

Niko Luopa

# **PILP-järjestelmä kerrostalon energiatehokkuuden parantamisessa**

Opinnäytetyö

Kevät 2015

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

**SeAMK** 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: LVI-tekniikka

Tekijä: Niko Luopa

Työn nimi: PILP-järjestelmä kerrostalon energiatehokkuuden parantamisessa

Ohjaaja: Eero Kulmala

Vuosi: 2015

Sivumäärä: 51

Liitteiden lukumäärä: 2

---

Opinnäytetyössä tutkittiin poistoilmalämpöpumppujärjestelmää ja sen hyödyntämistä vanhojen kerrostalojen tai vastaavien rakennusten korjausrakentamisessa. Tutkimuksen taustalla oli toimeksiantajan, LVIA-suunnittelutoimisto Hewal Oy:n, kiinnostus järjestelmän toteuttamiseen tulevaisuudessa saneerauskohteissaan, minkä vuoksi kaivattiin selvitystä muun muassa järjestelmän kannattavuudesta ja käytännön toteutettavuudesta.

Opinnäytetyötä varten kerättiin laajasti aihetta käsittelevää aineistoa ja sen pohjalta muodostettiin työn rakenne. Energiatehokkuutta koskevan lainsäädännössä todetaan korjauskohteidenkin olevan nykyisin veloitettuja vastaamaan EU:n energiatehokkuusmääräyksiä. Seuraavaksi työssä esitetään lämpöpumppujen toiminnan termodynaaminen perusta. Lämpöpöpin pääsääntöjen mukaan systeemi pyrkii luonnostaan epäjärjestykseen eli käytännössä termiseen tasapainoon, mikä ilmenee eri lämmön siirtymisen muotoina. Lämpöpumppu hyödyntää luonnollista prosessia ottamalla poistoilman sisäenergiaa talteen. Sitten käsitellään PILP-järjestelmän tyyppisten ratkaisujen rakenne ja toteutustapa ja esitellään lämmön talteenottoon käytettävien patterimallien toimintaa.

Opinnäytetyössä käytettiin Hewal Oy:n senhetkistä saneerauskohdetta, Marttilan Kortteerin Tornitaloa, tapaustutkimukseen. Kannattavuustarkasteluun valittiin Naavatar-järjestelmä. Kohteen teknisiä ominaisuuksia selvitettiin ja PILP:n toteutusta luonnosteltiin MagiCAD-piirroksella. Kohteeseen mitoitettujen järjestelmän tiedoilla laskettiin takaisinmaksuaika. Kohde oli periaatteessa otollinen PILP:lle, mutta osoitautui lopulta kannattamattomaksi. Syiksi eriteltiin pieni ilmamäärä, paikallinen energiahinnoittelu sekä toteutuksen haastavuus.

Avainsanat: energiatehokkuus, lämmön talteenotto, lämpöpumput, termodynaikka

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: HVAC Technology

Author: Niko Luopa

Title of thesis: Exhaust air heat pump – Improving energy efficiency of an apartment building

Supervisor: Eero Kulmala

Year: 2015

Number of pages: 51

Number of appendices: 2

---

The thesis was based on an assignment received from Hewal Oy, an HVAC design company, which was curious about the potential of exhaust air heat pumps (EAHP) being used in the renovation of existing apartment houses. The company was interested in designing EAHP-systems for their clients, but did not previously have experience in the implementation of such systems.

The aim of the thesis was to lay out the basic structure, advantages and possibilities of an EAHP-system. An extensive selection of literature served as source material for the research, covering topics such as energy efficiency regulations, thermodynamics and air conditioning technology. The study focused on an actual case provided by Hewal Oy, where the goal was to determine if the EAHP-system was a profitable solution for that particular building. Based on the calculations made, the EAHP-system turned out not to be suitable in this case. Three insuperable factors were determined: insufficient exhaust air current restricted the heat recovery rate, adverse local pricing of district heating and electricity severely extended the repayment period and certain structural difficulties caused and sustained a high initial investment cost for the system.

Keywords: air pumps, energy efficiency, heat recovery, thermodynamics

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	8
1 JOHDANTO .....	9
1.1 Työn tausta .....	9
1.2 Työn tavoitteet .....	9
1.3 Työn rakenne.....	10
1.4 Työn tilaaja.....	11
2 ENERGIALAINSÄÄDÄNTÖ .....	12
2.1 Energiatehokkuutta koskevat keskeiset määräykset.....	12
2.2 Vaikutukset korjausrakentamisessa.....	13
3 TERMODYNAMIIKKA .....	15
3.1 Pääsäännöt.....	15
3.2 Olomuodonmuutokset.....	17
3.3 Ominaislämpökapasiteetti.....	17
3.4 Lämmön siirtyminen.....	18
3.5 Poistoilman ominaisuudet .....	18
4 LÄMPÖPUMPPU .....	21
4.1 Lämpövoimakoneen ja lämpöpumpun toiminta.....	21
4.2 Kylmäaineet .....	22
4.3 Kylmätekninen kierto-prosessi .....	24
5 PILP-JÄRJESTELMÄ.....	26
5.1 Nestekiertoinen LTO .....	26
5.2 Ulkoyksikkö .....	27
5.3 Poistoilmapatteri .....	29
5.3.1 Toimintamallit.....	29
5.3.2 Patterityypit .....	31
5.4 Sisäyksikkö .....	34

6	TORNITALO .....	35
6.1	Kohteen esittely .....	35
6.2	Talotekniikka .....	36
6.2.1	Lämmitys .....	36
6.2.2	Ilmanvaihto .....	36
6.3	Energiaselvitys ja toteutunut kulutus.....	39
7	PILP:N SOVELTUVUUS KOHTEESEEN .....	41
7.1	Naavatar .....	41
7.1.1	Järjestelmän kuvaus .....	41
7.1.2	Kannattavuusarvio .....	43
7.2	Soveltuvuus kohteeseen.....	44
7.2.1	Energiahinnoittelun vaikutukset .....	44
7.2.2	Rakennustekniset haasteet.....	46
8	YHTEENVETO.....	47
	LÄHTEET .....	48
	LIITTEET.....	51

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Viitteellinen projektiakataulu.....	10
Kuvio 2. Yrityksen liikemerkit. ....	11
Kuvio 3. Faasikaavio.....	17
Kuvio 4. Kostean ilman Mollier-piirros.....	19
Kuvio 5. Lämpövoima- ja jäädytyskoneiden termodyn. toimintaperiaatteet.....	21
Kuvio 6. Kylmäaineen log p,h- tilapiirros. ....	22
Kuvio 7. Kylmätekninen kiertoprosessi. ....	24
Kuvio 8. Todellinen kiertoprosessi. ....	25
Kuvio 9. Epäsuorahöyrysteisen Thereco PF20 -järjestelmän esimerkkikytkentä. .	27
Kuvio 10. Lämmöntalteenottoyksikkö STEL.....	28
Kuvio 11. Lämmönsiirtimen toimintamallit. ....	29
Kuvio 12. Lämmönsiirtimien toimintaperiaatteet.....	30
Kuvio 13. Lamellipatterin rakenne.....	31
Kuvio 14. LTOH-järjestelmä neulalämmönsiirtimellä.....	32
Kuvio 15. Harjalämmönsiirrinelementti.....	33
Kuvio 16. PILP:n modulaarinen sisäyksikkö, jossa myös varaajat. ....	34
Kuvio 17. Tornitalo joen toiselta puolelta. ....	35
Kuvio 18. Luonnos vanhoista huippuimureista.....	37
Kuvio 19. Luonnos uusista puhaltimista.....	38
Kuvio 20. Luonnos alustavasti suunnitelluista LTO-yksiköistä. ....	38

Kuvio 21. Naavatar-järjestelmän toteutusperiaate. ....	42
Kuvio 22. Takaisinmaksuaika Seinäjoen energiahinnoittelulla. ....	45
Kuvio 23. Takaisinmaksuaika energian keskihinnoilla. ....	45
Kuvio 24. Tornitalon katonharja. ....	46
Taulukko 1. Kylmäaineiden luokittelu halogeenimolekyylin mukaan. ....	23
Taulukko 2. Kaukolämmön toteutunut kulutus. ....	39
Taulukko 3. Tornitalon osuus sähkönkulutuksesta.....	39
Taulukko 4. Viitteellinen taulukko eritehoisista Naavatar-järjestelmistä. ....	42
Taulukko 5. Kannattavuusarvion esitietoja.....	43
Taulukko 6. Energiahinnoittelun ja takaisinmaksuajan vertailu. ....	44

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>COP</b>	Lämpöpumpun hyötysuhde eli lämpökerroin (Coefficient of Performance).
<b>E-luku</b>	tai ET-luku. Rakennuksen kokonaisenergiatehokkuutta mittaava käsite, jota tarkastellaan vuositasolla. Määritetään määräyksissä ja asetuksissa esitetyin laskentamenetelmin.
<b>LTO</b>	Lämmöntalteenotto.
<b>PILP</b>	Poistoilmalämpöpumppu.
<b>RakMK</b>	Rakentamismääräyskokoelma.
<b>SCOP</b>	Lämpöpumpun kausisuorituskykykerroin, eli vuotuisen tuoton suhde lämpöpumpun vuotuisen kokonaiskulutukseen (Seasonal Coefficient of Performance).



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Hiljattain tiukentuneet energiatehokkuusmääräykset korjausrakentamisessa velvoittavat monia vanhoja rakennuksia asuttavia taloyhtiöitä toimenpiteisiin. Rakennusosiin kohdistuvien parannusten lisäksi on huomioitava myös teknisten järjestelmien vaatimukset, käsittäen muun muassa lämpöpumput. Opinnäytetyössä käsitellään poistoilmalämpöpumpun (edempänä PILP) hyödyntämistä vanhojen kerrostalojen energiatehokkuuden parantamisessa. PILP-järjestelmä on teoriassa erittäin tehokas vaihtoehtoinen järjestelmä. Uusimpia järjestelmiä on markkinoitu aiempaa tehokkaampina ja kiinnostus niitä kohtaan on ollut kasvussa.

Työn toimeksiantaja, Hewal Oy, toimii suunnittelijana ja konsulttina muun muassa kiinteistöosaakeyhtiöille, joille PILP-järjestelmää markkinoidaan kannattavana energiatehokkuuden saneerauksen muotona. Opinnäytetyöhön otetaan Kiinteistö Oy Marttilan Kortteerin Tornitalo tapaustutkimuskohteeksi, johon tehdään parhaillaan peruskorjausta. Hewal Oy toimii kohteessa LVIA-suunnittelijana. Erityiseen tarkasteluun opinnäytetyöhön on valittu Naavatar-konsepti. Järjestelmästä pidettiin Hewal Oy:n asiakkaalle 5.2.2015 esittely, johon myös opinnäytetyöntekijä osallistui. Katsottiin, että järjestelmän soveltuvuuden arviointi myös Marttilan Kortteerin kohteeseen on eduksi sekä toimeksiantajalle että Naavattarelle.

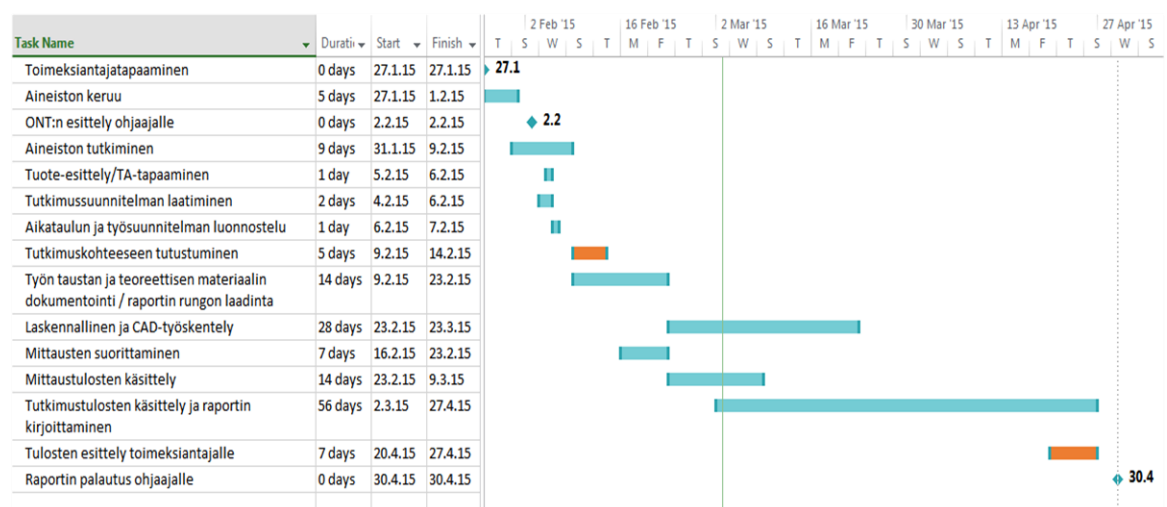
## 1.2 Työn tavoitteet

Hewal Oy ei ole aiemmin toteuttanut vastaavia poistoilmalämpöpumppujen sovelluksia. Opinnäytetyö toimii pilottitutkimuksena aiheesta, jonka tavoitteena on toimia sekä referenssinä Hewal Oy:n käytössä että olla hyödyksi yrityksen asiakkaiden kanssa aiheen tiimoilta. Työn tavoitteena on selvittää PILP-järjestelmän soveltuvuus määrättyyn tutkimuskohteeseen huomioiden mitoitukset, kustannukset, säästö ja takaisinmaksuaika. Selvityksen yhdenaikaisuus tutkimuskohteen peruskorjauksen kanssa mahdollistaa tulosten hyödyntämisen samassa yhteydessä, jos toteutus osoittautuu kannattavaksi. Työssä pyritään huomioimaan järjestelmän suunniteluun

ja toteutukseen vaikuttavat rakennus- ja LVI-tekniset seikat sekä käyttöönoton mahdollisesti aiheuttamat muutokset kokonaisuuteen. Tavoitteena on esimerkiksi arvioida PILP:n vaatimat tai aiheuttamat muutokset olemassa olevaan lämmitysjärjestelmään ja ilmanvaihtoon.

### 1.3 Työn rakenne

Opinnäytetyön rakenne on pääasiassa tutkimuksellinen, jolloin aihetta pyritään taustoittamaan kattavasti useista näkökulmista. Työn tavoitteena on kuitenkin tuottaa tutkimuskohteeseen liittyvä produktio toimeksiantajalle, joten osa työstä toimii raporttina tuotantoprosessista. Ensimmäisissä luvuissa käsitellään aihetta koskeva lainsäädännöllinen viitekehys ja tekniikan taustalla olevat termodynaamiset lait ja peruskäsitteet. Termodynamiikan aineisto pohjustaa teoriaa lämpöpumppujen toiminnasta ja niihin perustuvista järjestelmistä. Seuraavaksi esitellään tapaustutkimuskohde ja siirrytään käsittelemään kohteen taloteknisiä ominaisuuksia, energiataloutta sekä PILP-järjestelmän suunnittelua. Aiemmin esitetyt energialainsäädäntö ja teoreettinen materiaali tukevat kohteeseen sopivan järjestelmän valintaa ja mitoitusta. Lopuksi esitetään työn tulokset, tehty produktio ja mahdolliset johtopäätökset. Opinnäytetyölle tehtiin alustava toimintasuunnitelma ja sen pohjalta viitteellinen aikataulu (kuvio 1), jota työn rakenne mukailee. Ilmeni, että varsinaisia mittauksia tutkimuskohteessa ei voida korjaustyön aikana tehdä, mutta tarpeen mukaan kohteessa voi vieraila.



Kuvio 1. Viitteellinen projektiaikataulu.

## 1.4 Työn tilaaja

Hewal Oy on Etelä-Pohjanmaan alueella vuodesta 1982 toiminut LVIA-tekniikkaan erikoistunut insinööritoimisto. Yrityksen toimialoja ovat talotekninen suunnittelu, valvonta ja muut asiantuntijatehtävät. Hewal Oy on kuulunut Novecom-konserniin vuodesta 2013 (kuvio 2).

Novecom Oy valtakunnallisesti toimiva talotekniikan ja paloturvallisuuden suunnittelu- ja konsultointiyritys. Konsernin toimialoja ovat LVIA-suunnittelun lisäksi palotekninen suunnittelu, sammutuslaitteistojen suunnittelu sekä energiatodistusten ja selvitysten laadinta. Novecom Oy tuottaa palveluita koko hankkeen ajalle tarveselvityksestä ylläpitoon. Yritys on toteuttanut saneeraus- ja uudiskohteita kattaen kouluja, liiketiloja, tuotantolaitoksia, palvelu- ja asuintaloja. (Novecom Oy.)



Kuvio 2. Yrityksen liikemerkit.

## 2 ENERGIALAINSÄÄDÄNTÖ

### 2.1 Energiatehokkuutta koskevat keskeiset määräykset

Uudis- ja korjausrakentaminen Suomessa perustuu maankäyttö- ja rakennuslakiin, jolla pyritään edistämään kaikkinaista kestävästä kehitystä rakentamisessa (L 5.2.1999/132, 1 luku, 1§). Laissa on säädetty Suomen rakentamismääräyskokoelmasta, johon kootaan ja päivitetään kaikki rakentamista koskevat asetukset, määräykset ja ohjeet (1 luku, 13§). Rakentamismääräyskokoelma toimii siis ensisijaisena viitteenä myös rakennusten energiatehokkuudelle.

Maankäyttö- ja rakennuslaissa on otettu laajamittaisesti kantaa rakennusten energiatehokkuuteen erityisesti EU:n asettaman direktiivin 2002/91/EY myötä. Direktiivissä säädettiin asunto- ja palvelurakentamisen energiatehokkuuden parantamisen toimenpiteitä Kioton pöytäkirjan globaalien tavoitteiden valossa. Direktiivin tavoitteina oli muun muassa määrittää jäsenmaille yleiset energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset ja energialaskennan menetelmät sekä asettaa alulle rakennusten energiatodistukset ja energiasertifiointi. (Tajakka 2012, 17–18.) EU:n asettama direktiivi 2010/31/EU tiukentaa edelleen Kioton sopimuksen mukaisia toimenpiteitä päästöjen vähentämiseksi. Energiatehokkuusdirektiivien implementointia Suomessa tutkinut Tajakka (2012, 37–38) summaa, että jäsenmaat sitoutuvat muun muassa vähentämään kasvihuonekaasuja 20 % vuoden 1990 tasosta ja nostamaan uusiutuvien energialähteiden osuutta energiantuotannossa 20 % vuoteen 2020 mennessä. Direktiivin seurausta on energiatodistusten arvovallan nousu ja kokonaisenergiankulutusta kuvaava E-luku, jolle on asetettu rakennusluokkien mukaiset ylärajat.

Vastatakseen direktiiviä rakentamismääräyskokoelman energiatehokkuutta käsittelevä osa, D3, kävi läpi huomattavia muutoksia vuonna 2011. D3:een siirrettiin ja laajennettiin energiatehokkuutta koskevia vaatimuksia ja laskentasääntöjä muista määräyskokoelman osista, kuten D2:sta sekä C3:sta, joka kumottiin kokonaan. Fokus siirtyi lämpöhäviöiden vaatimuksista kokonaisenergiankulutuksen seurantaan, jossa rakennusta tarkastellaan kuin termodynaamista systeemiä. Laskennoissa

huomioidaan kaikki energiatalouteen vaikuttavat seikat ilmanpitävyydestä sisäisiin lämpökuormiin ja energiamuotoihin. (Ympäristöministeriö 2011, 1.)

## 2.2 Vaikutukset korjausrakentamisessa

Direktiivissä 2010/31/EU laajennetaan energiatehokkuutta koskevat vähimmäisvaatimukset koskemaan myös korjauskohteita, siinä määrin kuin se on järkevästi toteutettavissa (artikla 7). Artiklassa 6 asetetaan teknisten järjestelmien arviointi osaksi rakentamisen suunnittelua, mikä koskee myös laajamittaisia korjauskohteita. Kaikissa tapauksissa tulee siis yksilöllisesti huomioida niin kutsuttujen erittäin tehokkaiden vaihtoehtoisten järjestelmien tekninen, ympäristöön liittyvä ja taloudellinen toteutettavuus. Näitä ovat

- uusiutuvia energialähteitä käyttävät järjestelmät
- yhteistuotanto
- erityisesti uusiutuviin lähteisiin perustuvat kauko- ja aluelämmitys tai -jäähdytysjärjestelmät
- lämpöpumput.

Ajantasaisin aihetta koskeva säädös on ympäristöministeriön 27.2.2013 antama asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Asetuksessa päivitetään ja säädetään uusia vaatimuksia ja huomioitavia seikkoja, ja se toimii hyvänä käytännöllisenä tiivistelmänä vuosikymmenen kestäneen energialainsäädännön uudistumisesta olemassa oleviin rakennuksiin. Rakennushankkeen on toteutettava asetetut vähimmäisvaatimukset joko rakennusosissa, standardikäyttöön perustuvassa energiakulutuksessa tai E-luvussa (4/13YM, 8§). Teknisten järjestelmien saneerauksen tulee täyttää omat vaatimuksensa riippumatta rakennusta koskevasta energiatehokkuuden parantamisen vaihtoehdosta (4/13YM, 5§). Opinnäytetyössä käsiteltävän tutkimuskohteen kannalta olennaisia näistä ovat seuraavat asiat:

- Rakennuksen ilmanvaihdon lämmön talteenoton vuosihyötysuhteen tulee olla vähintään 45 %
- Koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähkötehon tulee olla enintään  $1,0 \text{ kW}/\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$ .

Suunnitellun PILP-järjestelmän on yhtäältä oltava kyllin tuottava, mutta toisaalta sen sähkönkulutus ei saa nousta liian korkeaksi.

### 3 TERMODYNAMIIKKA

Termodynamiikan lainalaisuuksia sovelletaan runsaasti tekniikan alalla. Eriyisen kiinnostuneita ollaan prosesseista, joissa energia siirtyy ja muuttaa muotoaan. Esimerkiksi voimalaitosten, polttomoottoreiden ja lämpöpumppujen toiminta perustuu termodynaamisiin prosesseihin. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 223.)

Termodynamiikka eli lämpöoppi on fysiikan ala, joka tutkii aineiden tilanmuutoksia erilaisissa systeemeissä. Tilanmuutoksilla kuvataan termodynaamisissa systeemeissä esimerkiksi lämpötilan ( $T$ ), paineen ( $p$ ), tilavuuden ( $V$ ) muutoksia. Systeemit luokitellaan sen mukaan, miten ne reagoivat ympäristön kanssa. Eristetty systeemi ei ole vuorovaikutuksessa ympäristöön, suljetussa systeemissä energiaa vaihdetaan ympäristön kanssa ja avoin systeemi vaihtaa sekä energiaa että ainetta. (Lehto, Havukainen, Maalampi & Leskinen 2009, 11–12.)

#### 3.1 Pääsäännöt

Termodynamiikka noudattaa neljää pääsääntöä, jotka selittävät lämpöenergian käyttäytymistä. Numerointi alkaa nolasta, sillä järjestyksessä ensimmäinen sääntö otettiin käyttöön muita myöhemmin.

0. pääsääntö:

Lämpötilaero ( $\Delta T$ ) kuvaa energian siirtymistä lämpönä ( $Q$ ). Jos kaksi tai useampi systeemiä ovat saman lämpöisiä, niiden välillä ei siirry lämpöenergiaa eli ne ovat lämpötasapainossa. Kappaleet ja eristetyt systeemit pyrkivät lämpötasapainoon.

1. pääsääntö:

Energiaa voidaan tuoda systeemiin tai pois siitä ja se voi muuttaa muotoaan, mutta energian määrä on aina vakio. Sisäenergia ( $U$ ) on systeemin hetkellinen energiasisällön summa, jota ei voida mitata. Sisäenergian muutos ( $\Delta U$ ) kuvaa systeemin energiasisällön muutosta johtuen systeemiin tuodusta lämmöstä ( $Q$ ) sekä siihen tehdystä työstä ( $W$ ):

$$\Delta U = Q + W \quad (1)$$

Sisäenergian muutosta käsitellään termodynamiikassa yleisemmin entalpian suurella. Entalpia kuvaa aineen energiasisällön muutosta kilogrammaa kohti.

$$\Delta h = c_p * \Delta T \quad (2)$$

missä

$\Delta h$	ominaisentalpian muutos	[kJ/kg]
$c_p$	ominaislämpökapasiteetti vakiopaineessa	[kJ/kg K]
$\Delta T$	lämpötilaero ( $T_1 - T_2$ )	[K]

2. pääsääntö:

Eristetty systeemi pyrkii luonnostaan jatkuvasti tasapainotilaan, mikä tarkoittaa sisäenergian epäjärjestyksen kasvamista. Se ilmenee 0. pääsäännön mukaisesti lämpötasapainoon pyrkimisenä, lämmön siirtyessä korkeammasta lämpötilasta matalampaan. Epäjärjestyksen määrää kuvataan entropialla ( $S$ ), jonka vähentämiseksi tai prosessin palauttamiseksi täytyy aina tehdä työtä. Lämpövoimakoneiden ja lämpöpumppujen toiminta ja hyötysuhteiden määrittäminen perustuu tähän lakiin. (Kaappola ym. 2011, 228–230.)

3. pääsääntö:

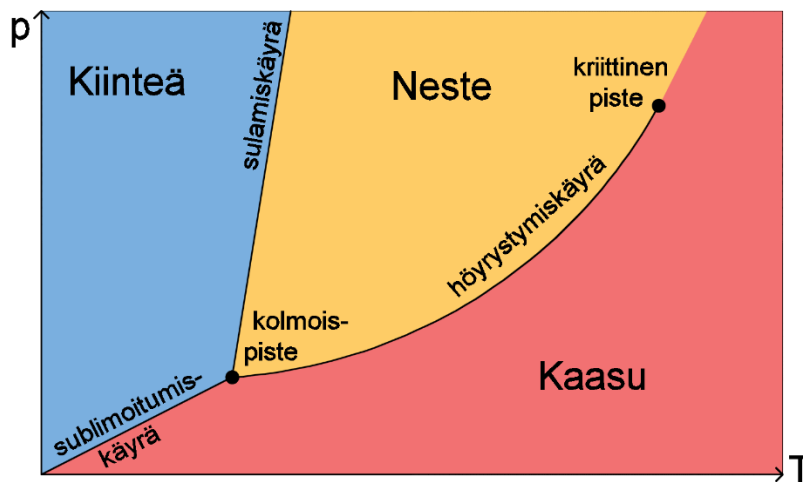
Alinta teoriassa saavutettavaa lämpötilaa, jolloin kaikki elollinen toiminta loppuisi, kutsutaan absoluuttiseksi nolllapisteeksi. Absoluuttinen nolllapiste on Kelvin-asteikon peruslämpötila 0 K, toinen sellainen on tarkkaan määritetty veden kolmoispiste lämpötilassa 273,16 K. Celsius-asteikolla absoluuttinen nolllapiste asettuu lämpötilaan  $-273,15$  °C, jolloin Celsius-asteikolla veden kolmoispiste on 0,01 °C. Näin molemmat asteikot ovat helposti muunnettavissa keskenään. Muutoin 3. pääsäännöllä ei ole termodynamiikassa juuri käytännön sovelluksia. (Lehto ym. 2009, 15.)



### 3.2 Olomuodonmuutokset

Aineen olomuoto, faasi, määräytyy vallitsevan paineen ja lämpötilan mukaan. Aineiden sulaminen, höyrystyminen ja sublimoituminen vaativat energiaa ja ilmenevät paineen ja lämpötilan noustessa. Paineen ja lämpötilan laskiessa tapahtuvat käänteiset ilmiöt, höyryn tiivistyminen nesteeksi, nesteen jähmettyminen ja kaasun härmistyminen suoraan kiinteäksi, joissa vapautuu energiaa.

Monille aineille on määritetty sulamis- ja höyrystymislämpötilat vakioaineessa, mikä antaa aineille selkeitä ominaisuuksia ja helpottaa faasimuutosten matemaattista käsittelyä. Tarkemmin aineen tilaa kuvaa kuitenkin faasikaavio, jossa esitetään aineen olomuoto eri lämpötiloissa paineen funktiona (kuvio 3). Raja-arvoja kuvaavat tasapainokäyrät, joissa faasimuutos tapahtuu. Tasapainokäyrät yhdistyvät aiemmin mainitussa kolmoispisteessä, jossa kaikki olomuodot voivat esiintyä yhtäaikaaisesti. Höyrystymiskäyrä päättyy kriittiseen pisteeseen, jonka jälkeen nesteen ja kaasun välistä faasimuutosta ei voida enää havaita. (Kaappola ym. 2011, 238–244.)



Kuvio 3. Faasikaavio.

### 3.3 Ominaislämpökapasiteetti

Lämpökapasiteetti on suure, joka ilmaisee kappaleen kykyä vastaanottaa ja luovuttaa lämpöenergiaa suhteessa lämpötilan muutokseen. Kappale voi kuitenkin koostua useista aineista, joiden kyky varastoida energiaa on erilainen. Energian siirtymiseen systeemissä vaikuttaa aineiden massa. Nämä tekijät huomioimalla saadaan selvitettyä aineen ominaislämpökapasiteetti:

$$c = C/m = Q/m\Delta T \quad (3)$$

missä

$c$	ominaislämpökapasiteetti	[J/kg K]
$C$	lämpökapasiteetti	[J/K]
$m$	aineen massa	[kg]
$Q$	varastoitu tai luovutettu energia	[J]
$\Delta T$	lämpötilan muutos.	[K]

(Lehto ym. 2009, 110–118.)

Niin ikään saadaan aineen luovuttama tai varastoima energia:

$$Q = mc\Delta T \quad (4)$$

Yhtälö voidaan esittää myös suhteessa entalpiian muutokseen vakioaineessa (kaava 2):

$$Q = m\Delta h \quad (5)$$

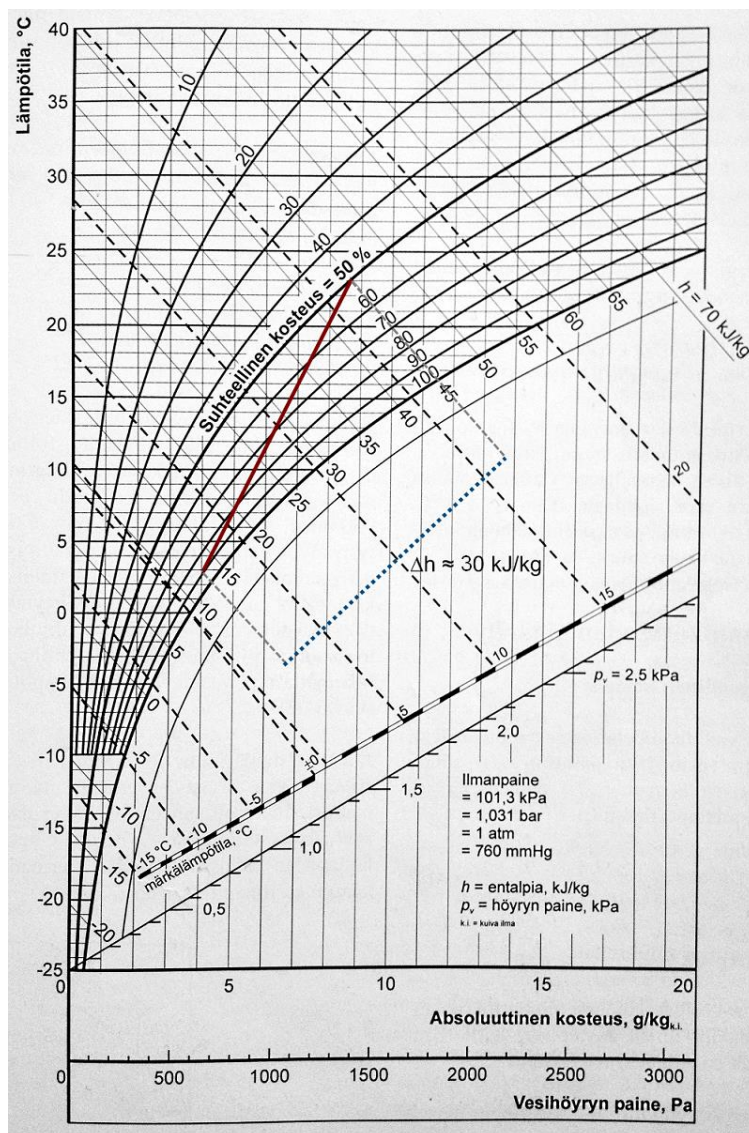
### 3.4 Lämmön siirtyminen

Lämmön siirtyminen tapahtuu johtumalla, säteilemällä ja konvektiolla. Konvektio voi olla vapaata tai pakotettua, lämpö kulkeutuu aineen mukana joko luonnollisesti tai tehdyn työn seurauksena. Jokaisessa ilmiössä esiintyy aina kaikkia näistä lämmön-siirtymismuodoista, mutta monissa tekniikan sovelluksissa olennaisin siirtymismuoto on pakotettu konvektio. Sen avulla valtaosa lämpöenergiasta voidaan siirtää haluttuun paikkaan, kuten seuraavassa luvussa käy ilmi. Merkillepantavaa on myös faasimuunnoksissa tapahtuvan huomattavan lämmön siirtymisen hyödyntäminen.

### 3.5 Poistoilman ominaisuudet

Poistoilmalämpöpumppu on perusteltu sovellus, sillä sisäilma on termodynaamisesti tarkasteltuna otollinen lämmönlähde. Suomen ulkoilman suhteellinen kosteus

(RH) on korkea läpi vuoden, keskimäärin 75 %, ja sisäilma on samassa suhteessa ulkoilman kosteuden vaihteluihin. Keskimäärin sisäilman suhteellinen kosteus on 40–50 % vuoden ympäri. Talvisin ilmaa lämmitetään ja sen kosteussisältö pienenee, mutta sisätiloissa tuotetaan silloinkin runsaasti kosteutta ja samassa yhteydessä myös lämpöenergiaa. Poistoilmassa on lopulta ihmisten, pesuvesien ja pesulaitteiden tuottama kosteus ja lisälämpö. (RIL 2011, 65–67.) Kosteaa ilmaa voi absorboida enemmän lämpöenergiaa, sillä suurempi veden osuus kasvattaa seoksen lämpökapasiteettia. Lämmönsiirron kannalta mitä kosteampaa ilma on, sen parempi. Asiaa voidaan tarkastella Mollier-diagrammista, joka kuvaa kostean ilman ominaisuuksia vakioaineessa. Kuvion 4 kaavio on laadittu tavalliselle ilmakehän paineelle 101,3 kPa.



Kuvio 4. Kostean ilman Mollier-piirros.  
(Seppänen 1996, 85.)

Diagrammiin on piirretty punainen jana esittämään esimerkkiä poistoilman ominaisuuksien muutoksesta lämmöntalteenotossa. Tarkastellaan lämpötilan muutosta pystyakselilla suhteessa entalpian muutokseen, joka leikkaa lämpötilasuorat alaviistosti oikealta vasemmalle. Tyypillisessä poistoilman lämmöntalteenotossa ilmaa jäähdytetään esimerkiksi 23 celsiusasteesta 3 celsiusasteeseen. Tällöin sen lämpösisällöstä saadaan talteen noin 30 kJ kilogrammalta. Sisäilman lämpötila pysyy keskimäärin samana, jolloin entalpian muutos voidaan katsoa kullekin kohteelle vaikioksi. Näin ollen poistoilman massavirta ( $q_m$ ) määrittää LTO:n potentiaalisen hyödyn.

$$q_m = \frac{m}{t} \quad (6)$$

Poistoilmasta siirtyvä lämpö voidaan esittää lämpövirtana ( $\Phi$ ), kuljetettuna energiana aikayksikköä kohden, joka kuvaa käytännössä LTO:n lämpötehoa.

$$\Phi = \frac{Q}{t} \quad (7)$$

$$\Phi = q_m \Delta h \quad (8)$$

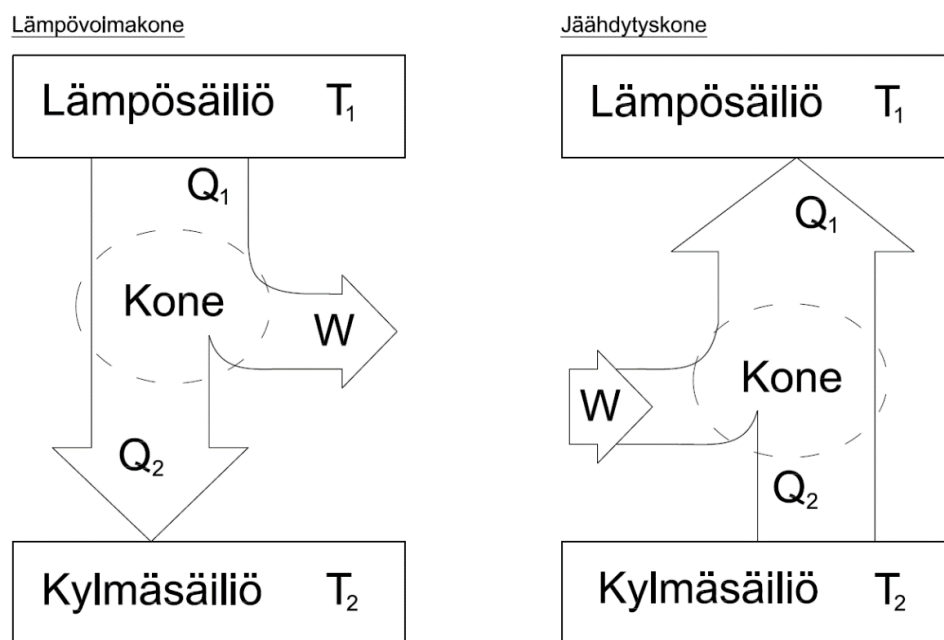
## 4 LÄMPÖPUMPPU

### 4.1 Lämpövoimakoneen ja lämpöpumpun toiminta

Ranskalainen fyysikko Sadi Carnot osoitti, että lämpövoimakoneella voidaan muuntaa lämpöenergiaa osittain mekaaniseksi työksi. Lämpövoimakone hyödyntää termodynamiikan 2. pääsäännön mukaista lämmön luonnollista siirtymistä, niinpä tilannetta voidaankin tarkastella lämmön siirtymisenä lämpösäiliöstä kylmäsäiliöön (kuvio 5). Lämpövoimakoneen tuottama työ ( $W$ ) on kylmäsäiliöön siirtyneen lämpöenergian ( $Q_2$ ) erotus lämpösäiliöstä otetusta energiasta ( $Q_1$ ):

$$W = Q_1 - Q_2 \quad (9)$$

(Lehto ym. 2009, 142.)



Kuvio 5. Lämpövoima- ja jäähdytyskoneiden termodyn. toimintaperiaatteet.

Jäähdytyskoneella on päinvastainen toimintaperiaate (kuvio 5). Siinä lämpöä siirretään kylmäsäiliöstä lämpösäiliöön tekemällä työtä luonnollista lämpötasapainoon pyrkimistä vastaan. Lämpöpumppu toimii samalla tekniikalla, mutta tavoitteena ei

ole jonkin tilan jäähditys vaan lämmön talteenotto ja hyödyntäminen. Lämpöpumpun tekemä työ määräytyy talteen otetun lämpöenergian erotuksella tarvittavasta lämpösäiliöön siirrettävästä energiasta. Toisaalta, prosessista saatu lämpöenergia ( $Q_1$ ) on lämpöpumpun tekemän työn ( $W$ ) ja kylmäsaaliöstä saadun energian ( $Q_2$ ) summa:

$$Q_1 = W + Q_2 \quad (10)$$

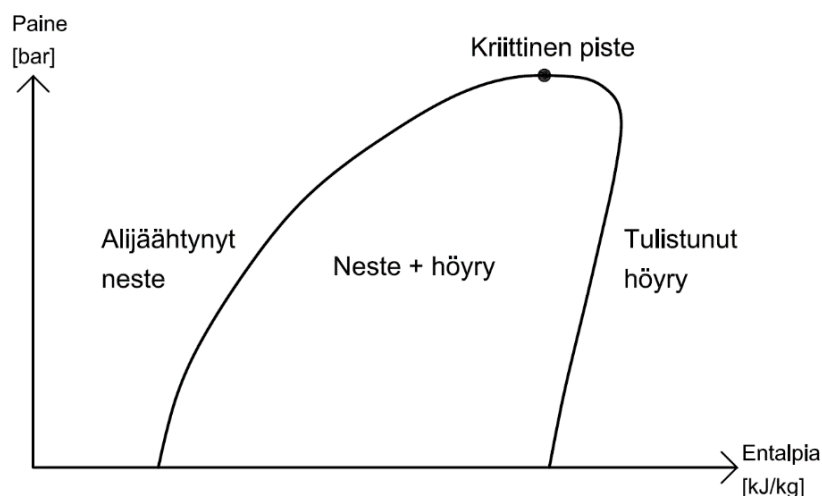
Lämpöpumpun hyötysuhdetta ja tehokkuutta kuvataan lämpökertoimella ( $\varphi$ ), joka on prosessista saadun lämpöenergian ( $Q_1$ ) suhde lämpöpumpun tekemään työhön ( $W$ ):

$$\varphi = \frac{Q_1}{W} \quad (11)$$

(Lehto ym. 2009, 144–145.)

## 4.2 Kylmäaineet

Kylmäaineet ovat yhdisteitä, jotka ovat lämpöominaisuuksiltaan ideaalisia tehokkaan lämmönsiirtoon. Niiden faasimuunnokset esiintyvät kylmätekniikassa olennaisilla lämpötila-alueilla ja niitä on helppo manipuloida esimerkiksi paineenvaihtelulla. Kylmäaineeseen saadaan varastoitua paljon lämpöenergiaa sen höyrystyessä ja se vapautuu tehokkaasti, kun aine jälleen nesteytyy.



Kuvio 6. Kylmäaineen log p,h- tilapiirros.

Kylmäaineet jaotellaan yksikomponenttisiksi, atseotrooppisiksi tai tseotrooppisiksi, joista jälkimmäiset ovat kylmäaineiden seoksia. Yksikomponenttiset ja atseotrooppiset höyrystyvät ja lauhtuvat vakioämpötilassa, kun taas tseotrooppisten seosten faasimuunnoksissa myös lämpötila muuttuu. Lisäksi kylmäaineita luokitellaan niiden ympäristövaikutusten perusteella käyttäen otsonihaitallisuudelle ODP (ozone depletion potential) ja kasvihuonehaitallisuudelle GWP (global warming potential) asetettuja vertailulukuja. Useimmat kylmäaineet ovat hiilivetyjä, joiden haitallisuus riippuu niihin lisätyistä halogeeneista. Halogeenimattomat, luonnolliset kylmäaineet, kuten puhtaat hiilivedyt, hiilidioksidi ja ammoniakki, eivät ole ympäristölle lainkaan haitallisia. (Kaappola ym. 2011, 33–35.)

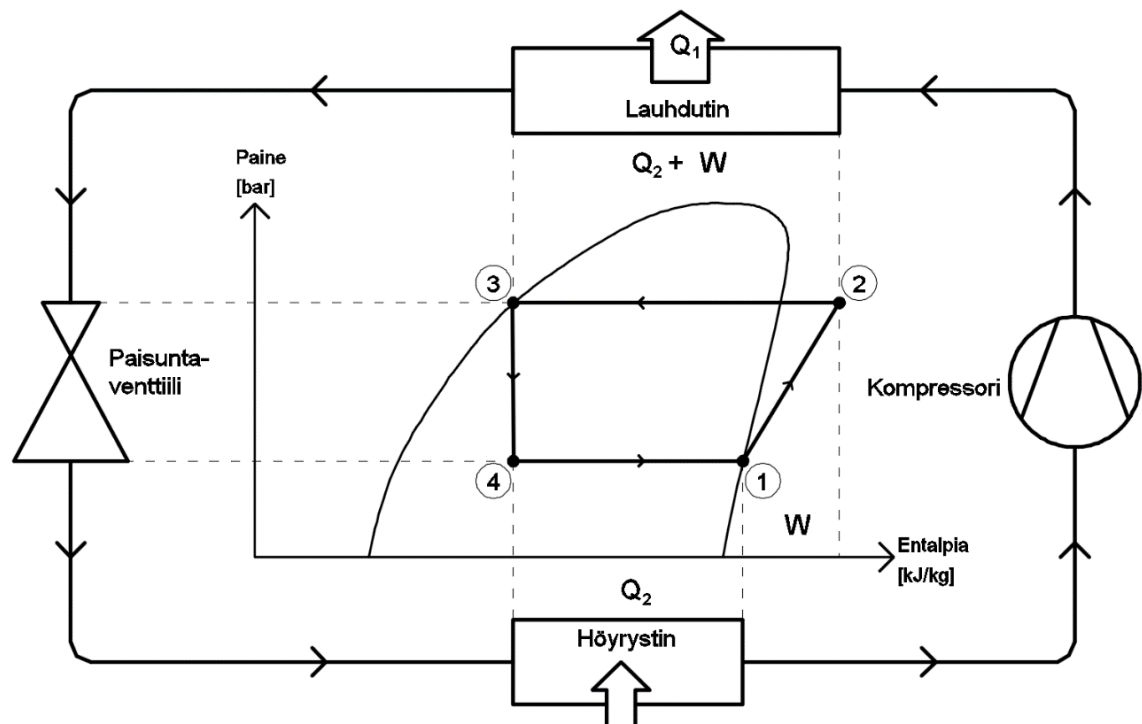
Taulukko 1. Kylmäaineiden luokittelu halogeenimolekyylin mukaan. (Kaappola ym. 2011, 35.)

<b>CFC-kylmäaineet</b>	Kloori, fluori, hiili	Täysin halogenoituja hiilivetyjä. Suuri ODP ja GWP.
<b>HCFC-kylmäaineet</b>	Vety, kloori, fluori, hiili	Osittain halogenoituja hiilivetyjä. Pieni ODP ja suuri GWP.
<b>HFC-kylmäaineet</b>	Vety, fluori, hiili	Osittain halogenoituja hiilivetyjä. ODP = 0, mutta suuri GWP.
<b>PFC-kylmäaineet</b>	Fluori, hiili	Täysin halogenoituja hiilivetyjä. ODP = 0, mutta suuri GWP.
<b>HC-kylmäaineet</b>	Vety, hiili	Puhtaat hiilivedyt. ODP = 0 ja GWP ≈ 0.
<b>Epäorgaaniset kylmäaineet</b>	–	Puhtaat epäorgaaniset yhdisteet. ODP = 0 ja GWP ≈ 0.

Kylmäainetyyppi tai seoksen suhde riippuu käyttötarkoituksesta ja siinä käytettävistä laitteistosta. Kullekin prosessille ominainen lämpötila-alue määrittelee käytettävän kylmäaineen, jolla on siihen sopivimmat lämpöominaisuudet. Usein prosessissa käytetään spesifejä komponentteja, jotka pystyvät hyödyntämään vain tiettyjä yhdisteitä ja saattavat väärää ainetta käytettäessä jopa rikkoontua. Yleisiä lämpöpumppujen käyttämiä kylmäaineita ovat esimerkiksi R407C, R410A ja R290.

### 4.3 Kylmätekninen kiertoprosessi

Lämpöpumpun työ on kiertoprosessi, säännöllisten vaiheiden toistuva sarja. Työhön osallistuvat pääkomponentit ovat kompressori, lauhdutin, paisunta- ja höyrystin. Häviötöntä prosessia kuvaa kylmäaineen tilapiirros yhdistettynä yksinkertaistettuun kaavioon lämpöpumpusta (kuvio 7).



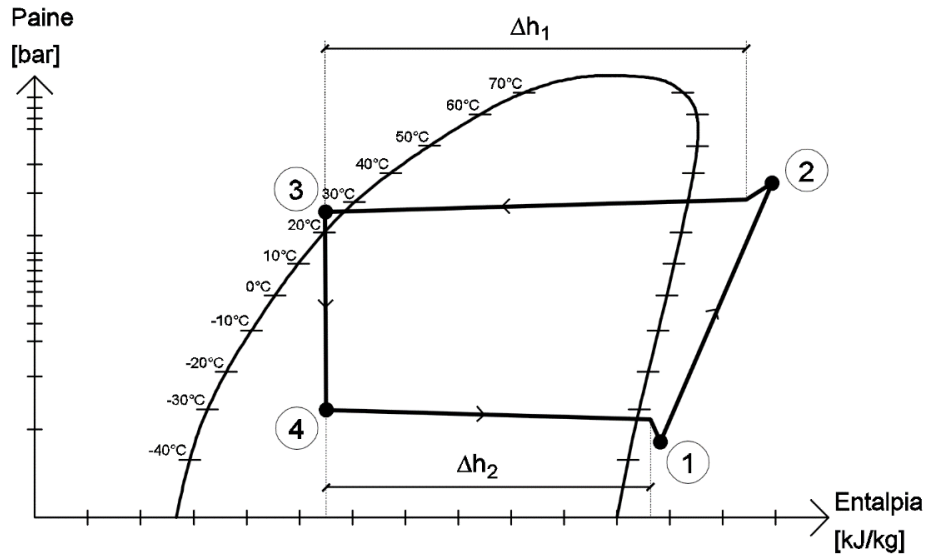
Kuvio 7. Kylmätekninen kiertoprosessi.

Prosessin seuraaminen voidaan aloittaa vaiheesta 4-1, jossa osittain höyrystynyt matalapaineinen neste virtaa höyrystimeen. Kylmäaine sitoo ympäristön lämpöenergiaa ja höyrystyy. Vaiheessa 1-2 kompressori nostaa höyryn korkeaan paineeseen. Puristus nostaa lämpötilaa ja aineen entalpiaa. Vaiheessa 2-3 kylmäaine virtaa lauhduttimeen ja tiivistyessään nesteeksi luovuttaa absorboimansa lämpöenergian. Vaiheessa 3-4 korkeapaineinen neste virtaa paisunta-venttiiliin, joka madaltaa kylmäaineen painetta ja lämpötilaa, jolloin kylmäaine osittain höyrystyy. Sitten kierto alkaa alusta. (Kaappola ym. 2011, 17–18.)

Todellisessa kylmäprosessissa esiintyy häviöitä, jotka muuttavat kylmäaineen käyttäytymistä ja lämpöpumpun todellista hyötysuhdetta (kuvio 8). Koko laitteisto ja putkisto tuottavat painehäviöitä, mikä aiheuttaa paineen laskua ja lämpötilaliukumaa



lauhtumis- ja höyrystymisvaiheissa. Kompressorin ei saa päästä nestemäistä kylmäainetta, joten se on tulistettava höyrystimessä ja kompressorille johtavassa imuputkessa. Kompressorissa syntyy kitkan aiheuttamaa häviötä, joka käytännössä tulistaa kylmäainetta häviötöntä prosessia enemmän. Puristukseen vaaditaan siis todellisuudessa enemmän työtä. (Kaappola ym. 2011, 29–30.)



Kuvio 8. Todellinen kiertoprosessi.

## 5 PILP-JÄRJESTELMÄ

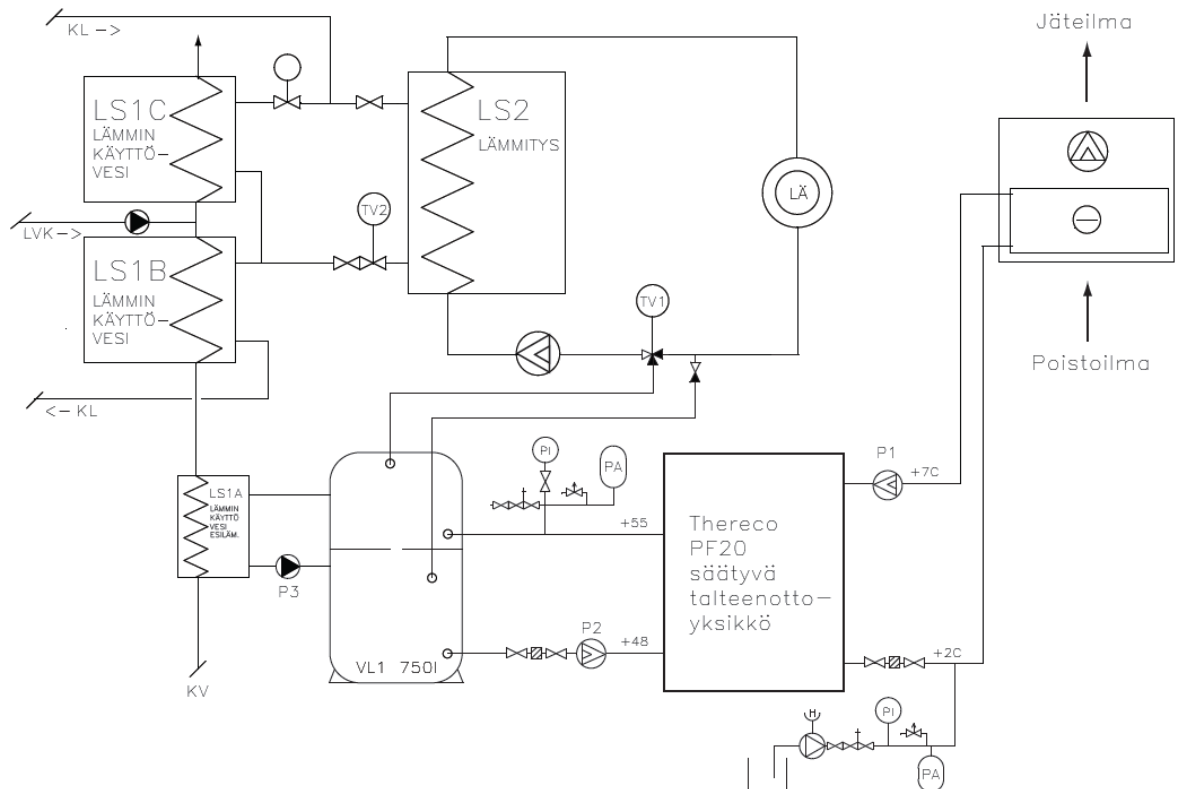
Poistoilmalämpöpumppu pyrkii hyödyntämään koneellisten poistoilmajärjestelmien energiahukkaa tekemällä poistoilmasta jäädytyskoneen kylmäsäiliön (kuvio 5). Poistoilma on mainio lisälämmönlähde, sillä se on jatkuva virtaama aina saman lämpöistä ilmaa. LTO:n tehokkuus perustuu ilmaan sitoutuneeseen energiamäärään, joten ilmavirran on oltava riittävä, että järjestelmä olisi kannattava. Niinpä järjestelmää ei voida soveltaa suoraan painovoimaiseen ilmanvaihtoon. Järjestelmä on suunniteltu rakennuksen ehdoilla ja jos ilmanvaihtoa kasvatettaisiin, seuraukset voisivat olla haitallisia. Sisätilaan syntynyt voimakas alipaine vaatisi runsaasti korvausilmaa, jolloin ulkoilmaa virtaisi rakennukseen hallitsemattomasti. Ulkoilman sisältämä kosteus pääsisi absorboitumaan rakenteisiin, joita ei ole tarkoitettu sitä kestäväksi. Korvausilma myös kulkeutuisi sisätiloihin ei-toivottuja reittejä tuoden mukanaan mahdollisia epäpuhtauksia rakenteista, ja voimistuneet virtaukset aiheuttaisivat vedontunnetta.

### 5.1 Nestekiertoinen LTO

Opinnäytetyössä käsitellään yksinomaan epäsuoraa rekuperatiivista lämmöntalteenottoa, jossa lämpö siirretään poistoilmasta nestekierrolla lämmitysjärjestelmään. Olemassa olevana, huipputehon tuottavana lämmitysjärjestelmänä keskitytään tarkastelemaan kaukolämpöä, joka on käytössä myös tapaustutkimuskohteessa. Luvussa 7 tutustutaan erityisesti tapaustutkimuskohteeseen suunniteltuun Naavatar-järjestelmään.

Tällaisessa nestekiertoisessa LTO-järjestelmässä on karkeasti jaettuna katolle asennettava ulkoyksikkö ja lämmitysjärjestelmään liitettävä sisäyksikkö. Järjestelmän rakenne ja komponenttien sijainti vaihtelee valmistajien mukaan. Pääsääntöisesti ulkoyksikkö koostuu poistoilmapuhaltimesta sekä höyrystimestä ja sisäyksikkö lauhduttimesta. Ulkoyksikön höyrystimessä kiertävä aine vaikuttaa laitesijoitteluun ja määrittää, onko prosessi suora vai epäsuora höyrystys. Suorahöyrystyksessä kiertonesteinä on kylmäaine, jolloin lämpöpumppu voi usein olla osa ulkoyksikköä. Epäsuorassa höyrystyksessä puolestaan käytetään jäätymätöntä liuosta. Tällöin

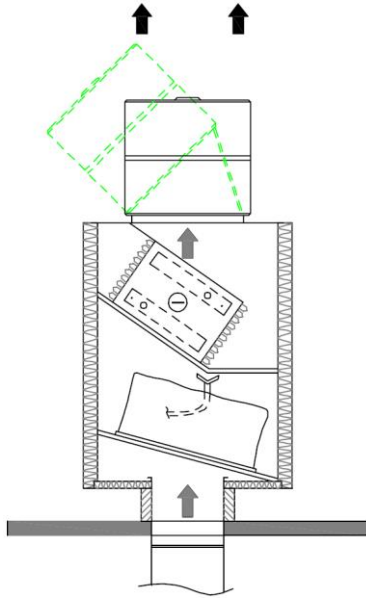
höyrystä puhutaan poistoilmapatterina, josta liuos siirtää lämpöenergian edelleen lämpöpumpun varsinaiseen kylmäainepiiriin, joka sijaitsee tavanomaisesti sisäyksikössä.



Kuvio 9. Epäsuorahöyrysteisen Thereco PF20 -järjestelmän esimerkkikytkentä. (RS Partners 2011.)

## 5.2 Ulkoyksikkö

Keskitetyssä poistoilmanvaihdossa on yksi huippuimuri, ja ulkoyksikkö sijoitetaan sen yhteyteen. Monet laitemallit on suunniteltu asennettavaksi suoraan olemassa olevan läpiviennin päälle. Mallista riippuen käytössä ollut puhallin voidaan jättää osaksi järjestelmää, jos se on muilta osin soveltuva. Usein poistoilmamäärää joudutaan kuitenkin mitoittamaan uudelleen lisääntyneiden painehäviöiden vuoksi tai LTO:n tehostamiseksi, vanha puhallin katsotaan käyttökelvottomaksi tai laitemalli ei salli puhaltimen säilyttämistä. Esimerkiksi kuviossa 10 esitetty FläktWoodsin tornimainen poistoilman LTO-yksikkö STEL asennetaan kyllä vanhan läpiviennin paikalle, mutta siinä puhallin on sijoitettu laitteen päälle.



Kuvio 10. Lämmöntalteenottoyksikkö STEL.  
(FläktWoods 2004, 6.)

Hajautetussa poistoilmanvaihdossa katolla on useampia puhaltimia. Riippuen puhaltimien ilmavirtojen suuruudesta poistoilmakanavia voidaan joutua yhdistämään, sillä lämmöntalteenottoa pystytään tehokkaimmin hyödyntämään riittävän suurilla ilmamäärillä. Joissain olosuhteissa putkisiirrot ovat mahdottomia tai kannattamattomia toteuttaa, jolloin on asennettava useampia LTO-yksiköitä. Tällaisissa tapauksissa erityisesti tarkastellaan, onko PILP-järjestelmän käyttöönotto lainkaan taloudellisesti järkevää, sillä investoinnit kasvavat huomattavasti lisälaitteiden ja muutosten vuoksi.

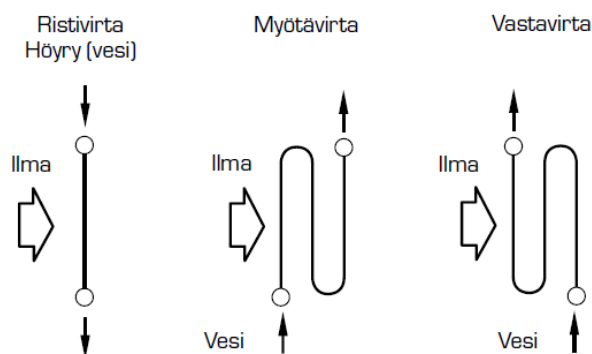
Ulkoyksiköllä on tyypillisesti yhtenäinen lämpö- ja äänieristetty ulkokuorirakenne riippumatta vaihtelevista komponenteista. Ilman virtaussuunnassa ensimmäisenä on yleensä tiivis kammio, johon kootaan mahdollisesti useampia poistoilmakanavia. Tämän jälkeen ilma kulkeutuu suodattimen läpi poistoilmapatterille tai höyrystimelle. Poistoilmapuhallin voi olla heti kokoojakammiossa tai poistoilmapatterin jälkeen. Perinteisesti käytetyt lamellipatterit tukkeutuvat helposti, jos ilmassa on epäpuhtauksia, jolloin painehäviö lisääntyy, ja likaantuneina niiden hyötysuhde myös heikenee. Tällaisissa patterimalleissa on käytettävä ja säännöllisesti vaihdettava suodatinta. Suorahöyrystyksessä ulkoyksikössä on lämpöpumpun komponenteille ja niiden vaatimalle automaatiolaitteistolle oma kammionsa. Ulkoyksikössä tulee myös olla järjestettynä viemärointi kondenssi- ja pesuveden poistamista varten.

### 5.3 Poistoilmapatteri

Ulkoyksikössä käytettyä LTO-patteria voidaan tarkastella toimintansa perusteella yhtälailla rekuperatiivisena lämmönsiirtimenä. Tällainen laite on jatkuvatoiminen ja siirtää kontaktipinnan välityksellä lämmön aineesta toiseen virtauksia sekoittamatta. Patterin tehokkuutta käytännössä määrittää aika, jonka virtaukset ovat keskenään tekemisissä. Tähän vaikuttavat patterin toimintamalli ja geometria, kuten kontaktipinnan rakenne. Periaatteessa patteri pyritään mitoittamaan siten, että kaikki mahdollinen lämpö saadaan siirtymään ilmasta kiertonesteeseen.

Prosessia rajoittaa kosteuden tiivistyminen, kun ilman lämpötila laskee liikaa. Matalassa lämpötilassa vesihöyry on altis härmistymiselle ja jo tiivistynyt vesi voi jäätyä patterin pinnoille. Huurre voi heikentää lämmönsiirtymistä huomattavasti, varsinkin suurilla tasaisilla pinnoilla, joille se myös kerrostuu helpommin. Tämän vuoksi useimmilla patterirakenteilla alin lämpötila pidetään yli 0 °C:ssa. Yleensä patteri varustetaan vielä jollain jäätymisenestomenetelmällä, esimerkiksi nestekierron hidastamisella tai pysäyttämällä, kun se saavuttaa liian alhaisen lämpötilan (Retermia 2007).

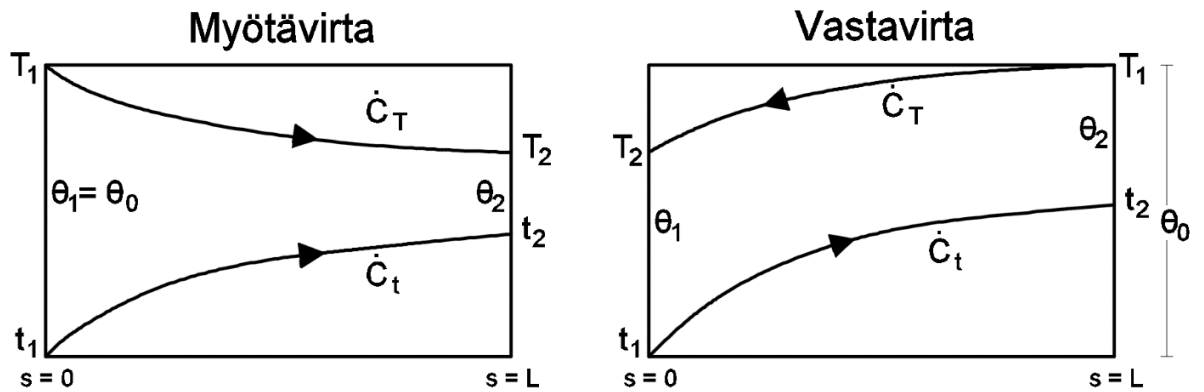
#### 5.3.1 Toimintamallit



Kuvio 11. Lämmönsiirtimen toimintamallit. (FläktWoods 2003, 9.)

Lämmönsiirtimen päätoimintamalleja on kolme, jotka esitetään kuviossa 11. Ristivirtapatterilla on kaikkein yksinkertaisin ja sen periaatetta sovelletaan yleisemmin pienitehoisissa ilmanvaihdon LTO-ratkaisuissa. Myötä- ja vastavirtapatterit ovat te-

hokkaampia variaatioita, joista vastavirtakytkentä on yleisin ja useimmissa sovelluksissa myös järkevin vaihtoehto. Myötävirtakytkennässä tulevien virtojen lämpötilaero on kaikkein suurin, ja se pienenee patterin loppua kohden. Vastavirtakytkennässä tulevat virrat kohtaavat periaatteessa vasta patterin lopussa, joten lämpötilaerot ovat keskenään paljon tasaisemmat. Tällöin LTO nesteeseen on myös tehokkaampaa kuin myötävirtauksessa.



Kuvio 12. Lämmönsiirtimien toimintaperiaatteet.

Eroa voidaan havainnollistaa lämpötekniikan professori Henrik Rydin esittämillä myötä- ja vastavirtasiirtimien periaatekuvilla (kuvio 12), joissa aineet esitetään lämpökapasiteettivirtoina. Pystyakselilla lämpötila kasvaa ylöspäin, vaaka-akselilla edetään vasemmalta oikealle siirtimen pituudella  $s$ .

Kuviossa esiintyvät suureet ovat:

$T_1, T_2$	luovuttavan aineen lämpötilat siirtimessä
$t_1, t_2$	vastaanottavan aineen lämpötilat siirtimessä
$\theta_1, \theta_2$	ainevirtojen väliset lämpötilaerot siirtimessä
$\theta_0$	korkein esiintyvä lämpötilaero
$\dot{C}_T$	luovuttavan aineen lämpökapasiteettivirta
$\dot{C}_t$	vastaanottavan aineen lämpökapasiteettivirta.

Lämpökapasiteettivirta aineelle muodostuu sen massavirrasta ja ominaislämpökapasiteetista vakioaineessa:

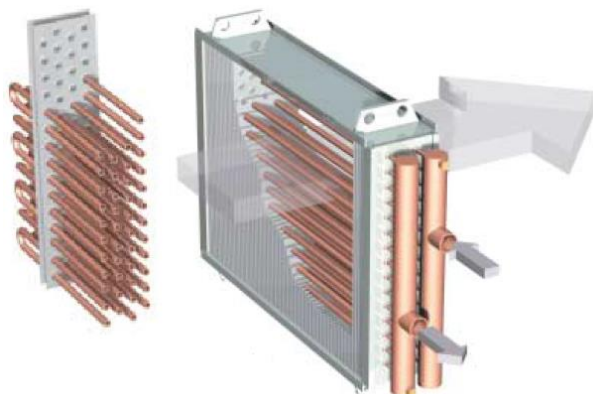
$$\dot{C} = q_m c_p \quad (12)$$

Lämmönsiirtimeen hyötysuhde eli rekuperaatioaste saadaan myös selvitettyä ainevirtoja tutkimalla. Rekuperaatioaste on vastaanottavan aineen lämpötilanmuutoksen suhde korkeimpaan siirtimessä esiintyvään lämpötilaeroon.

$$\varepsilon = \frac{t_2 - t_1}{\theta_0} = \frac{\Delta t}{\theta_0} \quad (13)$$

(Lampinen, El Haj Assad & Kotiaho 2008, 28–41.)

### 5.3.2 Patterityypit



Kuvio 13. Lamellipatterin rakenne.  
(FläktWoods 2003, 6.)

Hyvin yleisesti käytetty rakennetyyppi on lamellipatteri (kuvio 13). Tyypillisessä mallissa on kuparinen keruuputkisto, johon on kiinnitetty alumiinisia lamelleja ilmavirran suuntaisesti. Suurialaiset lamellit toimivat kontaktipintana. Kontaktiaikaa ja lämmönsiirtoa parannetaan lisäämällä putkirivejä. Rakenne tosin aiheuttaa jonkin verran painehäviöitä, sitä enemmän mitä isompi ja tehokkaampi patteri on. Suodattimiseen ilmapuolen painehäviö voi olla luokkaa 150–250 Pa, jolloin ilmamäärää joudutaan kasvattamaan (FläktWoods 2004, 9; Hydrocell 2014, 5). Myös huurtumisen riski kasvaa, mitä lähemmäs kastepistettä LTO-prosessi viedään. Patterin sulatuksen aikana LTO ei toteudu, mikä heikentää vuosihyötysuhdetta. Mallin suosio selittyy

hyvällä soveltuvuudella ja pitkällä käyttöhistorialla. Samoista elementeistä rakennetaan laitteita moniin käyttötarkoituksiin, ja pitkään käytetyn tekniikan kehitystyö mahdollistaa suhteellisen kustannustehokkaan tuotteen.

Tehokkuudessa lamellipatterin kanssa erityisesti LTO-sovelluksissa kilpailevat kotimaiset innovaatiot, neula- ja harjalämmönsiirrin. Näillä ratkaisuilla on pyritty tarttumaan keskeisiin lamellipatteria vaivaaviin ongelmiin ja rajoituksiin. Molemmat mallit kunnostautuvat huomattavassa huurteen- ja liansietokyvyssä. Tämän ansiosta niiden lähtökohtaisesti alhainen ilmapuolen painehäviö – parhaimmillaan 10 Pa, maksimissaan 50 Pa – ei nouse merkittävästi patterin huurtuessa tai likaantuessa, eikä lämmönsiirronkaan todeta kärsivän mainittavasti (Hydrocell 2014, 5). Tämä poistaa suodattimen tarpeen, joka tuottaa huomattavan painehäviön varsinkin likaantuesaan. Patteri vaatii huoltotoimenpiteenä vain ajoittaisen pesun, jolloin täysi toimintakyky palautuu.

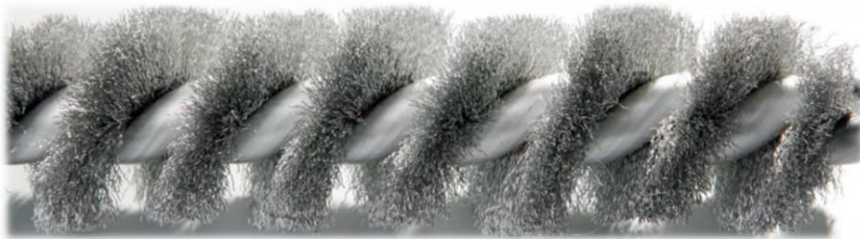


Kuvio 14. LTOH-järjestelmä neulalämmönsiirtimellä.  
(Retermia 2007.)

Neulalämmönsiirrin on Retermia Oy:n patentoima patterimalli, jossa lamellit korvataan suoraan keruuputkissa olevilla tiheillä neulasriveillä. Rakenne on kompakti ja hyvin monipuolisesti soveltuva, joten patteri voidaan valmistaa haluttuun muotoon tai tilaan sopivaksi. Retermian LTO-mallissa patteri on yleensä U-muotoinen, jossa pitkät neulaputket kiertävät huippumurikammion 3-4 rivissä ilmavirran suuntaisesti (kuvio 14).



Hydrocell on päätenyt Teknillisen korkeakoulun kanssa kehittämässään harjalämmönsiirtimessä samankaltaiseen lämmönsiirtomenetelmään. Yksi harjalämmönsiirrinelementti on spiraalikierteinen putki, jonka välissä ovat kontaktipintana toimivat alumiini- tai kuparilangoista muodostuvat harjat. Putkissa käytetään asiakkaan tarpeen mukaista materiaalia, esimerkiksi kuparia tai ruostumatonta terästä. Lämmönsiirrin muodostuu yhdestä tai useammasta tällaisesta elementeistä, riippuen tarvittavan LTO:n määrästä. Rakenne on myös hyvin muokattavissa erityiskäyttötarkoituksiin. Valmistaja painottaa spiraalirakenteen mahdollistavan tehokkaan lämmönsiirron myös matalilla virtausnopeuksilla. (Hydrocell 2015.)



Kuvio 15. Harjalämmönsiirrinelementti.  
(Hydrocell 2011, 8.)

## 5.4 Sisäyksikkö

Sisäyksikkö sijoitetaan yleensä lämmönjakuhuoneeseen tai sen läheisyyteen eli sinne missä lämpöenergia on vaivattominta luovuttaa lämmitysjärjestelmän käyttöön. Monesti sisäyksikköön kuuluu vesivaraaja tai useampi, joita käytetään lämmönpuskureina sekä käyttöveden varaajina. Tämä pidentää kompressorien käyntiaikaa lämmityskauden ulkopuolella, jolloin lämmitetään ainoastaan käyttövettä, nostaten laitteiden käyttöikää ja järjestelmän hyötysuhdetta. Epäsuorassa höyrystyksessä laitteisto on yleensä tehdasvalmisteinen paketti, johon varaajat voidaan liittää modulaarisesti tai asentaa erikseen. Lämmönsiirtoon kylmäaineesta lämmityspiiriin ja lämpimään käyttöveteen käytetään tavanomaisesti levylämmönsiirtimiä, jotka ovat kompakteja vastavirtasiirtimiä.



Kuvio 16. PILP:n modulaarinen sisäyksikkö, jossa myös varaajat. (Lukander 2013, 10.)

## 6 TORNITALO

### 6.1 Kohteen esittely

Tapaustutkimuskohteena on Kiinteistö Oy Marttilan Kortteerin Seinäjoen kampusalueella sijaitseva Tornitalo. Talo rakennettiin vuonna 1953 asuntolaksi vanhan lääninsairaalan henkilökunnalle. Rakennus on peruskorjattu opiskelija-asuntolaksi vuonna 1991, jolloin siihen tehtiin huoneistomuutoksia. Kohteessa on aloitettu uusi peruskorjaus 1.1.2015 ja sen odotetaan päättyvän 20.8.2015. Opinnäytetyössä kohdetta tarkastellaan peruskorjauksen muutoskuvien mukaan.

Talo on tiiliverhoiltu ja raskasrakenteinen. Rakennustilavuus on 6720 m<sup>3</sup> ja bruttopinta-ala 2206 m<sup>2</sup>. Talossa on täyskellari ja kahdeksan kerrosta, joista ylimmässä on kerhotilat ja saunatilat. Kellarissa on suihkutiloja ja pesutupa, muut kerrokset ovat asuinkäytössä.



Kuvio 17. Tornitalo joen toiselta puolelta.  
Kuva on otettu 9.3.2015.

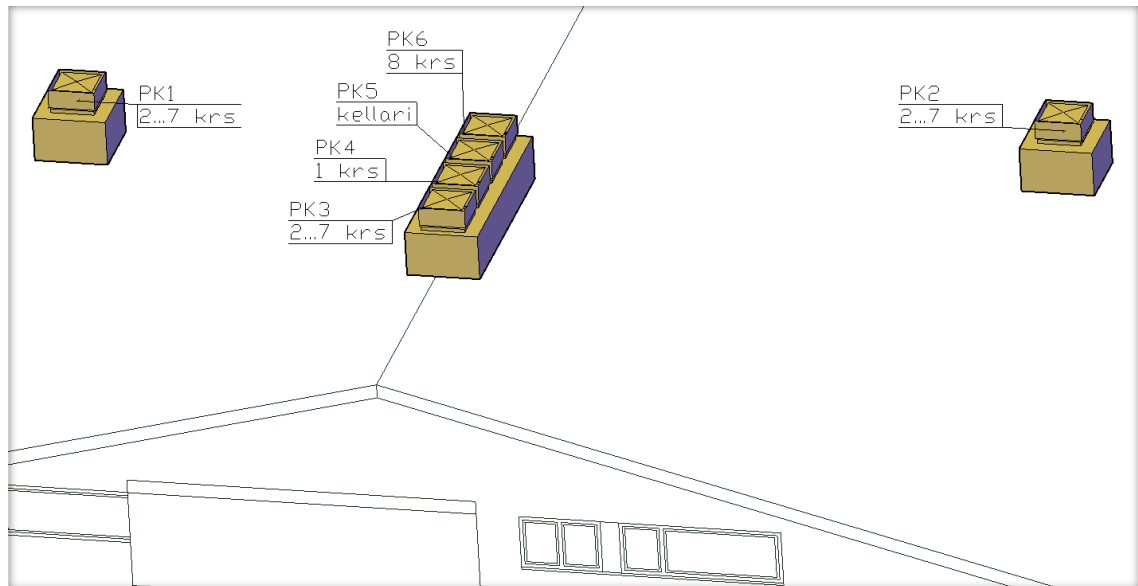
## 6.2 Talotekniikka

### 6.2.1 Lämmitys

Kiinteistössä on kaukolämpö ja lämmönjakomuotona patterilämmitys. Lämmönjakokeskus sijaitsee kellarikerroksessa. Keskus on uusittu ja patteripiiri säädetty vuonna 2008. Pattereiden mitoituslämpötila on 80/60 °C ja lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama on 1,46 dm<sup>3</sup>/s, lämmönsiirtimien tehot ovat vastaavasti 215 kW ja 275 kW. Meneillään olevassa saneerauksessa vaihdetaan linja- ja patteriventtiileitä, huuhdellaan vanhat patterit ja lisätään joitakin uusia pattereita. Tässä mittakaavassa muutokset eivät kuitenkaan vaadi lämmitysjärjestelmän tehontarpeen uudelleenmitoitusta. Lisäksi uusitut rakenteet vähentävät lämmitystarvetta, ja lämmitysverkon puhdistus sekä ajanmukaiset laitteet, kuten uudet kiertovesipumput, parantavat järjestelmän tuottoa.

### 6.2.2 Ilmanvaihto

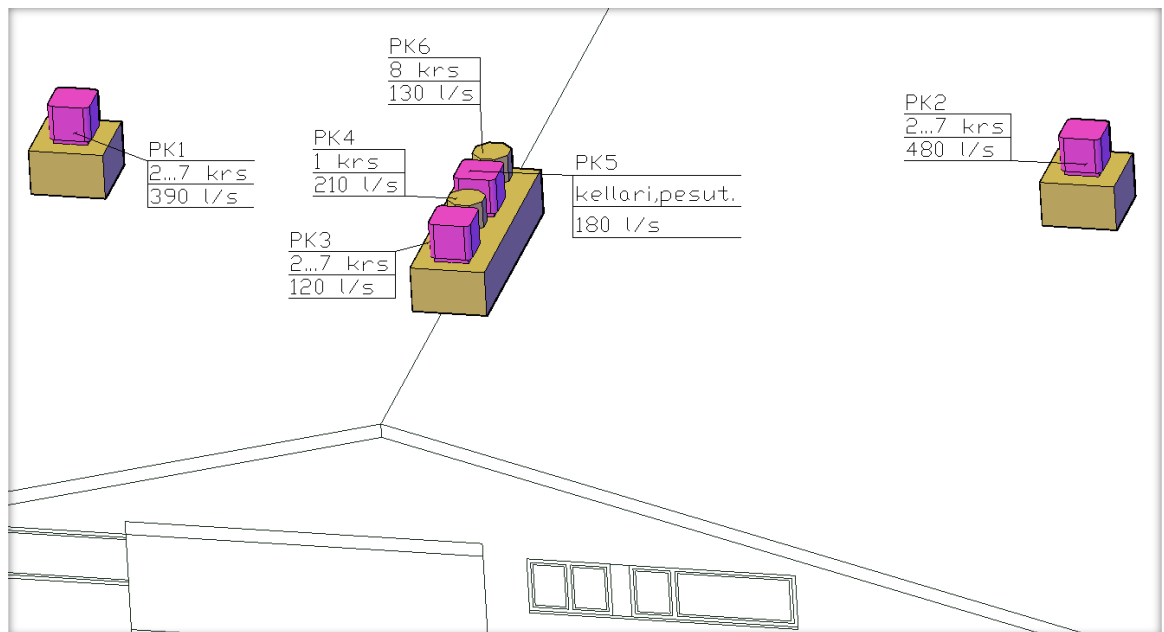
Rakennuksen ilmanvaihto on toteutettu hajautettuna koneellisena poistona. Alkuperäisessä toteutuksessa vesikatolla on ollut 6 huippuimuria, jotka poistavat sisäilmaa rakennuksen eri tiloista (kuvio 18). Korvausilma on otettu ikkunoiden yläpuolisista rakovernttiileistä.



Kuvio 18. Luonnos vanhoista huippuimureista (pohjoisesta katsottuna).

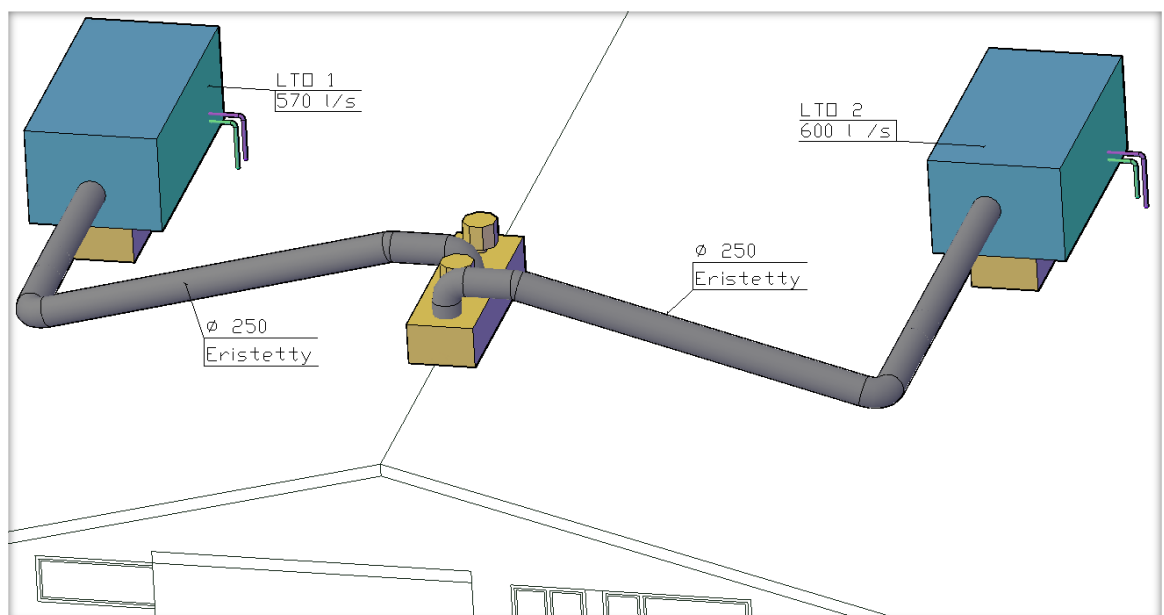
Peruskorjauksen myötä ilmanvaihtolukua kasvatetaan koko rakennuksessa ja vanhoja kanavia pyritään hyödyntämään mahdollisuuksien mukaan. Kellariin, 1. ja 8. kerrokseen tulee erilliset ilmanvaihtokojeet. Vesikatolla kaikki laitteet vaihdetaan, mutta olemassa olevia hormeja ja läpivientejä hyödynnetään seuraavasti:

- PK1-3 tilalle tulevat poistopuhaltimet palvelevat edelleen 2.-7. kerrosten poistoilmakanavia.
- PK4 tilalle tulee ulospuhallushajotin, johon ohjataan 1. kerroksen IV-kojeen jäteilma.
- PK5 tilalle tulee poistopuhallin, joka hoitaa erikseen kellarin pesutuvan poistoilman.
- PK6 tilalle tulee ulospuhallushajotin, johon ohjataan 8. kerroksen IV-kojeen jäteilma.



Kuvio 19. Luonnos uusista puhaltimista.

Kuviossa 19 näkyy muutos edelliseen sekä vesikatolle poistettavat ilmavirrat Hewal Oy:n suunnitelmien mukaisesti. Huomioiden kappaleessa 5.2 esitettyjä seikkoja hajautetun poistoilman ongelmista järkevimmäksi kompromissiksi PILP:n suunnittelussa on katsottu puhaltimien PK1-PK5 ja PK2-PK3 ilmavirtojen yhdistäminen vesikatolla (kuvio 20). Tällöin katolle tulisi kaksi LTO-yksikköä, ilmavirroilla 570 l/s ja 600 l/s. Kannattavuutta tarkastellaan luvussa 7.



Kuvio 20. Luonnos alustavasti suunnitelluista LTO-yksiköistä.

### 6.3 Energiaselvitys ja toteutunut kulutus

Tornitalon nykyistä energiankulutusta kartoittaessa tiedusteltiin Marttilan Kortteerista tietoja toteutuneesta kulutuksesta. Tiedustelussa selvisi viimeisten vuosien kaukolämmön kulutus ja koko Puskantie 38:n sähkönkulutuksesta Tornitalolle jaetut osuudet (taulukot 2 ja 3). Liitteenä olivat Tornitalon energiaselvitys ja energiatodistus. (Heikkilä 2015.)

Taulukko 2. Kaukolämmön toteutunut kulutus.

<i>Vuosi</i>	<i>MWh</i>
2010	404,8
2011	367,6
2012	401,7
2013	352,5
2014	353,8

Taulukko 3. Tornitalon osuus sähkönkulutuksesta.

<i>Vuosi</i>	<i>MWh</i>
2011	140
2012	115
2013	112

Skapat Energia Oy on tehnyt Tornitalolle energiaselvityksen 19.12.2012 (liite 2). Selvityksessä kiinnitettiin muun muassa huomiota korkeaan lämmönkulutukseen ja lämmöntalteenoton puuttumiseen. Energiansäästöä esitettiin kaukolämmön perusmaksuselvityksellä. Perusmaksu määräytyy tilausvesivirran mukaan, jonka säätäminen todellista kulutusta vastaavaksi toisi säästöjä. Kaukolämmön tilausvesivirta kiinteistössä on 3,6 m<sup>3</sup>/h. Selvitystä edeltävien vuosien 2009–2011 lämmönkulutuksesta laskettu tilausvesivirta on 2,8 m<sup>3</sup>/h ja tilausteho 147 kW. Selvityksessä todettiin, että ilmanvaihto hukkaa noin 30 % rakennuksen lämpöenergiasta, ja että esimerkiksi harjalämmönsiirtimellä lämpö voitaisiin ottaa talteen hyödynnettäväksi

lämmitysjärjestelmään. Huomioitiin kuitenkin, että puhaltimien hajautettu sijoittelu hankaloittaa LTO:n toteuttamista. (Skapat Energia Oy 2012, 9.)

Samassa yhteydessä Tornitalolle laadittiin myös energiatodistus (liite 1). Energiato-  
distuksessa on määritetty RakMK:n mukaisesti rakennuksen kokonaisenergiatehok-  
kuus, E-luku. Tornitalon E-luvuksi muodostui  $246 \text{ kWh/m}^2$ , joka on miltei kaksin-  
kertainen verrattuna ympäristöministeriön asetuksen 4/13 vähimmäisvaatimukseen  
asuinkerrostalon kulutukselle,  $130 \text{ kWh/m}^2$  (6§). Liitteessä on nähtävissä myös ku-  
lutusta vastaavat energialuokitukset A-G Tornitalon saadessa hyvin matalan luoki-  
tuksen F. Enemmistö Suomen kerrostaloista on rakennettu 60- ja 70-luvulla ja ku-  
luttaa lämmitysenergiaa runsaasti,  $200\text{--}300 \text{ kWh/m}^2$  (Virta & Pylsy 2011, 21; Pylsy  
2014, 9). Näin ollen Tornitalo kuuluu rakennuskantamme laajaan ongelmaryhmään,  
jonka energiankulutusta olisi pyrittävä hillitsemään.



## 7 PILP:N SOVELTUVUUS KOHTEESEEN

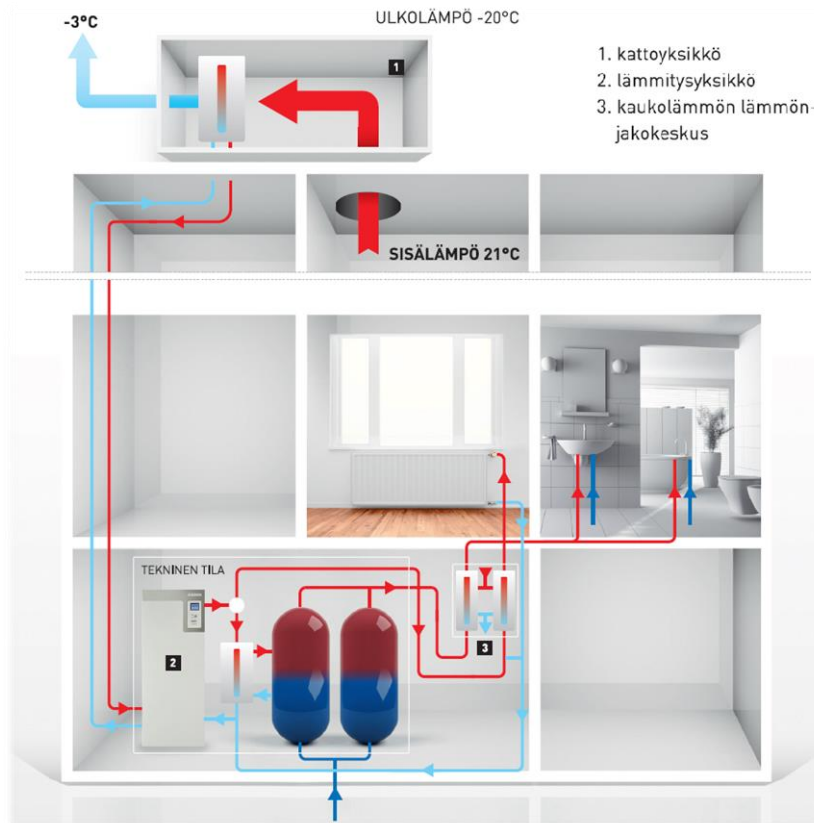
### 7.1 Naavatar

Naavatar on kotimaisten yritysten yhteistyöprojekti, jossa on mukana johtavia laitevalmistajia ja tekniikan asiantuntijoita. Osajien yhdistämisellä pyritään saavuttamaan saumaton ja mahdollisimman tehokas kokonaisuus rakennusten hukkaenergian talteenottoon. Asiakkaille halutaan tarjota valmis ja toimiva ratkaisu, mitä ei voitaisi saavuttaa useiden toimijoiden tuotteita erikseen yhdistämällä. Järjestelmän toimitukseen sisällytetään koko paketti alkaen kannattavuusarviosta, mitoituksesta ja suunnittelusta täydelliseen toimivaan järjestelmään kaikkine komponentteineen.

#### 7.1.1 Järjestelmän kuvaus

Naavatar käyttää epäsuoraa höyrystystä, eli LTO kattoyksiköstä suoritetaan vesiglykoli-liuoksella. Naavattaren kattoyksikössä on Hydrocellin harjalämmönsiirrin, jolla sisäilma myös suodatetaan ja kytetään jäähdyttämään -3 celsiusasteeseen. Liuospiiri johdetaan lämmitysyksikköön, joka koostuu lämpöpumpusta ja kahdesta lämminvesivaraajasta. Varaajia hyödynnetään myös lämmityspiirin esilämmitykseen. Liuoksen käytöllä vältetään lakisääteisiltä vuototarkastuksilta, joita kuuluu tehdä yli 3 kg:n kylmäainemäärällä kerran vuodessa ja isommilla määrillä yhä tiheämmin, sillä vesiglykoli-liuos ei kuulu valvottavien hiilivetyseosten piiriin ja lämpöpumpun kylmäainepiiri on huomattavasti pienempi mitä se olisi suorassa höyrystyksessä (Suomen Kylmäyhdistys ry 2015).

Lämmitysyksiköltä putkilinjat yhdistetään lämmönjakokeskukseen. Kohteisiin, joissa on syytä jo uusia kaukolämmönjakokeskus, toimitetaan myös Alfa Lavalin lämmönjakokeskus. Se on kytkentävalmis lämpöpumpulta tuleviin liitoksiin ja varustettuna automatiikalla, joka pelaa yhdessä katto- ja lämmitysyksikön kanssa. Muissa tapauksissa liitokset tehdään olemassa olevaan keskukseen manuaalisesti. Kohteeseen toimitettava järjestelmä mitoitetaan rakennuksen koon ja poistoilmamäärän mukaan. Taulukossa 4 esitetään suuntaa-antavasti Naavatar-järjestelmien soveltuvuutta erikokoisiin rakennuksiin ja niiden tuottamaa arvioitua säästöä.



Kuvio 21. Naavatar-järjestelmän toteutusperiaate.  
(Naavatar 2012, 5.)

Taulukko 4. Viitteellinen taulukko eritehoisista Naavatar-järjestelmistä.  
(Naavatar 2014, 6.)

Järjestelmä	Asuntojen lkm	Nimellisteho [kW]	Poistoilmamäärä [m <sup>3</sup> /s]	Vuotuinen maks. energiansäästö [MWh]	Säästö
Naavatar 1	25	24	0,8	117	6 295,00 €
Naavatar 2	35	30	1,1	146	7 869,00 €
Naavatar 3	45	40	1,4	194	10 491,00 €
Naavatar 4	70	60	2,1	291	15 737,00 €
Naavatar 5	90	80	2,7	389	20 983,00 €
Naavatar 6	120	100	3,6	486	26 229,00 €
Naavatar 7	135	120	4,1	583	31 474,00 €

### 7.1.2 Kannattavuusarvio

Järjestelmän soveltuvuutta lähdettiin selvittämään lähettämällä Naavattaren edustajalle esitietoja kohteesta, kuten taulukoiden 2 ja 3 kulutustiedot. Annettujen tietojen (taulukko 5) perusteella laskettiin kannattavuusarvio. Laskennassa huomioitiin neljän poistokanavan ilmavirtojen yhdistäminen kahdeksi tai yhdeksi LTO-yksiköksi. Lämmön hinnan vuotuinen nousuennuste on 3 % ja sähkön hinnan 2 %.

Taulukko 5. Kannattavuusarvion esitietoja.

Asuntojen lkm.		41
Poistoilmamäärä [m <sup>3</sup> /s]		1,17
Huippuimurien lkm.		4
Tilavuus m <sup>3</sup>	[m <sup>3</sup> ]	6720
Bruttoala m <sup>2</sup>	[m <sup>2</sup> ]	2206
Kerrosala m <sup>2</sup>	[m <sup>2</sup> ]	200
Asukasmäärä		50

Lämmitysmuoto		Kaukolämpö
Lämmön hinta (sis. Alv)	59,44	€ / MWh
Sähkön hinta (sis. Alv)	141,4	€ / MWh
Veden hinta (sis. Alv)	3,97	€ / m <sup>3</sup>
Sähköliittymän sulakekoko	3 x 63	A

Järjestelmän hankinnan kokonaisinvestoinniksi arvioitiin noin 125000 € ilman asennuskustannuksia, jonka perusteella määritettiin hankinnan takaisinmaksuaika. Asennuskustannuksiksi kohteeseen arvioitiin karkeasti 35000 €. Laskennan tuloksena todettiin, että poistoilmasta saadaan keskimäärin vain 20 kW lämpöenergiaa talteen, jolloin kohteeseen sopisi ainoastaan valmistajan pienitehoisin laite, Naavattar 1 (taulukko 4). Annetuilla tiedoilla vuotuinen talteen otettu energia on 125 MWh ja pumpun kuluttama sähköenergia on 35 MWh. (Läksy 2015.)

Laitteen kausisuorituskykykerroin eli SCOP-luku saadaan kaavalla 11:

$$\varphi = \frac{Q_1}{W} = \frac{125 \text{ MWh}}{35 \text{ MWh}} \approx 3,6 \quad (14)$$

## 7.2 Soveltuvuus kohteeseen

Arvion perusteella todettiin, että Tornitaloon ei saada kannattavaa Naavatar-järjestelmää toteutettua. Päällimmäinen ongelma on hajautetun poistoilmanvaihdon pieni ilmamäärä, jonka seurauksena vuotuinen LTO on suhteellisen vähäistä. Tämä aikaansaa pitkän takaisinmaksuajan. Toiseksi takaisinmaksuajkaan vaikuttaa energiahinnoittelu, joka heikentää vuosittaista säästöä huomattavasti. Lisäksi kohteen rakenteelliset ominaisuudet aiheuttavat sen, että investoinnit eivät juuri laske edes yhden kattoyksikön toteutuksella. Järkevimmäksi teknisten järjestelmien energiatehokkuuden parantamisen toimenpiteeksi jää ensisijaisesti energiaselvityksessä mainittu kaukolämmön tilausvesivirran säätö. (Läksy 2015.)

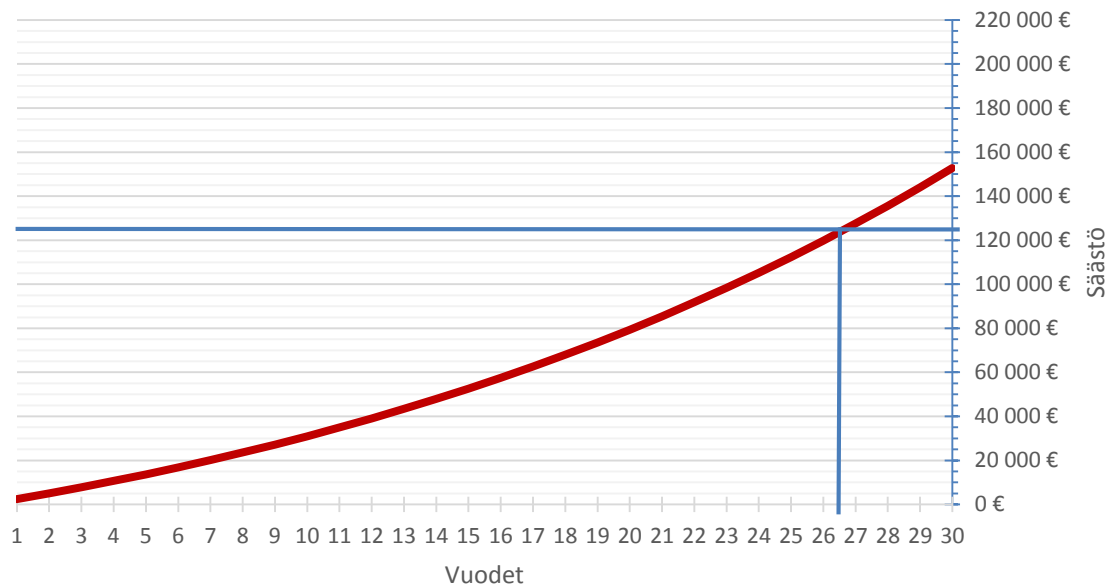
### 7.2.1 Energiahinnoittelun vaikutukset

Seinäjoella on koko maahan nähden poikkeuksellinen energiahinnoittelun suhde. Siinä missä valtakunnalliset keskiarvot sekä kaukolämmölle että sähkölle ovat suhteellisen lähellä toisiaan, Seinäjoella kaukolämpö on keskimääräistä edullisempaa ja sähkö puolestaan keskimääräistä kalliimpaa. Tällainen asetelma on haitallinen takaisinmaksun kehittymiselle. Prosentuaalisesti lämpömaksut eivät pienene niin hyvin kuin korkeammalla kulutushinnalla, kun taas pumpun kuluttama sähköenergia korostuu sähkömaksuissa paljon voimakkaammin. Taulukkoon 6 on laskettu järjestelmän takaisinmaksuajat paikallis- ja keskimääräisin energiahinnoin. (Energiateollisuus 2015; Energiavirasto 2015.)

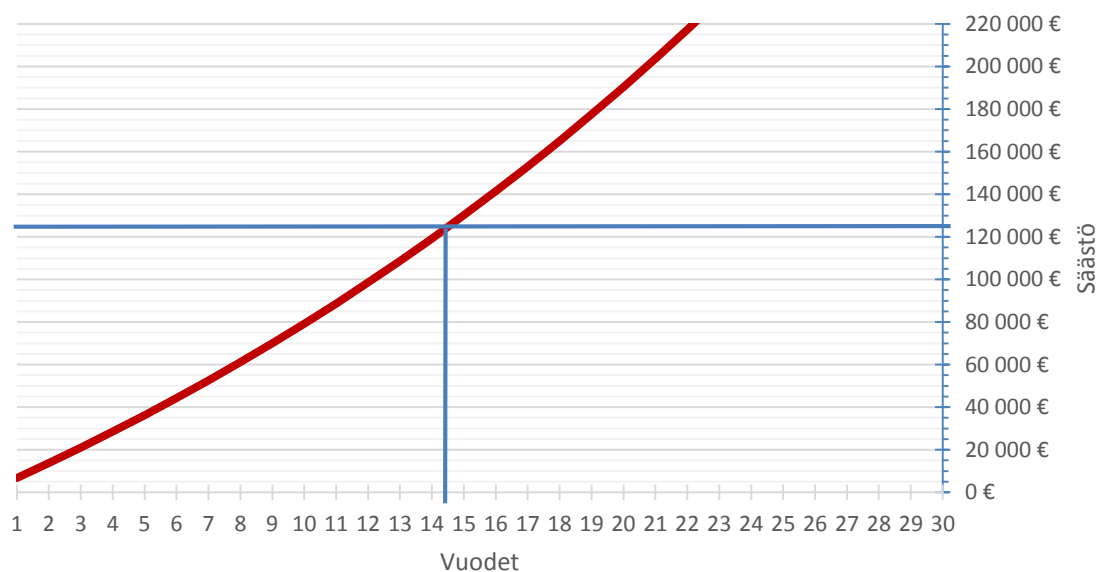
Taulukko 6. Energiahinnoittelun ja takaisinmaksuajan vertailu.

	Seinäjoki	Suomen keskihinta	
Lämmön hinta (sis. Alv)	59,44	81,61	€ / MWh
Sähkön hinta (sis. Alv)	141,40	98,50	€ / MWh
Prosessista saatu energia		125	MWh
Pumpun työ		35	MWh
Kokonaisinvestointi		125000	€
		1. vuosi	
Tuotto	7430	10201	€
Kulutus	4949	3448	€
Nettosäästö	2481	6753,75	€
<b>Takaisinmaksuajaksi:</b>	<b>27 vuotta</b>	<b>15 vuotta</b>	

Seinäjoen tämänhetkisillä lämmön ja sähkön hinnoilla päästään ensimmäisenä vuonna vajaan 2500 €:n nettosäästöön. Huomioiden laskennassa hintojen nousuennusteet 125000 €:n investointi saadaan takaisin vasta 27 vuoden päästä. Keskimääräisillä energian hinnoilla päästäisiin ensimmäisenä vuonna 6753,75 €:n säästöön, joka on samaa luokkaa kuin Naavatar 1:n ennuste taulukossa 4. Tällöinkin takaisinmaksuaika jäisi 15 vuoteen, jota lopulta rajoittaa ilmavirrasta saatava energia. Kuviot 22 ja 23 havainnollistavat eroa toivottuun tilanteeseen.



Kuvio 22. Takaisinmaksuaika Seinäjoen energiahinnoittelulla.

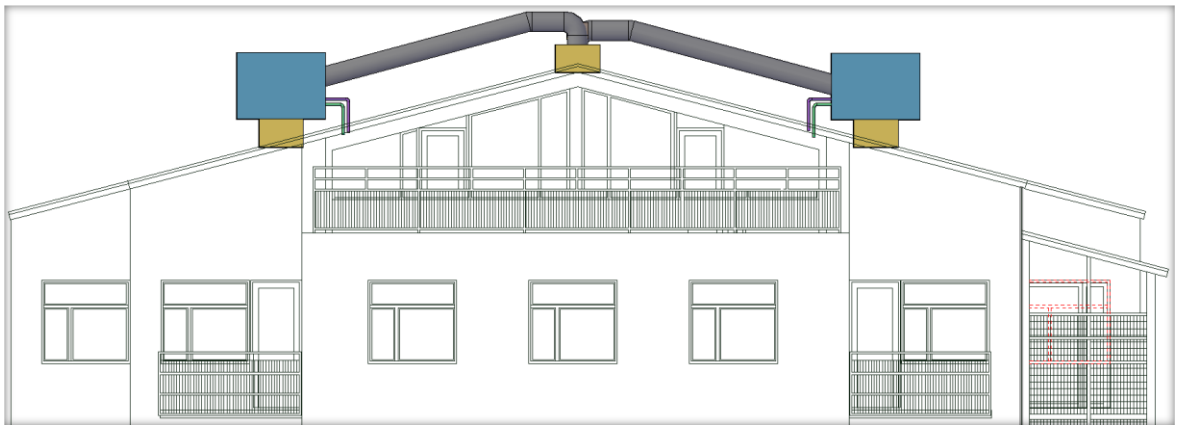


Kuvio 23. Takaisinmaksuaika energian keskihinnoilla.

## 7.2.2 Rakennustekniset haasteet

Investoinnit pysyvät likimäärin yhtä korkeina riippumatta suunnitteluratkaisusta. Yhtäältä valmistajalle on tuottavuuden valossa luontaista määrittää tarjoushinta suhteellisen muuttumattomaksi toimitetusta kokoonpanosta riippumatta, toisaalta laitekuluissa säästetty palautuu hankkijalle haastavien lisätöiden kustannuksissa. Tornitalon tapauksessa rakenteelliset seikat vaikuttavat hinnan pysyvyyteen selkeästi.

LTO-yksikkö jokaista puhallinta kohden on poissuljettu vaihtoehto niin ikään pienien ilmamäärien vuoksi, mutta neljä harjalämmönsiirrintä olisi myös hyvin kallis investointi. Kappaleessa 6.2.2 esitetty kahden LTO-yksikön ratkaisu säästää laiteinvestoinneissa, mutta vaatii kanavien asennusta ja eristämistä vesikatolla. Yhden LTO-yksikön asennus tarkoittaisi miltei tuplaten työ- ja materiaalikustannuksia. Putkisiirrot on kattorakenteen vuoksi käytännössä pakko suorittaa vesikatolla. Kuvioista 24 näkyy, että ylimmän kerroksen sisäkatto on täysin harjan myötäinen ja ullakkotila rajoittuu vain reunoille, minkä vuoksi ilmastointikanavia ei pystytä siirtämään välikattoon. Kanavien asennus huonetiloihin olisi todennäköisesti huomattavasti työläämpää ja vaatisi muun muassa kotelointia.



Kuvio 24. Tornitalon katonharja.

Lisäksi talon raskas rakenne aiheuttaa kustannuksia keruupiiriin asennukseen. Jokaisessa kerroksessa on valettu betonilattia, johon on tehtävä läpivienti keruuputkien kuljettamiseksi vesikatolta kellariin asti. Putkille ei löydy reittiä esimerkiksi rappukäytävästä, jossa ne voitaisiin kuljettaa suoraan rakennuksen läpi tekemättä reikiä.

## 8 YHTEENVETO

Poistoilmalämpöpumppu on hyvin varteenotettava ratkaisu vanhojen rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen. Käytännössä energiatehokkuusdirektiivit vaativat korjauskohteissa ilmanvaihdolta tiettyä hyötysuhdetta ja PILP tarttuu suoraan tähän hukkaenergiaan hyödyntäen lämmönsiirtymisen lainalaisuuksia mallikkaasti. Sen alkuinvestointi voi olla suurempi kuin muissa saneerausvaihtoehdoissa, mutta oikein toteutettuna PILP on pitkällä aikavälillä kiinteistöille paljon muita tuottavampi.

Lähtökohtaisesti tapaustutkimuskohde vaikutti sopivalta PILP-järjestelmää varten. Lähempi tarkastelu kuitenkin paljasti järjestelmän herkkyyden suhteessa termodynamiikan lakeihin sekä sen kannattavuuden riippuvuuden energiaekonomiasta. Tornitalon poistoilmasta saa vain määrätyn verran lämpöä talteen, eikä ilmamäärää ole mahdollista rajattomasti kasvattaa rakennusteknistä kokonaisuutta ja asuinmukavuutta huomioimatta. Järjestelmän lopullinen hyöty hankkijalle muodostuu senhetkisistä suhdanteista ja alueellisesta hintatasosta. On huomioitava myös tuoreiden markkinoiden vaikutus, missä perinteisemmät LTO-ratkaisut eivät enää tarjoa uusien innovaatioiden tasoista hyötysuhdetta ja kyseiset patentoidut laitteet pystytään vähäisen kilpailun vallitessa hinnoittelemaan korkealle.

Opinnäytetyön pääluvuissa pyritään käsittelemään PILP-järjestelmän osatekijöitä ja näkökulmia, joita tulee huomioida hankesuunnittelussa tutkimuskohdetta vastavissa tapauksissa. Eritoten luvussa 7 selvitetään, miten periaatteessa erittäin tehokas järjestelmä kohtaa mainitut realiteetit. Kun hanke osoittautui kannattamattomaksi, opinnäytetyön osaksi visioitu PILP-järjestelmän LVI-suunnitelman mallinnus tutkimuskohteeseen jätettiin lopullisesta produktiosta pois muutamaa luonnosta luokun ottamatta. Sen sijaan keskityttiin analysoimaan järjestelmän soveltumattomuuden syitä.

Kaikkiaan voidaan todeta, että PILP-järjestelmä ja sen markkina ovat tärkeitä tutkimuskohteita myös pitkälle tulevaisuuteen, sillä järjestelmän kehityspotentiaalia on vasta viime vuosina alettu hyödyntämään, minkä seurauksena myös markkinoilla on odotettavissa muutoksia.

## LÄHTEET

4/13YM. 27.2.2013. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä.

Direktiivi 2002/91/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta.

Direktiivi 2010/31/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta (uudelleen laadittu).

Energiateollisuus ry. 2015. Kaukolämmön hinta 1.1.2015 alkaen. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 28.4.2015]. Saatavana: <http://energia.fi/tilastot/kaukolammon-hinnat-tyyppitaloissa-eri-paikkakunnilla>

Energiavirasto. 2015. Sähkön hintavertailu. [Verkkosivu]. [Viitattu 28.4.2015]. Saatavana: <http://www.sahkonhinta.fi/summariesandgraphs>

FläktWoods. 2004. STEL – Technical brochure 9/2004.

FläktWoods. 2003. Heat exchangers – Technical catalogue 12/2003.

Heikkilä, A. 18.2.2015. Tornitalon kulutustietoja. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Niko Luopa. [Viitattu 25.3.2015].

Hydrocell. 2015. Harjalämmönsiirrintekniikka. [Verkkosivu]. [Viitattu: 24.4.2015]. Saatavana: <http://www.hydrocell.fi/lammonsiirtimet/harjalaemmoensiirrintekniikka/>

Hydrocell. 2014. Naavatar-järjestelmällä säästöjä kerrostalojen ja muiden kiinteistöjen lämmityskuluihin. Power Point – esitys.

Hydrocell. 2011. Lämpö talteen ainutlaatuisen harjalämmönsiirtimen avulla. Esite 4/2011.

Kaappola, E., Hirvelä, A., Jokela, M. & Kianta, J. 2011. Kylmäteknikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.

Lampinen, M.J., El Haj Assad, M. & Kotiaho, V. 2008. Lämmönsiirto-oppi. Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu, sovellettu termodynamiikka.

Lehto, H., Havukainen, R., Maalampi, J. & Leskinen, J. 2009. Fysiikka 2: Lämpö. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.



- Lukander, J. 2013. Poistoilmalämpöpumppu asuinkerrostalon lämmön talteenotossa. [Verkkojulkaisu]. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 24.4.2015]. Saatavana: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2013111917373>
- L 5.2.1999/132. Maankäyttö- ja rakennuslaki.
- Läksy, T. 26.4.2015. Järjestelmän kannattavuusarvio. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Niko Luopa. [Viitattu 28.4.2015].
- Naavatar. 2014. Naavatar – Hukkalämpö haltuun. Esite 2014.
- Naavatar. 2012. Naavatar – älykäs kiinteistöjen poistoilman lämmön talteenottojärjestelmä. Esite 9/2012.
- Novecom Oy. Ei päivystä. [Verkkosivu]. [Viitattu 16.2.2015]. Saatavana: <http://www.novecom.fi/fi/yritys.html>
- Perälä, R. 2009. Lämpöpumput: Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmästä. Tallinna: Alfamer Oy.
- Pylsy, P. 2014. Uudet energiatehokkuusmääräykset korjausrakentamisessa – Opas taloyhtiöille. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy.
- RakMK D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Suomen rakentamismääräyskokoelma.
- Retermia. 2007. Neulalämmönsiirtimen huurteen- ja umpeenjäätymisen esto. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.4.2015]. Saatavana: <http://www.retermia.fi/suunnittelijan-sivut/huurteenjaatymisen-esto/>
- RIL. 2011. RIL 250–2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- RS Partners. 2011. Thereco-laitteistojen tekniset tiedot. [Verkkosivu]. [Viitattu 10.4.2015]. Saatavana: <http://thereco.fi/suunnittelijoille/14-tekniset>
- Sandberg, E. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät: Ilmastointitekniikka osa 1. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- Seppänen, O. & Seppänen, M. 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Helsinki: Sisäilmayhdistys ry.
- Seppänen, O. ym. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Espoo: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Skapat Energia Oy. 2012. Energiaselvitys Tornitalo 19.12.2012.

Suomen Kylmäyhdistys ry. 2015. Velvoitteet kylmäaineen käyttäjälle. [Verkkosivu]. [Viitattu 28.4.2015]. Saatavana: <http://www.skll.fi/yhdistys/www/page.php?cat=9>

Tajakka, R. 2012. Rakennuksen energiatehokkuusdirektiivien 2002/91/EY ja 2010/31/EU implementointi Suomessa. [Verkojulkaisu]. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen ala, Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 6.3.2015]. Saatavana: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201205137889>

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


Ympäristöministeriö. 2011. D3 muistion tekninen liite 28.3.2011.

## **LIITTEET**

Liite 1. Tornitalon energiatodistus

Liite 2. Tornitalon energiaselvitys

## LIITE 1. Tornitalon energiatodistus

ENERGIATODISTUS																													
<b>Rakennus</b>																													
Rakennustyyppi:	Asuntolarakennukset	Valmistumisvuosi: 1953 / 1991																											
Osoite:	Puskantie 38 60100 Seinäjoki	Rakennustunnus: 743-2-16-13																											
<b>Energiatodistus on annettu</b>																													
<input type="checkbox"/>	rakennuslupamennettelyn yhteydessä ja perustuu laskennalliseen kulutukseen																												
<input type="checkbox"/>	energiakatselmuksen yhteydessä ja perustuu toteutuneeseen kulutukseen																												
<input checked="" type="checkbox"/>	erillisen tarkastuksen yhteydessä ja perustuu toteutuneeseen kulutukseen																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ET-luku</th> <th>Vähän kuluttava</th> <th>Rakennuksen ET-luokka</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>&lt;101</td> <td>A </td> <td></td> </tr> <tr> <td>101-120</td> <td>B </td> <td></td> </tr> <tr> <td>121-140</td> <td>C </td> <td></td> </tr> <tr> <td>141-180</td> <td>D </td> <td></td> </tr> <tr> <td>181-230</td> <td>E </td> <td></td> </tr> <tr> <td>231-280</td> <td>F </td> <td></td> </tr> <tr> <td>&gt;280</td> <td>G </td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Paljon kuluttava</td> </tr> </tbody> </table>			ET-luku	Vähän kuluttava	Rakennuksen ET-luokka	<101	A		101-120	B		121-140	C		141-180	D		181-230	E		231-280	F		>280	G		Paljon kuluttava		
ET-luku	Vähän kuluttava	Rakennuksen ET-luokka																											
<101	A																												
101-120	B																												
121-140	C																												
141-180	D																												
181-230	E																												
231-280	F																												
>280	G																												
Paljon kuluttava																													
Rakennuksen energiatehokkuusluku (ET-luku, kWh/brm <sup>2</sup> /vuosi):		<b>246</b>																											
Energiatehokkuusluvun luokitteluasteikko:		<b>Suuret asuinrakennukset</b>																											
Todistuksen antaja: Skapat Energia Oy 		Todistuksen tilaaja: Kiinteistö Oy Marttilan kortteeri																											
Allekirjoitus:																													
Todistuksen antamispäivä: 19.12.2012		Viimeinen voimassaolopäivä: 19.12.2022																											

Energiatodistus perustuu lakiin rakennusten energiatodistuksesta (487/2007) ja 19.6.2007 annettuun ympäristöministeriön asetukseenenergiatodistuksesta. Tämä energiatodistus on asetuksen lomakkeen 2 mukainen.

MX6 Teknologiat Oy

## RAKENNUKSEN ENERGIANKULUTUS

### Energiatohokkuusluvun laskenta

Lämmitysenergian kulutus *	432827 kWh/vuosi
Kiinteistösähkön kulutus	110300 kWh/vuosi
Jäähdytysenergian kulutus *	0 kWh/vuosi
Yhteensä	543127 kWh/vuosi
Rakennuksen bruttoala	2206 brm <sup>2</sup>
<b>Rakennuksen energiatohokkuusluku</b>	<b>246 kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi</b>

\*Uudisrakennuksen energiakulutus lasketaan käyttäen RakMk D5 Liite 1 säävyöhyke III (Jyväskylä-Luonetjärvi) mukaisia säätietoja.

### Toteutuneet energian ja veden kulutukset

Kulutuskohde	Kulutus	Yksikkö	Vuosi
<b>Lämmitysenergia</b>			
Kaukolämpö	367600	kWh	2011
<b>Kiinteistösähkö</b>			
Mitattu kiinteistösähkö	110300	kWh	2011
<b>Jäähdytysenergia</b>			
Kaukojäähdytys	0	kWh	2011
Jäähdytys­sähkö	0	kWh	2011
<b>Veden kulutus</b>			
Kokonaiskulutus	1770	m <sup>3</sup>	2011
Lämpimän­veden kulutus	531	m <sup>3</sup>	2011

### Toteutuneiden kulutusten muuntaminen energiatohokkuusluvun laskentaa varten

Vertailupaikkakunta:	<b>Jyväskylä</b>	
Normaalivuoden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla		4945 Kd/vuosi
Vuoden 2011 lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla		3945 Kd/vuosi
Paikkakuntakohtainen korjauskertoimen Jyväskylään		1,00
Lämmöntuottojärjestelmän hyötysuhde		1,00
<b>Lämpimän käyttöveden energiakulutus</b>		30798 kWh/vuosi
Lämmitysenergian kulutus normalisoituna omalla paikkakunnalla		432827 kWh/vuosi
Lämmitysenergian kulutus normalisoituna Jyväskylään		432827 kWh/vuosi
Puhaltimien sähköenergian kulutus		0 kWh/vuosi
Kiinteistön laitteiden mitattu sähköenergian kulutus: (sis.jäähdytyksen)		0 kWh/vuosi
Kiinteän valaistuksen mitattu sähköenergian kulutus:		0 kWh/vuosi
Kiinteistösähkön kulutus: kiintlait.- jäähdytys + kiinteä valaistus		110300 kWh/vuosi
Jäähdytyksen tarvitsema sähköenergia		0 kWh/vuosi


### Rakennuksen sisäilmasto sekä ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmä

Painovoimainen ilmanvaihto	<input type="checkbox"/>	Ulkoilmaventtiilit	<input checked="" type="checkbox"/>
Koneellinen poistoilmanvaihto	<input checked="" type="checkbox"/>	Tuloilman suodatus	<input type="checkbox"/>
Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	<input type="checkbox"/>	Lämmöntalteenotto	<input type="checkbox"/>
Lämmönjakotapa	<u>Vesipatterit</u>	Jäähdytys	<input type="checkbox"/>
Ilmanvaihdon ilmavirrat on mitattu ja todettu riittäviksi vuonna			<input type="checkbox"/> 2010
Ilmanvaihtojärjestelmä on puhdistettu ja tasapainotettu vuonna			<input type="checkbox"/> 2010
Ilmastoinnin kylmlaitteiden kunto ja energiatohokkuus on tarkastettu			<input type="checkbox"/> -
Lämmitys­järjestelmä on tasapainotettu vuonna			<input type="checkbox"/> 2008

HUOMIOT JA TOIMENPIDE-EHDOTUKSET			
Ulkoseinät, ovet ja ikkunat			
Suosittelemme ikkunoiden ja ulko-ovien tiivisteiden tarkastusta.			
Toimenpide-ehdotus	Arvioitu energiansäästö (kWh/vuosi)		
	Lämpö	Sähkö	Kylmä
Ikkunoiden ja ovien tiivisteiden tarkastus	1500		
Ylä- ja alapohja			
Ei toimenpide-ehdotuksia			
Toimenpide-ehdotus	Arvioitu energiansäästö (kWh/vuosi)		
	Lämpö	Sähkö	Kylmä
Tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmät			
<p>Suosittelemme patteriverkoston sähkömagneettisen vedenpuhdistuslaitteen asentamista. Laitte puhdistaa verkostoa ja suojaa putkistoa. Tämä toimenpide lisää pattereiden lämmönluovutuskykyä ja vähentää termostaattiventtiilien vikaantumista ja vähentää huoltokuluja.</p> <p>Suosittelemme huoneistokohtaiseen lämmönmittaukseen perustuvaa patteriverkoston lämmön säätöjärjestelmää.</p>			
Toimenpide-ehdotus	Arvioitu energiansäästö (kWh/vuosi)		
	Lämpö	Sähkö	Kylmä
patteriverkoston vedenpuhdistuslaite	35000		
huonekohtainen säätö- ja mittauslaite	17000		



Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät			
Ei toimenpide-ehdotuksia			
Toimenpide-ehdotus	Arvioitu energiansäästö (kWh/vuosi)		
	Lämpö	Sähkö	Kylmä
Valaistus, sähköiset erillislämmitykset ja muut järjestelmät			
Suosittelemme T-8 loisteputkien vaihtamista T-5 loisteputkiksi. Hehkulamppujen vaihtamista energiansäästölamppuiksi.			
Toimenpide-ehdotus	Arvioitu energiansäästö (kWh/vuosi)		
	Lämpö	Sähkö	Kylmä
loisteputkien ja lamppujen vaihto		1000	
KAIKKIIEN TOIMENPITEIDEN YHTEISVAIKUTUS			
Arvioitu lämmitysenergian säästö	53500	kWh/vuosi	
Arvioitu kiinteistösähköenergian säästö	1000	kWh/vuosi	
Arvioitu jäähdytysenergian (kylmäenergian) säästö	0	kWh/vuosi	
Arvioitu energiansäästö korjausten jälkeen yhteensä	54500	kWh/vuosi	
Rakennuksen energiantehokkuusluku kaikkien toimenpiteiden jälkeen	221	kWh/bm <sup>2</sup> ,a	
Energiatehokkuusluokka kaikkien toimenpiteiden toteutuksen jälkeen			E
Lisämerkintöjä			
Kiinteistösähkön kulutusta ei mitata erikseen. Kiinteistösähkön kulutus on laskettu RaMk D 5 mukaan Kiinteistösähkö = 50 kWh / bm <sup>2</sup> / vuosi 50kWh x 2206bm <sup>2</sup> = 110300 kWh/vuosi			
Suosittelemme huonekohtaisten mittareiden asentamista. Arvioitu säästö on 6000 kWh/vuosi.			

## LIITE 2. Tornitalon energiatodistus



**SKAPAT ENERGIA**  
**ENERGIASELVITYS**

*Kiinteistö Oy Marttilan kortteeri*  
*Tornitalo*  
*Puskantie 38, 60100 Seinäjoki*

### Lähtötiedot



- Hissillinen asuinkerrostalo, joka toimii opiskeluasuntolana. Huoneistoja on 12 ja kerroksia 8. Lisäksi kiinteistössä on kuntosali ja toimistotiloja. 8. kerroksessa sijaitsee kerhotila ja sauna.
- Rakennusvuosi on 1953 ja peruskorjaus on tehty vuonna 1991.
- Korjauksissa on tehty huoneistomuutoksia.
- Bruttopinta-ala 2206 m<sup>2</sup>
- Rakennustilavuus 6720 m<sup>3</sup>
- Kiinteistössä on kaukolämpö
- Katselmus suoritettiin 19.12.2012 ja katselmuksessa oli mukana Asko Heikkilä.






## Energian ja vedenkulutus 2011



Kulutukset vuodelta 2011, lämmönkulutus normeerattu Jyväskylään.

Vesi	1 770	m <sup>3</sup>
Lämpö	367,6	MWh
Sähkö	139 000	kWh

	Kulutus	Motiva Oy	AESS*-tavoite 2012
Vesi	0,26	0,23	0,41 m <sup>3</sup> /r-m <sup>3</sup>
Lämpö	54,7**	39,8	44,1 kWh/r-m <sup>3</sup>
Sähkö	20,7**	16,5	5,0 kWh/r-m <sup>3</sup>

\* Asuinkiinteistöalan energiansäästösopimus

\*\* Sähkön ja lämmön ominaiskulutus on asuinrakennuksen tavoitearvoa huomattavasti suurempi. Sähkönkulutuksessa on mukana kaikki kiinteistössä kulutettu sähkö koska kiinteistösähköä ei erikseen mitata.



## Rakenteet



- Kohteen julkisivu on tiiliverhoiltu.
- Rakennuksen katto on loiva harjakatto, joka on päällystetty huovalla.
- Yläpohjan eristyksestä ei saatu varmuutta katselmoinnin yhteydessä. Kokonaiseristepaksuuden olisi hyvä olla vähintään 300 mm.
- Alapohjan lisäeristäminen ei ole energiataloudellisesti kannattavaa.



## Ovet ja ikkunat



- Kiinteistön ovet ja ikkunat on vaihdettu vuonna 1991 ja ovat vielä tyydyttävässä kunnossa.
- Rakennuksen ikkunat ovat pääosin kahdella umpiolasielementillä varustettuja ikkunoita. Kerhuhuoneessa on lisäksi sisään aukeavia ikkunoita.
- Ulko-ovi on metallikarminen ja yksinkertaisella lasilla varustettu.
- Suosittelemme tarkistamaan ovien ja ikkunoiden tiivisteet ja ovien käyntivälykset ja vaihtamaan huonokuntoiset tiivisteet uusiin ennen seuraavaa lämmityskautta.



## Lämmitysjärjestelmä



- Kiinteistössä on kaukolämpö. Lämmönvaihdin on uusittu vuonna 2008.
- Lämmitysjärjestelmää ohjataan lämmönjakuhuoneessa sijaitsevalla Ouman EH-203 lämmönsäätimellä.
- Lämmönsiirtimiä on kaksi: käyttövesi ja patteripiiri
- Lämmönkulutusmittarissa on etäluenta.
- Patteripiirin tasapainotus on tehty vuonna 2008.
- Lämmitysjärjestelmän kiertovesipumpuissa on taajuusmuuttajat.
- Lämmitysjärjestelmän säätökäyrät kulkevat 3 pisteen kautta. Säätökäyriä ei hallinnoida aktiivisesti. Suosittelemme lisäämään lämmitysjärjestelmän säätöä muuttuvien olosuhteiden mukaisesti. Tämä edellyttää aktiivista säätämistä joko huoltohenkilökunnan avulla tai etähallinnalla.



## Kohteen lämpötiloja



- Huonokuntoisia termostaatteja on vaihdettu vuoden 2012 aikana.
- Katselmuksen aikana tilojen lämpötilat mitattiin satunnaisotannalla. Katselmuksen aikana ulkolämpötila oli -9 °C. Katselmuksessa mitattuja lämpötiloja:

- Ala-aulan käytävä	15,1 °C
- II kerroksen rappukäytävä	14,8 °C
- V kerroksen rappukäytävä	17,4 °C
- VIII kerroksen rappukäytävä	6,4 °C
- Saunan pesuhuone	22,0 °C
- Saunan pukuhuone	25,0 °C
- Kerhuhuone	17,4 °C



Suosittelimme saunan pesuhuoneen lämpötilan alentamista.

Suosittelimme myös lämmitysjärjestelmään kemikaaliton vedenkäsittelylaitetta, jonka avulla pystytään vähentämään merkittävästi putkistojen kalkkipitoisuuksia. Tämä parantaa veden laatua, putkistojen virtausta, lisää lämmönsiirtoa tiloihin sekä suojaa putkistoa sisäpuoliselta korroosiolta. Veden käsittelylaitetta toimittaa ainakin Bauer Watertechnology Oy.



## Kaukolämmön tilausvesivirta



- Kaukolämmön perusmaksu määräytyy tilausvesivirran perusteella, joka määritellään laskennallisesti kohteen liittyessä kaukolämpöverkkoon. Perusmaksuselvityksessä tarkistetaan kohteen todellista kulutusta vastaava tilausvesivirta kolmen vuoden kulutuksien perusteella.
- Kaukolämmön toimittajana on Seinäjoen Energia Oy.
- Todelliseen lämmönkulutukseen perustuva kaukolämmön laskennallinen tilausvesivirta on vuosien 2009, 2010 ja 2011 kulutuksen perusteella 2,8 m<sup>3</sup>/h ja tilausteho 147 kW.
- Kiinteistön nykyinen tilausvesivirta on 3,6 m<sup>3</sup>/h.
- Suosittelemme neuvottelujen aloittamista Seinäjoen Energia Oy:n kanssa tilausvesivirran alentamiseksi.
- Skapat Energia Oy suorittaa tilausvesivirran reklamointeja puolestanne niin halutessanne.



## Ilmanvaihtojärjestelmä



- Kiinteistön ilmanvaihto tapahtuu koneellisesti kolmella huippuimurilla. Lisäksi kuntosalissa on yksi poistokone. Poistokanavat sijaitsevat käytävien katossa sekä asuntojen keittiössä ja vessassa.
- Huippuimureiden käyntiaikoja ohjataan kellolla, jonka huipputehojen ja puolitehojen aikoja ei tarkastettu katselmuksen yhteydessä.
- Kiinteistössä ei ole ilmanpoiston lämmöntalteenottojärjestelmää. Ilmanpoiston mukana poistuu keskimäärin 30 % rakennuksen lämpöenergiasta. LTO on mahdollista toteuttaa huippuimureista esim. harjalämmönsiirtimen avulla ja johtaa lämpö lämpöpumpun avulla rakennuksen lämmitysjärjestelmään ja hyödyntää lisäksi käyttöveden lämmityksessä. LTO:n kannattavuuden haasteena kohteessa on hajautettu ilmanpoisto (poistoilma jakautuu useille huippuimureille), jolloin yhden huippuimurin kautta poistuva ilmamäärä on vain osa koko kiinteistön poisto-ilmamäärästä. LTO:n mahdollisuuksia kiinteistössä voidaan selvittää tarkemmin erillisen LTO-selvityksen avulla. Lisätietoja selvityksestä Skapat Energia Oy:stä.



## Ilmanvaihtojärjestelmä



Ilmanvaihtokanavien puhdistus ja tasapainotus on suoritettu vuonna 2010.



## Sähköjärjestelmät



- Pääsulakkeen koko on 3 x 63 A.
- Autopistokepaikkoja on muutamia, joissa on kellokytkimet.
- Kiinteistössä on yksi hissi.
- Kerhotiloissa on sauna jota käytetään satunnaisesti.
- Pihavalaistus ja käytävävalaistus on toteutettu ajastimella.
- Suosittelemme T-8 loisteputkien vaihtamista T-5 loisteputkiksi ja hehkulamppujen vaihtamista energiansäästölamppuiksi.
- Sähkön ominaiskulutus on asuinrakennuksen keskiarvoa huomattavasti suurempi, koska sähkönmittaus koskee koko kiinteistön sähkönkulutusta.
- Suosittelemme seuraavan saneerauksen yhteydessä asentamaan asuntoihin huoneistokohtaiset mittarit.



## Käyttövesi



- Kiinteistön käyttövesi mitataan yhdellä mittarilla. Käyttövedessä ei ole etäluettavaa kulutusmittaria.
- Käyttövesijärjestelmän vedenpaine oli asetettu tarkastushetkellä 6,0 barin tasolle, joka on ihan normaali arvo korkeassa rakennuksessa.
- Vesikalusteita on vaihdettu tarvittaessa.
- Suosittelemme nykyisten suihkujen vikaantuessa vaihtamaan niihin vettä säästävät suihkusuuttimet.
- Kohteesta otettiin vesikalusteiden virtausmittauksia satunnaisotannalla. Energiakatselmuksessa saatiin seuraavat vesikalusteiden virtaamamittaukset:
  - Saunan wc:n hana 5 l/min (suositus hanatyypin mukaan 6 l/min).

