

Emmi Sofia Koskinen

# VAJAAKÄYTTÖISEN KIINTEISTÖN ENERGIANKÄYTÖN MÄÄRITTÄMINEN JA OPTIMOINTI

Opinnäytetyö  
Energiatekniikan koulutus

2018



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkinto</b>	<b>Aika</b>
Emmi Sofia Koskinen	Insinööri (AMK)	Toukokuu 2018
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		36 sivua 1 liitesivua
Vajaakäyttöisen kiinteistön energiankäytön määrittäminen ja optimointi		
<b>Toimeksiantaja</b>		
litin Kunta		
<b>Ohjaaja</b>		
Lehtori Hannu Sarvelainen		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää litin terveyskeskuksen tyhjiä tiloja energian käyttöä ja tutkia lämmitysenergian jakautumista, lämmityksen, ilmanvaihdon ja lämpimän veden välille. Työn tarkoituksena on optimoida sisälämpötila ja ilmanvaihto vastaamaan tilojen tämän hetkistä käyttöä.</p> <p>Tyhjiä tiloja on pidetty normaalissa huonelämpötilassa, koska ei ole ollut tietoa siitä, kuinka paljon lämpötiloja voidaan laskea ilman, että tapahtuu vaurioita rakenteissa. Tutkimus suoritetaan kvantitatiivisena tutkimuksena. Tämä tarkoittaa sitä, että suoritetaan mittauksia, jotta saadaan selville nykyinen sisälämpötila ja ilmankosteus. Ilmanvaihtokoneisiin suoritetaan mittauksia, jotta saadaan selville ilmanvaihtokoneiden sähkö- ja lämpöenergian kulutus. Mittaustuloksien perusteella voidaan määrittää uudet huonelämpötilat ja ilmanvaihtokoneiden ajo-ohjelmat.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena kohteessa saadaan optimoinnin suorittamisen jälkeen energian säästöä sekä rahallista säästöä. Mittausten perusteella saatiin selville, että nykyinen sisälämpötila on noin 21 °C, mitä voidaan laskea noin kymmenellä asteella. Lämpötiloja laske- malla saavutetaan tiloissa sopiva ilmankosteus. Lämpötilojen laskeminen nostaa huonetilojen kosteutta, mutta muutoksessa on huomioitu se, että ilmankosteus ei nouse haitalliselle tasolle. Ilmanvaihtokoneiden mittauksissa huomattiin, että ajo-ohjelmia voidaan muuttaa vastaamaan tyhjiä tilojen tarvetta. Tyhjiä tilojen ilmanvaihto hoidetaan kolmella koneella. Muuttamalla ilmanvaihtokoneiden ajo-ohjelmia on mahdollista säästää sähkö- ja lämpöenergian kulutuksessa ja siten saavuttaa myös rahallista säästöä.</p> <p>Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin. Tulokset on mahdollista toteuttaa litin terveyskeskuksessa ja siten optimoida rakennuksen energiankäyttöä. Työn tuloksista saattaa olla apua myös muiden vajaakäyttöisten kiinteistöjen kohdalla, kun selvitetään, miten rakennuksen energiankäyttöä voidaan parantaa.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
ilmanvaihto, sisäilma, lämmön talteenotto, ilmankosteus		

Author (authors)	Degree	Time
Emmi Sofia Koskinen	Bachelor of Engineering	May 2018
<b>Thesis title</b> Evaluation and optimization of energy usage in underutilized property		36 pages 1 pages of appendices
<b>Commissioned by</b> Municipality of Iitti		
<b>Supervisor</b> Hannu Sarvelainen Senior Lecturer		
<p><b>Abstract</b></p> <p>This thesis investigates the energy use of empty spaces and the distribution of thermal energy between heating, ventilation and warm water in the health center of Iitti. The goal of this thesis was to optimize the usage of indoor temperature and ventilation to suit the needs of the current usage of the building.</p> <p>Currently, empty spaces in the health center have been kept under normal room air temperature. The temperature has not been adjusted, because there is not enough information about how much the temperature can be lowered without causing damage to the building's structure. For this thesis, a quantitative research was carried out, which means that different kinds of measurements were performed in order to determine the current indoor temperature and air humidity of the health center. In addition, the consumption of electricity and energy were also measured from air supply units inside the building. With the results of the measurements, new room temperatures for the empty spaces can be determined.</p> <p>The research shows that a more efficient energy usage is possible for the health center. With the help of the measurement results, it can be seen that the current room temperature of 21 °C in the empty spaces can be lowered by ten degrees. Lowering the temperature increases the air humidity, but not to a harmful level. Additionally, measurements from the air supply units show that the units can also be adjusted to suit the needs of the empty spaces in the health center.</p> <p>The goals set for this thesis were achieved. It is possible to realize the proposed suggestions in the health center and optimize the energy use of the building. The results attained from this thesis can also help in optimizing the energy use of other underutilized buildings.</p>		
<p><b>Keywords</b></p> <p>ventilation, indoor air, heat recovery, air humidity</p>		

## SISÄLLYS

SYMBOLILUETTELO .....	5
1 JOHDANTO .....	6
2 ILMANVAIHDON PERUSTEET .....	7
2.1 Painovoimainen ilmanvaihto .....	8
2.2 Koneellinen poistoilmanvaihto .....	9
2.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto.....	10
3 ILMANVAIHDON LÄMMÖN TALTEENOTTO.....	11
3.1 Regeneratiiviset lämmönsiirtimet .....	12
3.2 Rekuperatiiviset lämmönsiirtimet .....	13
4 RAKENNUKSEN SISÄLÄMPÖTILA .....	15
4.1 Rakennuksen lämmitystarve.....	16
4.2 Lämpöenergian siirtymistavat .....	18
4.3 Rakennuksen lämpöhäviöiden muodostuminen .....	18
5 KOHTEEN ENERGIANKÄYTÖN NYKYTILANNE .....	20
6 KOHTEEN ENERGIANKÄYTÖN OPTIMOINTI JA ASETUSMUUTOKSET .....	22
6.1 Ilmanvaihdon toiminnan tarkastelu .....	22
6.2 Ilmanvaihdon optimointi ja muutokset.....	24
6.3 Sisälämpötilan tarkastelu .....	27
6.4 Lämpötilan optimointi ja muutokset.....	28
7 TULOSTEN TARKASTELU .....	30
8 YHTEENVETO .....	31
LÄHTEET.....	33
KUVALUETTELO .....	35
TAULUKKOLUETTELO.....	36
LIITTEET	

Liite 1. ix-diagrammi

## SYMBOLILUETTELO

$a_{muu}$	sähkön hinta, muu aika	[€/kWh]
$a_{talvi}$	sähkön hinta, talviaika	[€/kWh]
$c_p$	ominaislämpökapasiteetti	[kJ/(kg°C)]
$k_{lämmin}$	pinta-alakerroin	[-]
$k_{1.kerros}$	pinta-alakerroin	[-]
$k_{2.kerros}$	pinta-alakerroin	[-]
$P$	teho	[kW]
$P_{keskim.}$	keskimääräinen teho	[kW]
$P_{uusi}$	uusi teho	[kW]
$Q$	lämpöenergia	[MWh]
$Q_{nykyinen}$	nykyinen lämmitysenergia	[MWh]
$Q_{uusi}$	uusi lämmitysenergia	[MWh]
$q_v$	tilavuusvirta	[m <sup>3</sup> /s]
$q_{vn}$	nykyinen tilavuusvirta	[m <sup>3</sup> /s]
$q_{vu}$	uusi tilavuusvirta	[m <sup>3</sup> /s]
$t$	aika, vuoden tunnit	[h]
$T_{lto}$	lto:n jälkeinen lämpötila	[°C]
$T_{lämmin}$	lämpimän alueen sisälämpötila	[°C]
$t_{muu}$	muun ajan tunnit	[h]
$T_{sisä}$	sisälämpötila	[°C]
$t_{talvi}$	talven tunnit	[h]
$T_{uusi}$	uusi sisälämpötila	[°C]
$T_{1.kerros}$	1. kerroksen uusi sisälämpötila	[°C]
$T_{2.kerros}$	2. kerroksen uusi sisälämpötila	[°C]
$X$	vuoden kulutus	[€]
$\rho$	ilman tiheys	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\Delta T_{nykyinen}$	nykyinen lämpötilaero	[°C]
$\Delta T_{uusi}$	uusi lämpötilaero	[°C]

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää vajaakäyttöisen kiinteistön energiankäyttöä ja optimoida energiankäyttö vastaamaan rakennuksen käyttötarkoitusta. Opinnäytetyön kohteena on litin terveystakeskus, jossa on kaksi vuodeosastoa ilman käyttöä. Terveystakeskus on rakennettu vuonna 1956 ja vuodeosastot on peruskorjattu vuonna 2003. Tässä työssä keskitytään vain tyhjiin tiloihin, joiden pinta-ala on yhteensä 1 008 m<sup>2</sup>. Vuodeosastojen ilmanvaihto hoidetaan kolmella eri koneella, jotka vaihtavat ilmaa täydellä teholla ja tiloissa on ylläpidetty normaalia huonelämpötilaa.

Työn tavoitteena on selvittää optimaalinen huonelämpötila terveystakeskuksen tyhjiille tiloille ja säätää ilmanvaihtokoneiden ajo-ohjelmat vastaamaan kiinteistön tarvetta. Huonelämpötilojen laskemisessa on huomioitava, että rakenteellisia muutoksia ei tapahdu. Opinnäytetyö toteutetaan kvantitatiivisena tutkimuksena, jossa suoritetaan mittauksia tyhjien tilojen sisäilmaolosuhteista ja ilmanvaihtokoneiden sähkönkulutuksesta. Mittaukset suoritetaan pitkäaikaismittauksina, jotta tulokset ovat mahdollisimman todenmukaisia. Mittauksista saadut tulokset ovat muutosehdotuksien pohjana.

Opinnäytetyöstä on hyötyä toimeksiantajalle, sillä tulosten perusteella on mahdollista suorittaa kohteen energiankäytön optimointi. Optimoinnin jälkeen rakennuksen energiankulutus vastaa paremmin sen nykyistä käyttöä. Energiankulutusta optimoidessa saavutetaan säästöä sähkö- ja lämpöenergiassa, joten niiden kautta vähentyvät hiilidioksidipäästöt. Tästä opinnäytetyöstä on hyötyä yleisellä tasolla muihinkin kiinteistöihin, jotka ovat vajaalla käytöllä. Muissakin rakennuksissa on hyvä selvittää, mihin energiaa kuluu ja miten sen kulutusta voisi vähentää.

Opinnäytetyö aloitetaan käsittelemällä luvuissa 2–4 ilmanvaihdon, lämmön talteenoton ja sisälämpötilan taustoja ja teoriaa. Teoriaosuuden jälkeen siirrytään tarkastelemaan kohteen nykytilannetta. Tämän jälkeen käydään luvussa 6 läpi opinnäytetyön toteutusta, eli mitä mittauksia kohteessa tehtiin ja minkälaisia tuloksia saatiin. Tässä luvussa käsitellään mittaustuloksia sisälämpötilan ja ilmanvaihtokoneiden kannalta, sekä esitetään mahdolliset muutokset ter-

veyskeskuksen vuodeosastoille. Muutoksien yhteydessä on kerrottu laskennasta, miten on päädytty sopivaan muutosehdotukseen. Lopuksi on tulosten tarkastelu ja yhteenveto. Tulosten tarkastelussa pohditaan ovatko saadut tulokset ja ehdotukset luotettavia ja mahdollisia toteuttaa. Yhteenvedossa mietitään, miten työn tavoitteet on saavutettu.

## 2 ILMANVAIHDON PERUSTEET

Ilmanvaihtojärjestelmiä suunniteltaessa, rakennettaessa ja säädettäessä on otettava huomioon rakennuksen käyttö, jotta voidaan varmistaa ilmanvaihdon käyttötarkoituksen mukainen toimivuus tavallisissa sääoloissa. Sisäilmaston olisi oltava kaikissa käyttöolosuhteissa viihtyisä, terveellinen ja turvallinen. Kun ilmanvaihtojärjestelmä on hyvin toteutettu ja hoidettu, se pysyy toimintakuntoisena suunnitellun käyttöikänsä ajan (Ympäristöministeriö 2012.)

Ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa on pystyttävä ohjaamaan ja valvomaan. Mittauspisteistä mitataan tärkeimpiä toiminta-arvoja ja seurataan ilmanvaihdon toimintaa. Ilmanvaihtokoneiden toiminnan seuraamista varten on koneet yleisesti varustettu tarkastusluukuilla. Koneellisessa ilmanvaihtojärjestelmässä seurataan ulko- ja jäteilmavirtaa ilmavirran mittausteillä ja -antureilla. Ilmanvaihtokoneissa lämpötilaa seurataan lämmitys- ja jäähdytyspattereiden tulo- ja lähtöpuolelta. Jos ilmanvaihtokone sisältää lämmöntalteenoton, on seurattava ulko-, tulo-, poisto- ja jäteilmavirran lämpötilaa. Ilmansuodattimista mitataan paine-eroa. Kiinteät mittausteet voidaan korvata siirrettäville laitteille sopiviksi mittausyhteiksi, jos ilmavirta on pienempi kuin  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  (Ympäristöministeriö 2012.)

Ilmavirroille on annettu ohjearvoja, joiden avulla voidaan määrittää sopiva ilmanvaihto tilan käyttötarkoituksen mukaan. Huonetiloissa ilmanvaihdon on oltava sen mukainen, että käyttöaikana on terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilman laatu. Oleskelutiloissa käytönaikainen sisäilmanlaatu varmistetaan riittävällä ulkoilmavirralla. Ulkoilmavirran mitoittamisessa käytetään tilakohtaisia ohjearvoja. Ulkoilmavirta määräytyy joko henkilö- tai pinta-alaperusteisesti, mutta sen on kuitenkin yleensä oltava vähintään  $0,35 \text{ (dm}^3/\text{s)/m}^2$ . Ilmavirtoja

on pystyttävä ohjaamaan ilman laadun ja kuormituksen mukaan, siten että ne vastaavat käyttötilannetta (Ympäristöministeriö 2012.)

Tuloilma johdetaan tiloihin siten, että se virtaa vedottomasti oleskeluvyöhykkeelle ja poistaa huonetilassa olevat epäpuhtaudet. Tuloilman suodatustaso on määritelty sisäilman laadulle asetettujen vaatimusten ja ulkoilman laadun perusteella. Ulkoilmalaitteet sijoitetaan siten, että ulkoilma, joka tulee rakennukseen, on mahdollisimman puhdasta. Ulkoilmaa ei saa ottaa sellaisen rakenteen kautta, joka heikentää ilmanlaatua. Jäteilma johdetaan rakennuksesta ulos siten, ettei siitä aiheudu terveydellistä tai muuta haittaa rakennukselle, käyttäjillä tai ympäristölle. Palautus- ja kierrätysilmaa voidaan käyttää, jos ne tulevat yhtä puhtaasta tai puhtaamman tilan ilmasta. Tämä ilma ei kuitenkaan saa sisältää haitallisia määriä epäpuhtauksia eikä se saa aiheuttaa epäpuhtauksien leviämistä (Ympäristöministeriö 2012.)

Ilmanvaihdon tarkoituksena on ylläpitää terveellistä ja viihtyisää sisäilmaa. Poistamalla ilmasta kosteutta ja erilaisia epäpuhtauksia pystytään ylläpitämään terveellistä sisäilmaa. Ilmanvaihto voidaan toteuttaa painovoimaisena ilmanvaihtona, koneellisena poistoilmanvaihtona tai koneellisena tulo- ja poistoilmanvaihtona. Ilmanvaihdon toimintaperiaate on samanlainen, riippumatta siitä millä tavalla se on toteutettu (Hengitysliitto s.a.)

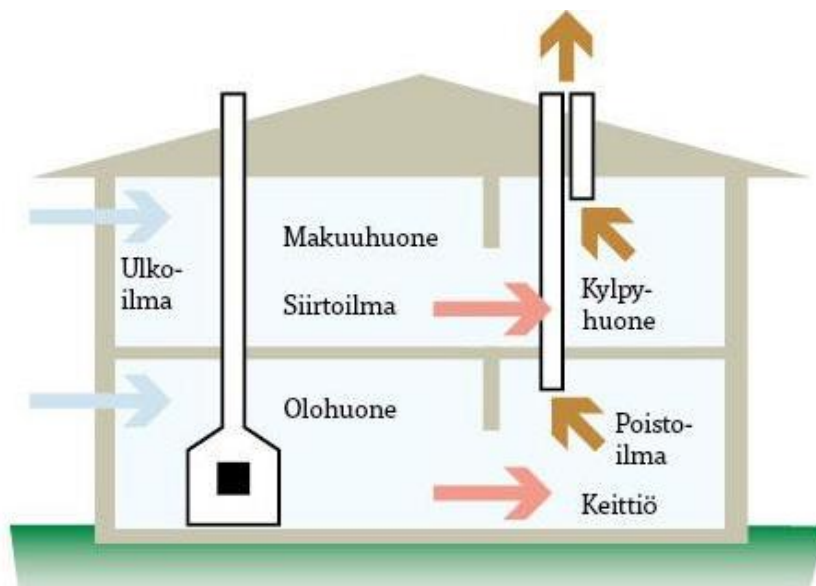
## **2.1 Painovoimainen ilmanvaihto**

Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate perustuu ulko- ja sisälämpötilan lämpötilaerosta muodostuviin tiheyseroihin, sekä tuulen aiheuttamaan paine-eroon. Korvausilmaventtiileitä asennetaan oleskelutilojen seinille, tuuletusluukkuihin ja ikkunan karmeihin (Hengitysliitto, s.a.) Poistoilmaventtiilit sijoitetaan likaisiin tiloihin, jolla estetään likaisten tilojen epäpuhtauksien leviäminen. Jokaisesta poistoilmaventtiilistä johdetaan hormi vesikaton yläpuolelle. Näitä hormoneja ei voi yhdistää, koska vaarana on epäpuhtauksien siirtyminen tilasta toiseen. Rakennus, jossa ilmanvaihto toteutetaan painovoimaisesti, on riippuvainen sääolosuhteista. Tuulen nopeuden ollessa vasta yli 5 m/s, se lisää kokonaisilmanvaihtoa merkittävästi (Seppänen 1996, 207–216.)



Painovoimaisessa ilmanvaihdossa on useita heikkouksia. Ensimmäinen on ilmanvaihtuvuus, kun sisä- ja ulkolämpötila ovat lähellä toisiaan. Toinen on suuri energiankulutus, koska poistoilman lämpöenergiaa ei ole mahdollista hyödyntää ja kolmas on vedon tunne. Vedon tunnetta on mahdollista vähentää, jos korvausilmaventtiilien läheisyyteen asennetaan laite, joka sekoittaa lämpimän sisäilman ja kylmän korvausilman. Kuvasta 1 on nähtävissä painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate (Hengitysliitto s.a.)

Painovoimaista ilmanvaihtoa on mahdollista tehostaa tuulettamalla. Tuuletus toteutetaan kuormitushuipun aikana avaamalla ikkunoita tai ovia lyhytaikaisesti. Tästä johtuen ilmanvaihdon ilmavirrat kasvavat suuriksi, ilma puhdistuu nopeasti ja tilan hiilidioksidipitoisuus laskee. Tuuletus tulee toteuttaa oikein, jotta se ei suuresti vaikuta energiankäyttöön. Tämän takia ei suositella ikkunoiden ja ovien pitkäaikaista auki jättämistä lämmityskaudella. (Seppänen 1996, 207–216.)



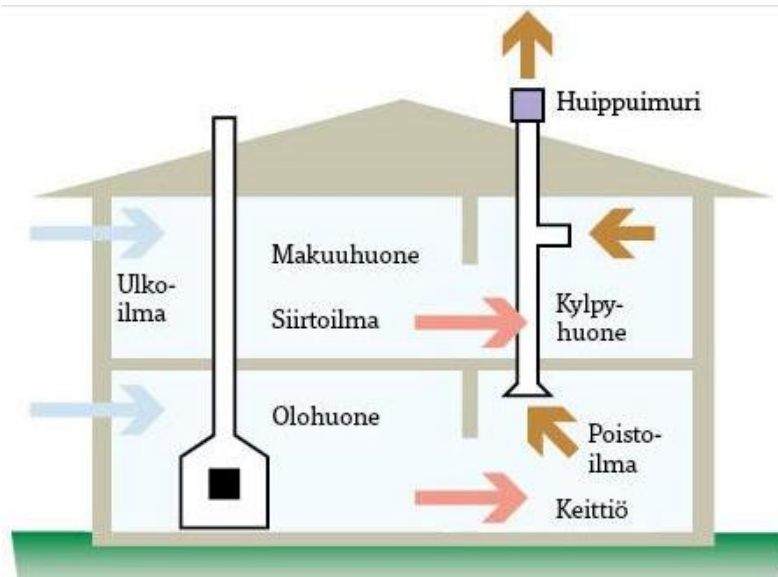
Kuva 1 Painovoimainen ilmanvaihto

## 2.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa ilmanvaihtoa tehostetaan koneellisesti esimerkiksi huippuimurilla tai poistopuhaltimella, joka asennetaan poistoilmaventtiin päälle. Puhallin voi olla joko jatkuvatoiminen tai se toiminta on mahdollista liittää valokatkaisimeen. Tässä tapauksessa valojen syttyessä myös puhallin käynnistyy (Hengitysliitto s.a.) Koneellisessa poistoilmanvaihdossa

poistohormit johdetaan ullakolle ja yhdistetään siellä kokoojakammion avulla poistopuhaltimeen tai huippuimuriin. Pölykkäiset tilat on kuitenkin mahdollista yhdistää samaan ilmanvaihtokanavaan. Tässä tapauksessa samassa kanavassa olevien tilojen poistoilmaventtiilien tulee olla painohäviöltään suuria (Seppänen 1996, 207–216.)

Ilmanvaihtuvuus on tasaisempaa koneellisella poistoilmanvaihdolla kuin painovoimaisella ilmanvaihdolla. Poistoilman lämpöenergiaa ei saada hyödynnettyä koneellisella poistoilmanvaihdolla. Riittävä korvausilman määrä on huomioitava tässä järjestelmässä. Jos korvausilmaventtiileitä ei ole riittävästi, koneellinen poistoilmanvaihto imee korvausilman rakennuksen rakenteiden ja liitosten kautta. Tällöin muodostuu tilanne, että korvausilma ei enää ole puhdasta. Kuvassa 2 esitellään koneellisen poistoilmajärjestelmän toiminta (Hengitysliitto s.a.)

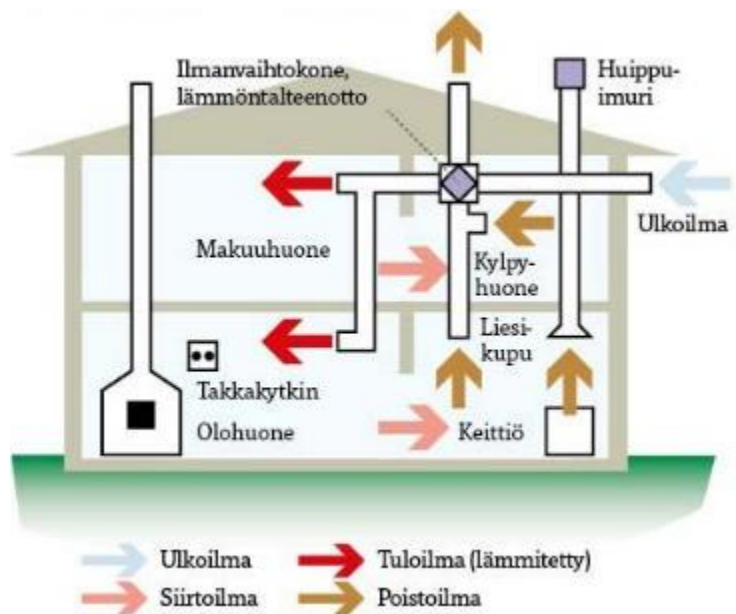


Kuva 2 Koneellinen poistoilmanvaihto

### 2.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla saavutetaan tasaisin ilmanvaihtuvuus rakennuksessa. Tässä järjestelmässä sekä tulo- että poistoilmaa liikutetaan koneellisesti (Hengitysliitto s.a.) Tuloilma on hyvä johtaa makuu- tai olohuoneisiin. Poistoilma poistetaan likaisista tiloista, jotta epäpuhdas ilma ja hajut eivät pääse leviämään muihin tiloihin. Ilmanvaihtoa on mahdollista tehostaa esimerkiksi saunomisen ajaksi, jolloin sisäilmasta saadaan poistettua kosteutta nopeammin (Seppänen 1996, 207–216.)

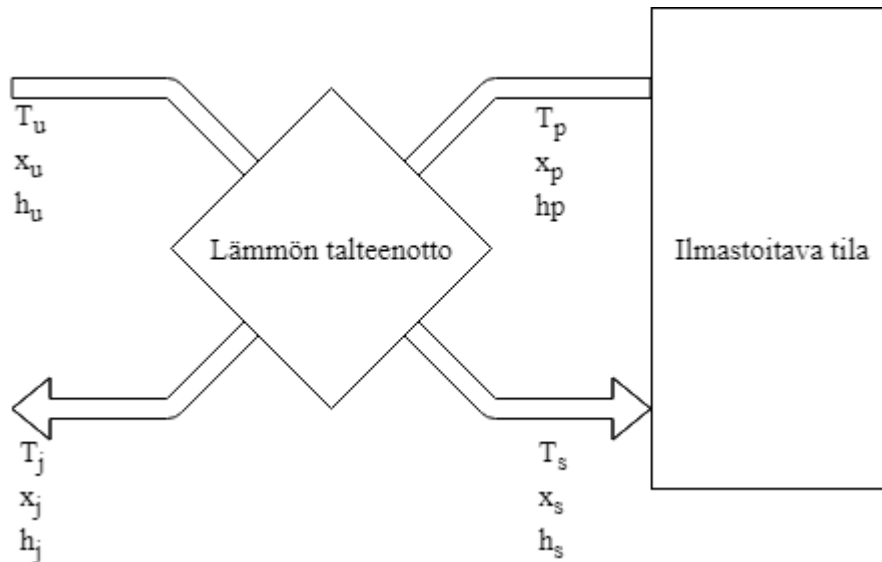
Tuloilmaa ei voi johtaa rakennukseen ulkoilman lämpötilassa, vaan se on lämmitettävä ennen sitä. Järjestelmän etuna on energiatehokkuus, sillä hyvällä lämmöntalteenotolla on mahdollista ottaa talteen poistoilman sisältämä lämpöenergia ja sillä lämmittää tuloilmaa (Seppänen 1996, 207–216.) Kuvassa 3 on nähtävissä koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon toimintaperiaate. Koneellista tulo- ja poistoilmajärjestelmää, jossa sisäilmaa pystytään jäähdyttämään ja kostuttamaan kutsutaan ilmastoinniksi (Hengityслиitto s.a.)



Kuva 3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

### 3 ILMANVAIHDON LÄMMÖN TALTEENOTTO

Lämmön talteenoton tarkoituksena on hyödyntää rakennuksen poistoilman lämpöenergia. Poistoilman lämpöenergiasta suurin osa voidaan ottaa talteen lämmönsiirtimen avulla. Mitä suurempi lämpötilaero on poisto- ja tuloilman virtauksien välillä, sitä tehokkaampaa lämmönsiirto on. Lämmön talteenoton toimintaa voidaan tutkia lämpötilan, kosteuden tai entalpiian avulla (kuva 4). Lämmönsiirtimien hyötysuhde voidaan määrittää kaikkien niiden perusteella, yleisesti kuitenkin hyötysuhteen määrittämiseen käytetään tuloilmassa tapahtuvaa muutosta suhteessa suurimpaan mahdolliseen muutokseen. Lämmön talteenotto voidaan toteuttaa erilaisilla lämmönsiirrin tyypeillä. Yleisimpiä lämmönsiirrin tyyppejä ovat regeneratiiviset, rekuperatiiviset ja märät lämmönsiirtimet (Seppänen 1996, 285.)



Kuva 4 Lämmön talteenoton periaate

### 3.1 Regeneratiiviset lämmönsiirtimet

Regeneratiiviset lämmönsiirtimet ovat lämpöä varaavia ja ne pystyvät siirtämään myös kosteutta ja muita aineita ilmavirtojen välillä. Regeneratiivisissa lämmönsiirtimissä on olemassa pyöriviä ja virtausta vaihtavia järjestelmiä ja niiden hyötysuhteet ovat korkeita, jopa 80 %. Pyörivässä lämmönsiirtimessä tuloilmavirta jäädyttää ja poistoilmavirta lämmittää lämpöä siirtävän massan. Jotta lämmönsiirtyminen olisi tehokasta, tehdään ilmanvirtaus reiteistä pieniä ja materiaalista ohutta. Materiaalin valinta vaikuttaa lämmönsiirtimen ominaisuuksiin, pyörivän kiekon materiaali voi olla kosteutta absorboiva tai ei absorboiva. Regeneratiivinen lämmönsiirrin, jonka pyörivän kiekon materiaali ei ole kosteutta absorboiva, siirtää kosteutta vasta veden lauhtuessa poistoilmasta, kun taas kosteutta absorboiva siirtää kosteutta muissakin olosuhteissa (Seppänen 1996, 288–290.)

Virtausta vaihtavan järjestelmän toimintaperiaate on seuraavanlainen: järjestelmässä on kaksi eri kiinteää massaa, jossa vuorotellen toisen jäähtyessä toinen lämpenee. Toiminta on jatkuvaa, kun massat ovat erillisesti ohjattavissa. Massat voivat olla joko samassa tai täysin eri yksiköissä. Massojen ollessa samassa yksikössä ilmavirtoja ohjataan peltien avulla ja eri tiloissa ollessa virtauksia säädetään puhaltimien pyörimissuunnan avulla (Seppänen 1996, 288–290.)

### 3.2 Rekuperatiiviset lämmönsiirtimet

Rekuperatiiviset lämmönsiirtimet voidaan jaotella epäsuoriin ja suoriin lämmönsiirtimiin. Suorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet voidaan jakaa vielä virtausgeometrian sekä lämmönsiirtopinnan muodon ja materiaalin mukaan. Rekuperatiivisissa lämmönsiirtimissä kulkee koko ajan kaksi virtausta, joiden virtaussuuntia ovat myötä-, vasta- ja ristivirtaus. Vastavirtauksella saavutetaan parhain lämmöntalteenottokyky lämpötekniikan kannalta (Seppänen 1996, 286–288.)

Suorissa rekuperatiivisissa lämmönsiirtimissä suurin kustannusten aiheuttaja on lämmönsiirtopinta, materiaalin valintaan kiinnitetään tämän takia huomiota. Materiaali ei vaikuta lämmönsiirto kykyyn, mutta sen on oltava puhdistettavissa ja korroosion kestävyys on huomioitava. Lämmönsiirtimen teho määräytyy suurimmalta osin lämmönsiirtopinta-alan mukaan. Tavoitteena on rakentaa sellaisia lämmönsiirtimiä, missä saadaan mahdollisimman suuri lämmönsiirtopinta-ala pieneen tilavuuteen. Yleisimpiä muotoja lämmönsiirtopinnoilla ovat levy- ja putkirakenteet. Lämmönsiirtopinta-ala vaikuttaa lämpötilahyötysuhteeseen, joka vaihtelee 50–70 % välillä. Suunnittelussa on huomioitava lämmönsiirtimen mahdollinen jäätyminen. Kun poistoilma on kosteaa, se tiivistyy lämmönsiirtopinnalle. Jäätyminen on todennäköistä, kun lämpötila laskee alle 0 °C, jolloin tiivistynyt vesi jäätyy ja mahdollisesti tukkii lämmönsiirtimen. Lämmönsiirrin on viemäroitävä, jotta tiivistyneen veden aiheuttamilta ongelmilta voidaan vältyä ja estetään lämmönsiirtimen tukkeutuminen (Seppänen 1996, 286–288.)

Epäsuorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet jaetaan nestekiertoiseen järjestelmään, lämpöputkipatteriin ja lämpöpumppuun. Nestekiertoisessa järjestelmässä nesteenä käytetään usein 30–40 % vesi-etyleeniglykoliseosta, jonka olomuoto ei muutu prosessin aikana. Lämmönsiirtimenä nestekiertoisessa järjestelmässä käytetään lamellipattereita, jonka pituus vaikuttaa lämpötilahyötysuhteeseen, mutta yleensä se vaihtelee 45–60 % välillä. Nestekiertoinen järjestelmä soveltuu hyvin korjausrakentamiseen, koska sen suuria ulko- ja poistoilmakanavia ei tarvitse johtaa samaan paikkaan (Seppänen 1996, 286–288.)

Lämpöputkipatteri on järjestelmä, jossa tavanomaisien nesteputkien tilalle on asetettu lämpöputket. Järjestelmässä väliaineena toimii vuorotellen lauhtuva ja höyrystyvä kylmäaine. Lauhde imeytyy takaisin putkeen kapillaarivoiman ansiosta, joko huokoisen materiaalin tai putkeen tehtyjen urien kautta. Lämpötilahyötysuhde vaihtelee 50–80 % välillä, sitä on mahdollista muuttaa kallistamalla lämpöputkipatteria. Tässä tapauksessa painovoima vaikuttaa nesteen kulkeutumisenopeuteen höyrystymisosaan (Seppänen 1996, 286–288.)

Lämpöpumpun toimintaperiaate on, että lämpöpumpussa kiertävä kylmäaine höyrystyy ilmasta saadun lämmön avulla höyrystimessä. Nestemäisen kylmäaineen muuttaessa olomuotoaan nesteestä höyryksi siihen sitoutuu lämpöenergiaa. Höyrystimestä höyrystynyt kylmäaine siirtyy kompressoriin, jossa sen paine ja lämpötila nousevat. Kompressorista kuuma kaasumainen kylmäaine siirtyy lauhduttimeen, jossa se jäähtyy huoneilman tai lämmitysverkoston veden vaikutuksesta. Lauhduttimessa lämpötila on mahdollista nostaa lämpöpumpun avulla 40 °C. Lämpötilan noston mahdollistaa se, että kaikkea poistettua lämpöä ei tarvitse käyttää vaihtoilman lämmittämiseen. Jäähtyessään kuuma kaasumainen kylmäaine muuttuu jälleen nesteeksi ja vapauttaa sitoutunutta lämpöenergiaa lämmitysverkostoon. Lauhduttimen jälkeen nestemäinen kylmäaine kulkee paineenalennusventtiilin kautta takaisin höyrystimeen (Motiva 2012.)

Lämpöpumppu soveltuu hyvin rakennuksiin, joissa ei ole koneellista tuloilmajärjestelmää. Kompressori ja lauhdutin voidaan rakennuksissa sijoittaa joko ulkolalle, lämmönjakohuoneeseen tai kattilahuoneeseen, riippuen tarvittavien putkivetojen pituudesta (Seppänen 1996, 290.) Lämpöpumpun hyötysuhde ilmoitetaan lämpökertoimen avulla. Lämpökerroin (COP) kertoo, kuinka paljon lämpöpumppu on tuottanut lämpötehoa suhteessa käytettyyn sähkötehoon. Lämpökerroin vaihtelee vuoden aikana suuresti ulkolämpötilan mukaan. Vuosilämpökerroin, eli vuotuinen keskimääräinen lämpötilakerroin, vaihtelee normaaleissa käyttöolosuhteissa 2–2,5 välillä. Hetkellisesti on mahdollista saavuttaa korkeampia ja matalampia arvoja (Motiva 2012.)

#### 4 RAKENNUKSEN SISÄLÄMPÖTILA

Rakennusta suunniteltaessa ja rakennettaessa on otettava huomioon se, että tilat eivät lämpene haitallisen paljon. Viihtyisä sisälämpötila on pystyttävä ylläpitämään ilman tarpeetonta energian käyttöä. Tilojen haitallinen lämpeneminen estetään ensisijaisesti rakenteellisia sekä muita passiivisia keinoja käyttämällä ja yöllä käytetään tehostettua ilmanvaihtoa (Ympäristöministeriö 2011.)

Lämmitys- ja kesäkaudelle käytetään eri suunnittelulämpötiloja oleskeluvyöhykkeelle. Kesäkaudelle käytetään yleensä 23 °C ja lämmityskaudelle 21 °C suunnittelulämpötilaa. Lämmityskaudella hyväksytty poikkeama oleskeluvyöhykkeen sisälämpötilassa suunnitteluarvosta on  $\pm 1$  °C, huonetilan keskeltä 1,1 metrin korkeudelta. Joissakin tapauksissa tiloille voidaan käyttää korkeampaa suunnittelulämpötilaa lämmityskaudelle, kun ohjeessa on niin ilmoitettu. Ohjearvosta poikkeavia lämpötiloja käytettäessä on huomioitava viereisten tilojen viihtyvyyden säilyttäminen. Kyseiset tapaukset esitellään taulukossa 1. Rakennuksen aktiivisen käytön aikana ei oleskeluvyöhykkeen sisälämpötila saa yleensä olla korkeampi kuin 25 °C. Ulkolämpötilan viiden tunnin keskiarvon ollessa suurempi kuin 20 °C, saa sisälämpötila ylittää tämän arvon enintään 5 °C (Ympäristöministeriö 2012.)

Taulukko 1 Lämmityskauden tilakohtaisia sisälämpötilan ohjearvoja tiloille, jotka poikkeavat suunnitteluarvosta 21 °C

Tila	Huonelämpötila °C
Porrashuone	17
Kylpyhuone, pesuhuone	22
Kuivaushuone	24
Myymäla	18
– myymälän kiinteä työpiste	21
Liikuntahalli	18
Kirkkosali	18
Tehdashalli, keskiraskas työ	17
Autokorjaamo, katsastustilat	17
Hissikuilu	17

#### 4.1 Rakennuksen lämmitystarve

Lämmitystarve muodostuu rakennuksen lämpöhäviöistä, joita ovat vaipan joh- tumishäviöistä, ilmanvaihdosta, vuotoilmasta ja käyttöveden lämmityksestä. Lämmitystarpeeseen voidaan vaikuttaa hyvällä rakennuksen lämpöeristämi- sellä, jolla ylläpidetään lämpöviihtyvyyttä ja vähennetään lämpöhäviöiden määrää. Lämmitystarpeen kannalta oleellista on sisä- ja ulkolämpötila. Niihin vaikuttavat rakennuksen sijainti ja käyttötapa, joten jo suunnittelussa on otet- tava huomioon rakennuksen muoto ja eri rakenteiden lämmöneristävyys (Seppänen & Seppänen 1997, 58–59.)

Rakennuksen lämmitystarvetta on mahdollista tutkia kahdella tavalla. Ensim- mäinen tapa on lämmitystehon tarve, eli tarkastelu lämmityslaitteiden mitoitus- kannalta. Tässä tavassa epäedullisimmat olosuhteet määrittävät lämmi- tystehon tarpeen (Seppänen & Seppänen 1997, 58–59.) Rakennuksen paik- kakunnan mitoittavan ulkolämpötilan mukaan lasketaan lämmitystehon tarve. Tilakohtaisten lämmityslaitteiden mitoituksessa on otettava huomioon teho, joka mahdollisesti tarvitaan huonelämpötilaa matalamman ulkoilman lämmittä- miseen ilmanvaihdossa. Ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin mitoituksessa otetaan huomioon ilmanvaihtokoneessa tapahtuva tuloilman jälkilämmitys. Te- hontarpeen laskennassa ei huomioida auringon tuottamaa säteilylämpöä. Si- säiset lämmönlähteet huomioidaan tehontarpeessa, jos ne ovat merkittäviä ja jatkuvia (Ympäristöministeriö 2013.)

Toinen tapa on lämmitysenergian tarve, jossa tarkastellaan lämmityksen ener- giavirtoja. Tämän tavan avulla huomataan, että vain osa rakennuksen lämmi- tystarpeesta tuotetaan lämmityslaitteiden lämmitysenergialla. Loppu osa läm- mitysenergiasta saadaan hyötylämmitys-, ilmais- ja omavaraisenergialla. Hyö- tylämmitysenergia muodostuu rakennuksessa hyödyksi saatavasta energiasta rakennuksessa tapahtuvien muuntohäviöiden jälkeen, kuten kattilan savukaa- suhäviöistä. Ilmaisenergia voi olla rakennuksen ulkoista ilmaislämpöä, jota saadaan auringosta tai sisäistä ilmaislämpöä, mitä saadaan ihmisistä, käyttö- vedestä ja teknisistä järjestelmistä. Omavaraisenergiaan kuuluu lämpö, jota tuotetaan omista polttoaineista, auringosta tai tuulesta (Seppänen & Seppänen 1997, 59, 257–258.)



Lämmityskausi määräytyy ulkolämpötilojen mukaan. Keväällä lämmitys lopetetaan, kun ulkolämpötila on noussut yli 10 °C ja lämmitys aloitetaan syksyllä lämpötilan laskiessa alle 12 °C. Keväällä aurinko lämmittää enemmän, joten silloin lämmitys voidaan lopettaa matalammassa lämpötilassa kuin syksyllä (Tilastokeskus s.a.) Lämmitystarveluvun avulla normitetaan toteutuneita lämmitysenergian kulutuksia. Tämän avulla on mahdollista verrata saman rakennuksen eri vuosien energiankulutusta (Ilmatieteen laitos s.a.)

Lämmitystarveluvun yksikkö on °Cd ja se määritetään laskemalla yhteen jokaisen kuukauden päivittäisten sisä- ja ulkolämpötilojen erotus. Lämmitystarveluvun laskemisessa sisälämpötilana käytetään yleensä 17 °C, vaikka tilojen mitoituslämpötila on 21 °C. Sisä- ja mitoituslämpötilan ero johtuu siitä, että ihmiset ja laitteet tuottavat osan lämmöstä ja siten saavutetaan 21 °C sisälämpötila. Lämmitystarveluvun laskennan ulkopuolelle jätetään päivät, joiden keskilämpötila ylittää keväällä 10 °C ja syksyllä 12 °C. Lämmityskauden ulkopuolella lämmitetään vain lämmintä käyttövettä, joka ei ole riippuvainen ulkolämpötilasta. Normaaliavuoden lämmitystarvelukuna käytetään vuosien 1981–2010 keskimääräistä lämmitystarvelukua, jotka ilmoitetaan jokaiselle kuukaudelle ja koko vuodelle (taulukko 2). Keskimääräinen lämmitystarveluku toimii vertailuarvona, kun normitetaan energiankulutuksia (Ilmatieteen laitos, s.a.)

Taulukko 2 Normaaliavuoden lämmitystarveluvut vertailupaikkakunnalla Lahdessa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Vuosi
Lämmitystarveluku [°Cd]	726	677	610	395	159	20	4	31	191	383	528	668	4392

Lämpöviihtyvyys tarkoittaa käyttäjän tyytyväisyyttä lämpöolosuhteisiin. Lämpöviihtyvyyteen vaikuttavat useat tekijät, joita ovat käyttäjän aktiivisuus, vaateetus, sisäilman lämpötila sekä kosteuspitoisuus, ympäröivien pintojen lämpötila ja ilman nopeus. Jokainen käyttäjä kokee hyvän sisäilmaston erilaiseksi, sillä ihmisillä on erilaisia psyykkisiä ja fyysisiä ominaisuuksia (Vesterinen 2012.) Vaatimukset lämpöolosuhteille johtuvat siitä, että käyttäjän kehon sisäosien lämpötilan on pysyttävä lähes muuttumattomana. Kehon sisäosien lämpötilan on pysyttävä välillä 36–38 °C, vaikka ympäröivän tilan lämpötila muuttuisi useita asteita (Seppänen 1996, 4.)

## 4.2 Lämpöenergian siirtymistavat

Lämpöenergia voi siirtyä johtumalla, säteilemällä tai konvektiolla. Lämmön siirtyminen tapahtuu aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan pyrkien tasottamaan lämpötilaeroa. Rakennuksen lämmitystarpeen kannalta tärkein lämpöenergian siirtymistapa on johtuminen, mutta myös muut esiintyvät rakennuksen lämmityksessä (Seppänen & Seppänen 1997, 60–61.)

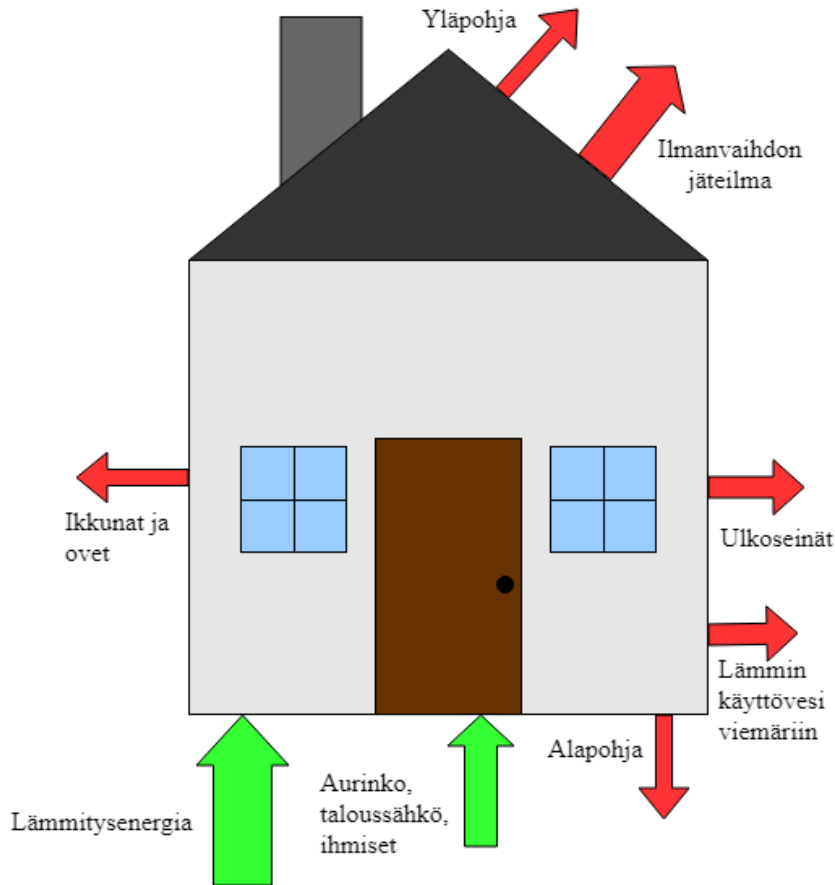
Johtuminen on ainoa lämmönsiirtymismuoto, joka tapahtuu kiinteässä ja läpinäkymättömässä aineessa. Se tapahtuu, kun molekyylien liike-energia siirtyy molekyylistä toiseen. Lämpövirta on verrannollinen pinta-alaan ja lämpötileroon. Lämmönjohtavuus on aineominaisuus, joka on metalleilla suuri ja kaasuilla pieni (Seppänen 2001, 57.)

Lämpösäteilyllä puolestaan tarkoitetaan sähkömagneettista säteilyä, eikä se tarvitse väliainetta. Jokainen kappale emittoi eli lähettää sähkömagneettista säteilyä oman lämpötilansa perusteella ja osuessaan joka toiseen kappaleeseen absorboituu ainakin osaksi siirtäen energiaa kappaleesta toiseen (Seppänen 2001, 66.)

Konvektiossa lämpö siirtyy kuljettumalla kaasun tai nesteen virtauksen mukana. Konvektio jaetaan luonnolliseen ja pakotettuun konvektioon. Lämmön siirtyminen on luonnollista konvektiota, jos kiinteän pinnan ja nesteen tai kaasun välillä on lämpötilaero ja lämpö siirtyy pintaan tai siitä pois vain lämpötilaeron luoman virtauksen avulla. Pakkokonvektiossa virtauksen aiheuttaa ulkopuolinen voima, kuten tuuli tai puhallin (Seppänen 2001, 61-66.)

## 4.3 Rakennuksen lämpöhäviöiden muodostuminen

Lämmitystarve muodostuu lämpöhäviöistä. Rakennuksessa lämpöhäviöitä aiheuttaa vuotoilma, ilmanvaihto ja vaipan johtumislämpöhäviöt (kuva 5). Rakennuksille on määritelty vertailulämpöhäviö, jonka kanssa rakennuksen lämpöhäviön on oltava yhtä suuri tai pienempi. Lämpöhäviöiden määrää rajoitetaan, jotta saavutetaan hyvä energiatehokkuus. Määrittämisessä käytetään tasauslaskentaa, jossa käytetään apuna rakennuksen koko- ja geometriatietoja. Tasauslaskelma suoritetaan erikseen lämpimille- ja puolilämpimille tiloille (Ympäristöministeriö 2011.)



Kuva 5 Rakennukseen tuleva ja poistuva lämpöenergia

Vuotoilma on yksi rakennuksen lämpöhäviöiden aiheuttajista. Vuotoja syntyy, kun tilojen välillä on paine-ero, jonka aiheuttaa lämpötilaerot ja tuuli. Paine-ero lisää vuotoilmavirtauksia rakenteiden läpi ja siten lisää ilmanvaihtoa ja lämmönkulutusta tarpeettomasti. Sääolosuhteiden vaikutuksen suuruus rakennuksen ilmavuotoihin riippuu vaipan tiiveydestä ja ilmanvaihtotavasta (Seppänen & Seppänen 1997, 76.)

Ilmanvaihdon lämmitystarve voidaan määrittellä ilmavirtauksen ja sisä- ja ulkolämpötilan erotuksen avulla. Ilmanvaihdossa syntyy lämpöhäviöitä, kun poistoilma johdetaan ulos rakennuksesta. Lämpöhäviöiden suuruus on riippuvainen poistoilman lämpötilasta, mitä korkeammassa lämpötilassa poistoilmaa johdetaan ulkoilmaan, sitä suurempi häviö on. Tässä syntyvää lämpöhäviötä voidaan vähentää käyttämällä lämmön talteenottoa, jossa lämpimällä poistoilmalla lämmitetään kylmää tuloilmaa (Seppänen & Seppänen 1997, 75–76.)

Vaipan johtumislämpöhäviöt muodostuvat ulkoseinien, ylä- ja alapohjan, ikkunoiden sekä ovien ja kylmäsiltojen kautta aiheutuvista lämpöhäviöistä. Lämpöhäviöitä voi muodostua rakennusta ympäröiviin puolilämpimiin tiloihin. Vaipassa tapahtuvat johtumislämpöhäviöt muodostuvat, kun tilaa jakavan rakenteen eri puolilla on toisistaan poikkeavat lämpötilaolot. Mitä suurempi lämpötilaero on, sitä enemmän johtumishäviöitä muodostuu, koska lämpö virtaa sieltä, missä on vähäisin lämmönvastus. Rakenteiden valinnassa lämmönläpäisykertoimella voidaan vaikuttaa johtumislämpöhäviöihin (Seppänen & Seppänen 1997, 64–75)

## 5 KOHTEEN ENERGIANKÄYTÖN NYKYTILANNE

Kohde sijaitsee litin kunnan alueella. Terveyskeskuksesta osa on käytössä, mutta tällä hetkellä siellä on kaksi vuodeosastoa tyhjänä. Ensimmäiseen kerrokseen on mahdollisesti tulossa hammashoitola vuoden kuluessa. Tyhjien tilojen lämpimänä pitäminen aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia ja on selvitetävää, mikä on optimaalinen lämpötila tyhjille tiloille. Ilmanvaihtoa on myös tarkasteltava tyhjien tilojen osalta, sillä ilmanvaihtokoneet käyvät 100 %:n teholla.

Terveyskeskusrakennus on rakennettu vuonna 1956. Vuodeosastot on saneerattu vuonna 2003 ja poliklinikan puoli vuosina 2012–2013. Terveyskeskuksen kokonaispinta-ala on 4 045 m<sup>2</sup>, josta tyhjänä on 1 008 m<sup>2</sup>. Rakennuksen kokonaistilavuus on 14 414 m<sup>3</sup>. Kohteessa on lämmitysmuotona kaukolämpö, jonka toimittaa Kausalan Lämpö Oy. Sähkön toimittajana on KSS Energia (Miettinen 2018.)

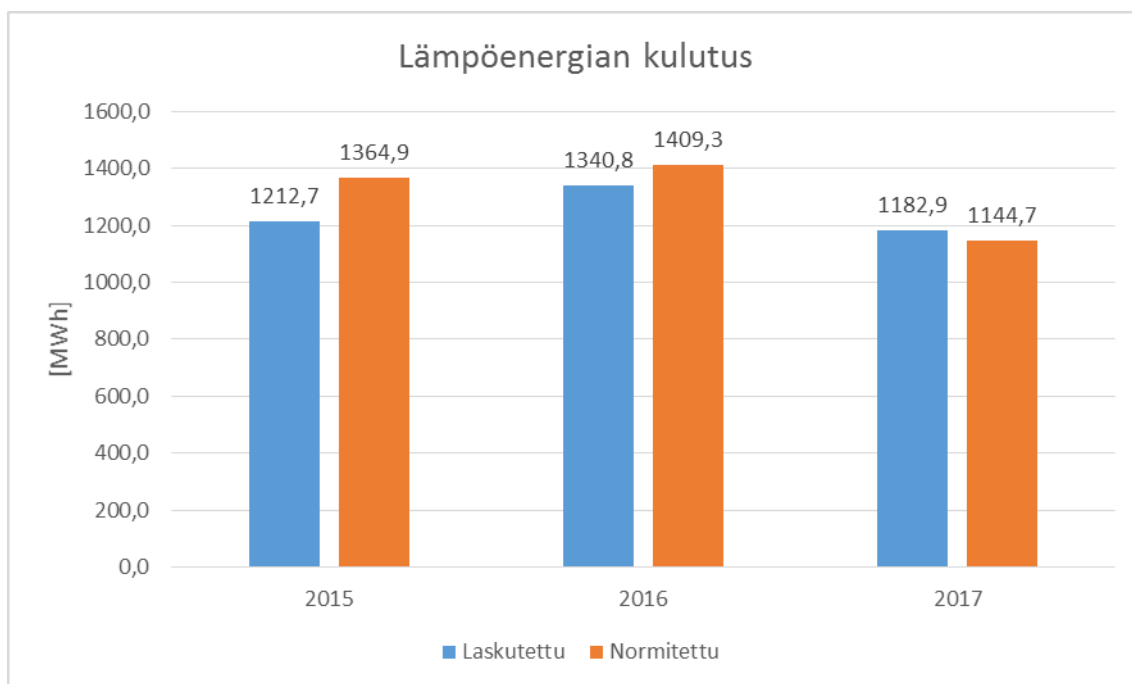
Kohteessa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, joka toteutetaan kuudella ilmanvaihtokoneella (taulukko 3). Ilmanvaihtokoneet on uusittu vuodeosaston saneerauksen yhteydessä, joten ne ovat 14 vuotta vanhoja. Ilmanvaihtokoneet ovat Mastervent Oy:n valmistamia ja käytössä on Siemensin automaatiojärjestelmä. Poliklinikka puolella on omat ilmanvaihtokoneet, joihin ei tässä työssä perehdytä.

Taulukko 3 Ilmanvaihtokoneiden vaikutusalueet

TK1	kellari länsi
TK2	2. kerros länsi
TK3	1. kerros länsi
TK4	kellari itä
TK5	2. kerros itä
TK6	2. kerros itä

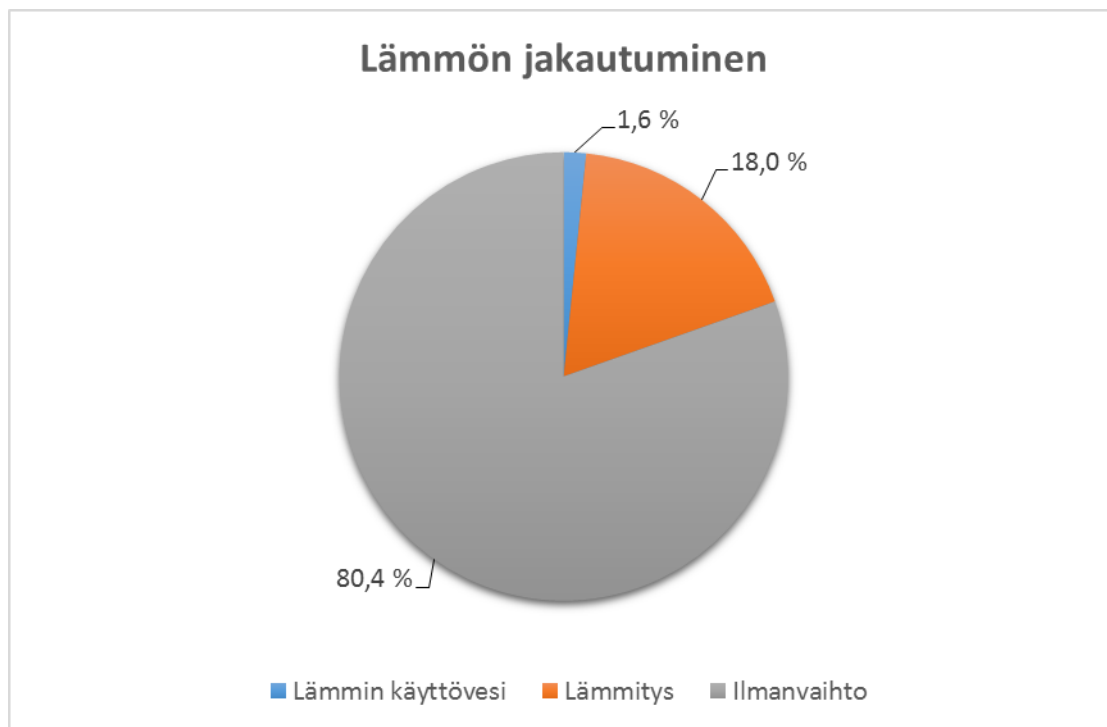
litin terveystalossa ensimmäisen ja toisen kerroksen kerrosalasta on yhteensä tyhjänä 1 008 m<sup>2</sup>. Ensimmäisen kerroksen tyhjiä tiloja lämpötilojen keskiarvo on 20,7 °C. Toisen kerroksen tyhjiä tiloja lämpötilojen keskiarvo on 20,6 °C. Tiloja lämmitetään vesikiertoisilla pattereilla, joita on sijoitettu huoneisiin ja käytävälle.

Kuvasta 6 on nähtävissä vuosien 2015–2017 laskutettu lämpöenergia ja normitettu lämpöenergia. Lämpöenergian kulutus on normitettu, jotta voidaan verrata eri vuosien energiankulutusta. Normituksessa on huomioitu rakennuksen lämmitys, käyttöveden lämmitys ja putkistohäviöt. Kuvasta huomataan, että vuosien 2015 ja 2016 normitettu kulutus on lähes samalla tasolla ja 2017 vuonna kulutus on hieman laskenut.



Kuva 6 Lämpöenergian kulutus vuosina 2015–2017

Lämpöenergian kulutus jakautuu rakennuksen lämmityksen, lämpimän käyttöveden ja ilmanvaihdon kesken. Vuoden 2017 normitetusta lämpöenergian kulutuksesta määritettiin laskennallinen lämpöenergian kulutuksen jakautuminen eri osille ja se on nähtävissä kuvasta 7.



Kuva 7 Lämpöenergian jakautuminen

## 6 KOHTEEN ENERGIANKÄYTÖN OPTIMOINTI JA ASETUSMUUTOKSET

Maaliskuun alussa suoritettiin litin terveyskeskuksessa mittauksia, joiden tarkoituksena oli selvittää ilmanvaihtokoneiden sähköenergiankulutus, sekä tyhjien tilojen lämpötila ja kosteus. Sähköenergiankulutuksen selvittämisessä käytettiin Fluken sähkönlaadun analysaattoria ja lämpötilan sekä kosteuden määrittämisessä Nokevalin Ovazone-Core-Node-sarjan etäluettavia mittareita.

### 6.1 Ilmanvaihdon toiminnan tarkastelu

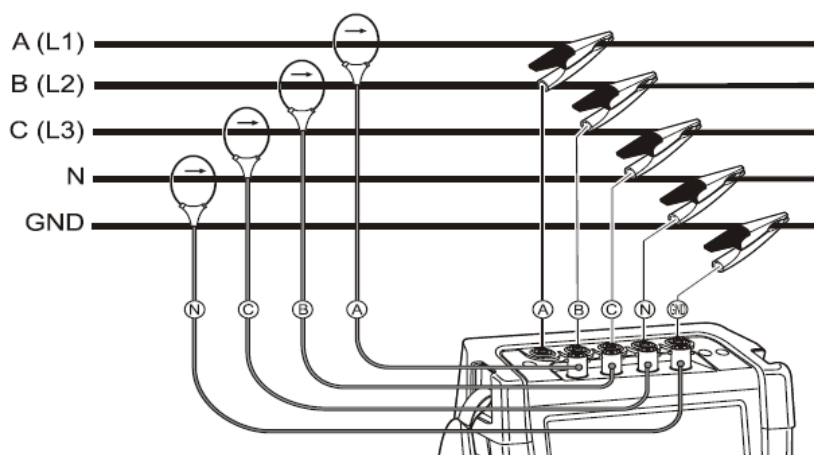
Ilmanvaihtokoneista haluttiin selvittää sähkö- ja lämpöenergian kulutus, sekä muutokset aikaohjelmiin, ja niistä saavutettavat säästöt. Sähköenergian kulutusta seurattiin sähkönlaadun analysaattorilla, joka kytkettiin sähkönjakokeskukseen (kuva 8). Sähkönlaadun analysaattorin kytkemisen sähkönjakokeskukseen teki sähköasentaja. Kytkennässä otettiin huomioon virrankulkusuunta

(kuva 9). Ilmanvaihtokoneiden mittaus suoritettiin kahdessa osassa. Ensimmäisessä osassa mitattiin sähköenergian kulutus koneista 4–6, jossa mittausjakson pituus oli 22,5 tuntia. Toinen mittaus suoritettiin puolestaan koneista 1–3, jossa mittausjakson pituus oli 23,8 tuntia.



Kuva 8 Sähkönlaadun analysointilaitteita kytkettynä keskuskeskukseen

Mittausjakson aikana saatiin selville kuinka paljon sähköenergiaa koneet kuluttivat mittauksen aikana. Sen perusteella koneille määritettiin keskimääräinen teho ja selvitettiin kuinka paljon ilmanvaihtokoneet kuluttavat sähköenergiaa vuoden aikana. Ilmanvaihtokoneet 1–3 ovat keskenään yhtä suuria ja vastaavasti ilmanvaihtokoneet 4–6 ovat yhtä suuria. Ilmanvaihtokoneet 1–3 kuluttavat vuoden aikana 139,89 MWh ja ilmanvaihtokoneet 4–6 82,72 MWh. Yhteensä ilmanvaihtokoneiden sähköenergiankulutus vuoden aikana on 222,61 MWh, joka on 33 % vuoden sähkönkulutuksesta.



Kuva 9 Kolmivaihejärjestelmään kytkeminen

Fluke 435 series II sisältää useita eri mittauksia, joiden avulla voidaan määrittää sähkönlaatua ja eri vaiheiden välisiä eroja. Mittaustoimintoja ovat:

- Vaihekohtaiset jännitteet
- Vaihekohtaiset virrat
- Huippukerroin
- Harmoniset yliaallot
- Vätkyntä
- Kuopat ja kohoumat
- Taajuus
- Epäsymmetria
- Energiahävikkilaskuri
- Invertterin tehokkuus
- Verkon signaalijännitteet
- Loggeri
- Sähkönlaadun seuranta

## 6.2 Ilmanvaihdon optimointi ja muutokset

Ilmanvaihtoa voidaan optimoida muuttamalla puhaltimien tilavuusvirtaa vastaamaan tilojen käyttöä. Vuodeosastoilla ei ole aktiivista käyttöä, joten niiden ilmanvaihtoa voidaan muuttaa. Ensimmäisen kerroksen vuodeosaston ilmanvaihto toteutetaan koneilla 3 ja 5 ja toisen kerroksen vuodeosaston ilmanvaihto koneella 6. Näiden ilmavaihtokoneiden nykyiset ja uudet tilavuusvirrat esitetään taulukossa 4. Uusi tilavuusvirta vastaa käyttöajan ulkopuolelle asetettua vaatimusta, joka on ilmoitettu Suomen Rakentamismääräyskokoelmassa D2.



Taulukko 4 Vuodeosastojen ilmanvaihtokoneiden uudet tilavuusvirrat

	Nykyinen tilavuusvirta [m <sup>3</sup> /s]	Uusi tilavuusvirta [m <sup>3</sup> /s]
TK3	1,9	0,5
TK5	1,5	0,5
TK6	1,5	0,5

Ilmanvaihdon optimoinnissa saadaan säästöjä sähkönkulutuksessa ja lämpöenergiankulutuksessa. Ilmanvaihtokoneista on selvitetty tämän hetkinen sähkönkulutus mittaamalla ilmanvaihtokoneita Fluken sähkönlaadun analysointilaitteilla. Mittausten perusteella määritettiin jokaiselle koneelle keskimääräinen teho, jonka jälkeen selvitettiin laskennallisesti muutosten jälkeinen sähkönkulutus koneille. Muutos tapahtuu koneiden 3,5 ja 6 tilavuusvirroissa, joten koneiden uusi tehontarve määritettiin kaavasta 1.

Kaava 1 on johdettu affiniteettisäännöistä, jossa on todettu tehon olevan verrannollinen pyörimisnopeuden kolmanteen potenssiin. Tilavuusvirta sekä pyörimisnopeus ovat suoraan verrannollisia keskenään, joten tilavuusvirta voidaan sijoittaa pyörimisnopeuden paikalle tehon kaavaan (Kuronen 2014.)

$$P_{uusi} = \left(\frac{q_{Vu}}{q_{Vn}}\right)^3 \cdot P_{keskim.} \quad (1)$$

jossa	$P_{uusi}$	uusi teho	[kW]
	$q_{Vu}$	uusi tilavuusvirta	[m <sup>3</sup> /s]
	$q_{Vn}$	nykyinen tilavuusvirta	[m <sup>3</sup> /s]
	$P_{keskim.}$	keskimääräinen teho	[kW]

Uusien tehojen määrittämisen jälkeen selvitettiin rahallinen säästö, mikä saadaan kun optimointi suoritetaan. Laskennassa on huomioitu sähkön eri hinnat talviarkipäivälle ja muulle ajalle. Talviarkipäivän sähkönsiirto hinta on 0,0179 €/kWh ja se on käytössä välillä 1.11–31.3 maanantaista lauantaihin, kello 7–22. Muu aika on tämän jakson ulkopuolelle oleva aika ja tällä välillä sähkön hinta on 0,0084 €/kWh. Sähköenergian hinta on 0,03229 €/kWh Kaavan 2 avulla selvitettiin ilmanvaihtokoneiden nykyinen ja uusi vuoden aikana tarvittava rahamäärä. Sähkön hinta on ilmoitettu ilman arvonlisäveroa ja sen on oletettu pysyvän samana myös optimoinnin jälkeen.

$$X = P \cdot t_{talvi} a_{talvi} + P \cdot t_{muu} a_{muu} \quad (2)$$

jossa	$X$	vuoden kulutus	[€]
	$P$	teho	[kW]
	$t_{talvi}$	talven tunnit	[h]
	$a_{talvi}$	sähkön hinta, talviaika	[€/kWh]
	$t_{muu}$	muun ajan tunnit	[h]
	$a_{muu}$	sähkön hinta, muu aika	[€/kWh]

Sähkön hinta sisältää siirto-, energia-, tehomaksun ja sähköveron. Tehomaksu on 2,42 €/kW ja se laskutetaan kuukausittain. Tehomaksusta muodostuva säästö selvitettiin koneiden keskimääräisen tehon muutoksen avulla. Optimoinnin jälkeen saadaan ilmanvaihtokoneiden sähkökulutuksessa säästöä yhteensä 6 786,85 €/a.

Ilmanvaihtokoneiden optimoinnissa saadaan säästöä sähköenergian lisäksi lämpöenergiassa. Kun koneiden tilavuusvirta laskee nykyisestä, pienenee myös lämmitettävän ilman määrä. Tilavuusvirrat muuttuvat koneiden 3,5 ja 6 osalta kuvan 12 mukaisesti. Ilmanvaihtokoneiden lämpöenergian tarve on määritetty kaavan 3 mukaan. Lämpöenergian tarve määritettiin erikseen nykyisille ja optimoinnin jälkeisille tilavuusvirroille. Niiden erotuksesta saadaan selville optimoinnista muodostuva lämpöenergian säästö.

$$Q = q_v \rho c_p (T_{sisä} - T_{lto}) \cdot \frac{t}{1000} \quad (3)$$

jossa	$Q$	lämpöenergia	[MWh]
	$q_v$	tilavuusvirta	[m <sup>3</sup> /s]
	$\rho$	ilman tiheys	[kg/m <sup>3</sup> ]
	$c_p$	ominaislämpökapasiteetti	[kJ/(kg°C)]
	$T_{sisä}$	sisälämpötila	[°C]
	$t$	aika, vuoden tunnit	[h]
	$T_{lto}$	lto:n jälkeinen lämpötila	[°C]

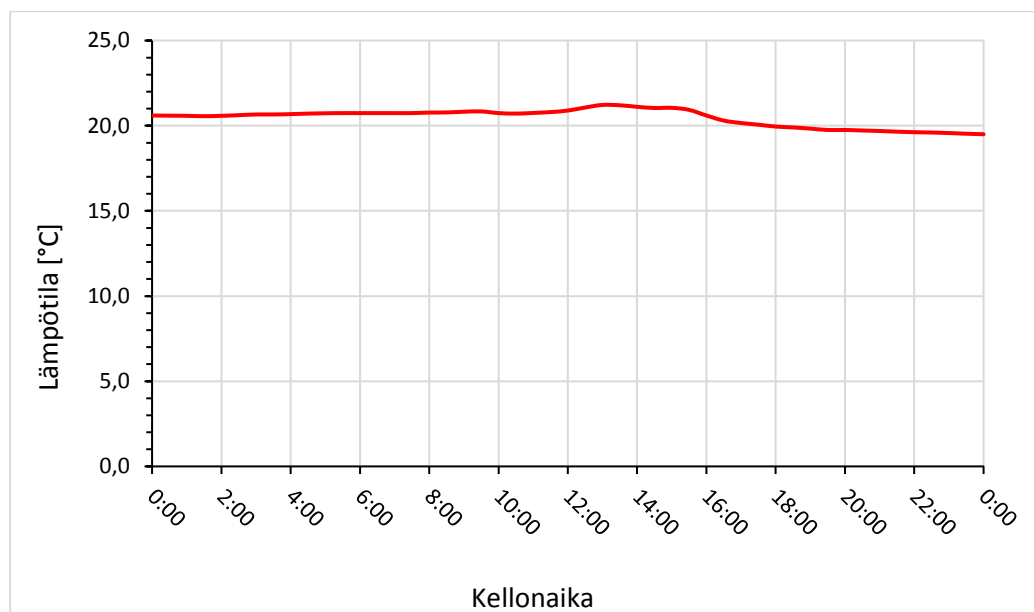
Optimoinnista muodostuva säästö saadaan selville, kun säästetty lämpöenergia on kerrottu kaukolämmön hinnalla. Kaukolämmön hintana on käytetty Kausalan Lämpö Oy:n sivuilla ilmoitettua kaukolämmön hintaa. Säästö on yhteensä 15 598,3 €/a, kun ALV on 0 %.

### **6.3 Sisälämpötilan tarkastelu**

Tyhjistä tiloista oli tarkoituksena selvittää nykyinen huonelämpötila ja kosteus, joiden avulla voidaan määrittää uusi lämpötila tiloille. Mittaukset suoritettiin Nokevalin Ovazone-Core-Node-sarjan etäluettavilla mittareilla kahdessa osassa. Ensin mittarit asetettiin ensimmäisen kerroksen huoneisiin ja käytävälle. Ensimmäisen kerroksen mittaus oli päällä 2,5 päivää. Tämän jälkeen mittarit siirrettiin toisen kerroksen huoneisiin ja käytävälle, jossa mittausta suoritettiin puolestaan 2,5 päivän ajan.

Nokevalin Ovazone-Core-Node-sarjan mittarit ovat langattomia ja virtalähteenä käytettiin paristoja. Mittaus aloitettiin linkittämällä mittarit toisiinsa ja asettamalla mittarit eri tiloihin. Mittausdata tallentui Ovaport-sivustolle, josta oli mahdollista seurata mittauksen etenemistä. Lämpötilan lisäksi mittarit mittasivat tilasta kosteuden, valoisuuden ja hiilidioksidipitoisuuden.

Mittauksen perusteella saatiin selville tämän hetkiset lämpötilat ja kosteudet ensimmäisessä ja toisessa kerroksessa. Kuvasta 10 on nähtävissä ensimmäisen kerroksen lämpötilan mittaus tuloksia. Ensimmäisen kerroksen mittausjakson lämpötilan keskiarvo on 20,7 °C ja kosteuden keskiarvo 7,8 %. Toisen kerroksen mittausjakson lämpötilan keskiarvo on 20,6 °C ja kosteuden keskiarvo 9,7 %. Molemmissa kerroksissa huomattiin kosteusprosentin olevan matala ja ilman kuivaa.



Kuva 10 Yhden lämpötilamittarin mittaustulos 6.3.2018 rakennuksen ensimmäisestä kerroksesta

#### 6.4 Lämpötilan optimointi ja muutokset

Tuloksien perusteella lämpötilaa voidaan laskea reilusti alaspäin siten, että saavutetaan tiloissa suositeltu 20–40 % kosteus. Kosteuden ollessa 20–40 % välillä saavutetaan viihtyisä sisäilma. Kosteuden ei tulisi ylittää 45 %, koska silloin muodostuu ihanteelliset olosuhteet erilaisille pölypunkeille, sienille ja muille mikrobeille. (Hengitysliitto, s.a) Kosteuden ollessa liian korkea se alkaa tiivistymään ikkunoihin, muihin kylmiin pintoihin ja mahdollisesti rakenteisiin. Pitkäkestoinen suuri kosteus lisää mikrobikasvun riskiä rakenteissa, laitteissa sekä niiden pinnoilla. Tämän takia huoneilman kosteus ei saa nousta liian suureksi. (Seppänen, 1996, s. 24)

Uudet sisälämpötilat määritettiin ix-diagrammista, josta on nähtävissä lämpötila ja kosteus. Ensimmäisen kerroksen sisälämpötilan keskiarvo mittaussajakson aikana oli 20,7 °C ja kosteuden 7,8 %. Suositeltu 20–40 % kosteus saavutetaan, kun sisälämpötila lasketaan 1–7,5 °C välille. Toisen kerroksen sisälämpötilan keskiarvo oli 20,6 °C ja kosteuden 9,4 %. Vastaavasti toisessa kerroksessa tavoitellaan suositeltua 20–40 % kosteutta, tämä saavutetaan kun lämpötilaa lasketaan 1–11,5 °C välille.

Lämpötilan laskemisesta muodostuu säästöjä lämpöenergian kulutuksessa. Uuden lämmitysenergian kulutuksen laskemisessa käytettiin apuna mittaussajakson tuloksia, normaali vuoden kuukausien keskilämpötiloja sekä vuoden

2017 rakennuksen lämmitysenergian kulutustietoja. Laskenta aloitettiin määrittämällä rakennuksen uusi keskimääräinen lämpötila, jossa uudet lämpötilat painotettiin eri tilojen pinta-aloilla.

Kokonaispinta-ala on 4 045 m<sup>2</sup>, josta tyhjänä on 1 008 m<sup>2</sup>. Ensimmäinen ja toinen kerros ovat keskenään samanlaiset, joten molempien osuus koko pinta-alasta on 12,5 % ja muu alue on 75,0 %. Ensimmäisen kerroksen uusi sisälämpötila on 7,5 °C ja toisen kerroksen uusi sisälämpötila on 11,0 °C. Tällöin molemmissa kerroksissa ilmankosteus on 20 %. Tämä kosteus on hyvä, koska tiloissa ei ole aktiivista käyttöä ja kosteudessa tapahtuvat mahdolliset muutokset eivät nosta kosteutta yli 45 % ja siten ei tapahdu vahinkoa rakenteissa. Uusi sisälämpötila laskettiin kaavasta 4.

$$T_{uusi} = k_{lämmin}T_{lämmin} + k_{1.kerros}T_{1.kerros,uusi} + k_{2.kerros}T_{2.kerros,uusi} \quad (4)$$

jossa	$T_{uusi}$	uusi sisälämpötila	[°C]
	$k_{lämmin}$	pinta-alakerroin	[-]
	$T_{lämmin}$	lämpimän alueen sisälämpötila	[°C]
	$k_{1.kerros}$	pinta-alakerroin	[-]
	$T_{1.kerros}$	1. kerroksen uusi sisälämpötila	[°C]
	$k_{2.kerros}$	pinta-alakerroin	[-]
	$T_{2.kerros}$	2. kerroksen uusi sisälämpötila	[°C]

Sisälämpötila olisi jatkossa keskimäärin 18,1 °C, kun on huomioitu lämpötilojen muutos terveyskeskuksen tiloissa ja ne on painotettu tilojen pinta-aloilla.

Lämmitykseen kuluva energia saatiin selville, kun koko kuukauden lämpöenergian kulutuksesta vähennettiin heinäkuun kulutus. Heinäkuussa ei ole lämmitystarvetta, joten silloin kulutettu energia on kulunut veden lämmitykseen ja putkistohäviöihin. Lämmitykseen kuluva energia huomioitiin vain lämmityskauden kuukaudet, sillä kesäkaudella lämpöenergiaa kuluu vain lämpimän veden lämmitykseen. Lämpöenergian kulutus sisälämpötilojen muutoksen jälkeen laskettiin kaavasta 5, jossa sisä- ja ulkolämpötilan lämpötilaero on määritetty jokaisen kuukauden keskiulkolämpötilan mukaan.

$$Q_{uusi} = \frac{\Delta T_{uusi}}{\Delta T_{nykyinen}} \cdot Q_{nykyinen} \quad (5)$$

jossa	$Q_{uusi}$	Uusi lämmitysenergia	[MWh]
	$\Delta T_{uusi}$	uusi lämpötilaero	[°C]
	$\Delta T_{nykyinen}$	nykyinen lämpötilaero	[°C]
	$Q_{nykyinen}$	nykyinen lämmitysenergia	[MWh]

Tämän kaavan perusteella määritettiin jokaiselle kuukaudelle uusi lämmitykseen kuluvan energian määrä. Lämmitysenergian säästö laskettiin vanhan ja uuden lämmitysenergian kulutuksen erona. Lämmityksestä muodostuva säästö euroina laskettiin kuukauden kulutuksen ja kaukolämmön hinnan avulla. Kaukolämmön hintana on käytetty Kausalan Lämpö Oy:n sivuilla ilmoitettua kaukolämmön hintaa. Säästökäsi saatiin yhteensä 7 629,76 €/a. Säästö on laskettu, kun ALV on 0 %.

## 7 TULOSTEN TARKASTELU

Opinnäytetyössä saatiin selville, että sisälämpötiloja voi laskea reilusti alaspäin. Nykyinen sisälämpötila on noin 21 °C ja sitä voidaan laskea ensimmäisessä kerroksessa niin paljon, että saavutetaan 7,5 °C huonelämpötila. Toisesta kerroksesta sisälämpötilaa voidaan puolestaan laskea kymmenellä asteella, jolloin uusi lämpötila on 11 °C. Uudet sisälämpötilat on määritetty sisälämpötilan ja ilmankosteuden avulla ix-diagrammista. Lämpötilojen optimoinnissa on huomioitu, että ilmankosteus ei ylitä haitallista 45 % kosteutta.

Ilmanvaihtokoneista voidaan säätää koneiden 3, 5 ja 6 puhaltimien tilavuusvirtaa. Uusi tilavuusvirta on määritetty tyhjien tilojen pinta-alan ja käyttöajanulko puolelle ilmoitetun minimivirtauksen avulla. Uusi tilavuusvirta on kuitenkin hie man suurempi kuin minimivirtaus, jotta ilmanvaihto pysyy sopivalla tasolla. Ilmanvaihtokoneiden optimoinnilla saavutetaan säästöä sähkö- ja lämpöenergiassa samalla estetään turhaa energiankäyttöä. Taulukossa 5 on esitetty litin terveyskeskuksen säästöpotentiaali, säästöt on laskettu ilman arvolisäveroa.

Optimoinnilla on mahdollista vähentää lämpöenergian kulutusta 38 % ja sähköenergian kulutusta 15 %.

Taulukko 5 Säästöpotentiaali

Säästöpotentiaali	[MWh/a]	[€/a]
Ilmanvaihdon lämpöenergia	295,4	15 598,3
Ilmanvaihdon sähköenergia	98,9	6 786,8
Sisälämpötilan lämpöenergia	144,6	7 629,8
Säästöt yhteensä		30 014,9

Tässä opinnäytetyössä on tarkasteltu sisälämpötilan laskemista ja ilmanvaihtokoneiden säätämistä erillisinä asioina. Jos molemmat optimoinnit suoritetaan, ei ole varmuutta mille tasolle kosteus asettuu ja laskeeko huonelämpötila oletetulle tasolle. Todennäköistä on, että ilmanvaihtokoneiden tilavuusvirran pienentyessä ilmankosteus on hieman suurempi kuin oletettu 20 %. Tästä ei kuitenkaan ole haittaa, sillä sopiva ilmankosteus on 20–40 % välillä.

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää vajaakäyttöisen kiinteistön energiankäyttöä ja optimoida energiankäyttö vastaamaan rakennuksen käyttötarkoitusta. Tarkoituksena oli selvittää kuinka paljon huonelämpötiloja voidaan laskea, jotta saadaan energiansäästöä. Ilmanvaihtokoneiden ajo-ohjelmat eivät enää vastanneet tyhjen tilojen käyttöä, joten niitä tarkasteltiin opinnäytetyön aikana. Tavoitteena oli saada tuloksia, jotka on mahdollista toteuttaa kohteessa.

Työn tuloksena määritettiin uudet sisälämpötilat litin terveystieteiden tyhjiin vuodeosastoille. Tämän lisäksi tutkittiin, mille tasolle ilmanvaihtokoneiden puhaltimeiden tilavuusvirtoja voidaan laskea. Uudet tilavuusvirrat määritettiin siten, että saadaan energiansäästöä. Optimointi-ideat ovat mahdollisia toteuttaa kohteessa, joten niiden osalta opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin.

Opinnäytetyön päätavoitteena oli määrittää uudet sisälämpötilat vuodeosastoille. Työn aikana suoritetuissa mittauksissa määritettiin nykyinen sisälämpötila ja ilmankosteus. Näiden tietojen perusteella määritettiin uusi sisälämpötila tiloille. Vuodeosastojen ilmankosteus havaittiin mittauksissa matalaksi, joten lämpötilaa laskemalla kosteusprosentti nousee. Ilmankosteus nousee suositellulle tasolle, eikä sen pitäisi nousta haitallisen korkeaksi.

Ilmanvaihtokoneet vaihtavat tyhjiin tilojen ilmaa 100 % teholla, joka ei vastaa tilojen käyttöä. Tämän takia opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, mikä olisi soveltuva tilavuusvirta tiloille, joissa ei ole käyttöä. Uudet tilavuusvirrat määritettiin käyttöajanulkopuolelle ilmoitetun minimivirtauksen ja pinta-alan avulla. Ilmanvaihtokoneilla ylläpidetään terveellistä ja viihtyisää sisäilmaa, joten uudet tilavuusvirrat ovat hieman suurempia kuin minimivirtaus.

Opinnäytetyön aikana selvitettiin kiinteistön energiankäyttöä ja tuloksena saatiin toimenpiteitä, joilla energiankäyttöä voidaan optimoida vastaamaan rakennuksen käyttöä. Optimoinnin avulla on mahdollista säästää energiankulutuksesta ja saavuttaa rahallista säästöä. Kohteen optimoinnilla vältetään turhaa energiankulutusta ja vähennetään hiilidioksidipäästöjä. Opinnäytetyössä käytettyjä energiankulutuksen optimoinnin menetelmiä on mahdollista käyttää muissa vajaalla käytöllä olevissa kiinteistöissä.



## LÄHTEET

Hengitysliitto. s.a. Ilmanvaihtojärjestelmät. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat> [viitattu 15.1.2018].

Hengitysliitto. s.a. Sisäilman kosteus ja lämpötila.WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/sisailma-asiat/sisailmaongelmat/sisailman-kosteus-ja-lampotila> [viitattu 23.3.2018].

Ilmatieteen laitos. s.a. Lämmitystarveluku. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut> [viitattu 20.1.2018].

Kuronen, M. 2014. Energiatohokkuuden parantaminen talousveden jakelussa. Espoo, Suomi. Aalto yliopisto. Insinööritieteiden korkeakoulu. Diplomityö WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/14795/master\\_Kuronen\\_Mika\\_2014.pdf?sequence=1](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/14795/master_Kuronen_Mika_2014.pdf?sequence=1) [viitattu 14.4.2018].

Miettinen P. 2018. Kiinteistöestari. Sähköpostikeskustelu 11.1.–13.1.2018. Iitin kunta.

Motiva. 2012. Lämpöä ilmassa - Ilmalämpöpumput. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/7964/Lampoa\\_ilmassa\\_Ilmalampopumput.pdf](https://www.motiva.fi/files/7964/Lampoa_ilmassa_Ilmalampopumput.pdf) [viitattu 12.2.2018].

Seppänen, O. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto, lisäpainos. Helsinki: Suomen LVI yhdistysten liitto.

Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys 2. päivitetty painos. Jyväskylä: Suomen LVI-liitto ry.

Seppänen, O. & Seppänen, M. 1997. Rakennusten sisäilmasto ja LVI tekniikka, 2. korjattu painos. Jyväskylä: Sisäilmayhdistys ry.

Tilastokeskus. s.a. Käsitteet. Lämmitystarveluku / astepäiväluku. Saatavissa: <http://www.stat.fi/meta/kas/lammitystarvelu.html> [viitattu 20.1.2018].

Vesterinen, V. 2012. Asuinrakennuksen kesäajan yllilämpötilojen hallinta - käyttövaiheen lämpövihtyvyys. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21202/vesterinen.pdf?sequence=1> [viitattu 20.1.2018].

Ympäristöministeriö. 2011. D3 Suomen rakentamismääräskokoelma. PDF-dokumentti. Saatavissa: [www.finlex.fi/data/normit/37188-D3](http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3)

2012\_Suomi.pdf [viitattu 25.2.2018].

Ympäristöministeriö. 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. PDF dokumentti. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2>  
2012\_Suomi.pdf [viitattu 15.1.2018].

Ympäristöministeriö. 2013. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. PDF dokumentti. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/data/normit/29520/D5-190607>  
suomi.pdf [viitattu 13.3.2018].

Ympäristöministeriö. 2014. Energiatodistuslomakkeet. Energiatodistuksen laadinta esimerkki. WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi/FI/Rakentaminen/Rakennuksen\\_energia\\_ja\\_ekotehokkuus/Rakennuksen\\_energiatodistus/Energiatodistuslomakkeet](http://www.ymparisto.fi/fi/FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Rakennuksen_energiatodistus/Energiatodistuslomakkeet) [viitattu 13.3.2018].

## KUVALUETTELO

Kuva 1. Painovoimainen ilmanvaihto. Hengitysliitto. s.a. Ilmanvaihtojärjestelmät. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat> [viitattu 15.1.2018].

Kuva 2. Koneellinen poistoilmanvaihto. Hengitysliitto. s.a. Ilmanvaihtojärjestelmät. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat> [viitattu 15.1.2018].

Kuva 3. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Hengitysliitto. s.a. Ilmanvaihtojärjestelmät. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat> [viitattu 15.1.2018].

Kuva 4. Lämmön talteenoton periaate. Koskinen, E. 14.4.2018.

Kuva 5. Rakennukseen tuleva ja poistuva lämpöenergia. Koskinen, E. 14.4.2018.

Kuva 6. Lämpöenergian kulutus vuosina 2015–2017. Koskinen, E. 14.4.2018.

Kuva 7. Lämpöenergian jakautuminen. Koskinen, E. 14.4.2018.

Kuva 8. Sähkönlaadun analysaattori kytkettynä keskukseseen. Koskinen, E. 7.3.2018.

Kuva 9. Kolmivaihejärjestelmään kytkeminen. Fluke 434"/435"/437" 3-vaiheinen energia- ja sähkönlaatuanalysaattori, käyttöohje. 2012.

Kuva 10. Yhden lämpötilamittarin mittaustulos 6.3.2018 rakennuksen ensimmäisestä kerroksesta. Koskinen, E. 14.4.2018.

## TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1 Lämmityskauden tilakohtaisia sisälämpötilan ohjearvoja tiloille, jotka poikkeavat suunnitteluarvosta 21 °C. Ympäristöministeriö. 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D22012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D22012_Suomi.pdf) [viitattu 15.1.2018].

Taulukko 2 Normaalivuoden lämmitystarveluvut vertailupaikkakunnalla Lahdessa. Ilmatieteen laitos. s.a. Lämmitystarveluku. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut> [viitattu 20.1.2018].

Taulukko 3 Ilmanvaihtokoneiden vaikutusalueet. Koskinen, E. 15.3.2018.

Taulukko 4 Vuodeosastojen ilmanvaihtokoneiden uudet tilavuusvirrat. Koskinen, E. 5.4.2018.

Taulukko 5 Säästöpotentiaali. Koskinen, E. 14.5.2018.

