 mukaisesti. <http://ilmatiiteenlaitos.fi/energielaskennan-testivuodel-nyky>

Laskelmat ovat suuntaa antavat perustuen arvioihin ja saatuihin lähtötietoihin. Laskelmien antaja ei ole vastuussa laskelmien oikeellisuudesta.

Liite 2. Högforsin arvioimat kumulatiiviset laskelmat ja takaisinmaksuaika

