

Henry Suuronen

# LAUHDELÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN KAUPAN KYLMAKONEISTOISTA

Opinnäytetyö  
Talotekniikka


Syyskuu 2012




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  3.6.2012		
<b>Tekijä(t)</b> Henry Suuronen	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Talotekniikan koulutusohjelma		
<b>Nimeke</b> Lauhdelämmön hyödyntäminen kaupan kylmäkoneistoista			
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Suomen Lähikauppa Oy:lle laskentapohja, jonka avulla voidaan arvioida kaupan lauhdelämmön talteenoton kannattavuutta. Esimerkkikohteena työssä on 400 neliön suuruinen Siwa.</p> <p>Työssä pyrittiin kehittämään yksinkertainen laskentapohja Excel-taulukkolaskentaohjelmaa käyttämällä. Laskentapohjaan on tuotettu useita kaavoja, joista laskentapohja valitsee oikean lähtötietojen perusteella ja laskee takaisinmaksuajan. Käyttäjän tulee tietää kaupan pinta-ala, kylmä- ja pakkastehot, aukioloaika, ilmanvaihtokoneen lämmönsiirtimen tyyppi, huoltokustannukset ja investointikustannus. Vaihtoehtoina on hyödyntää lauhdelämpöä kierrätysilman tai tuloilman lämmittämiseen.</p> <p>Tulosten arviointi on hankalaa, koska lähtötiedot ovat yleensä arvioita. Siwassa oli ainoastaan huipumuri, joten lauhdelämpöä ei suoraan pystytä hyödyntämään tuloilman lämmityksessä. Työssä on arvioitu takaisinmaksuaika kierrätysilmakoneen investoinnille ja toisena vaihtoehtona oli uusia koko ilmastointijärjestelmä ja lämmittää tuloilmaa. Siwassa tuloilman lämmittämällä voidaan kattaa noin 50 % vuoden lämmitysenergian tarpeesta, kun kierrätysilmakoneella vain noin 20 %.</p>			
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Kylmäteknikka, myymälät, kylmälaitteet, lämmön talteenotto			
<b>Sivumäärä</b> 27	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>Kieli</b> Suomi</td> <td style="width: 50%;"><b>URN</b></td> </tr> </table>	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>
<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>		
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>			
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Martti Veuro	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Granlund Tampere Oy		

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  3.6.2012	
<b>Author(s)</b> Henry Suuronen		<b>Degree programme and option</b> Building services (HVAC)	
<b>Name of the bachelor's thesis</b> Profitability of condensation heat in refrigeration systems			
<b>Abstract</b>  <p>The purpose of this thesis was to develop an Excel form which can be used to calculate profitability of condensation heat in refrigeration systems. The form was made to Suomen Lähikauppa Ltd. Suomen Lähikauppa Ltd. has shops around the Finland. There are about 500 Siwa, 165 Valintatalo and three Euro-market.</p> <p>The form calculates repayment time of investment. The unit of result is the year. The User needs to enter a few source data which are the area of the shop, the cooling capacity, the opening hours, the type of AHUs heat exchanger and the amount of investment. The objective was to do a simple and clear form. The form has two different options where condensation heat can be used. The options are to heat supply air or recycling air.</p> <p>The example shop was a Siwa with about 400 square meters. The evaluation of the results is difficult because the source data are often estimated. Siwa has only a roof fan. So condensation heat can't be used to heat supply air. This thesis estimated repayment of investment when condensation heat is utilised to recycle air. The second option is to design and build a new air-condition system.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Shops, refrigeration systems, heat recovery			
<b>Pages</b> 27	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>	
<b>Remarks, notes on appendices</b>			
<b>Tutor</b> Martti Veuro		<b>Bachelor's thesis assigned by</b> Granlund Tampere Oy	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	MYYMÄLÖIDEN LAUHDUTUSJÄRJESTELMÄT .....	2
	2.1 Suora lauhdutus.....	2
	2.2 Välillinen lauhdutus .....	2
3	MYYMÄLÖIDEN KYLMÄJÄRJESTELMIEN LAUHDELÄMPÖ .....	3
	3.1 Lauhdutuslämmön hyödyntäminen.....	4
	3.2 Lauhdutuslämmön talteenottojärjestelmät.....	4
	3.2.1 Rinnankytketyt lauhduttimet .....	5
	3.2.2 Sarjaan kytkettävät lauhduttimet .....	6
	3.2.3 Kryotherm .....	7
	3.2.4 Lauhdutuslämmön hyödyntäminen lämpöpumpulla .....	8
	3.3 Lauhdutuslämmön käyttökohteet kaupoissa.....	8
4	KANNATTAVUUSLASKENTA .....	10
	4.1 Lauhdutusteho.....	11
	4.2 Tuloilman lämmitys .....	13
	4.3 Kierrätysilman lämmitys .....	16
	4.4 Takaisinmaksuaika.....	18
5	ESIMERKKIKOHDE SIWA .....	19
	5.1 Kylmä- ja pakkasteho.....	22
	5.2 Lauhdelämmön kannattavuuslaskenta.....	23
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	26
	LÄHTEET .....	27

## 1 JOHDANTO

Kaupoissa ja muissakin suurissa rakennuksissa kylmälaitteet ovat merkittävä energian kuluttaja. Energiansäästö niidenkin kohdalla on tullut entistä tärkeämmäksi. Elinkeinoelämän energiatehokkuussopimuksen mukainen tavoite on säästää 2016 mennessä 6 % vuoden 2005 kulutetusta energiamäärästä. Sopimus on osa ilmastonmuutoksen vastaista työtä. [11.] Lauhdelämmön talteenotolla on tärkeä rooli kauppojen energiansäästöissä. Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä Suomen Lähikauppa Oy:lle laskentapohja, jolla pystytään selvittämään lauhdelämmön talteenoton kannattavuutta.

Suomen Lähikauppa Oy:lla on kauppoja ympäri Suomea yhteensä noin 670 kappaletta. Suurin osa on Siwoja noin 500 kappaletta, Valintataloja on 165 kappaletta ja Euromarketteja on kolmella paikkakunnalla. Suomen Lähikauppa Oy:lla kauppojen koot vaihtelevat pienistä sadan neliön kaupoista suuriin tuhansien neliöiden marketteihin.

Työssä on tarkasteltu yleisesti myymälöiden lauhdelämmön talteenottojärjestelmiä, lauhdelämmön hyödyntämistä ja lauhdelämmön hyödyntämiskohteita. Laskentapohjalla voidaan arvioida takaisinmaksuaikaa, kun tilaa lämmitetään joko tuloilman tai kierrätysilman avulla. Esimerkkikohteena työssä oli noin 400 neliön Siwa. Kyseiseen Siwaan ollaan teettämässä kylmäkoneremontti. Remontissa vanhat kylmäkoneet, joissa kylmäaineena toimii R22-kylmäaine, vaihdetaan uusiin kylmäkoneisiin. R22-kylmäaine on HCFC (halogenoitu kloorifluorihiihivety) -kylmäaine. Uusissa laitoksissa HCFC-kylmäaineiden käyttö on kielletty vuoden 2010 alusta lähtien. Kaupan uusissa kylmäkoneissa tullaan käyttämään HFC (fluorihiihivety) -kylmäainetta, esimerkiksi R404:a:ta, joka ei aiheuta otsonikatoa. Kylmäainetta vaihdettaessa on tapana uusaa koko kylmäkoneisto, jolloin käyttäjä saa kylmäaineelle suunnitellun koneiston, joka myös toimii energiatehokkaasti [6.]

Siwassa ei ilmanvaihtokonetta ole. Huippuimurilla poistetaan ilmaa ja korvausilmaa tulee hallitsemattomasti rakennukseen. Tilaa lämmitetään pattereilla ja kahdella kierrätysilmapuhaltimella. Kauppaan on hankittu uusia pakastealtaita, jotka lauhduttavat alleen eli lauhdutin sijaitsee pakastealtan alla ja lämmin ilma puhalletaan suoraan kaupan tiloihin. Tässä opinnäytetyössä takaisinmaksuaikaa on arvioitu investoimalla kierrätysilmakoneisiin ja toisena vaihtoehtona on uusia koko ilmanvaihtojärjestelmä.

## **2 MYYMÄLÖIDEN LAUHDUTUSJÄRJESTELMÄT**

Lauhdutusjärjestelmissä käytetään yleensä kahta erilaista tapaa. Suorassa lauhdutuksessa kylmäaine lauhdutetaan suoraan ilmalla. Kylmäaine voidaan lauhduttaa joko lämmitettävässä tilassa tai sitten ulkona. Kylmäteholtaan suurissa kohteissa lisääntyvänä tapana on käyttää välillistä lauhdutusta, jossa lauhdepiirissä kiertää vesi tai liuos. Pienissä kohteissa välillinen lauhdutus ei ole välttämättä taloudellisesti kannattavaa, koska suorassa lauhdutuksessa on yksinkertaisemman rakenteen ansiosta pienemmät investointikustannukset.

### **2.1 Suora lauhdutus**

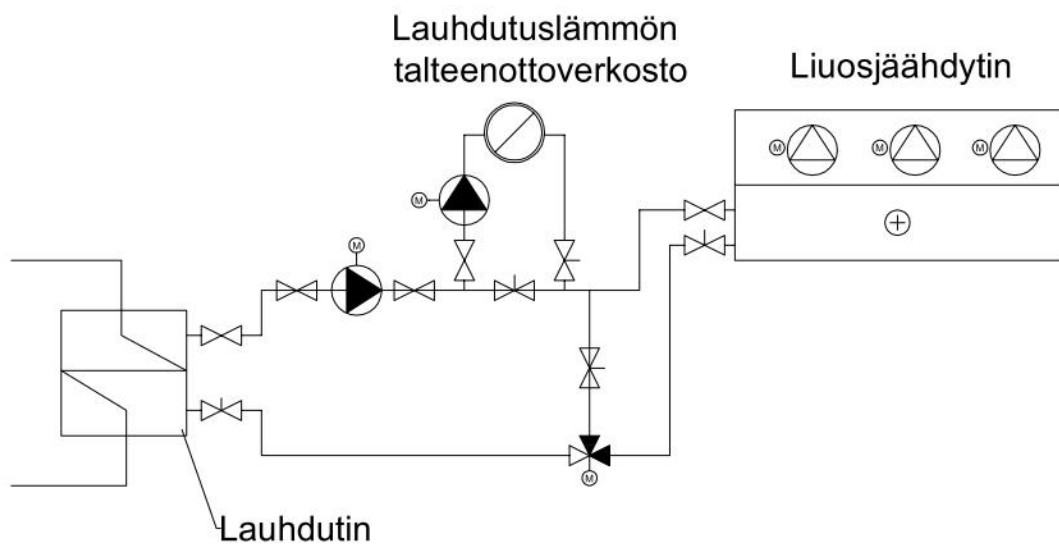
Suoraa lauhdutusta käytetään tyypillisesti pienissä teholuokissa ja kun halutaan rakentaa kylmäjärjestelmä mahdollisimman pienin investointikustannuksin. Suorassa lauhdutuksessa lauhdelämpöä käytetään yleensä vain tilojen ilman lämmitykseen, sopivien lämpötilatasojen ansiosta. Tulistuslämpöä voidaan käyttää esimerkiksi käyttöveden esilämmitykseen, mutta lainsäädännön takia lämmön talteenoton välissä joudutaan käyttämään välipiiriä jonka takia investointikustannukset kasvavat ja hyötysuhde huononee. Suoran järjestelmän etuja ovat pienemmät investointikustannukset ja yksinkertaisempi rakenne [3.]

### **2.2 Välillinen lauhdutus**

Kylmälaitoksissa on yleistymässä, että välillistä lauhdutusta suositaan etenkin kylmätehoiltaan suurissa marketeissa. Välillisessä lauhdutuksessa kylmäjärjestelmän lauhdelämpö siirretään lauhduttimessa väliaineeseen. Väliaineena voi toimia esimerkiksi vesi-glykoliliuos, jolloin voidaan estää väliaineen jäätyminen. Välillisen lauhdutuksen etuja suoraan lauhdutukseen verrattuna ovat sen parempi säädettävyys, kylmäkoneiston pienempi kylmäainetäyttö. Myös kylmäaineen virtaus lauhduttimelta nestevarajalle on tasaisempi. Lämmön hyödyntämismahdollisuudet välillisessä järjestelmässä ovat monipuolisemmat verrattuna suoraan lauhdutukseen. Lauhdelämmöllä voidaan lämmittää käyttövettä ja sitä voidaan hyödyntää tilalämmityksessä lämmittämällä tu-

loilmaa tai lattialämmitysverkostoa, ja sitä voidaan käyttää lämmönlähteenä lämpöpumpussa. [1.]

Kuvassa 1 on esitetty välillinen lauhdutusjärjestelmä. Lauhdelämpö siirretään lämmönsiirtimellä, joka toimii lauhduttimena, väliaineeseen. Väliaineen lämpö hyödynnetään joko lauhdutusverkostossa tai sitten väliaine jäädytetään ulkoilmaa käyttäen liuosjähdyttimellä.



**KUVA 1. Välillinen lauhdutus [1]**

### 3 MYYMÄLÖIDEN KYLMÄJÄRJESTELMIEN LAUHDELÄMPÖ

Elintarvikemyymälöissä kylmäkoneiden lauhduslämpö voidaan hyödyntää tehokkaasti, koska kaupoissa on ympärivuotinen lämmitysenergian- ja kylmäjärjestelmän kylmätehontarve. Lauhduslämpö muodostuu kolmesta tekijästä. Varsinaisesta lauhduslämmöstä, jonka osuus on noin 80 - 90 % lauhdutustehosta; tulistuslämmöstä, jonka osuus on noin 10 - 20 % ja alijäädytyksestä, jonka osuus on noin 0 - 5 % [1].

### 3.1 Lauhdutuslämmön hyödyntäminen

Lauhdutuslämmön hyödyntämisen edellytyksenä on, että kylmätehon tarpeen kanssa on riittävän suuri samanaikainen lämmitystehon tarve. Etenkin suurissa myymälöissä tämä toteutuu hyvin, koska talvella lämmitysenergian tarve on suurin ja kesällä kylmäkalusteet itse jäädyttävät kalustealueen, jota pitää lämmittää ihmisten viihtyvyyden takaamiseksi myös kesällä.

Yhtenä ongelmana on, että jäädytettävien kalusteiden ja tilojen kylmätehontarve vaihtelee paljon. Suurin kylmätehontarve on aamuisin, kun tavaratäydennykset saapuvat kaappoihin. Pienin jäädytystehontarve on taas öisin, kun kauppa on tyhjä ihmisistä ja voidaan käyttää verhoja kylmäaltaissa.

Lauhdutuslämmön hyödyntämisen ongelmana on sen matala lämpötilataso. Se ei yksin riitä vaikkapa käyttöveden lämmitykseen, vaan lauhdutuslämmön lämpötilaa on nostettava esimerkiksi lämpöpumpulla tai lauhtumislämpötilaa nostamalla. Jos lauhtumislämpötilaa nostetaan yhden celsius asteen verran, huonontaa se kylmäkerrointa noin kolme prosenttia [1].

Tulistuslämmöllä voidaan saavuttaa korkeampia lämpötilatasoja. Kylmäaineesta riippuen tulistuslämmöllä lämmitettävän nesteen lämpötilaksi voidaan saada jopa +70 °C. Ongelmana on kuitenkin tulistuslämmön pieni osuus koko lauhdutustehosta. Tulistuslämpöä voidaan käyttää sen korkeamman lämpötilan ansiosta esimerkiksi käyttöveden tekemiseen. [1.]

### 3.2 Lauhdutuslämmön talteenottojärjestelmät

Perussääntö lämmön talteenotossa on, että valitun järjestelmän pitää olla varmatoiminen, eikä se saa vaarantaa kylmälaitoksen toimintavarmuutta. Pieniin kylmäkoneistoihin ei kannata rakentaa monimutkaisia järjestelmiä, etteivät investointikustannukset kasva liian suuriksi. Suorassa lauhdutuksessa ilmalauhdutin asennetaan katolle ja rinnakkaislauhdutin voidaan sijoittaa lämmitystä tarvitsevaan tilaan. Talteenottolauhdutinta ei välttämättä tarvitse mitoittaa koko lauhdutusteholle. Oikeanlaisella järjestel-



mävalinnalla on mahdollista käyttää lämmön talteenottolauhdutusta sekä ulkolauhdutusta samanaikaisesti.

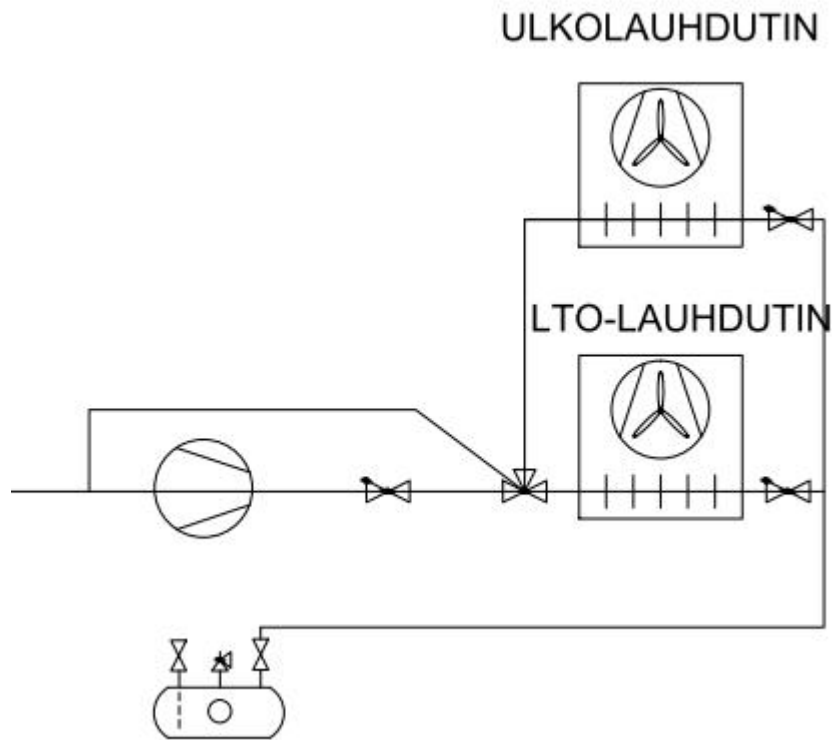
Lauhduttimet voivat olla kytketty joko rinnan tai sarjaan. Kylmätehoiltaan suurissa kohteissa lisääntyvänä tapana on käyttää välillistä lauhdutusta, jossa välillisen lauhdutuksen piirissä kiertää vesi tai jokin liuos. Liuos voi olla esimerkiksi vesi-glykoliliuos. Kylmätehoiltaan pienissä kohteissa välillinen järjestelmä ei ole välttämättä taloudellisesti kannattava suurempien investointikustannusten vuoksi. [1; 2.]

### **3.2.1 Rinnankytketyt lauhduttimet**

Rinnankytkennässä ulkolauhdutin ja lämmön talteenottolauhdutin ovat kytkettyinä kahteen rinnakkain olevaan piiriin. Lauhduttimien rinnankytkennässä lauhduttimien ja niiden venttiilien aiheuttama painehäviö on pienempi kuin sarjaan kytkennässä, koska sarjaan kytkennässä ensimmäisessä lauhduttimessa nesteytyneen kylmäaineen nestepatas aiheuttaa aina nousuputkessa toiselle lauhduttimelle suuren painehäviön. [1.]

Rinnankytkettyjen lauhduttimien yhtä aikaa toimiminen on lähes mahdotonta. Tämä johtuu lauhduspaineiden eroista lauhduttimissa. Nesteputkessa kummaltakin lauhduttimelta tuleva nestemäinen kylmäaine yhtyy ja jatkuva ja tasainen virtaus kummaltakin lauhduttimelta edellyttää samaa lauhdutinpainetta, mikä ei käytännössä ole mahdollista painehäviöiden ja ympäristöolosuhteiden vuoksi. [1.]

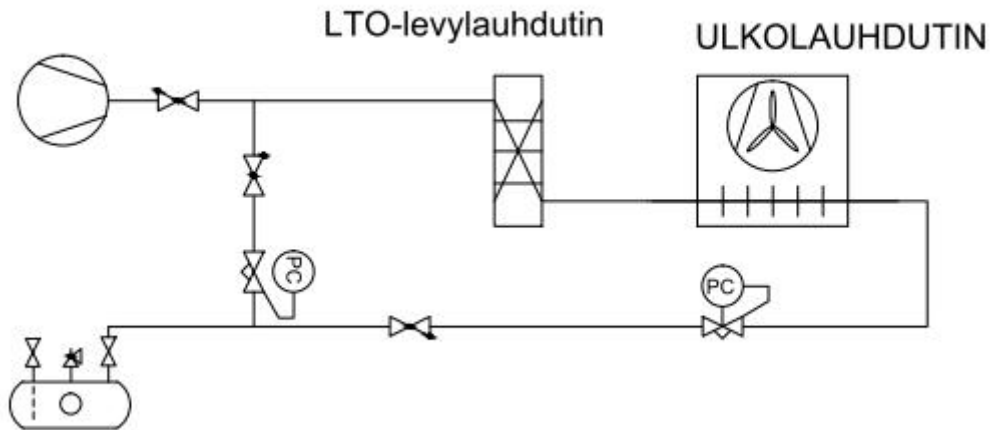
Ulkolauhdutin ja lämmön talteenottolauhdutin on kytketty rinnan (kuva 2). Termostaatti ohjaa 3-tiemagneettiventtiiliä lämmitystarpeen mukaan.



**KUVA 2. Rinnankytketyt lauhduttimet [1]**

### 3.2.2 Sarjaan kytkettävät lauhduttimet

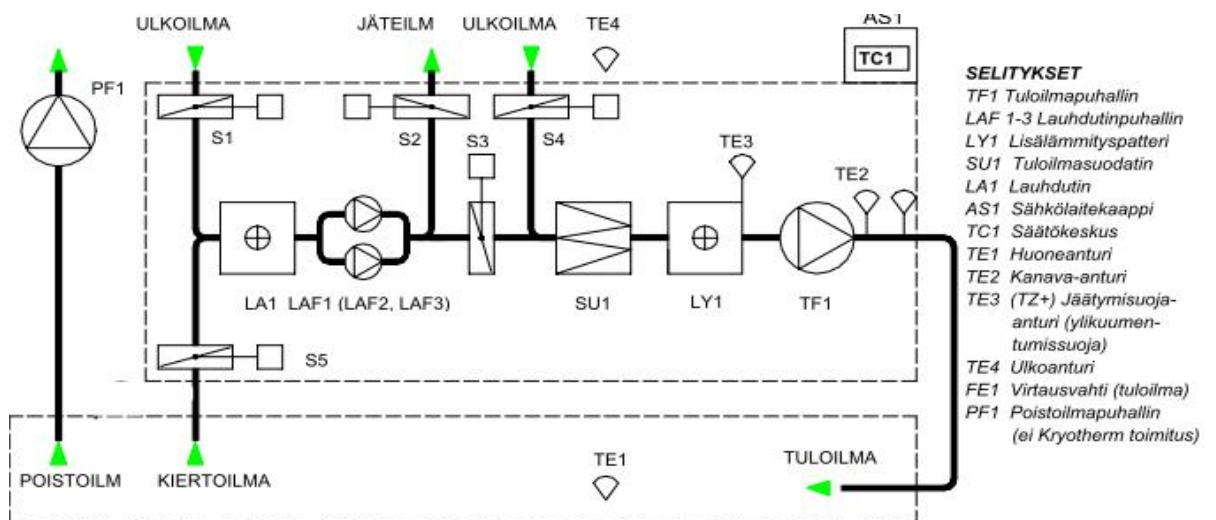
Sarjaan kytkennässä lämmön talteenottolauhdutin ja ulkolauhdutin on kytkettyinä samaan piiriin (Kuva 3). Kylmäaineen määrä koneiston eri osien välillä vaihtelee suuresti. Ensimmäinen lauhdutin saattaa lauhduttaa kaiken kylmäaineen ja toinen lauhdutin on täysin nesteen täyttämä. Kun lämmön talteenottoa ei tarvita, LTO-lauhduksen läpi virtaa lauhtumatonta kuumakaasua ja lauhdutus tapahtuu jälkimmäisessä lauhduttimessa. Tärkeää on varmistaa, ettei ensimmäisen lauhduttimen painehäviö ole liian suuri, vaikka sen läpi virtaisi pelkkää kaasua. [1.]



KUVA 3. Sarjaan kytkettävät lauhduttimet [1]

### 3.2.3 Kryotherm

Yksi vaihtoehto elintarvikemyymälöiden ilmanvaihtoon ja kylmäkoneiston lauhdutukseen on käyttää Kryotherm AB:n valmistamia ilmanvaihto- ja lauhdutuslämmön talteenottokejoita. Lämmöntarpeen mukaan lauhduttimessa lämmennyt ilma johdetaan joko kokonaan tai osittain myymälään tai ulos. Kylmätehon tarve on kasvanut niin paljon, että osa lauhdelämmöstä joudutaan poistamaan erillisellä lauhduttimella. Lauhdutin on yleensä asennettu sarjaan Kryothermin lauhduttimen kanssa. Kryothermia voidaan käyttää myös välillisessä lauhdutuksessa. [1.]



KUVA 4. Kryotherm prosessikaavio [4]

Kuvassa 4 on esitetty Kryothermin periaatekuva. Normaaliajossa kojeen puhaltimet käyvät jatkuvasti. Kylmäkoneiden lauhdelämpö johdetaan kojeen lauhduttimeen. Huoneesta tuleva palautusilma menee lauhduttimen läpi ja lämpiää. Tarvittaessa ilmaa lämmitetään edelleen. Kun lämmitystehoa ei tarvita esimerkiksi kesällä, niin lauhduttimessa lämmennyt ilma ohjataan pellistön avulla jäteilmana suoraan ulos. Ulkoilma ohjataan samanaikaisesti tuloilmana suodattimien läpi huonetilaan. [4.]

### **3.2.4 Lauhdutuslämmön hyödyntäminen lämpöpumpulla**

Lämpöpumpun avulla voidaan lauhdutuslämmön lämpötila nostaa lämmitysjärjestelmälle tai käyttöveden tekemiseen sopivaksi. Lämpöpumppujen hyödyntämisestä lauhdelämmön talteenotossa on tutkittu teoreettisesti melko paljon, mutta käytännön sovellukset ovat olleet melko harvassa. Lämpöpumppu on edelleen harvinainen ratkaisu lauhdelämmön talteenottojärjestelmissä, koska käytännön sovellukset ovat harvassa eikä lauhdelämmön hyödyntämiseen panosteta riittävästi. [3.]

### **3.3 Lauhdutuslämmön käyttökohteet kaupoissa**

Yleensä lauhdelämmön käyttökohteena on jokin vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä. Tällainen lämmitysjärjestelmä mahdollistaa eri lämmönlähteiden ja lämmönjakotapojen yhdistämisen. Lauhdelämmön matala lämpötilataso on yleensä vain lämmitysjärjestelmän mitoituskysymys. Lisäksi lauhdelämmön lämpötilatasoa voidaan nostaa esimerkiksi lämpöpumpuilla tai lauhtumislämpötilaa korottamalla.

Kaupoissa kylmäkalusteiden jäähdyttävä vaikutus on kompensoitava sisäilmaston ja ihmisten viihtyvyyden varmistamiseksi. Kylmäkalusteiden kauppaan aiheuttama jäähdyttävä vaikutus on täysin hukkaan menevää energiaa. Jäähdyttävää vaikutusta voidaan pienentää esimerkiksi kylmäkalusteiden ovituksilla. Hyvin yleistä on, että avokalusteen päälle vedetään yöksi verho, joko käsikäyttöisesti tai se voidaan säätää sulkeutumaan automaattisesti tiettyyn kellonaikaan.

Ilmalämmitys on yleinen tapa, ja se voidaan toteuttaa ilmastointikoneessa tuloilman lämmityksellä tai erillisillä kierrätysilmakoneilla, jotka asennetaan lämmitettävään tilaan. Lauhdelämpö vietään kierrätysilmakoneeseen, joka lämmittää tilassa olevan ilman. Ilmalämmityksen etuja ovat sen helppo toteutus ja sopiva lämpötilataso lämmön talteenoton kannalta. Haittana taas se, että liian voimakas puhallus kattoon sijoitetuista tuloilman päätelaitteista voi häiritä kylmäkalusteiden ilmaverhon toimintaa tai asiakkaita.

Lämmitys kylmäkalustealueella on yleisesti hoidettu alapuhalluksella, jolloin kalusteen alasokkelista puhalletaan ilmaa käytävälle. Myymälästä imetään ilmaa, joka lämmitetään erillisessä kierrätysilmakoneessa ja puhalletaan takaisin keskikäytävälle. Alapuhallusta pyritään käyttämään ensisijaisena lämmitysmuotona varsinkin öisin. Ilma lämmitetään yleensä  $+25 - +35$  °C lämpöiseksi, joten lämpötilataso sopii hyvin lauhdutuslämmön hyödyntämiseen. Kaupan tilojen sisälämpötilaa voidaan öisin laskea muutamalla asteella.

Vielä melko harvinainen, mutta tehokas ja kalusteiden toimintaa vähän häiritsevä tapa on lattialämmitys. Lattialämmityksessä menoveden lämpötila on yleensä  $+35 - +40$  °C. Tällöin lattian pintalämpötila pysyy sopivana. Lämpötilataso soveltuu hyvin lauhdutuslämmön talteenottoon, joten sitä pystytään hyödyntämään tehokkaasti. Lattialämmityksen etuina alapuhallukseen ovat parempi säädettävyys ja helppohoitoisuus. Haittapuolena voidaan mainita korkeammat investointikustannukset ja kylmäkalusteiden viemäröinnin aiheuttamat ongelmat. Vähitellen yleistyvä kylmäkalusteiden alipaineviemäröinti siirtää kalustealueen viemäröinnin putki- ja kaapeliarinoille, minkä seurauksena lattialämmityksen käyttö varmasti lisääntyy.

Muita lauhdelämmön hyödyntämisen kohteita voivat olla esimerkiksi oviverhot, piha-alueiden, kattokaivojen ja rännien sulatus ja käyttöveden esilämmitys [1; 3].

Esimerkiksi katulämmitys suunnitellaan niin, että kadun pintalämpötila pyritään pitämään noin  $+3$  °C:ssa. Kadun pintalämpötila saavutetaan kun n. 200 mm kadunpinnan alapuolella kulkevien putkistojen menoliuoksen lämpötila on noin  $+35$  °C. Tämä mahdollistaa hyvin lauhdelämmön käytön katu- ja piha-alueidenlämmitykseen. [5.]

#### 4 KANNATTAVUUSLASKENTA

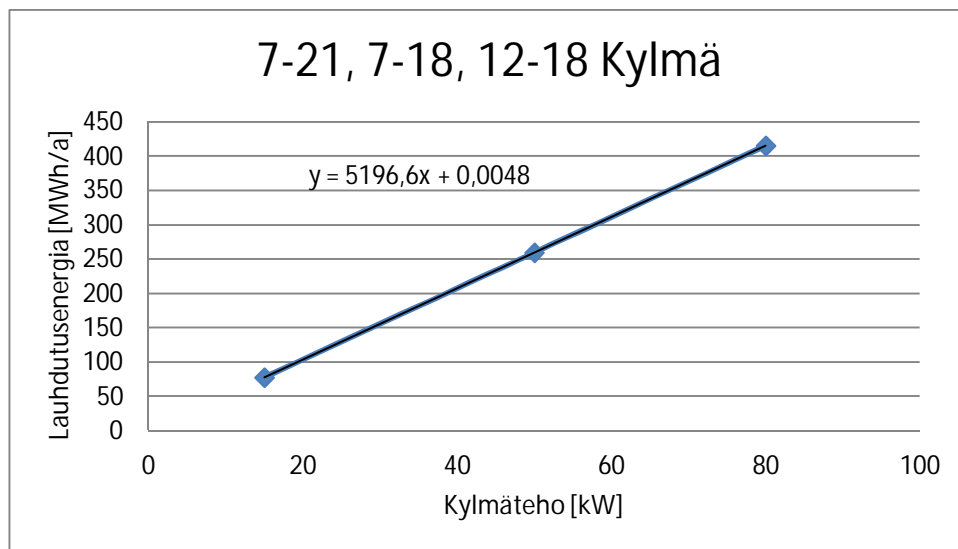
Kannattavuuslaskelmia varten on olemassa joukko tarkkoja laskentamenetelmiä, mutta laskelmien lähtötietojen määrittäminen on haasteellista. Tällaisia ovat esimerkiksi käyttöaika ja mahdolliset korjaus- ja huoltokustannukset. Usein kannattavuus lasketaan karkeasti. Riittää, että tiedetään, onko ratkaisu selvästi kannattava vai kannattamaton. Käyttökelpoisia menetelmiä ovat mm. annuiteettimenetelmä, sisäisen koron menetelmä ja nykyarvomenetelmä. Tässä opinnäytetyössä on käytetty takaisinmaksuaikamenetelmää, joka antaa riittävän kuvan hankkeen kannattavuudesta, koska lähtötiedot ovat aina joissain määrin arvioluontoisia [1].

Suomen Lähikauppa Oy:lla oli toiveena, että heille saataisiin esisuunnitteluvaiheeseen yksinkertainen laskentaohje. Ideana oli, että projektin alkuvaiheessa, kun kaupan koko ja kylmäaltaiden määrä alkaa hahmottua, voitaisiin katsoa, onko kannattavaa investoida lauhdelämmön talteenottojärjestelmään. Suomen Lähikauppa Oy:lla kauppojen koko vaihtelee paljon noin 100 neliöstä aina 2000 neliöön asti ja kylmätehon määräkin voi vaihdella muutamasta kilowatista satoihin kilowatteihin.

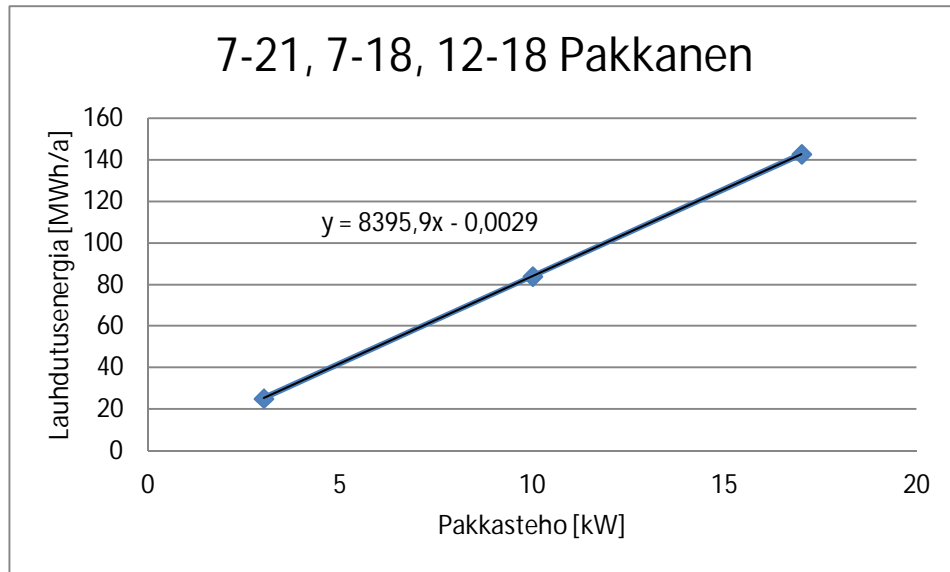
Laskentapohja on tehty Microsoftin taulukkolaskentaohjelmaa, Exceliä käyttäen. Laskentaohjeen pohjana on käytetty Granlundilla kehitettyä laskentapohjaa. Granlund on insinööritoimisto, joka on aikaisemmin Motivalle kehittänyt laskentapohjaa. Sen avulla on tuotettu kuvaajia eri olosuhteita ja lähtötilanteita varten. Laskentapohja hakee annettujen lähtötietojen perusteella oikean kuvaajan ja laskee käytettävissä olevan lauhdutusenergian määrän käyttäjän syöttämien kylmä- ja pakkastehojen mukaan. Käyttäjä voi valita myymälän aukioloajan, pinta-alan ja ilmastointikoneen lämmöntalteenoton lämmönsiirtimen tyypin ja syöttää myymälän kylmä- ja pakkastehon, investointikustannuksen, huoltokustannuksen ja energianhinnan. Ohjelma laskee investointikustannuksen takaisinmaksuajan vuosina, ja tulokset saadaan tulostaulukkoon. Laskentapohjan laskelmat on tehty ilmalämmitykselle. Laskentapohja laskee takaisinmaksuajat sekä tuloilmalämmityksen että kierrätysilmalämmityksen investoinnille.

## 4.1 Lauhdutusteho

Kaupan aukioloaika vaikuttaa kaupasta saatavan lauhdutustehon määrään, koska kaupan ollessa kiinni tarvitaan vähemmän jäähdytystehoa. Laskentapohjassa on määritetty, että yökulutus on 70 % mitoitustehosta. Jokaiselle valitulle aukioloajalle tuotettiin omat kuvaajat, jotta kylmä- ja pakkasteho saatiin vastaamaan oikeaa lauhdutustehon määrää. Lauhdutustehoa tarvitaan, että voidaan arvioida lauhdelämmön talteenotosta saatavan energian määrää. Kuvissa 5 ja 6 on esimerkkinä yhtä aukioloaikaa vastaavat kuvaajat. Ohjelma laskee lauhdutusenergian määrän jäähdytystehoista. Jäähdytystehot ovat laskettu annetuista kylmä- ja pakkastehoista ja tunnitaisia säätietoja käyttäen. Laskelmassa on käytetty rakennusmääräyskokoelma D3:n mukaista säätietoja.



**KUVA 5. Kylmätehosta saatava lauhdutusenergia**



**KUVA 6. Pakkastehosta saatava lauhdutusenergia**

Tehdään esimerkkilasku kaupasta, joka on auki arkisin klo 7-21, lauantaisin klo 7-18 ja sunnuntaisin klo 12-18. Kauppa on pinta-alaltaan 300 m<sup>2</sup>. Kaupassa on mitoitustehoiltaan 20 kW kylmätehoa ja 5 kW pakkastehoa. Kaupan ilmastointikone on varustettu vastavirta levylämmönsiirtimellä, jonka lämpötilasuhde on 70 %.

$$\text{Lauhdutusenergia} = \text{lauhdutusenergia}_{\text{kylmä}} + \text{lauhdutusenergia}_{\text{pakkanen}}$$

$$\begin{aligned} \text{lauhdutusenergia}_{\text{kylmä}} &= 5196,6 * \text{kylmäteho} + 0,0048 \\ &= 5196,6 * 20 + 0,0048 = 103932,0 \text{ kWh/a} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{lauhdutusenergia}_{\text{pakkanen}} &= 8395,9 * \text{pakkasteho} - 0,0029 \\ &= 8395,9 * 5 - 0,0029 = 41979,5 \text{ kWh/a} \end{aligned}$$

$$\text{lauhdutusenergia} = 103932,0 \text{ kWh/a} + 41979,5 \text{ kWh/a} = 145911,5 \text{ kWh/a}$$

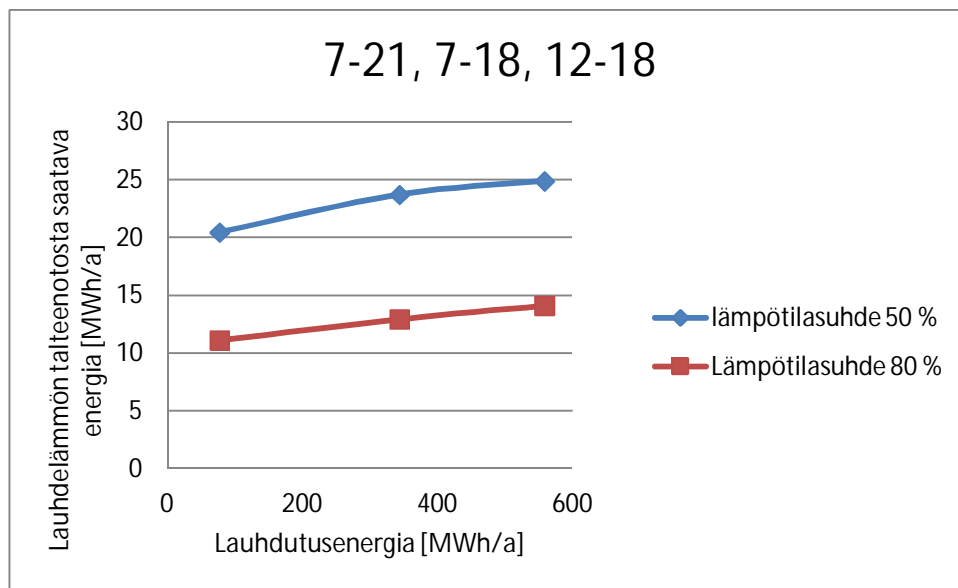
Kylmälaitteet tuottavat vuodessa yhteensä noin 145912 kilowattituntia lauhdutusenergiaa.



## 4.2 Tuloilman lämmitys

Ilmastointikoneen lämpötilasuhte vaikuttaa hyödynnettävän lauhdutustehon määrään. Ilmastointikone, jossa on pyörivä lämmöntalteenottokeino ottaa enemmän lämpöä talteen kuin ristivirtakenno, korkeamman lämpötilasuhteen ansiosta. Kaikkea lauhdutuksesta saatavilla olevaa tehoa ei voida käyttää, ettei tuloilma ole liian lämmintä. Tämän vuoksi ylimääräinen lauhdutusteho joudutaan esimerkiksi puhaltamaan ulos.

Kuvassa 7 on esitetty lauhdelämmön talteenotosta saatava energia tietyllä aukioloajalla, tietyllä ilmavirralla ( $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ja kahdella eri lämmönsiirtimen lämpötilasuhteen arvolla.



**KUVA 7. Lauhdelämmön talteenotosta saatava energia eri lämpötilasuhteilla**

Ilmamäärä vaikuttaa lauhdelämmön talteenotosta saatavan tehon määrään.

$$\phi = q_v * h * \rho \quad (1)$$

$\phi$  on teho, kW

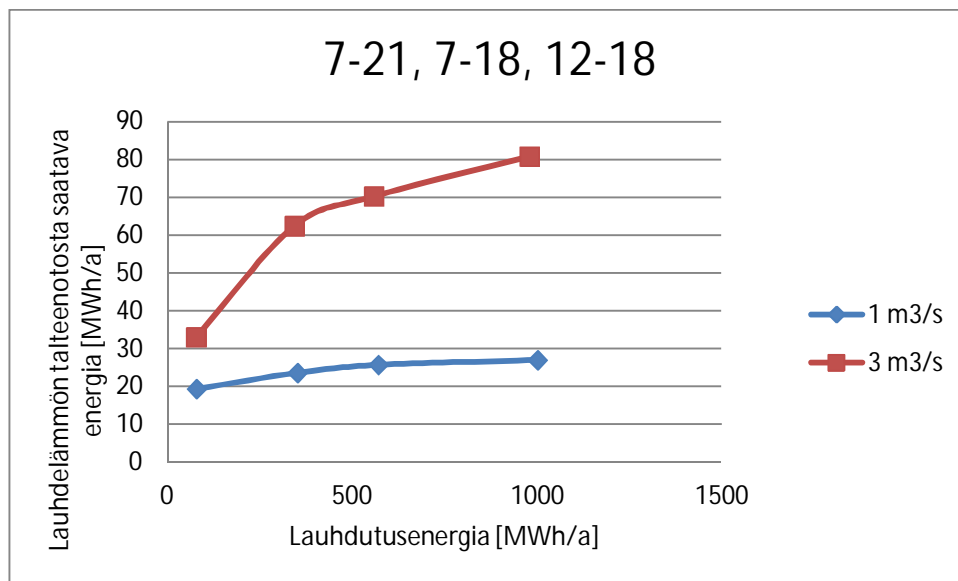
$q_v$  on ilmavirta,  $\text{m}^3/\text{s}$

$h$  on ilman entalpia, kJ/kg

$\rho$  on ilman tiheys,  $\text{kg/m}^3$

Suurempi ilmamäärä pystyy sitomaan enemmän lämpöä ja lauhdelämpöä pystytään käyttämään paremmin hyödyksi. Yhtälöstä (1) näkee, että ilmavirta vaikuttaa suoraan tehon määrään.

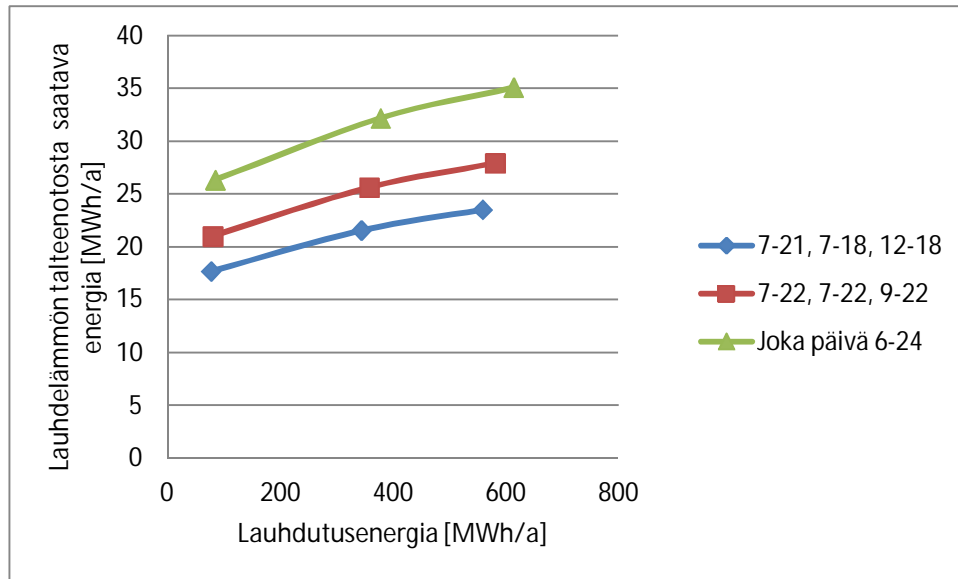
Kuvassa 8 on esitetty lauhdelämmön talteenotosta saatava teho tietyllä aukioloajalla, tietyllä lämpötilasuhteella (80 %) ja kahdella eri ilmavirralla.



**KUVA 8. Lämmön talteenotosta saatava energia eri ilmavirroilla**

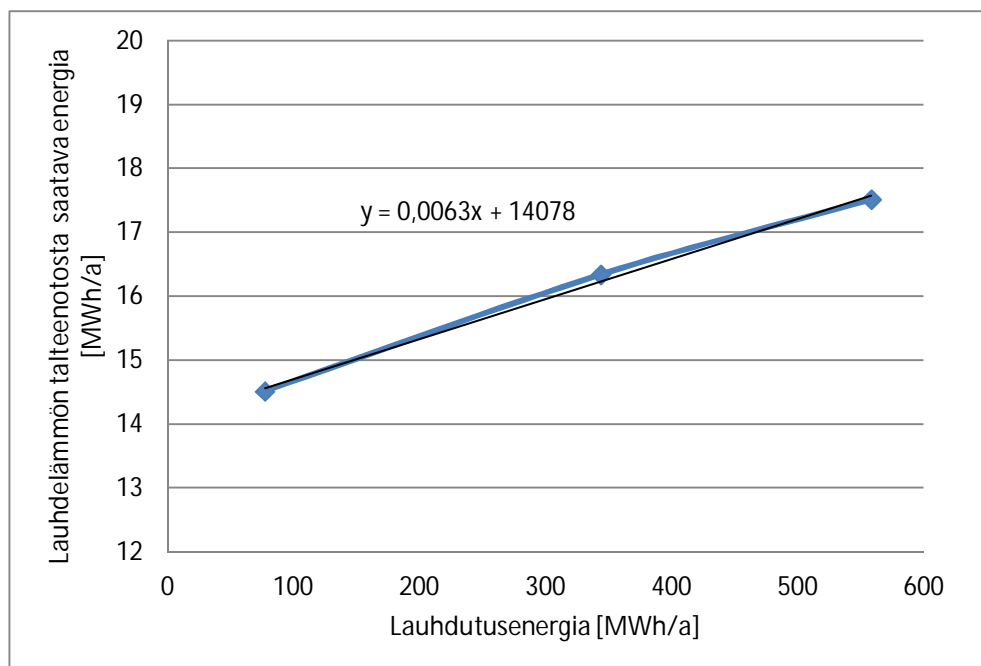
Kauppojen aukioloaika vaikuttaa myös lauhdelämmön talteenotosta saatavaan tehoon. Yökulutus on tässä laskelmassa arvioitu 70 % suuruiseksi mitoitustehosta ja ilmastointikone on pois päältä kaupan ollessa suljettuna. Aukioloajoista riippuen kaupoissa syntyy eri määrä lauhdutustehoa, ja sitä pystytään hyödyntämään ilmalämmityksessä tietty määrä riippuen aukioloajasta.

Kuvassa 9 on esitetty lauhdelämmön talteenotosta saatava energia samalla ilmavirralla ja lämpötilahyötysuhteella, mutta eri kaupan aukioloajoilla.



**KUVA 9. Lauhdelämmön talteenotosta saatava energia eri aukioloaikoina**

Kuvassa 10 on kuvaaja kaupasta, jonka aukioloajat ovat arkisin klo 7-21, lauantaisin klo 7-22 ja sunnuntaisin klo 9-22. Kauppa on pinta-alaltaan 300 m<sup>2</sup>. Kaupassa on mitoitustehoiltaan 20 kW kylmätehoa ja 5 kW pakkastehoa. Kaupan ilmastointikone on varustettu vastavirtalevyylämmönsiirtimellä, jonka lämpötilasuhde on 70 %. Laskentapohja valitsee annettujen lähtötietojen perusteella oikean kuvaajan ja laskee lauhdelämmön talteenotosta saatavan energian määrän kuvaajan regressioyhtälöä hyödyntäen.



**KUVA 10. Lauhdelämmön talteenotosta saatava energia esimerkikohteessa**

$$\begin{aligned}\phi_{LTO} &= 0,0063 * \text{lauhdutusenergia} + 14078 \\ &= 0,0063 * 145911,5 + 14078 = 14997,2kWh/a\end{aligned}$$

Esimerkkikaupasta saadaan kylmäkoneiden lauhdelämmön talteenotosta hyödynnettyä tuloilman lämmitykseen 14997 kWh vuodessa.

### 4.3 Kierrätysilman lämmitys

Laskentapohja laskee myös kierrätysilman takaisinmaksuaikaa. Kierrätysilmakojeen ilmamäärä voidaan laskentapohjassa asettaa halutun suuruiseksi. Kierrätysilmakojeen investointi tulee normaalissa tapauksessa halvemmaksi kuin tuloilman lämmitykseen investointi, mutta siitä saatava hyöty on vastaavasti pienempi. Sisäilman entalpia on jo valmiiksi sen verran korkea, ettei ilmaan pystytä siirtämään enempää entalpiaa kuin se jo sisältää. Jos kierrätysilman lämmitystä haluttaisiin käyttää tehokkaammin, pitäisi lauhdelämpötilaa nostaa esimerkiksi lämpöpumpun avulla.

Laskentapohjaan varten mallinnettiin esimerkkikohde Riuska-nimistä ohjelmaa käyttäen. Riuska -ohjelmisto on Granlundin kehittämä olosuhde- ja energiasimulointiohjelmisto, joka laskee tietomallin avulla rakennuksen ja sen tilojen lämpötekni- nisen käyttämisen erilaisissa kuormitus- ja sääolosuhteissa [12]. Esimerkkikohteesta laskettiin, paljonko kierrätysilman lämmityksellä saadaan tehoa hyödyksi.

Riuskasta tai ympäristöministeriön sivuilta saadaan vuotuiset tunnitaiset säätiedot, joilla voidaan laskea sisäilman entalpia. Lauhdelämmön talteenotosta saatava maksimi entalpia on otettu Granlundin omasta laskentapohjasta. Käytettävissä oleva entalpia kertoo, kuinka paljon energiaa on mahdollista siirtää sisäilmaan. Taulukkoon 1 on laskettu vuotuinen käytettävissä oleva entalpia.

$$h = 1,006t + x(2501 + 1,85t) \quad (2)$$

- h on entalpia, J/kg  
 t on sisäilman lämpötila, °C  
 x on absoluuttinen kosteus, g/kg

**TAULUKKO 1. Käytettävissä olevan entalpian määrä**

kk	pv	h	ulkoilman absol. kosteus	sisäilman lämpötila	sisäilman entalpia	Lauhdelämmön talteenotosta saatava ental- pia	Käytettävissä oleva ental- pia
			g/kg	°C	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg
1	1	1	2,5	21,1	27,58	27,56	0
1	1	2	2,4	21,1	27,32	27,31	0
⋮							
4	24	14	3,3	21,1	29,61	32,54	2,93
4	24	15	3,4	21,1	29,86	33,30	3,44
⋮							
12	31	24	2,6	21,1	27,83	27,81	0
Summa							<b>13867,37</b>

Yhtälöllä (1) voidaan laskea tehon määrä halutulla ilmamäärällä.

$$\phi = 0,2 \text{ m}^3/\text{s} * 13867,37 \text{ kJ} / \text{kg}/\text{a} * 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\phi = 3328,1 \text{ kWh/a}$$

Lauhdelämpöä on käytettävissä 145911,5 kWh, mutta siitä pystytään hyödyntämään vain osa. Kierrätysilman lämmityksellä saadaan vuodessa 3328 kWh:n suuruinen energiamäärä hyödyksi 0,2 m<sup>3</sup>/s ilmavirralla.

#### 4.4 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika kertoo, kuinka kauan kestää, että investointikustannuksella säästetään sama määrä rahaa kuin siihen on käytetty. Tässä laskelmassa on käytetty kaavaa, jossa ei oteta huomioon esimerkiksi korkoja tai rahan arvon heikkenemistä. Laskelmassa investointikustannus ja huollon aiheuttama kustannus jaetaan lämmön talteenotosta saatavalla kustannus säästöllä.

$$\text{takaisinmaksuaika} = \frac{\text{investointikustannus} + \text{huolto}}{\text{laskennallinen energiansäästö} * \text{energian hinta}}$$

Investointikustannuksissa tulee ottaa huomioon kaikki mahdolliset kustannukset, joita ovat esimerkiksi suunnittelu-, automaatio- ja asennuskustannukset ja asennettavat putkistot, mahdolliset lisäpumput, venttiilit, ilmastointikoneeseen asennettava lämmityspatteri, kierrätysilmakoje ja mahdollinen lämmönsiirrin. Huollon suuruudeksi on tässä laskelmassa arvioitu 2 % investointikustannuksesta vuodessa.

Arvioidaan tuloilman lämmitykseen esimerkkipaikan investointikustannuksiksi 6000 € ja verrataan takaisinmaksuaikaa siihen, jos ilma lämmitettäisiin sähköllä ja sähköenergianhinnaksi arvioidaan 10 snt/kWh.

$$\text{takaisinmaksuaika} = \frac{6000\text{€}}{14997,2\text{kWh/a} * 0,1\text{€/kWh}} = 4,0\text{a}$$

Arvioidaan kierrätysilmalämmityksen investointikustannuksiksi 1000 €. Sen takaisinmaksuaika 3328 kWh/a energian määrällä ja energianhinnalla 10 snt/kWh on 3,0 vuotta. Taulukossa 2 on vertailtu tuloilman lämmityksen ja kierrätysilman lämmityksen välisiä eroja.

**TAULUKKO 2. Takaisinmaksuaikojen vertailu**

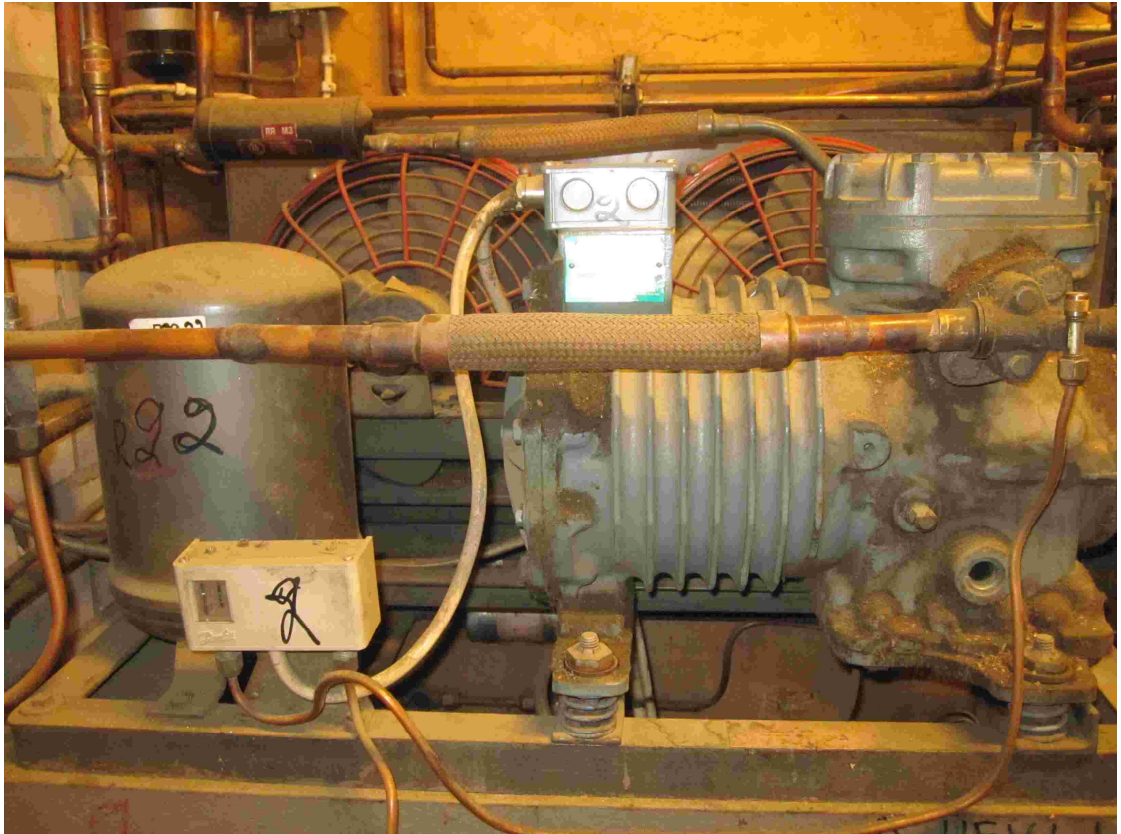
	Laskennallinen Energiansäästö [kWh]	Investointi [€]	Takaisinmaksuaika [a]	Kattaa vuotuisesta lämmöntarpeesta [%]
Tuloilman lämmitys	14997	6000	4	47
kierrätysilman lämmitys	3328	1000	3	19

Lämmöntarve voidaan arvioida ominaiskulutuksen mukaan. Keskon kulutusseurannan mukaan heidän kaupoissaan lämmönkulutus oli vuonna 2010 107 kWh/m<sup>2</sup> [7]. Esimerkkinä olevasta Siwasta laskettu ominaiskulutus on 100,4 kWh/m<sup>2</sup>. 300 m<sup>2</sup> -esimerkissä lämmönkulutus on siis 32100 kWh. Laskentapohjassa ominaislämmönkulutusta on käytetty, kun on arvioitu, paljonko vuotuisesta lämmöntarpeesta voidaan kattaa lauhdelämmön talteenotosta saatavalla energialla (taulukko 2). Muissa tapauksissa rakennuksen lämmöntarve tulee aina laskea tapauskohtaisesti.

## 5 ESIMERKKIKOHDE SIWA

Opinnäytetyön esimerkkikohteena toimii lähitulevaisuudessa remontoitava Siwa. Kauppa on rakennettu 1970-luvun alkupuolella. Kaupan pinta-ala on noin 360 m<sup>2</sup>, josta myyntipinta-alaa on noin 220 m<sup>2</sup>. Kohteeseen tullaan uusimaan ainakin kylmäkoneisto ja vanhat kylmäaltaat vaihdetaan uusiin. Tällä hetkellä kaupan kylmäkoneistossa kiertää kylmäaineena R22-kylmäaine. Suomessa uusien HCFC (halogenoitu kloorifluorihilivety) -kylmäaineiden, joihin R22 kuuluu, käyttö on kielletty huollossa 2010 alusta lähtien. HCFC-kylmäaineet ovat haitallisia maapallon otsonikerrokselle ja ovat voimakkaita kasvihuonekaasuja. Kierrätettyä ja puhdistettua HCFC-kylmäainetta saa käyttää vuoteen 2014 loppuun asti, mutta Suomessa ei kylmäaineita kierrätetä, joten huollon yhteydessä kylmäaine tullaan korvaamaan HFC (fluorihilivety) -kylmäaineella esimerkiksi R404A:lla. [6.]

Kaupassa on neljä kylmäkonetta, joista jokainen toimii erillään. Kylmäkoneet on kytetty lauhduttimiin, jotka sijaitsevat kylmäkonehuoneen ulkoseinällä. Lämmin ilma pyritään puhaltamaan ritilän lävitse ulos. Kuvassa 11 on yksi kaupan neljästä kylmäkoneesta, joka palvelee hedelmä- ja vihannes-huonetta. Kompessorin takana näkyy lauhdutin.



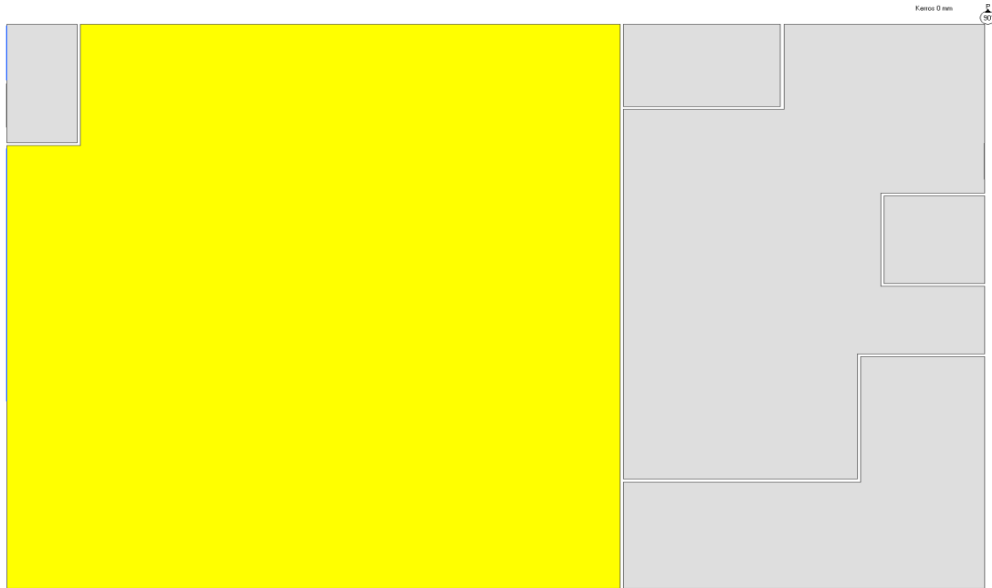
**KUVA 11. Nykyinen kylmäkone**

Pakastealtaat, jotka kauppaan oli uusittu, toimivat itsenäisesti. Ne lauhduttavat alleen ja näin tuottavat lämpökuormaa suoraan kaupan tiloihin.

Ilmastointikonetta kaupassa ei tällä hetkellä ole. Ilmaa poistetaan myymälän puolelta huippuimurilla, joka puhaltaa ilman suoraan ulos. Poistoilmasta ei oteta lämpöä talteen. Lämmitysjärjestelmänä on vesikiertoinen patteriverkosto, jonka lämmitysvesi lämmitetään kaukolämmöllä. Tuulikaapin yläpuolelle on asennettu lämpöjohtoverkoston kytketty kierrätysilmapuhallin. Syksyllä 2011 on myymälän puolelle hankittu split-laite eli ilmalämpöpumppu, jolla voidaan kesäisin jäähdyttää tilaa.



Kuvassa 12 on kaupan pohjapiirustus. Siwa mallinnettiin Riuska-ohjelmaa käyttäen. Myymäläalue on merkitty keltaisella värillä.



**KUVA 12. Siwan pohjapiirustus**

Laskennassa ei ollut saatavilla tarkkoja rakenteiden U-arvoja, joten U-arvoina käytettiin rakennusmääräyskokoelman vuoden 1976 C3:n arvoja. Taulukossa 3 on U-arvoja vuoden -76 rakennusmääräyskokoelma C3:sta.

**TAULUKKO 3. U-arvot C3/1976 [8]**

Rakennusosa	U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]
Ulkoseinä	0,40
Alapohja	0,40
Yläpohja	0,35
Ikkuna	2,1
Ovi	1,7
Vuotoilmaluku	6

Riuskasta saatiin tulokseksi, että lämmitysenergian tarve kaupalla on 32038 kWh vuodessa eli ominaiskulutus on 100,4 kWh/m<sup>2</sup>. Itsenäisten pakastealtaiden vaikutus on noin 11000 kWh vuodessa. Ilman niitä lämmitysenergian tarve olisi 43404 kWh ja ominaiskulutus 120,9 kWh/m<sup>2</sup>

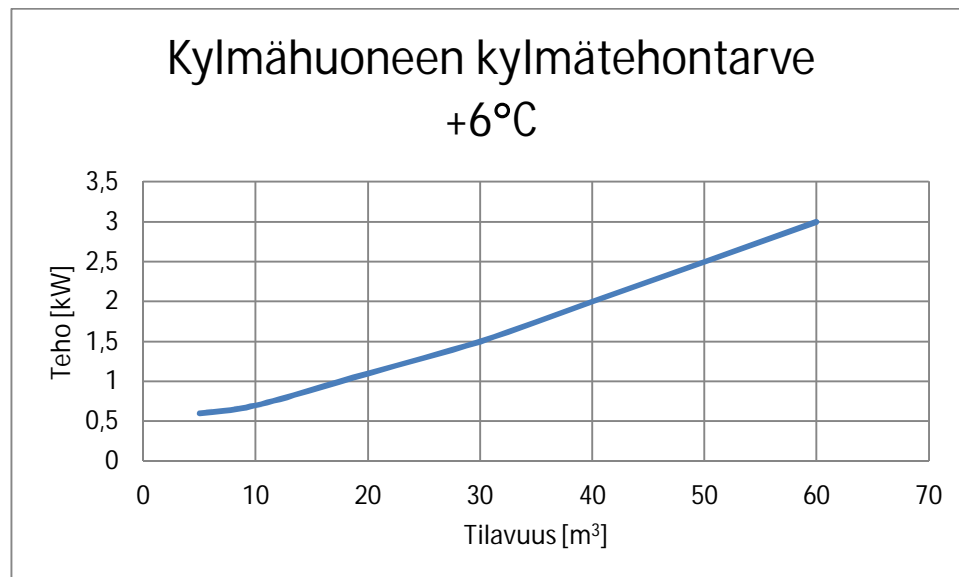
## 5.1 Kylmä- ja pakkasteho

Myymälän kylmä- ja pakkasteho voidaan arvioida hyllymetrien mukaan ja kylmä- ja pakkashuoneet tilavuuden perusteella. Taulukossa 4 on myymäläkalusteiden suuntaa antavia teknisiä tietoja.

**TAULUKKO 4. Suuntaa antavia teknisiä tietoja [1]**

Kalustetyyppi	Tuote	Lämpötila	Tehontarve
5-taso	Liha	+0..2°C	1,8 kW/m
5-taso	Eines, juusto	+2..4°C	1,5 kW/m
5-taso	Hevi	+6..8°C	1,0 kW/m
Pakasteallas	Leveys 1500mm	-21..23°C	0,8 kW/m
Pakasteallas	Leveys 1100mm	-21..23°C	0,5 kW/m

Kuvassa 13 on kuvaaja josta voi arvioida kylmähuoneen tehontarpeen, kun tiedetään huoneen tilavuus.



**KUVA 13. Kylmähuoneen tehontarpeen arviointikäyrä [1]**

Esimerkkikohteessa on kylmäaltilaita yhteensä 9,5 m, joista lihatuotteille on 2 m, juustolle ja eineksille 5 m ja heville (hedelmä ja vihannes) 2,5 m. Kylmähuoneita on kaksi.

Niiden tilavuus on yhteensä  $40 \text{ m}^3$ . Pakastealtaita on yhteensä 15 m, mutta ne ovat itsenäisiä, joten pakkastehoa niille ei lasketa. Pakastehuoneita kohteessa ei ole, eikä niitä remontin yhteydessä rakenneta.

Taulukossa 5 on laskettu kaupan kylmätehontarve hyllymetrien ja kylmähuoneen tilavuuden mukaan. Siwan arvioitu kylmätehontarve on noin 16 kW.

**TAULUKKO 5. Siwan kylmätehontarve**

Kaluste	Pituus [m]	Teho [kW/m]	Teho [kW]
5-taso, liha	2	1,8	3,6
5-taso, juusto/eines	5	1,5	7,6
5-taso, hevi	2,5	1,0	2,5
yhteensä			13,7
	tilavuus [ $\text{m}^3$ ]		
Kylmähuoneet	40		2
<b>Yhteensä</b>			15,7

## 5.2 Lauhdelämmön kannattavuuslaskenta

Siwassa ei ole tuloilmakonetta, joten lauhdelämpöä on hyödynnettävä kierrätysilmakoneilla. Toisena vaihtoehtona olisi hankkia esimerkiksi Kryothermilta laitteet ilmastointia ja lauhdelämmön talteenottoa varten, jolloin lauhdelämpöä pystyttäisiin hyödyntämään paljon tehokkaammin ja sisäilman laatu paranisi. Tässä vaihtoehdossa ilmastointikustannukset nousisivat paljon kierrätysilmakonetta suuremmiksi. Itse ilmastointia hoitava kone maksaisi paljon. Sen lisäksi kauppaan pitäisi suunnitella ja asentaa ilmanvaihtokanavisto.

Ensisijaisena vaihtoehtona tutkitaan tilan lämmittämistä kierrätysilman avulla. Investointikustannusten arviointi on hankalaa, koska yritykset kilpailuttavat tarjoukset ja hinta voi heitellä paljonkin. Myös energian hinta vaihtelee paljon jo pelkästään sen takia, mihin takaisinmaksuaikaa verrataan. Esimerkiksi, jos vastaava energia tuotetta-

siin sähköllä tai kaukolämmöllä. Tässä opinnäytetyössä on verrattu takaisinmaksuaikaa siihen, jos vastaava määrä energiaa tuotettaisiin sähköllä tai kaukolämmöllä. Sähkön hinta 9 snt/kWh [9] ja kaukolämmön hinta 5 snt/kWh [10]. Kauppaan hankittaisiin kaksi kappaletta kierrätysilmakojeita, joiden hinta on noin 1300 €/kpl ja ilmamäärä 250 l/s. Investoinnin kokonaishinnaksi arvioidaan 3500 €. Tähän sisältyy putkimateriaalit ja muut osat ja asennuskustannukset. Taulukoissa 6 ja 7 on laskettu takaisinmaksuajat sähköön ja kaukolämpöön verrattuna.

#### **TAULUKKO 6. Takaisinmaksuaika verrattuna sähkön hintaan**

Hyödyksi saatava energia	8320 kWh
Kierrätysilmakojeen ilmavirta	0,5 m <sup>3</sup> /s
Investointikustannus	3500 €
Energian hinta	9 snt/kWh
Arvioitu säästö	679 €/vuodessa
Huollon arvioitu kustannus	70 €/vuodessa
Takaisinmaksuaika	4,8 vuotta

#### **TAULUKKO 7. Takaisinmaksuaika verrattuna kaukolämmön hintaan**

Hyödyksi saatava energia	8320 kWh
Kierrätysilmakojeen ilmavirta	0,5 m <sup>3</sup> /s
Investointikustannus	3500 €
Energian hinta	5 snt/kWh
Arvioitu säästö	346 €/vuodessa
Huollon arvioitu kustannus	70 €/vuodessa
Takaisinmaksuaika	8,6 vuotta

Toisena vaihtoehtona on uusia koko ilmanvaihto kauppaan ja lämmittää tilaa tuloilman avulla. Tämän investoinniksi on arvioitu 30000 euroa. Taulukoissa 8 ja 9 on laskettu takaisinmaksuajat sähkön hintaan ja kaukolämmön hintaan verrattuna.

**TAULUKKO 8. Takaisinmaksuaika verrattuna sähkön hintaan**

Hyödyksi saatava energia	20623 kWh
Investointikustannus	30 000 €
IV-koneen lämmönsiirrin	Vastavirta levylämmönsiirrin
Energian hinta	9 snt/kWh
Arvioitu säästö	1756 €/vuodessa
Huollon arvioitu kustannus	100 €/vuodessa
Takaisinmaksuaika	16,2 vuotta

**TAULUKKO 9. Takaisinmaksuaika verrattuna kaukolämmön hintaan**

Hyödyksi saatava energia	20623 kWh
Investointikustannus	30 000 €
IV-koneen lämmönsiirrin	Vastavirta levylämmönsiirrin
Energian hinta	5 snt/kWh
Arvioitu säästö	931 €/vuodessa
Huollon arvioitu kustannus	100 €/vuodessa
Takaisinmaksuaika	29,2 vuotta

Tässä tapauksessa tuloilmaa lämmittämällä voidaan arvioilta kattaa noin 50 % vuotuisesta tilojen lämmitystarpeesta, kun kierrätysilman lämmityksellä päästään vain noin 19 %.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteena oli kehittää yksinkertainen laskentapohja, millä voidaan tarkastella lauhdelämmön talteenoton kannattavuutta. Laskentapohjasta saadaan muutama arvo syöttämällä tulokseksi takaisinmaksuaika. Laskentapohjasta saataisiin tarkempi, jos lähtötietoja olisi mahdollista syöttää enemmän, mutta raja vedettiin tähän. Tulosten arviointi on tässä tapauksessa hankalaa, koska jo lähtötiedot ovat yleensä suuntaa antavia tai arvioita.

Esimerkkikohteena toimi noin 400 neliön Siwa. Kohteen mielenkiintoa nosti, että se on menossa remonttiin ja siellä uusitaan kylmälaitteet. Kaupassa ei kuitenkaan ollut ilmastointikonetta, joten tuloilman lämmittämisen investointikustannus nousee korkeaksi. Jos investoitaisiin ilmanvaihtokanaviston rakentamiseen ja ilmanvaihtokoneen hankkimiseen, tulee se hyvin kalliiksi verrattuna uusien kierrätysilmakojeiden investointiin. Tilan lämmittäminen kierrätysilman avulla ei ole kovin tehokasta, jos vertaa sitä tuloilman lämmittämiseen. Tuloilman lämmittämällä voidaan kattaa noin puolet vuoden lämmitysenergian tarpeesta, kun kierrätysilman lämmittämällä vain noin 20 %. Ilmastointijärjestelmän rakentamisella olisi muitakin hyviä vaikutuksia kuin pelkästään energiansäästö. Se parantaisi viihtyvyyttä ja sisäilman laatua ja ilmanvaihdolla päästäisiin vaatimusten asettamalle tasolle, johon nyt ei pelkällä huippuimurilla todennäköisesti päästä. Jos kierrätysilman lämmittämisen tehokkuutta haluttaisiin parantaa, tulisi lauhduttimille tulevan aineen lämpötilaa nostaa esimerkiksi lauhtumislämpötilaa nostamalla tai asentamalla järjestelmään lämpöpumppu.

## LÄHTEET

1. Hakala, Pertti & Kaappola, Esko. Kylmälaitoksen suunnittelu. 2005.
2. Aittomäki, Antero. Kylmätekniikka. 2008.
3. Siikanen, V. Lämpöpumppu kaupan kylmäjärjestelmän lauhdelämmön talteenotossa. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Diplomityö. 2010.
4. Suunnitteluohje. WWW-dokumentti.  
[http://www.kryotherm.fi/projanvisningar\\_pdf/Suunnitteluohjeet%20AHS,AES%20bitti2.pdf](http://www.kryotherm.fi/projanvisningar_pdf/Suunnitteluohjeet%20AHS,AES%20bitti2.pdf). Päivitetty 5.1.2006. Luettu 23.1.2012.
5. Liikenne- ja yleisten alueiden sulanapitojärjestelmät - VTT. WWW-dokumentti. [www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2113.pdf](http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2113.pdf). Julkaisu marraskuu 2001. Luettu 26.1.2012.
6. Yleistä kylmäaineista ja niiden rajoituksista. Suomen kylmäliikkeiden liitto Ry. WWW-dokumentti. [www.skll.fi/www/att.php?id=45](http://www.skll.fi/www/att.php?id=45). Julkaisu 20.2.2008. Luettu 10.4.2012.
7. Kulutusseurantaraportti. Kesko. WWW-dokumentti.  
[http://www.kesko.fi/PageFiles/16140/Kesko\\_kulutusseuranta%20Suomi%202010.pdf](http://www.kesko.fi/PageFiles/16140/Kesko_kulutusseuranta%20Suomi%202010.pdf). Julkaisu 30.1.2011. Luettu 12.4.2012.
8. Rakennuksen vaipan ilmatiiveys ja tiiviysmittaus. WWW-dokumentti.  
[http://www.sisailmayhdistys.fi/files/attachments/seminaari2010/sauli\\_paloniitty-1\\_170310.pdf](http://www.sisailmayhdistys.fi/files/attachments/seminaari2010/sauli_paloniitty-1_170310.pdf). Julkaisu 17.3.2010. Luettu 23.4.2012.
9. Sähkön hinta. Tilastokeskus. WWW-dokumentti.  
[http://www.stat.fi/til/ehi/2011/04/ehi\\_2011\\_04\\_2012-03-20\\_kuv\\_005\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehi/2011/04/ehi_2011_04_2012-03-20_kuv_005_fi.html). Päivitetty 23.4.2012. Luettu 23.4.2012.

10. Kaukolämmön hinnat 1.1.2012. WWW-dokumentti.  
[http://www.energia.fi/sites/default/files/hinta\\_010112.pdf](http://www.energia.fi/sites/default/files/hinta_010112.pdf). Päivitetty  
24.2.2012. Luettu 23.4.2012.
  
11. Energiatehokkuus sopimukset ja –katselmukset. Työ- ja elinkeinoministeriö.  
WWW-dokumentti. <http://www.tem.fi/index.phtml?s=2588>. Päivitetty  
24.5.2012. Luettu 24.5.2012.
  
12. Energia- ja olosuhdesimuloinnit.  
[http://www.granlund.fi/palvelut/laskenta\\_ ja \\_simulointi/energia-ja-olosuhdesimuloinnit/](http://www.granlund.fi/palvelut/laskenta_ ja _simulointi/energia-ja-olosuhdesimuloinnit/). Päivitetty 24.5.2012. Luettu 24.5.2012.