

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
Teknillinen tiedekunta  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma  
BH10A0300 Ympäristötekniikan kandidaatintyö ja seminaari

**SUOMALAISEN KERROSTALON  
ENERGIANSÄÄSTÖMAHDOLLISUUDET POSTOILMAN  
LÄMPÖÄ TALTEENOTTAMALLA**  
**Energy saving possibilities in an apartment building by outgoing air heat  
recovery**

Työn tarkastaja:      Professori, TkT Risto Soukka  
Työn ohjaaja:        Tutkijaopettaja, TkT Mika Luoranen

Lappeenrannassa 10.4.2012

Heini Rytönen

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>1 JOHDANTO</b> .....	5
<b>2 LÄMMÖN TALTEENOTTAMINEN POISTOILMASTA</b> .....	6
2.1 Poistoilman lämmön talteenottomahdollisuudet .....	6
2.2 Poistoilmasta saadun lämmön hyödyntämismahdollisuudet suomalaisessa kerrostalossa.....	7
2.3 Poistoilman lämmöntalteenotto osana muita lämmitysjärjestelmiä .....	7
<b>3 LÄMMÖNSIIRRIN TYYPIT</b> .....	8
3.1 Suorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet .....	8
3.2 Epäsuorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet .....	9
3.3 Regeneratiiviset lämmönsiirtimet.....	10
3.4 Lämpöpumput .....	11
<b>4 LÄMPÖPUMPPU</b> .....	12
4.1 Teoreettinen prosessi .....	12
4.2 Todellinen prosessi .....	12
4.4 Poistoilmalämpöpumppu .....	13
<b>5 ENERGIATASE</b> .....	14
5.1 Lämpö.....	15
5.2 Sähkö.....	15
<b>6 ASUNTO OY MANSIKKASALVA</b> .....	16
6.1 Kokonaisenergian kulutus.....	16
6.2 Rakennuksen lämpöhäviöt .....	16

6.3 Käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energia.....	17
6.4 Ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve.....	18
6.5 Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia .....	19
6.6 Sähköntarpeen laskenta .....	19
6.7 Vuosihyötysuhde .....	19
6.8 Vuosittaiset säästöt ja takaisinmaksuaika .....	20
<b>7 TULOSTEN TULKINTA.....</b>	<b>21</b>
7.1 Epävarmuus.....	22
7.2 Tulosten luotettavuus.....	22
<b>8 JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>23</b>
<b>9 YHTEENVETO .....</b>	<b>24</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>25</b>

## SYMBOLILUETTELO

$A$	pinta-ala	[m <sup>2</sup> ]
$E$	asuinkerrostalon E-luku	[kWh]
$E_{LTO}$	lämpöpumpun vuosittainen sähkönkulutus	[kWh]
$I$	investoinnin suuruus	[€]
$P_S$	lämpöpumpun sähköteho	[kW]
$Q$	lämpömäärä	[Wh]
$R$	ilmavirtojen välinen suhde	[-]
$S$	LTO:lla saatavat vuosittaiset säästöt	[€]
$S$	lämmöntarveluku	[Kd]
$c_p$	ilman ominaislämpökapasiteetti	[J/kgK]
$c_{pv}$	veden ominaislämpökapasiteetti	[J/kgK]
$k$	kustannukset vuodessa	[€]
$h$	lämmön tai sähkön markkinahinta	[€MWh]
$n$	takaisinmaksuaika	[a]
$q_{p,i}$	lämmöntalteenoton piiriin kuuluva poistoilmavirta	[m <sup>3</sup> /s]
$q_v$	käyttöveden kulutus vuodessa	[m <sup>3</sup> /a]
$t$	ilman lämpötila	[°C]
$\rho$	tiheys	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\eta$	lämpötilahyötysuhde	[-]
$\Delta\tau$	ajanjakso, jolloin lämpötilaero esiintyy	[d]

## Alaindeksit

LTO	lämmöntalteenotto
P,i	poistoilma
S	sisäilma
T	tuloilma
T,i	tuloilma
iv	ilmanvaihto
j	jäteilma

p	vakiopaineessa
pilp	poistoilmalämpöpumppu
s	sisäilma
s	sähköteho
t,lto	tuloilma LTO:n jälkeen
v	vakiotilavuudessa
u	ulkoilma

## 1 JOHDANTO

Tämä kandidaatintyö tehtiin Asunto Oy Mansikkasalvalle, joka haluaa puolueettoman selvityksen keinoista parantaa taloyhtiön energiatehokkuutta. Kohteena on vuonna 1977 valmistunut 14 kerroksinen asuintalo, jossa on koneellinen ilmanpoisto. Kohteeseen on tarkoitus asentaa lämmön talteenottojärjestelmä koneellisen poistoilman yhteyteen.

Lämmöntalteenottojärjestelmän avulla pyritään parantamaan talon energiatehokkuutta vähentämällä lämmön hukkaa. Samalla myös taloyhtiöstä tulee ympäristöystävällisempi ja vaikutukset voidaan suoraan heijastaa lämmityskustannuksien alentamiseen. Talteenotettu lämpö aiotaan hyödyntää talon lämmityksessä, korvaamalla kaukolämpöä tai käyttöveden lämmityksessä, erityisesti talvella pattereiden kiertoveden lämmityksessä ja kesäisin käyttöveden lämmityksessä.

Tarve lämmöntalteenottojärjestelmän asentamisesta on tullut lämmityskustannusten noususta ja toimitusvarmuuden lisäämisestä. Tässä kohteessa ja muuallakin samalla alueella on ollut kaukolämmön toimituksen suhteen epävarmuutta. Nykyinen kaukolämpö on tuotettu Venäjältä tuodusta maakaasusta, mutta toimitusten jatkumisen ja hinnan kehityksen epävarmuuden vuoksi on syntynyt tarve lämmönkulutustarpeen pienentämiseen. Toisena merkittävä asiana ovat muualta kuullut positiiviset kokemukset lämmöntalteenottojärjestelmien tehokkuudesta, siitä miten ne ovat selkeästi parantaneet hyötysuhdetta ja näin ollen vaikuttaneet huomattavasti asumiskustannuksien alenemiseen.

Selvityksessä lasketaan laitevalmistajien tarjouksien ja muiden laitevalmistajien tietojen perusteella energiatehokkuusluvut Asunto Oy Mansikkasalvan kohteessa. Energiatehokkuuslukuja verrataan nykyiseen energian kulutukseen, minkä perusteella saadaan arvioitua kustannussäästöt ja takaisinmaksuaika järjestelmälle.

Tämän työn rakenne etenee seuraavasti. Ensin esitellään lyhyesti lämmönsiirtimiin liittyvää teoriaa, keinoja ottaa lämpöä talteen poistoilmasta ja tapoja hyödyntää talteenotettua lämpöä. Tämän jälkeen perehdytään kohteeseen Asunto Oy Mansikkasalva. Esitellään kyseinen sovelluskohde ja lasketaan saatujen tarjouksien ja laitevalmistajan

tietojen perusteella energiatehokkuusluvut. Energiatehokkuuslukuihin perustuen lasketaan kustannusarvio laitteen asennukselle ja käytölle sekä takaisinmaksuaika. Saatujen laskelmien perusteella pyritään tekemään ratkaisu lämmöntalteenottojärjestelmän kannattavuudesta Mansikkasalvan kohteessa.

## **2 LÄMMÖN TALTEENOTTAMINEN POISTOILMASTA**

### **2.1 Poistoilman lämmön talteenottomahdollisuudet**

Asuinrakennuksissa poistoilman lämmöntalteenotto tapahtuu lämpöpumpun avulla. Lämpöä voidaan ottaa talteen keskitetysti tai huippuimureihin asennettujen höyrystymien avulla. Huippuimurit sijaitsevat useimmiten rakennuksen katolla, josta talteenotettu lämpö ohjataan höytykäyttäväksi rakennuksen lämpökeskukseen, joka sijaitsee useimmiten rakennuksen kellari- tai pohjakerroksessa. Lämmön kuljettaminen katolta alas voi tapahtua kahdella eri tavalla. Ensimmäinen vaihtoehto on, että lämpöpumpun höyrystin sijoitetaan katolle ilmavirtaan, mikä tarkoittaa suoraa höyrystymistä. Toinen vaihtoehto on, että höyrystin sijoitetaan lämpökeskukseen ja yhdistetään putkistolla poisto-ilma aukossa sijaitsevaan lämmön talteenottopatteriin, mikä tarkoittaa epäsuoraa höyrystymistä. (Seppänen 2011, s. 282-283)

Suuri osa poistoilman lämmöstä voidaan ottaa talteen lämmönsiirtimen avulla. Talteenotettavan lämmön määrään vaikuttaa poistoilman ja ulkoilman lämpötilojen erotus eli mitä suurempi ero on, sitä enemmän lämpöä voidaan ottaa talteen. Toinen tärkeä tekijä on lämmönsiirtopinta-alan suuruus eli mitä enemmän lämmönsiirtopinta-alaa on, sitä enemmän lämpöä saadaan talteen otettua. Lämmön talteenottoon vaikuttaa myös sääolosuhteet ja erityisesti kovat pakkaset saattavat aiheuttaa ongelmia lämmönsiirtimen toiminnassa. (Seppänen 1988, s. 285)

Poistoilman voimakas lämmittäminen saa sen lämpötilan laskemaan alle kastepistelämpötilan, mikä aiheuttaa ilman sisältämän kosteuden tiivistymisen vedeksi jäädytyspatterin pintoihin. Tiivistyvä vesivirta saattaa olla jopa 5 kg asuntoa kohden

vuorokaudessa. Tämän vuoksi on tärkeää, että järjestelmässä tiivistyvä vesi ohjataan hallitusti viemärintiin. (Seppänen 2001, s. 282-283)

## **2.2 Poistoilmasta saadun lämmön hyödyntämismahdollisuudet suomalaisessa kerrostalossa**

Lämpöpumppujen avulla voidaan ottaa talteen lämpöä poistoilmasta. Lämpöpumppuja apuna käyttäen lämmitetään vesivaraajia. Vesivaraajien lämpöä voidaan käyttää käyttöveden tai lämmitysverkon veden lämmitykseen. Järjestelmän tekninen toteuttaminen vaatii erilaisia investointeja, kuten lämpöpumppujen, puhaltimien ja vesivaraajien uusimista tai varustamista lämmönsiirtimillä ja lämmönkeruuputkistolla. (Rakennusteollisuus RT ry 2012)

Poistoilmasta talteen otettua lämpöä voidaan hyödyntää käyttöveden tai lämmitysverkon veden lämmityksessä. Kannattavin käyttökohde on se, jonka lämpötila on alhaisin. (Seppänen 2001, s. 384)

## **2.3 Poistoilman lämmöntalteenotto osana muita lämmitysjärjestelmiä**

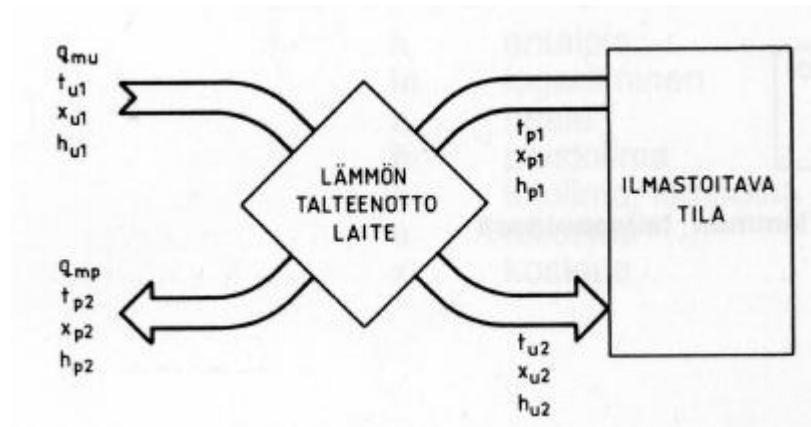
Poistoilmalämpöpumpulla (PILP) on monta tehtävää rakennuksessa, se toimii lämpöpumppuna, ilmastointikoneena ja lämminvesivaraajana. Lämmönkeruu jäteilmasta tapahtuu höyrystin- tai liuos patterin avulla. Lämpö hyödynnetään lämpöpumpun valmistajasta riippuen käyttöveden tai lämmitysverkon veden lämmityksen lämmittämiseen, myös jossain pumppu tyypeissä lämpö voidaan hyödyntää tuloilman yhteydessä. (Sulpu 2012)



### 3 LÄMMÖNSIIRIN TYYPIT

#### 3.1 Suorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet

Suorissa rekuperatiivisissa lämmönsiirtimissä lämpö siirtyy suoraan poistoilmasta ulkoilmaan ilmavirtoja erottavan levyn läpi. Virtauksen suunta vaikuttaa lämmönsiirtymisen tehokkuuteen. Vastavirtauksella saavutetaan lämpöteknisesti paras lämmöntalteenotto. Lämmönsiirtimen lämmönsiirtopinta-ala vaikuttaa merkittävästi lämmöntalteenottokykyyn. Lämmönsiirtimen perusajatus on, että pyritään rakentamaan lämmönsiirtimiä, joissa mahdollisimman pieneen tilavuuteen saadaan mahdollisimman suuri lämmönsiirtopinta-ala. Mitä suurempi lämmönsiirtopinta-ala on niin sitä tehokkaammin lämmönsiirtyminen tapahtuu. Lämmönsiirtopinta-alaa voidaan kasvattaa ripojen avulla. Rekuperatiivisella lämmönsiirtimellä voidaan saavuttaa 45–60 % lämpötilahyötysuhde. Kuvassa 1 on esitelty lämmöntalteenoton periaate kuva. (Seppänen & Seppänen 1996, s. 188. Seppänen 1988, s. 286)



**Kuva 1.** Lämmöntalteenoton periaate kuva (Seppänen 1988, s. 286)

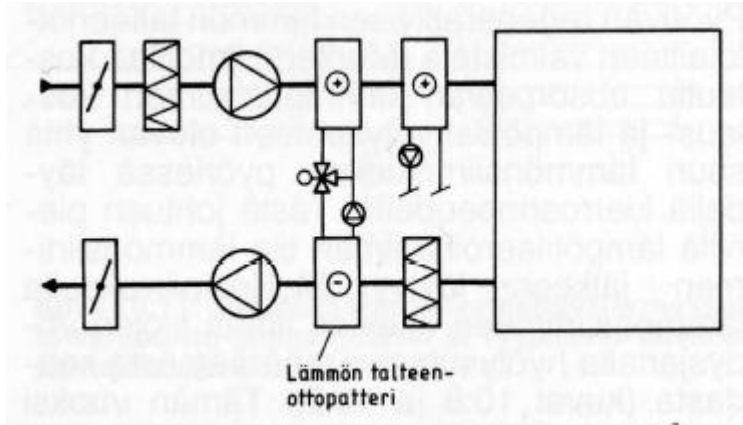
Lämmönsiirtimen kustannukset aiheutuvat suurimmaksi osaksi lämmönsiirtopinnasta. Lämmönsiirron kannalta materiaalilla ei ole suurta merkitystä, mutta materiaalin valintaan vaikuttaakin enemmän sen korroosio ja puhdistettavuus. Materiaalin tulee olla kestävä ja lämmönsiirtimiin soveltuvaa. (Seppänen 1988, s. 287)

Lämmönsiirtimien suunnittelussa tulee ottaa huomioon vaihtelevat sääolosuhteet. Tärkeää on huomioida erityisesti pakkasen vaikutus laitteiston toimintaan. Poistoilman ollessa kosteaa, se voi helposti tiivistyä lämmönsiirtopinnalle. Lämpötilan laskiessa alle 0 °C aiheutuu tiivistyneen veden jäätymistä, mikä saattaa tukkia lämmönsiirtimen. Lämmönsiirrin on viemäroitävä, jotta vältetään tiivistyneen veden jäätyminen aiheuttamilta haitoilta, sekä estetään lämmönsiirtimen umpeen jäätyminen. (Seppänen 1988, s. 287)

### **3.2 Epäsuorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet**

Epäsuorissa rekuperatiivissa lämmönsiirtimissä lämpö siirtyy jonkun apuaineen avulla. Apuaine varastoi lämpöä vuorotellen jäähtyen ja lämmiten ilmapirrassa. Epäsuoria rekuperatiivisia lämmönsiirtimiä on kahta eri tyyppiä: nestekiertoinen järjestelmä ja lämpöputkipatteri. (Seppänen 1988, s. 287-288)

Nestekiertoisessa lämmönsiirrin järjestelmässä kiertoaineena toimii usein 30–40 prosenttinen vesi-etyleeniglykoliliuos. Lämpöä siirtää nestekiertoisessa järjestelmässä lamellipatterit. Lämpötilahyötysuhde riippuu lamellipatterin pituudesta, mutta yleensä nestekiertoisella järjestelmällä voidaan saavuttaa 45–60 % lämpötilahyötysuhde. Kuvassa 2 on nestekiertoinen epäsuora LTO. Lämpötilahyötysuhteeseen voidaan vaikuttaa tehoa säättämällä tai jäätyksen estämisellä nestekierron avulla. Maksimaalinen lämpötilahyötysuhde saavutetaan kun kaikki kolme lämpökapasiteetti virtaa ovat yhtä suuria. Nestekiertoisen järjestelmän etuna on, ettei siinä ole suuria poisto- ja ulkoilmakanavia, jotka pitää johtaa samaan paikkaan. Tämän ominaisuuden vuoksi nestekiertoinen järjestelmä sopii hyvin myös korjausrakentamiseen. (Seppänen 1988, s. 287)

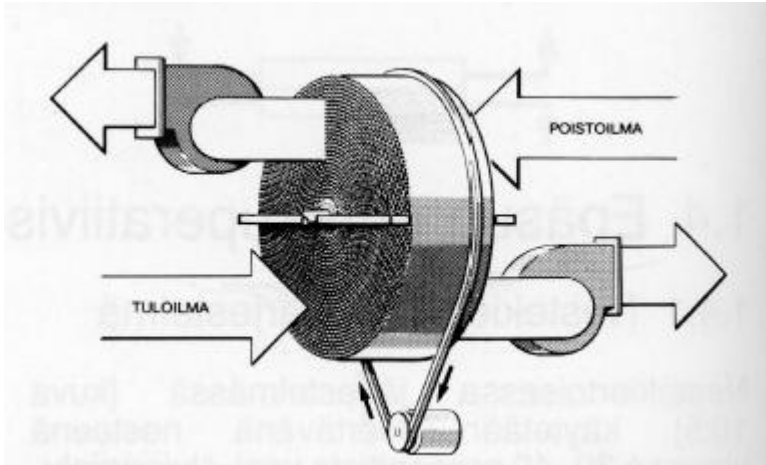


**Kuva 2.** Nestekiertoinen epäsuora LTO-järjestelmä (Seppänen 1988, s. 287).

Lämpöputkipatteri eli ripaputkipatteri on järjestelmä, jossa nesteputket on korvattu lämpöputkilla. Väliaineena lämpöputkissa toimii vuorotellen lauhtuva ja höyrystyvä kylmäaine. Lauhde imeytyy takaisin höyrystymisosaan huokoista materiaalia tai putkeen tehtyjä uria pitkin. Lämpöputkipatterilla voidaan saavuttaa 50–80 % lämpötilahyötysuhde. Hyötysuhdetta voidaan säätää putkia kallistamalla, jolloin painovoima vaikuttaa nesteen kulkeutumisenopeuteen höyrystymisosaan. (Seppänen 1988, s. 288)

### 3.3 Regeneratiiviset lämmönsiirtimet

Regeneratiiviset lämmönsiirtimet perustuvat lämmön varamiseen. Niissä lämmönsiirtimessä oleva massa jäähtyy ulkoilmavirrasta ja lämpenee poistoilmavirrasta. Varaavan lämmönsiirtimen avulla voidaan myös siirtää kosteutta ja epäpuhtauksia. Toinen vaihtoehto varaavan lämmönsiirron toteuttamiseen on vuorotellen jäädyttämällä ja lämmittämällä kiinteää massaa. (Seppänen 1996, s. 189) (Seppänen 1988, s. 289)



**Kuva 3.** Pyörivä varaava lämmönsiirrin (Seppänen 1988, s. 288).

Pyörivä regeneratiivinen lämmönsiirrin perustuu siihen, että lämpöä siirtävä massa jäähtyy ulkoilmavirrasta ja lämpenee tuloilmavirrasta. Regeneratiivisen lämmönsiirtimen ero rekuperatiiviseen on se, että se voi siirtää myös kosteutta ja epäpuhtauksia. Kuvassa 2 on pyörivä varaava lämmönsiirrin. (Seppänen 1988, s. 289)

### 3.4 Lämpöpumput

Lämpöpumppu järjestelmä muodostuu useasta eri osasta, joita ovat kompressori, poistoilmavirtaa käyttävä höyrystin sekä lämmön talteenottoa varten asennettu höyrystin. Lauhduttimessa lämpötila saadaan lämpöpumpun avulla nostettua lämpötilaan 40 °C. Lämpötilan nosto mahdollistaa sen, että poistettua lämpöä voidaan käyttää muuhunkin kuin vaihtoilman lämmitykseen. Höyrystymien sijoituspaikka on poistoilmavirtaan. Lämpöpumppu ominaisuuksiensa vuoksi soveltuu hyvin rakennuksiin, joissa ei ole koneellista tuloilmajärjestelmää. (Seppänen 1988, s. 290)

## 4 LÄMPÖPUMPPU

### 4.1 Teorettinen prosessi

Lämpöpumppujen toiminta perustuu kylmäaineen suljettuun kiertoprosessiin. Kylmäaine virtaa järjestelmässä, jossa on yksinkertaisimmillaan lauhdutin, paisuntaventtiili, höyrystin ja kompressori. Lämmönsiirto perustuu siihen, että kylmäaine vuoroin sitoo lämpöä höyrystyessään ja vuoroin luovuttaa lämpöä lauhtuessaan prosessissa. Kylmäaine kiertää prosessissa jatkuvasti järjestelmän ollessa kytketty päälle. Ilmasta saadaan lämpöä, joka höyrystää lämpöpumpussa kiertoaineena toimivan kylmäaineen. Nestemäisen kylmäaineen muuttuminen höyryksi sitoo lämpöenergiaa (lämpötilassa noin 0 °C). Kompressorin avulla imetään höyrystynyt kylmäaine höyrystimeen. Kompressori samanaikaisesti myös puristaa kylmäaineen pienempään tilaan, minkä vuoksi kylmäaineen paine ja lämpötila nousevat. Kuuma (lämpötila noin 100 °C) ja korkeapaineinen kylmäainehöyry ohjataan lauhduttimeen. Lauhduttimessa lämmitysverkon vesi tai huoneilma jäähdyyttää kylmäainehöyryä, joka lauhtuu takaisin nestemäiseksi. Tällöin vapautuu lämpöä, joka siirtyy lämmitysverkoston. Tämän jälkeen nestemäinen ja jäähtynyt kylmäaine ohjataan paineilma-venttiilin läpi ennen kuin se palaa jälleen höyrystymiseen ja uusi kylmäainekierros voi alkaa. Paineenalennusventtiili alentaa painetta ja pienentää lämpötilaa (noin -10 °C). Lämpöpumpun energiatehokkuuden ja kannattavuuden vuoksi on tärkeää, että lauhduttimessa saatava lämpövirta on suurempi kuin kompressorin vaatima sähköteho. Teoreettista lämpöpumppuprosessia voidaan mallintaa ideaalisen Carnot-prosessin avulla. Todellinen lämpöpumppuprosessi kuitenkin poikkeaa tietyiltä osilta Carnot-prosessista. (Seppänen 2001, s. 377) (Motiva 2011, s. 4)

### 4.2 Todellinen prosessi

Todellisuudessa lämpöpumppu prosessi ei ole niin yksinkertainen kuin edellä esiteltä Carnot-prosessi. Prosessin kompressorissa, putkistossa ja lauhduttimessa tapahtuu todellisuudessa painehäviöitä. Todellisessa lämpöpumppuprosessissa kylmäainehöyry tulistetaan, jotta voidaan varmistua, ettei kompressoriin joudu nestepisaroita, jotka voisivat vahingoittaa kompressoria. Edellä mainituista tekijöistä johtuen todellisen

lämpöpumpppuolosessin lämpökerroin on oleellisesti teoreettisen Carnot-olosessin lämpökerrointa pienempi. (Seppänen 2011, s. 378)

#### 4.4 Poistoilmalämpöpumppu

Kohteessa, jossa on koneellinen poistoilma ilmastointi, lämpöä siirtyy poistoilman mukana ulos. Usein kaikki lämpö poistoilmasta jää hyödyntämättä, jos kohteessa ei ole mitään lämmön talteenottojärjestelmää. Poisto-ilmalämpöpumpun avulla voidaan kerätä suuri osa poistoilman lämmöstä talteen.

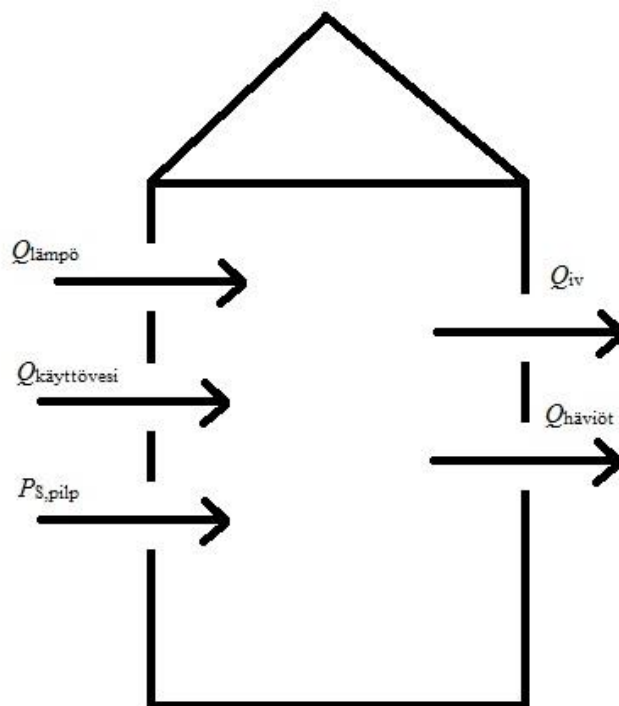
Poistoilmalämpöpumpun lämmönlähteenä toimii talosta koneellisesti poistettu poistoilma. Poistoilmalämpöpumppujärjestelmä muodostuu kompressorista, höyrystimestä ja lauhduttimesta. Lauhduttimessa lämpötila saadaan nostettua 40 °C:een lämpöpumpun avulla. Lämpötilan nostaminen mahdollistaa poistoilman hyödyntämisen muussakin kuin ilmalämmityksessä. Tällöin poistoilman sisältämää lämpöä voidaan hyödyntää lämmitysjärjestelmän kiertoveden tai asuinrakennuksen käyttöveden lämmityksessä. Mitä alhaisempi lämmönkäyttökohteen lämpötila on niin sitä edullisempää on lämmön hyödyntäminen. Poistoilmalämpöpumppu soveltuu ominaisuuksiensa vuoksi erityisen hyvin rakennukseen, jossa ei ole koneellista tuloilmajärjestelmää. (Seppänen 2001, s.380, 383)

Poistoilmalämpöpumpun tehokkuuden kannalta on edullisinta, että poistoilma poistuu mahdollisimman harvoista poistoaukoista. Jos kohteessa on paljon poistoilma-aukkoja, niin epäsuoran lämmitysjärjestelmän käyttö on teknisesti helpompaa. Poistoilmalämpöpumppua käytettäessä jokaiseen jäteilma-aukkoon asennetaan jäähdytyspatteri, jossa kiertävä neste johdetaan poistoilmalämpöpumpun höyrystimeen. Suorassa lämmön talteenottojärjestelmässä usean höyrystymispatterin vuoksi joudutaan tilanteeseen, jossa on paljon kylmäainetäytteisiä putkia ja liitoksia. Rakennuksesta ja sen putkivetojen suuruudesta riippuen voidaan kompressorin ja lauhdutin sijoittaa ullakolle, lämmönjakohuoneeseen tai kattilahuoneeseen. (Seppänen 2001, s. 381)

Poistoilman lämmöntalteenotto tapahtuu asuinrakennuksissa keskitetysti tai huippuimureihin yhdistettyjen höyrystymien avulla. Talteenotettu lämpö ohjataan lämpökeskukseen, joka lähes aina sijaitsee rakennuksen pohja- tai kellarikerroksessa. Talteenotettu lämpö kuljetetaan siis katolta alas, mikä voi tapahtua kahdella eri tavalla suorasti tai epäsuorasti höyrystymällä. Suorassa höyrystymisessä poistoilmalämpöpumpun höyrystin sijoitetaan katolle ilmavirtaan. Epäsuorassa höyrystymisessä höyrystin sijoitetaan lämpökeskukseen ja se yhdistetään poistoilmapatteriin. Tällöin höyrystyminen tapahtuu epäsuorasti. (Seppänen 2001, s. 382)

## 5 ENERGIATASE

Energiataseen avulla kuvataan rakennuksen kokonaisenergian kulutusta, niitä energiavirtoja, jotka menevät rakennukseen ja poistuvat siitä. Energiatase voidaan muodostaa lämpötaseen ja sähkötaseen avulla. Lämpötase kuvaa rakennukseen menevää ja siitä poistuvaa lämpöenergiaa. Sähkötase kuvaa rakennukseen menevään ja siitä poistuvaa sähköä. Seuraavaksi on esitelty tarkemmin tekijöitä, jotka muodostavat lämpö- ja sähkötaseen. Kuvassa 4 on esitetty rakennuksen energiatase yksinkertaistetussa muodossa.



**Kuva 4.** Rakennuksen energiatase.

## 5.1 Lämpö

Lämpöä rakennukseen syntyy eri tekijöistä ja sitä voidaan havainnollistaa lämpötaseen avulla. Suurin osa lämmöstä rakennukseen tulee lämmitysjärjestelmien avulla. Lämpöä syntyy myös pienemmistä tekijöistä. Lämpöä syntyy myös rakennuksessa oleskelevien ihmisten ja eläinten aineenvaihdunnasta. Myös erilaiset sähkölaitteet ja valaistus luovuttavat toimiessaan lämpöä asuinrakennukseen. Lämpöä tarvitaan myös lämpimän käyttöveden lämmitykseen. Rakennuksen ikkunapinta-alojen suuruus ja vuodenaikojen vaihtelut vaikuttavat auringon säteilystä syntyvään lämpömäärään.

Lämpö voi poistua rakennuksesta muun muassa ilmanvaihdon sekä jäähtymisen avulla. Myös eri prosessit ja kylmä käyttövesi voivat absorboida lämpöä. Lämmön poistuminen rakennuksesta tapahtuu myös rakenteiden kautta, tällöin voidaan puhua lämpöhäviöistä. Rakenteilla on suuri merkitys lämpöhäviöiden suuruudessa, esimerkiksi suuret ikkunapinta-alat lisäävät lämpöhäviöitä. Lämmön talteenottojärjestelmällä voidaan vähentää huomattavasti lämmön poistumista rakennuksesta. (SFS-EN 13790, s. 52)

## 5.2 Sähkö

Sähkötase muodostuu rakennukseen sisään ja ulos virtaavista sähkövirroista. Ulostulevien sähkövirtojen voidaan olettaa olevan nollassa, koska rakennus ei itsessään tuota tai luovuta sähköä mihinkään. Sähköä rakennuksessa tarvitaan valaistukseen, kodin erilaisiin sähkölaitteisiin, ilmanvaihtojärjestelmään ja lämmitykseen. Erillinen jäähtytysjärjestelmä lisää sähkönkulutusta selvästi. Sähkön kulutukseen voidaan vaikuttaa vähentämällä sähkönkulutusta, esimerkiksi säätämällä ilmanvaihtojärjestelmä sopivaksi käyttäjien tarpeille. Osa sähköstä muuntuu prosessien ja laitteiden kautta lämpöenergiaksi. Lämpöpumpun käyttö lisää sähköntarvetta.



## 6 ASUNTO OY MANSIKKASALVA

Kohteena Asunto Oy Mansikkasalva, joka on 14 kerroksinen vuonna 1977 valmistunut asuinkerrostalo Imatralla. Kohteessa on 98 asuntoa ja rakennuksessa on koneellinen poistoilma, muttei koneellista tuloilmaa. Rakennuksen kerrosala on 6078 m<sup>2</sup> ja rakennuksen tilavuus on 20 000 m<sup>3</sup>. Tällä hetkellä kohteessa ei ole mitään lämmöntalteenottoa. Kohteen lähtötietojen perusteella poistoilmalämpöpumppu olisi siihen hyvin soveltuva ratkaisu.

### 6.1 Kokonaisenergian kulutus

Rakennuksen kokonaisenergian kulutuksessa tulee huomioida lämpöenergian kulutus ja lämmityslaitteistojen sähköenergian kulutus. Lämmitysenergian kulutuksessa huomioidaan ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia, käyttöveden lämmittämiseen tarvittava lämpöenergia sekä rakennuksessa tapahtuvien lämpöhäviöihin kuluva lämmitysenergia. Sähköenergian kulutuksessa huomioidaan poistoilmalämpöpumpun tarvitsema sähköteho. Kokonaisenergian kulutus ilman LTO:ta lasketaan yhtälön 1 mukaisesti.

$$E_{tot} = Q_{häviöt} + Q_{käyttövesi} + Q_{iv} + Q_{LTO} + E_{S,pilp} \quad (1)$$

$Q_{häviöt}$	rakennuksen yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö [Wh]
$Q_{käyttövesi}$	käyttöveden lämmittämiseen tarvittava lämpömäärä [Wh]
$Q_{iv}$	ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia lämmityskaudella [Wh]
$Q_{LTO}$	poistoilmasta talteenotettu energia lämmityskaudella [Wh]
$P_{S,pilp}$	lämpöpumpun sähköteho [Wh]

### 6.2 Rakennuksen lämpöhäviöt

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 perusteella uudisrakennuksen E-luvun eli rakennuksen kokonaisenergian kulutuksen raja-arvoksi on annettu 130 kWh/m<sup>2</sup> lattiapinta-alaa kohden. Oletetaan, että voidaan soveltaa tätä raja-arvoa Mansikkasalvan kohteeseen.

Yhtälössä 2 on laskettu rakennuksen referenssitalon E-luku, johon Mansikkasalvan kohdetta verrataan.

$$E_{tot} = A_{kerros} E = 6087 m^2 \cdot 130 \frac{kWh}{m^2} = 791 MWh \quad (2)$$

$E$  Asuinkerrostalon E-luku kerros-pinta-alaa kohden [kWh/m<sup>2</sup>]

$E_{tot}$  Asuinkerrostalon E-luku [kWh]

$A_{kerros}$  Rakennuksen yhteenlaskettu kerros-pinta-ala [m<sup>2</sup>]

Isännöitsijältä on saatu tietoja rakennuksen vuosittaisesta lämpöenergian kulutuksesta. Vuosilta 2008-2011 on tilastoitua tietoa rakennuksen lämpöenergian kokonaiskulutuksesta. Näiden tilastoitujen tietojen perusteella on laskettu keskiarvo lämpöenergian kulutukselle, joka on 678 MWh/a. Tästä lämpöenergian kokonaisluvusta saadaan ilmanvaihdon käyttämä lämpömäärä ja rakenteiden kautta tapahtuvat häviöt, kunhan siitä ensin vähennetään lämpimän käyttöveden tarvitsema lämpömäärä, yhtälön 3 mukaisesti.

$$\begin{aligned} Q_{iv} + Q_{häviöt} &= Q_{tot} - Q_{käyttövesi} \\ &= 678 MWh - 152 MWh = 526 MWh \end{aligned} \quad (3)$$

### 6.3 Käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energia

Isännöitsijältä saatujen tilastoitujen tietojen mukaan vuosien 2008-2011 lämpöenergian keskikulutus vuositasolla on ollut 678 MWh. Lämpöenergian kulutus muodostuu asuntojen huoneilman lämmittämisestä ja lämpimän käyttöveden lämmityksestä. Isännöitsijältä saatujen tietojen perusteella veden keskimääräinen vuosikulutus on ollut vuosina 2007-2008 6518 m<sup>3</sup>/a. Lämpimän käyttöveden kulutuksesta ei ole tarkkaa tietoa, mutta voidaan olettaa lämpimän käyttöveden olevan 40 % kokonaisveden kulutuksesta (Motiva 2012). Yhtälön 4 mukaisesti lämpimän käyttöveden kulutukseksi saadaan 2 607 m<sup>3</sup>/a.

$$q_{v,lämmin} = 0,40 \cdot q_v \quad (4)$$

$q_{v,lämmin}$  lämpimän käyttöveden kulutus vuodessa [m<sup>3</sup>/a]

$q_v$  käyttöveden kokonaiskulutus vuodessa [ $m^3/a$ ]

Lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energia saadaan yhtälöstä 5. Celsius-asteet muunnetaan kelvin asteiksi lisäämällä 273 Celsius-asteisiin.

$$Q_{\text{käyttövesi}} = \rho c_{pv} q_v (T_{lv} - T_{kv})$$

$$= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4200 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 2607 \frac{\text{m}^3}{\text{a}} (55^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C}) = 152 \frac{\text{MWh}}{\text{a}} \quad (5)$$

$\rho$  Veden tiheys [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$c_{pv}$  Veden ominaislämpökapasiteetti [ $\text{J}/\text{kgK}$ ]

#### 6.4 Ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve

Ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia voidaan laskea yhtälöiden 6 ja 7 avulla. Yhtälön 8 mukainen ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia kuvaa tilannetta, jossa ei ole minkäänlaista lämmöntalteenottoa. Ilmanvaihdon tarvitsemaa lämmitysenergiaa tarvitaan vuosihyötysuhteen laskennassa. Ilman ominaislämpökapasiteetille käytetään arvoa  $c_p = 1,005 \text{ kJ}/\text{kgK}$  ja ilman tiheydelle käytetään arvoa  $1,205 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

$$Q_{iv} = \sum Q_{iv,i} = Q_{iv,1} + Q_{iv,2} + Q_{iv,3} + \dots \quad (6)$$

$$Q_{iv,i} = c_p \rho q_{p,i} \sum (t_s - t_u) \Delta \tau \quad (7)$$

$c_p$  ilman ominaislämpökapasiteetti [ $\text{J}/\text{kgK}$ ]

$\rho$  ilman tiheys [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$q_{p,i}$  lämmöntalteenoton piiriin kuuluva poistoilmavirta [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$\Delta \tau$  ajanjakso, jolloin lämpötilaero ( $t_s - t_u$ ) esintyy [d]

## 6.5 Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia

Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergian määrä lämmityskaudella voidaan laskea yhtälöiden 8-9 mukaisesti. (Ympäristöministeriö 2003, s.20)

$$Q_{LTO} = \sum_i Q_{LTO,i} = Q_{LTO,1} + Q_{LTO,2} + Q_{LTO,3} + \dots \quad (8)$$

$$Q_{LTO,i} = c_p \rho q_{p,i} \sum (t_s - t_j) \Delta\tau \quad (9)$$

$\Delta\tau$  ajanjakso, jolloin lämpötilaero ( $t_s - t_j$ ) esintyy [d]

## 6.6 Sähköntarpeen laskenta

LTO:n hyötyjä arvioitaessa on tärkeää huomioida lämpöpumpun sähkönkulutus. Lämpöpumpun käyttämä sähköteho lasketaan yleisen tehoyhtälön avulla yhtälön 10 mukaisesti.

$$P_{S,pilp} = \frac{P_s}{COP} \quad (10)$$

$P_s$  Siirretty lämpöteho [Wh]

$COP$  Lämpökerroin [-]

## 6.7 Vuosihyötysuhde

Rakennuksen ilmanvaihdon yhteydessä toimivan lämmöntalteenottojärjestelmän vuosihyötysuhde määritellään talteenotetun lämmön, lämpöpumpun sähkönkulutuksen ja rakennuksen ilmanvaihdon mukana poiskulkeutuvan lämmön suhteena. (Ympäristöministeriö 2003, s. 24-34)

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde saadaan laskettua yhtälöiden yhtälön 11 avulla. Siihen tarvittavat suureet on laskettu aikaisemmissa yhtälöissä.

$$\eta_a = \frac{Q_{LTO} - P_{S,pilp}}{Q_{iv}} \quad (11)$$

$\eta_a$  ilmanvaihdon lämmön talteenoton vuosihyötysuhde

## 6.8 Vuosittaiset säästöt ja takaisinmaksuaika

Yhtälön 22-25 avulla saadaan laskettua LTO:lla talteen saatavan lämmön hyödyt rahassa. Ensin lasketaan LTO:lla saatavan lämmön arvo rahassa yhtälön 12 avulla.

$$k_{LTO} = Q_{LTO} h_{lämpö} \quad (12)$$

$k_{LTO}$  LTO:lla saatavat kustannussäästöt vuodessa [€]

$h_{lämpö}$  kaukolämmön markkinahinta [€/MWh]

Yhtälön 13 avulla saadaan laskettua LTO:n käyttämän sähkön aiheuttamat kustannukset.

$$k_{LTO,S} = P_s h_{sähkö} \quad (13)$$

$k_{LTO,S}$  LTO:n sähkönkulutuksen kustannukset [€]

$h_{sähkö}$  sähkön markkinahinta [€/MWh]

Yhtälön 14 avulla saadaan laskettua LTO:n avulla saatavat vuosittaiset säästöt.

$$S = k_{LTO} - k_{LTO,S} \quad (14)$$

$S$  LTO:lla saatavat vuosittaiset säästöt [€]

LTO:n koroton takaisinmaksuaika lasketaan yhtälöstä 15.

$$n = \frac{I}{S} \quad (15)$$

$n$  Takaisinmaksuaika [a]

$I$  Investoinnin suuruus [€]

## 7 TULOSTEN TULKINTA

Poistoilmalämpöpumpun paras mahdollinen toiminta-alue rajoittuu ulkolämpötilan mukaan. Ulkoilmalämpötilan ollessa erittäin alhainen lämpöpumppu kuluttaa enemmän sähköä ja siitä ei välttämättä saada mitään hyötyä. Lämpöpumpun toiminta-alue säätää ulkoilmalämpötilojen mukaan. Valmistajasta riippuen lämpöpumpun toiminta-alueita kannattaa säätää ulkolämpötilojen mukaisesti. Laitetoimittajalta saa tarvittavat ohjeet lämpöpumpun säätöön. Näissä tuloksissa lämpöpumppu toimii ulkolämpötilan ollessa väliltä +14 °C..-30 °C.

Tätä laskentaa voidaan pitää vähimmäisarvona lämmöntalteenotolle. Lämpöpumpun asentamisella saadaan vuosittain 21 % säästöt lämmityskustannuksissa. Taulukoissa 1-3 on esitetty laskennan tuloksia.

**Taulukko 1.** Tilastoituja lämmönkulutuslukuja Mansikkasalvasta.

$Q_{tot}$	<b>678 MWh</b>
$Q_{käyttövesi}$	<b>152 MWh</b>
$Q_{iv,tilasto}+(Q_{häviöt})$	<b>526 MWh</b>

**Taulukko 2.** Lämmönkulutuslukuja laskennan perusteella

$Q_{iv}$	<b>389 MWh</b>
$Q_{LTO}$	<b>261 MWh</b>
$E_{LTO}$	<b>83 MWh</b>
$\eta_a$	<b>49 %</b>

**Taulukko 3.** LTO:lla saatavat säästöt ja takaisinmaksuaika.

<b>Lämmöstä saatu etu</b>	<b>21 430 €/a</b>
<b>Sähkön aiheuttamat kustannukset</b>	<b>9 932 €/a</b>
<b>LTO:lla saatava säästö vuodessa</b>	<b>11 498 €/a</b>
<b>Nettosäästö 10 vuodessa</b>	<b>114 981 €</b>
<b>Nettosäästö 20 vuodessa</b>	<b>229 963 €</b>
<b>Säästöt lämmityskustannuksissa</b>	<b>22 %</b>
<b>Koroton takaisinmaksuaika</b>	<b>8,0 / 10,9 vuotta</b>

## 7.1 Epävarmuus

Epävarmuutta tuloksissa aiheuttaa se, ettei voida käyttää tarkkoja tietoja laitteista, koska lämpöpumppulaitteistot ovat patentilla suojattu, minkä vuoksi laskentaa voidaan pitää suuntaa antavana. Virhettä laskennassa voi aiheuttaa myös se, ettei meillä ole tarkkaa tietoa lämpimän käyttöveden kulutuksesta, myös rakennuksesta tulevat lämpöhäviöt ovat hankala määrittää tarkkaan. Virhettä laskennassa voi myös aiheuttaa se, että lämmöntarvelukujen laskennassa käytettiin Ympäristöministeriön testivuoden säätietoja, todellisuudessa sääolosuhteet ja lämpötilat voivat vaihdella eri tavalla. Merkittävin virheen aiheuttaja tuloksissa voi olla lämpöpumpun sähkönkulutus. On vaikea laskea ilman tarkkoja tietoja lämpöpumpun todellista sähkönkulutusta erityisesti ääriolosuhteissa. Sähkönkulutus ei kuitenkaan voi olla niin merkittävästi suurempi mitä laskennan perusteella saatava hyöty on, ettei hanke olisi kannattava. Todellisuudessa lämpöpumpulla voidaan saada lämpöä talteen jopa enemmän, koska hyötysuhde voi olla todellisuudessa parempi ja lämpöpumpun optimaalinen säätö käyttäjän tarpeisiin parantaa myös sen energiatehokkuutta.

## 7.2 Tulosten luotettavuus

Epävarmuustekijöistä huolimatta laskentaa voidaan pitää luotettavana, koska isännöitsijältä saadut tilastoidut seurantaluvut kulutuksesta ja laskennan kautta saadut arvot ovat yhtenevät. Edellä mainittujen lukujen pienet eroavaisuudet selittyvät sääolosuhteiden

vaihteluilla ja kulutuksen vaihteluilla. Ympäristöministeriön testivuoden sääolosuhteiden käyttämistä voidaan pitää luotettavana.

## **8 JOHTOPÄÄTÖKSET**

Laskelmien perusteella lämpöpumpun asentamisella voidaan saavuttaa 22 % säästöt lämmityskustannuksissa. Laitteen koroton takaisinmaksu aika on 8,0 tai 10,9 vuotta riippuen laitetoimittajasta, mitä voidaan pitää kohtuullisena ja kannattavana. Laitteiston käyttöikä on valmistajasta ja käytöstä riippuen 20-25 vuotta. Vuosittaiset säästöt, jotka lämpöpumpun avulla saavutetaan, ovat laskelmien 11 498 €/a. Todellisuudessa rahassa mitattavat hyödyt voivat olla enemmän nyt ja tulevaisuudessa. Rahassa mitattavat hyödyt voivat olla suuremmat, koska laitetoimittajilla on tarkemmat tiedot laitteistoista ja säättämällä lämpöpumppu kohteeseen sopivaksi vältetään turhalta sähkönkulutukselta ja voidaan käyttää järjestelmää mahdollisimman energiatehokkaasti. Säästöihin vaikuttaa myös kaukolämmön hinnan kehitys.

Tämän kandidityön laskennan eroavaisuudet laitetoimittajien laskentoihin selittyvät sillä, että laitetoimittajilla on tarkemmat tiedot laitteidensa toiminnasta. Yksi merkittävä eroavaisuus on, ettei laitetoimittajien laskennoissa ole huomioitu rakennuksesta tapahtuvia lämpöhäviöitä ollenkaan. Lämpöhäviöitä tapahtuu joka tapauksessa ja ne ovat suoraan pois poistoilman määrästä.

Lopputuloksena voidaan todeta, että lämmöntalteenotto on kannattava investointi Mansikkasalvan kohteessa. LTO:lla voidaan saavuttaa säästöjä vuosittaisissa energiankustannuksissa. Mansikkasalvan kaltaisessa kaukolämmöllä lämmitettävässä kohteessa, hyödyt eivät kuitenkaan ole niin suuret kuin kaukolämpöverkoston ulkopuolella olevassa asuinkerrostalossa.



## **9 YHTEENVETO**

Tässä työssä esiteltiin lämmöntalteenottojärjestelmiä ja niihin liittyvää teoriaa. Laskennassa perehdyttiin Mansikkasalvan kohteeseen ja laskettiin esimerkkilaskenta poistoilmalämpöpumpulle. Laskennassa tuotiin esille poistoilmasta talteen saatava lämpömäärä ja sen kautta saatavat hyödyt rahassa. Tämän lisäksi laskettiin investoinnille takaisinmaksuaika. Työssä esitettyä laskentaa voidaan soveltaa samankaltaisiin kohteisiin. Tosin on tärkeää huomioida Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeet ja soveltaa niitä aina tapauskohtaisesti.

## LÄHTEET

Motiva. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. [Motivan www-sivut]. [Viitattu 15.3.2012].

Saatavissa:

[http://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/energiankayton\\_tehostaminen/kiinteistojen\\_energia\\_nhallinta/kulutuksen\\_normitus/laskukaavat\\_lammin\\_kayttovesi](http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteistojen_energia_nhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi)

Rakennusteollisuus RT ry. Lämmöntalteenotto poistoilmasta. [Tee parannus www-sivut].

[Viitattu 12.3.2012] Saatavilla:

<http://www.teeparannus.fi/parhaatkaytannot/ratkaisuja/hyvakorjaustapa/ilmanvaihto/>

Seppänen Olli. 1988. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Rauma: LVI-kustannus Oy. 350 s. ISBN 951-96098-0-6

Seppänen, Olli. Seppänen Matti. 1997. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka.

Jyväskylä: Sisäilmayhdistys. 279 s. ISBN 951-97186-5-6

Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä: Suomen LVI-liitto. 444 s. ISBN 951-98811-0-7

Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry, SULPU. Poistoilmalämpöpumppu. [Sulpun www-sivut]. [Viitattu 12.3.2012]. Saatavilla:

[http://www.sulpu.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=21&Itemid=115](http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=21&Itemid=115)

Suomen standardisoimisliitto, SFS. 2008. Rakennusten energiatehokkuus. Lämmityksen ja jäähdytyksen energiatarpeen laskenta. SFS-EN ISO 13790. 160 s. Saatavissa: Nelli-tietokanta.

Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. 2007. D5 Suomen

rakentamismääräyskokoelma, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehotarpeen laskenta, Ohjeet 2007. Helsinki: Ympäristöministeriö. 72 s. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>

Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 2012. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2010. Helsinki: Ympäristöministeriö. 14 s. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/34165-D3-2010\\_suomi\\_22-12-2008.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/34165-D3-2010_suomi_22-12-2008.pdf)

Ympäristöministeriö. Helsinki 2003. Ympäristöministeriön moniste 122, Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. 35 s. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=9298&lan=fi>