

Heikki Jokela

# POISTOILMAN LTO:N TUOTTAMA ENERGIANSÄÄSTÖ

Opinnäytetyö  
Talotekniikka


Huhtikuu 2016




MAMK

University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  27.4.2016			
<b>Tekijä(t)</b>  Heikki Jokela	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> <b>Talotekniikan koulutusohjelma</b> <b>LVI-Tekniikka</b>			
<b>Nimeke</b>  Poistoilman LTO:n tuottama energiansäästö				
<b>Tiivistelmä</b> Opinnäytetyöni tarkoituksena oli tutkia Mikkelin Tuomiokirkkoseurakunnan Susiniemen leirikeskukseen asennetun nestekiertoisen poistoilman lämmön talteenottolaitteen toimintaa. Poistoilman lämmön talteenottolaitetta käytetään kohteen yhden tuloilmakoneen tuloilman esilämmittämiseen. Toiminnan tutkimiseen sisältyi vuotuisen energiansäästön laskenta Microsoft Excelliin tehdyn laskentaohjelman avulla. Laskenta suoritettiin 9.3. - 23.3.2016 välillä olevan ilman lämpötilojen mittausjakson pohjalta ja loppuvuoden energiansäästölaskelmat suoritettiin vuotuisten ulkoilman keskilämpötilojen kautta. Vuotuisen energiansäästön pohjalta laitteelle laskettiin takaisinmaksuaika hankintakustannuksiin nähden ja sille määritettiin SCOP-arvo sekä vuosihyötysuhde ( $\eta_a$ ).  Tutkimuskohteena oli Mikkelin Otavassa sijaitseva Mikkelin Tuomiokirkkoseurakunnan Susiniemen leirikeskus. Susiniemen leirikeskus on valmistunut ja otettu käyttöön vuonna 2004. Leirikeskuksessa suoritettiin saneeraustyötä vuoden 2015 kesä-talvi välisellä ajalla. Saneerauksen yhteydessä poistoilman lämmön talteenottolaitteen asennuksen lisäksi mm. kohteen lämmitysjärjestelmän lämmönlähde muutettiin öljylämmityksestä maalämpöön.  Lämmön talteenottolaitteen asennuksella saavutettiin vuotuista energiansäästöä huomattavasti. Laskelmien perusteella voidaan todeta, että poistoilman lämmön talteenottolaite kattaa yli 50 % vuotuisesta tuloilman lämmityksen nettoenergiatarpeesta. Lämmön talteenottolaitteen hankinta oli kannattavaa kohtalaisen lyhyen takaisinmaksuajan vuoksi ja siksi, että aikaisemmin kyseisessä tuloilmakoneessa ei ollut lämmön talteenottolaitetta lainkaan.  Opinnäytetyön tarkoituksena oli hyödyttää työn tilaajaa, Mikkelin Tuomiokirkkoseurakuntaa, jotta se saisi selkeän kuvan vuotuisesta energiansäästöstä ja lämmön talteenottolaitteen takaisinmaksuajasta. Energiansäästö yleisesti on nykypäivänä paljon puhuttu aihe, joten kyseisen lämmön talteenottolaitteen syvällisempi tarkastelu ja todellisen hyödyn selvittäminen on aiheellista.				
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>  lämmön talteenotto, energiansäästö, takaisinmaksuaika, lämmön siirtyminen, mittaus				
<b>Sivumäärä</b>  41	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%; border: none;"><b>Kieli</b></td> <td style="width: 33%; border: none;">Suomi</td> <td style="width: 33%; border: none;"><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> Heikki Salomaa	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Mikkelin Tuomiokirkkoseurakunta			

## DESCRIPTION

		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  27.4.2016
<b>Author(s)</b>  Heikki Jokela	<b>Degree programme and option</b>  Building Services Engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Energy saving of exhaust air heat recovery system		
<b>Abstract</b> The subject of my bachelor thesis was to study the performance of fluid circulated exhaust air heat recovery system that was installed to Mikkeli parish union camping centre in Susiniemi, Mikkeli. The heat recovery system is used in pre-heating of supply air in one of the building's two supply air units. The studying of the performance included calculating of annual energy saving by calculation program that was created to Microsoft Excel. Energy saving calculations were executed basing on ventilation units air temperature measurement period that took place from March 9th to March 23rd. The rest of the years energy saving was calculated by outside air monthly average temperatures. Based to the annual energy saving, the heat recovery system was calculated payback time compared to purchasing costs and SCOP-number and also annual efficiency ( $\eta_a$ ).  The research concentrated to Mikkeli parish unions camping centre in Susiniemi, Mikkeli. Susiniemi's camping centre was built and put into service in year 2004. In 2015, from summer to winter, a renovation work took place in Susiniemi's camping centre. In addition to the installation of exhaust air heat recovery system, the buildings heating systems source of heat was changed from oil to ground-source heat pump.  The calculations showed that the annual save of energy is significant. Based to the results of calculations, it can be stated that the exhaust airs heat recovery system can cover over 50% of the supply air annual heating net energy costs. Installation of the exhaust airs heat recovery system was profitable, because of the systems quite short payback time and also the lack of heat recovery system in the old air handling unit.  The main goal of the thesis was to benefit the client, Mikkeli parish union, so it would have a clear vision of the annual energy saving and the payback time of the heat recovery system. Energy saving is a lot talked concept today, so a deeper research and finding out the true benefit of the heat recovery system is appropriate.		
<b>Subject headings, (keywords)</b>  heat recovery, energy saving, payback time, heat transfer, measure		
<b>Pages</b> 41	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b> Heikki Salomaa	<b>Bachelor's thesis assigned by</b> Mikkeli parish union	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	ENERGIANSÄÄSTÖ .....	3
2.1	Energian säästö LVI-alalla .....	4
3	LÄMMÖN TALTEENOTTO .....	6
3.1	Lämmön talteenottoon liittyvä lainsäädäntö.....	6
3.2	Regeneratiivinen lämmön talteenotto .....	7
3.3	Suora rekuperatiivinen lämmön talteenotto.....	8
3.4	Epäsuora rekuperatiivinen lämmön talteenotto .....	10
3.4.1	Neulaputkilämmönsiirrin .....	11
4	KOHTEEN ESITTELY .....	13
4.1	Kohteen vanha lämmitysjärjestelmä.....	14
4.2	Kohteen saneeraus vuonna 2015 .....	14
5	MITTAUKSET .....	15
5.1	Yleistä kohteen mittauksista .....	15
5.2	Ilmanvaihtojärjestelmän ilmanlämpötilojen mittaus .....	16
5.3	Ilmavirtojen mittaus.....	17
6	ENERGIANSÄÄSTÖN LASKENTA.....	17
6.1	Ulkolämpötilojen mittaus ja vuotuiset keskilämpötilat .....	18
6.2	Esilämmityspatterin teho .....	19
6.2.1	Esilämmityspatterin teho mittausjakson aikana.....	22
6.3	Lämmön talteenottolaitteella talteen otettu teho.....	23
6.3.1	Lämmön talteenottolaitteella talteenotettu teho mittausjakson aikana.....	26
6.4	Lämmön talteenottolaitteella talteenotettu energiamäärä.....	26
6.4.1	Lämmön talteenottolaitteen sähköenergian kulutus.....	27
6.4.2	Talteen otettu energiamäärä.....	28
6.5	Talteen otettu energiamäärä ilmanvaihdon nettoenergiantarpeeseen verrattuna.....	30
6.6	Lämmön talteenottolaitteen SCOP-arvo.....	32
6.7	Esilämmityspatterin COP-arvo mittausjakson ajalta .....	33
6.8	Mittausjakson ja teoreettisten tulosten vertailu .....	34
7	TAKAISINMAKSUAJAN LASKENTA .....	35

7.1	Rahallinen säästö vuodessa.....	35
7.2	Takaisinmaksuaika .....	37
8	YHTEENVETO .....	38
	LÄHTEET .....	40

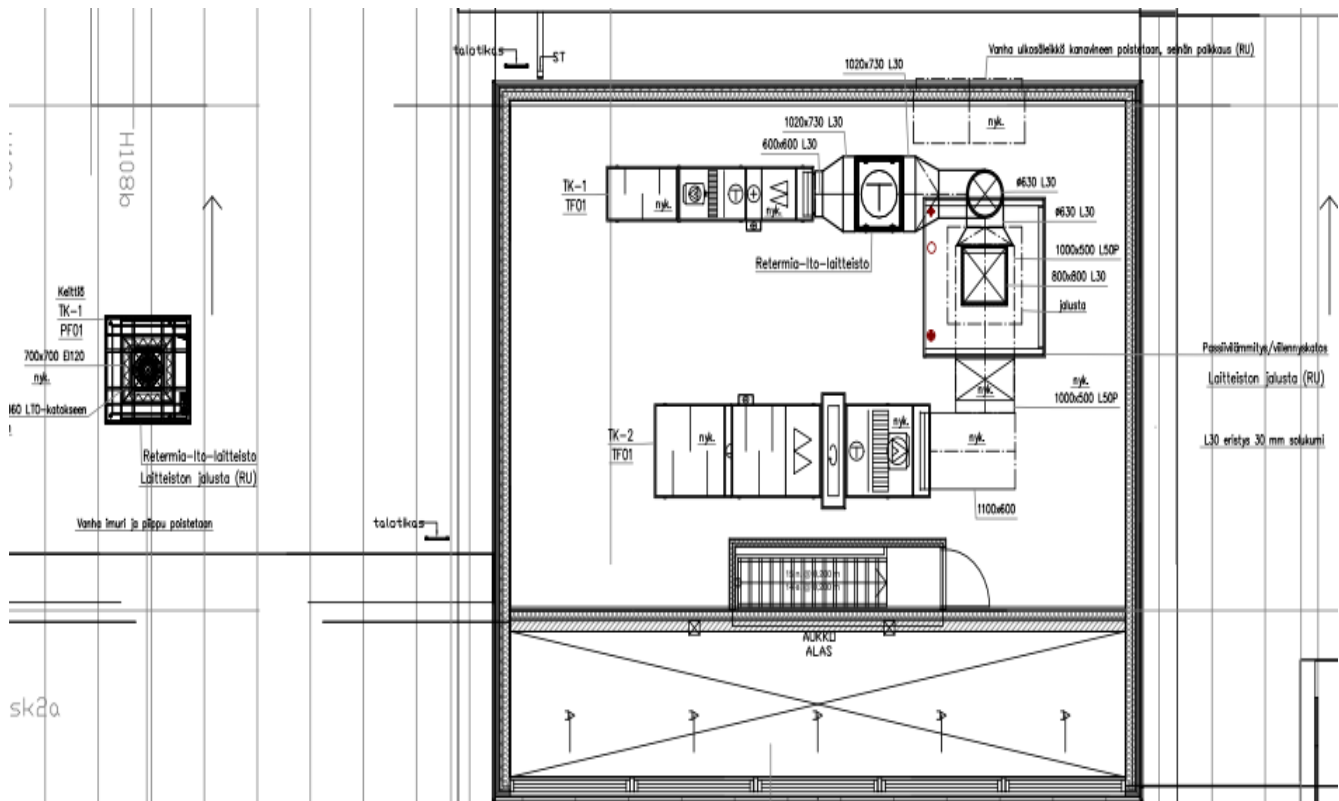
## 1 JOHDANTO

”Energiansäästö” aiheena on nykypäivänä hyvin pinnalla oleva käsite. Tiukentuvien ympäristömääräysten ja lakien pohjalta monissa nykypäivän tuotteissa, palveluissa ja tekemisessä pyritään säästämään mahdollisimman paljon energiaa, kuitenkin laadusta tinkimättä. Tämä nouseva trendi on nähtävissä myös nykypäivän rakentamisessa ja sen eri osa-alueissa. Rakennuksista pyritään rakentamaan ns. nollaenergiataloja, lämmöneristeiden lämmönjohtavuutta kehitetään jatkuvasti parempaan suuntaan ja esim. rakennusten lämmitykseen liittyviä laitteita ja laitteistoja, kuten pumppuja ja lämmönsiirtimiä pyritään kehittämään tehokkuudeltaan ja hyötysuhteeltaan mahdollisimman hyväiksi. Edellä mainitut muutamat asiat ovat toki vain pieni pintaraapaisu, mitä koko aihe käsittää, mutta tässä opinnäytetyössä keskitytään enemmän LVI-alaan liittyviin energiansäästöratkaisuihin.

Rakennusten energiansäästöä aletaan yleensä suunnitella rakennuksen energiankulutuksen pohjalta. Mistä voitaisiin säästää? Vaihtoehtojen skaala on taas hyvin laaja, mutta monessa tapauksessa vielä käytettävissä olevaa energiaa johdetaan rakennuksesta pois. Yhtenä mittavana esimerkkinä voidaan mainita lämpimän poistoilman puhaltaminen rakennuksesta pois ottamatta sen lämpösisältöä lainkaan talteen. Kyseinen esimerkki koskee etenkin vanhoja rakennuksia, joiden rakentamisaikana lämmön talteenottotekniikka oli olematonta tai hyvin alkeellista. Nykypäivänä näitä kyseisiä kohteita saneerattaessa rakennuksen poistoilman yhteyteen asennetaan monesti lämmön talteenottolaitteisto. Laitteistoja on paljon erityyppisiä, ja niiden avulla talteen otettua lämpösisältöä voidaan käyttää moneen eri tarkoitukseen.

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus tutkia Mikkelin Otavassa sijaitsevaan Susiniemen leirikeskukseen poistoilman yhteyteen asennetun lämmön talteenottolaitteiston toimintaa. Laitteisto on asennettu kohteeseen syksyllä 2015, jolloin myös kohteen lämmitysjärjestelmän lämmönlähde on vaihdettu öljylämmityksestä maalämpöön. Käytännössä poistoilman lämpösisältöä otetaan talteen keittiötilan poistoilmasta ja sillä esilämmitetään yhden tuloilmakoneen (TK1) tuloilmaa. Tuloilmakone (TK1) palvelee keittiötiloja sekä ruokasalia. Tämän tuloilmakoneen raitisilmareitti palvelee myös toista tuloilmakonetta (TK2), mutta poistoilman lämmön talteenotto laite palvelee vain TK1:tä (Kuva 1). Tuloilmakoneessa (TK2) on jo ennestään pyörivä lämmön talteenottokiek-

ko, eli ns. regeneratiivinen lämmön talteenotto-laite. Tuloilmakone (TK2) palvelee päärakennuksen muita tiloja. Kyseisten tuloilmakoneiden raitisilmareitin yhteyteen on asennettu myös porakaivon maaliuksen lämpötilan toimintaan perustuva passiivinen lämmitys/viilennyslaitteisto, jota esitetään tarkemmin opinnäytetyön myöhemmässä vaiheessa. Kohteen omistaa Mikkelin tuomikirkkoseurakunta ja urakoitsijana on toiminut YIT Kuntatekniikka OY Mikkeli. Lämmön talteenottolaitteiston toiminnan tutkiminen sisältää laitteiston tuottaman arvioidun vuotuisen energiansäästön. Lasketun energiansäästön pohjalta laitteistolle määritetään myös takaisinmaksuaika, SCOP-arvo sekä vuosihyötysuhde ( $\eta_p$ ). SCOP-arvo saadaan, kun jaetaan laitteen tuottama energiamäärä (kWh) laitteen kuluttamalla sähköenergiamäärällä (kWh). SCOP-arvo tarkoittaa siis käytännössä laitteen sähkökulutuksen sekä saadun hyödyn suhdetta.



**KUVA 1. Ilmanvaihdon konehuoneen pohjakuva**

Kyseinen lämmön talteenottolaitteisto on nestekiertoinen, eli poistoilman lämpösisältöä otetaan talteen neulaputkilämmönsiirtimen avulla lämmön talteenottonesteeseen. Kuvassa 1. poistoilman neulaputkilämmönsiirrin sijaitsee vasemmassa laidassa. Poistoilman lämpösisältöä kerännyt lämmön talteenottoneste johdetaan putkistoa pitkin rakennuksen tuloilman esilämmittämiseen, jossa poistoilmasta lämmennyt lämmön

talteenottoneste luovuttaa lämpöä siirtimen avulla tuloilmakoneen (TK1) tuloilmaan. Kuvassa 1. tuloilmakone (TK1) sijaitsee ylhäällä ja sen lämmön neulaputkilämmön-siirtimessä on iso (T) kirjain. Tuloilmakone (TK2), jossa on pyörivä lämmön talteen-ottokiekko, sijaitsee tuloilmakoneen (TK1) alapuolella. Kummatkin tuloilmakoneet yhdistää sama raitisilmareitti, joka on tuloilmakoneiden välissä. Raitisilmareitin yh-teyteen on asennettu jo aiemmin mainittu passiivinen esilämmitys/viilennyspatteri.

## 2 ENERGIANSÄÄSTÖ

Nykypäivänä energiaa pyritään säästämään lähes joka asiassa. Energiansäästömuoto-  
jen skaala on hyvin laaja, ja se voi käsittää monta eri osa-aluetta. Energiaa voidaan  
säästää mm. rakennuksen lämmityksessä tai sähköenergian kulutuksessa. Energian-  
säästö lämmityksessä voi tarkoittaa esim. huonelämpötilan laskemista ja lämpimän  
käyttöveden kulutuksen alentamista. Sähköenergian kulutuksessa vastaavasti energi-  
ansäästö voi tarkoittaa esim. valaistuksen vähentämistä tai ilmanvaihdon tehokkuuden  
pienentämistä rakennuksen käyttöajan ulkopuolella. Tosin monet energiansäästön haa-  
rat ovat pitkälle kytköksissä toisiinsa, kuten yllä mainittu esimerkki ilmanvaihdon  
tehokkuuden pienentämisestä käyttöajan ulkopuolella; ilmanvaihdon ilmavirtaa pie-  
nennetään, niin ilmanvaihtokoneen puhallin tarvitsee vähemmän sähköenergiaa ilman  
puhaltamiseen. Kun ilmavirta on pienempi, niin myös ilmanvaihtokoneen jälkilämmi-  
tyspatteri tarvitsee vähemmän lämmitysenergiaa ilman lämmittämiseen.

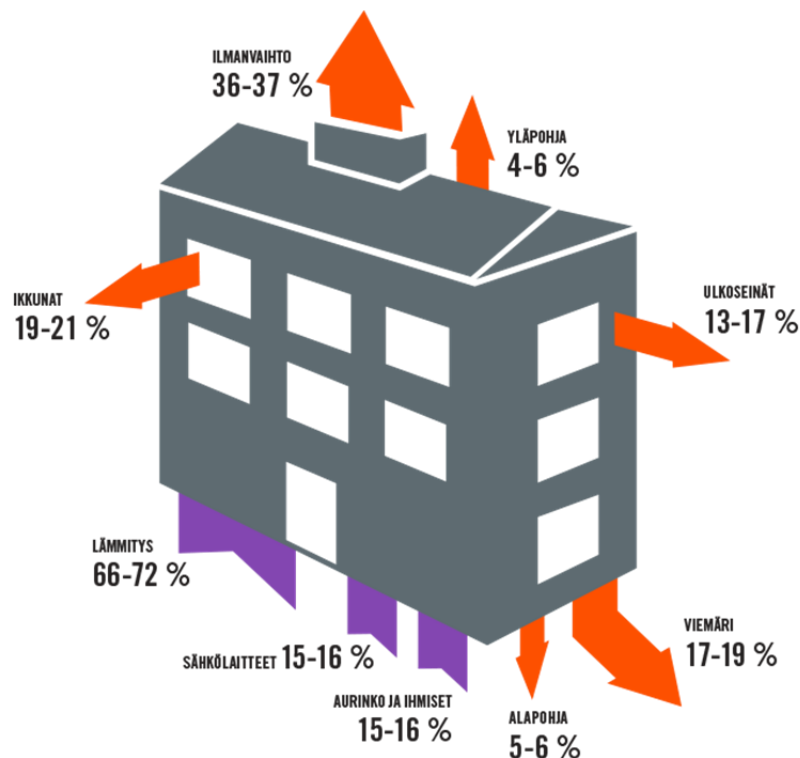
Energiansäästöön liittyy oleellisesti myös energiatehokkuus. Energiatehokkuudella  
tarkoitetaan sitä, että mitä pienemmällä energiamäärällä laite toimii, sitä energiate-  
hokkaampi se on. Tavallisissa joka kodin sähkölaitteissa, kuten televisioissa ja jääkaa-  
peissa, energiatehokkuutta määritellään aakkoskirjaimin. Paras energialuokka on A, ja  
sen jälkeiset kirjaimet ovat aina vähemmän energiatehokkaita. A-kirjaimen perään  
voidaan liittää myös plus (+)-merkkejä, jotka kertovat vielä paremmasta energiate-  
hokkuudesta. Rakennuksissa energiatehokkuutta määritellään E-luvulla. Rakennuksen  
kokonaisenergiankulutus (E-luku) on laskettava. ”E-luku on energiamuotojen kertoi-  
milla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus rakennustyyppin standar-  
dikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden. E-luku saadaan laskemalla yhteen ostoener-  
gian ja energiamuotojen kertoimien tulot energiamuodoittain. /1./” Energiamuotoker-



toimilla tarkoitetaan kerrointa, joka vastaa kutakin ostoenergiamuotoa esim. kaukolämpö tai sähköenergia. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 /1/ määrittää myös E-luvut, joita uudisrakennukset eivät saa ylittää.

## 2.1 Energian säästö LVI-alalla

Kuten koko nykypäivän infrastruktuurissakin, niin myös LVI-alalla energiansäästö on ajankohtainen aihe. Laitevalmistajien välinen kilpailu LVI-alalla on todella kovaa, ja nykypäivän yhdeksi suurimmista markkinointikeinoista alkaa nousta energiatehokkuus. Hyvänä esimerkkinä esille nostettakoon ilmalämpöpumppuvalmistajien välinen kilpailu. Eri valmistajien suurin myyntivaltti nykypäivänä mainoksista päätellen tuntuu olevan COP-arvo, joka kertoo laitteen antaman tehon sähköverkosta otettuun tehoon nähden mittaustilanteessa. Toisin sanoen COP-arvo on ns. hetkellinen arvo, kun taas SCOP-arvo kertoo koko lämmityskauden arvon. Kirjain (S), tulee englannin kielen sanasta ”Seasonal”, eli kausittainen. Paremmalla SCOP/COP-arvolla toimivaa laitetta on aina helpompi myydä kuin huonolla. Myös vuosihyötysuhteita ( $\eta_a$ ) käytetään laitevalmistajien välisessä kilpailussa paljon. Esimerkiksi lämmön talteenottolaitteen vuosihyötysuhde kertoo prosenttiluvulla (%), kuinka paljon poistoilman lämpösältöä saadaan siirrettyä tuloilmaan vuositasolla.



KUVA 2. Lämpöenergian haihtumiskanavat rakennuksesta /2/

Niin kuin energiansäästön osa-alueet yleensäkin, myös LVI-alalla ne ovat hyvin moniulotteiset, mutta päätavoitteena on aina saada tuotettua mahdollisimman paljon tehoa esimerkiksi lämmitysenergian muodossa mahdollisimman pienellä ”polttoaineen” esimerkiksi sähkön kulutuksella. Rakennuksen lämmitysenergian kulutusta voidaan vähentää esimerkiksi erilaisilla lämmön talteenottolaitteistoilla. Suurin lämmön talteenottolaitteistojen osa-alue liittyy ilmanvaihtoon, joka voi kattaa jopa 50 % rakennuksen lämpöhäviöistä. /2/. Etenkin vanhoissa rakennuksissa lämmön talteenottojärjestelmät voivat olla hyvin alkeellisia tai jopa olemattomia, joten tämä avaa huomattavia energiansäästömahdollisuuksia ilmanvaihdon ”hukkalämmön” talteenottamiselle ja hyödyksi käyttämiselle. Yleisimmin poistoilmasta talteenotetulla lämpösisällöllä esilämmitetään rakennuksen tuloilmaa, mutta toki muitakin ratkaisuja on saatavilla, kuten käyttöveden esilämmittäminen. Hieman uudempana lämmön talteenottojärjestelmänä mainittakoon jäteveden lämmön talteenotto, jossa talteen otettua lämpöä voidaan käyttää käyttöveden tai rakennuksen lämmitysjärjestelmän lämmitysveden lämmittämiseen. Viemäriin johdettavan lämpimän käyttöveden osuus rakennuksen lämpöhäviöistä voi olla jopa 30 % (Kuva 2). Tämä tekniikka on tosin vielä kohtalaisen alkeellista ja vähän käytettyä, mutta tulevaisuudessa myös tällä lämmön talteenoton muodolla on potentiaaliset kasvu- ja kehittymismahdollisuudet.

Rakennuksen muita suurempia lämpöhäviön kohteita ovat mm. ikkunat ja ovet, joiden lämpöhäviöiden osuus voi kattaa pitkälle yli 20 % rakennuksen kokonaislämpöhäviöistä. Myös ulkoseinistä (~15 %) ja yläpohjasta (~5 %) johtuu rakennuksen lämpöenergiaa pois (Kuva 2). Nousevana trendinä mainittakoon myös joko käyttöveden tai lämmitysjärjestelmän lämmitysveden lämmittäminen erilaisin menetelmin. Menetelmiä voivat olla mm. aurinkokeräimet, joilla saadaan tuotettua lämmitysenergiaa. Lämmitykseen käytettävää sähköenergiaa saadaan tuotettua esimerkiksi rakennuskohteisella tuulivoimalla. Myös nämä tekniikat ovat vielä kohtalaisen vähän käytettyjä, mutta luultavasti tulevaisuudessa kyseisten järjestelmien asentamisten määrä kasvaa etenkin uudisrakentamisessa. Tekniikan kehittymisestä kertoo esimerkiksi se, että aurinkokeräimien hinnat ovat laskeneet viimevuosien aikana.

Vuonna 2013 korjausrakentamisen määrä ylitti Suomessa uudisrakentamisen määrän. Tämä osoittaa sen, että etenkin saneerauskohteisiin suunnitellut energiansäästöratkai-

sut tulevat olemaan tulevaisuudessa tärkeässä osassa LVI-alalla energiansäästämisesä.

### 3 LÄMMÖN TALTEENOTTO

Lämmön talteenotto, eli lyhennettynä lto, tarkoittaa sitä, että jostain rakennuksesta pois puhallettavasta/pumpattavasta/johdettavasta aineesta tai kaasusta otetaan lämpösisältöä talteen erilaisten siirtimien avulla. Talteenotetulla lämmöllä lämmitetään tai esilämmitetään esim. rakennuksen ilmanvaihdon tuloilmaa, käyttövettä tai lämmitysjärjestelmän lämmitysvettä. Lämmön talteenoton pääasiallinen syy on lämmitysenergian säästö ja sitä kautta taloudellinen säästö. Erilaisia lämmön talteenottomuotoja on useita, mutta tässä raportissa keskitytään ilmanvaihtoon liittyvään lämmön talteenottoon.

#### 3.1 Lämmön talteenottoon liittyvä lainsäädäntö

Kuten rakentamista yleensäkin, myös lämmön talteenotolle on asetettu erilaisia määräyksiä ja ohjeita. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 vuodelta 2012: ”2.6.2 Rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava lämpöä talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä” /1/.

Tätä opinnäytetyötä koskevissa energiansäästölaskelmissa on huomioita myös seuraava määräys: ”Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus sisältää puhaltimien moottorien sähköenergiankulutuksen lisäksi lämmön talteenoton mahdollisten pumpujen ja moottorien sekä taajuusmuuttajien ja muiden säätölaitteiden sähköenergiankulutuksen /4/.” Tämä tarkoittaa sitä, että itse lämmön talteenottojärjestelmä ei ole koskaan täysin häviötön, vaan sähköenergiaa kuluu mm. lto-nesteen pumppaamiseen ja sitä koskevaan automatiikkaan. On myös huomioitava, että sekä tulo- että poistoilmapuolella olevat lämmönsiirtimet aiheuttavat ilmapirtaukseen painehäviötä, joka taas vaatii sekä tulo- että poistoilmapuhaltimilta enemmän tehoa, joka taas vaatii enemmän sähköenergiaa.

Opinnäytetyön kohderakennuksen lämmön talteenottojärjestelmää koskee erityisesti myös seuraava ohje: ”Rakennuksen ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaa lämpö- määrää voidaan vähentää muulla tavalla kuin poistoilman lämmön talteenotolla käytämällä esimerkiksi ulkoilman esilämmityksessä ratkaisua, joka vähentää rakennuksen energiankulutusta. Tällainen on esimerkiksi nestekiertoinen maalämmityspiirin esilämmityspatteri, jolla estetään lämmön talteenottolaitteen jäätyminen. /1./” Tuloilman esilämmittäminen maalämmityspiirin passiivilämmitys/viilennys laitteella siis suojelee kylmällä ilmalla toisessa tuloilmakoneessa (TK2) olevaa pyörivää lämmön talteenottojärjestelmää jäätymästä ja toisessa tuloilmakoneessa (TK1) Retermian neula-putkilämmönsiirrintä jäätymästä. Lämmön talteenottolaitteiden jäätyminen eston suurin hyöty on siinä, ettei niitä tarvitse pysäyttää tai niiden toimintaa rajoittaa sulatuk- sen/huurteenpoiston vuoksi.

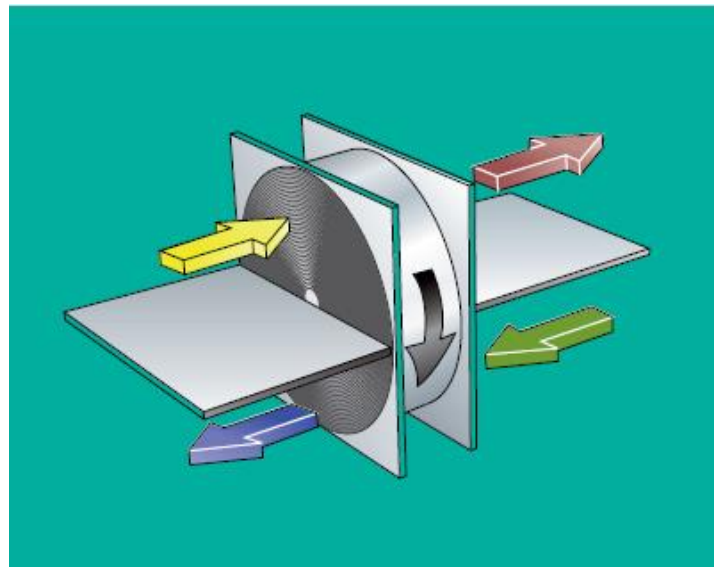
Lämmön talteenoton paloturvallisuudesta Suomen rakentamismääräyskokoelmassa mainitaan seuraavaa: ”Lämmön talteenottolaite valitaan siten, ettei se missään olosuh- teissa oleellisesti lisää palo- ja savukaasujen leviämisen vaaraa. Tällaisia laitteita ovat lämmön talteenottolaitteet, joissa lämpö siirretään tavanomaisten lämmityslaitteiden ja väliaineen, esimerkiksi veden tai glykoliliuoksen avulla. /5./”

### **3.2 Regeneratiivinen lämmön talteenotto**

Regeneratiivisella lämmönsiirtimellä tarkoitetaan pyörivää lämmön talteenottokiek- koa/kennoa. Perusideana tässä lämmön talteenottotyypissä on pyörivä kiekko, joka poistoilmapuolella varaa poistoilman lämpösisältöä itseensä ja kiekon pyöriessä taas tuloilmapuolelle se luovuttaa poistoilmapuolelta varattua lämpöä tuloilmaan. Tämä tarkoittaa myös sitä, että tulo- ja poistoilma ovat tavallaan kosketuksissa toisiinsa, joka myös mahdollistaa sen, että poistoilman epäpuhtauksia ja kosteutta voi siirtyä pienissä määrin tuloilmaan. Lämpötilaerojen ollessa suuret kosteudensiirto voi altistaa lämmön talteenottokiekon huurtumiselle/jäätymiselle. Huurtuminen/jäätyminen este- tään kiekon pyörimisnopeutta laskemalla. Tiloissa, joissa on tarkat vaatimukset si- säilman puhtaudelle, ei siis ole mahdollista käyttää kyseistä lämmön talteenottotyyp- piä kosteuden ja ilman epäpuhtauksien siirtymisen vuoksi. Pyörivän kiekon vaatimuk- sena on myös se, että sekä tulo- että poistoilmakoneen on sijaittava samassa tilassa päällekkäin. Lämmön talteenottokiekkoa pyöritetään moottoritoimisesti hihnan avulla.

Kaiken kaikkiaan regeneratiivinen lämmön talteenottojärjestelmä on hyötysuhteeltaan vertailtavista tyypeistä paras. ”Varaavien lämmönsiirtimien hyötysuhde on korkea, aina 80 % saakka” /8, s.290/.

Vastaavanlainen pyörivä lämmön talteenottokiekko on kohteen tuloilmakoneessa (TK2), kuten raportin JOHDANTO-osiossa kerrottiin.



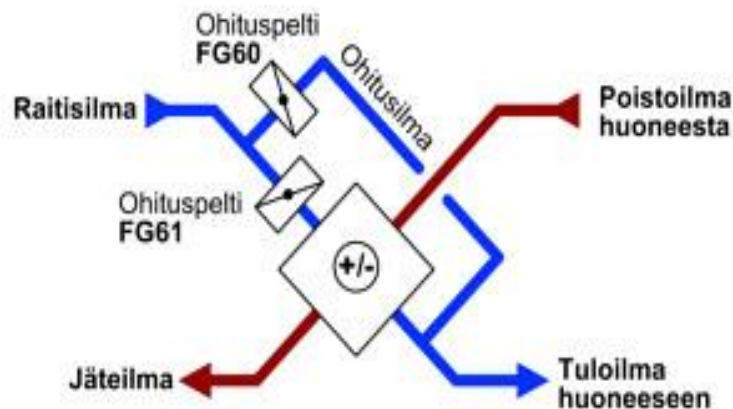
**KUVA 3. Periaatekuva regeneratiivisesta lämmön talteenottokiekosta /7/**

### 3.3 Suora rekuperatiivinen lämmön talteenotto

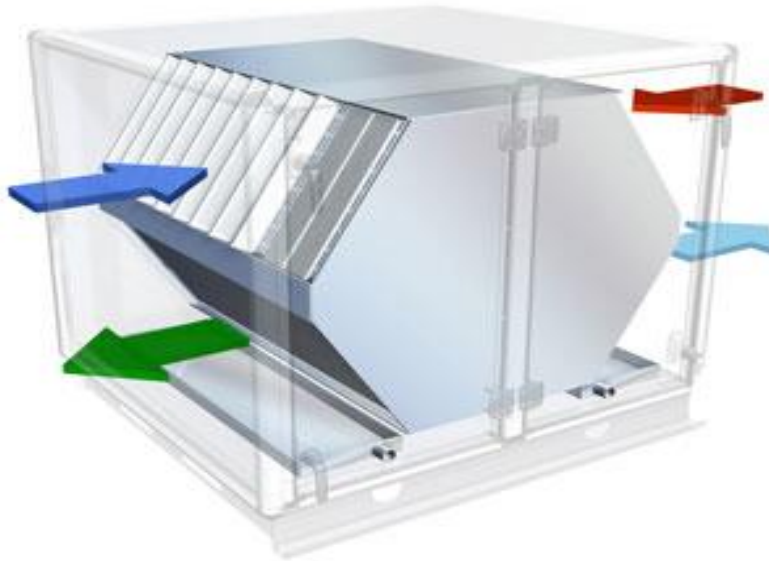
Rekuperatiiviset lämmön talteenottosiirtimet voidaan jakaa risti-, vasta- ja myötävirtasiirtimiin. Pääperiaatteena kyseisissä siirtimissä on se, että lämmitettävä tuloilma ja lämmin poistoilma eivät ole kosketuksissa toisiinsa, vaan ne ovat eroteltu toisistaan esim. alumiinilevyillä. Lämmön talteenottokennot on suunniteltu siten, että ilmavirrat kulkevat ns. ”joka toinen” -periaatteella, eli joka toisesta levyvälistä kulkee lämmintä poistoilmaa ja joka toisesta lämmitettävää ulkoilmaa. Tämä mahdollistaa mahdollisimman tehokkaan lämmönsiirtymisen. Lämmönsiirtymiseen vaikuttaa myös levyjen lämmönjohtavuus, ilman virtausnopeudet ja ilman turbulentsuus. Kuten regeneratiivisissä lämmönsiirtimissä, myös rekuperatiiviset levylämmönsiirtimet ovat alttiita huurtumiselle/jäätymiselle. Tämä johtuu siitä, että poistoilman kosteus tiivistyy lämmönsiirtimen pinnoille ulkoilman ollessa matala. Kun kosteutta on kertynyt lämmönsiirtimen pinnalle riittävästi, niin alhainen ulkolämpötila alkaa jäädyttää lämmönsiirtimen pintaan muodostunutta kosteutta, joka voi tukkia lämmön talteenottokennon.

Yleisiä jäätyminen/huurteenestomenetelmiä voivat olla esim. tuloilman esilämmittäminen ennen lämmön talteenottoa, ohituspelti, jolloin kylmä ulkoilma ei virtaa lämmön talteenottoa läpi ja lämmin poistoilma sulattaa kennon (Kuva 4) tai tuloilmapuhaltimen ajoittainen pysäyttäminen. /9, s.159./ Lämmön talteenottoa kondensoitunut vesi ohjataan kiinteistön viemäriverkostoon ilmanvaihtokoneen pohjassa olevan viemärintiliitännän kautta.

Yleisesti ottaen rekuperatiiviset lämmönsiirtimet ovat varsin toimivia ja hyvin yleisesti käytettyjä esim. pientalojen ilmanvaihtokoneissa. ”Lämpötekniisesti edullisin virtausgeometria on vastavirtaus. Myötävirtauksella ei saavuteta pienemmästä keskimääräisestä lämpötilaerosta johtuen yhtä tehokasta lämmönsiirtymistä.” /8, s. 286./ Suorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet ovat pyörivien regeneratiivisten lämmönsiirtimien jälkeen hyötysuhteeltaan parhaita. Lämpötilasuhde vaihtelee 50 - 70 % /8, s. 287/. Vuoden 2016 alusta voimaan tulleiden määräysten pohjalta rakennukset, jotka ovat muuhun kuin asumiseen tarkoitettu, on muun kuin nestekiertoisen lämmön talteenottoa lämpötilasuhteen oltava vähintään 67 %. Vuoden 2018 alusta vaatimus tiukentuu 73 % /14/. Tähän ovat luonnollisesti reagoineet myös laitevalmistajat, jotta vaatimus täytyisi laitteiden osalta.



**KUVA 4. Ristivirtalevylämmönsiirrin ohituspelleillä varustettuna /10/**

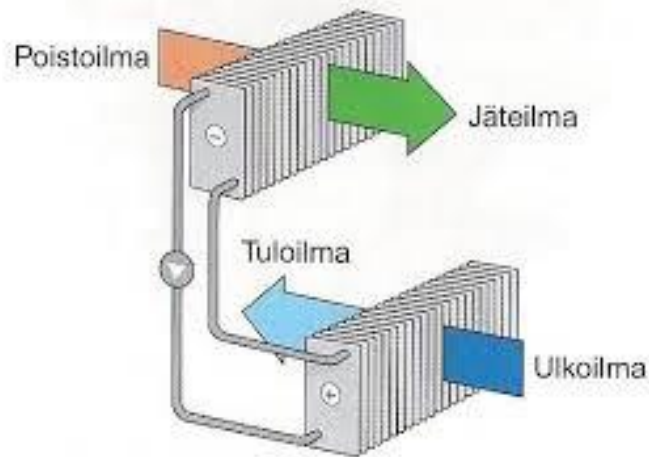


**KUVA 5. Vastavirtalevylämmönsiirrin /11/**

### **3.4 Epäsuora rekuperatiivinen lämmön talteenotto**

Epäsuoralla rekuperatiivisellä lämmön talteenotolla tarkoitetaan lämmön talteenottoa, jossa lämpösisältöä otetaan talteen nesteen välityksellä. Tyypillisesti lämmön talteenotonesteenä käytetään nesteen jäätyminen estämiseksi 30 – 40 % etyleeniglykolia /8, s. 287/. Sekä poisto- että tuloilmakoneissa on omat lämmön talteenottopatterinsa, jotka ovat toisiinsa yhteydessä putkiston välityksellä (Kuva 5). Pattereiden lämmönsiirtopinta-alana toimivat usein kupariputket ja profiloidut alumiinilamellit. Koska pattereiden lämmönsiirto tapahtuu pienillä lämpötilaeroilla, vaaditaan niiltä myös paljon lämmönsiirtopinta-alaa /9, s. 184/. Tämän lämmön talteenottomuodon huomattavimpina etuina mainittakoon, että tulo- ja poistoilmanvaihtokoneiden ei tarvitse välttämättä olla samassa tilassa, koska talteenotettua lämpösisältöä voidaan siirtää putkiston ja lämmön talteenotonesteen välityksellä paikasta toiseen. Toisena etuna mainittakoon, että lämmönsiirron tapahtuessa nesteen välityksellä ei myöskään poistoilman mahdollista kosteutta tai epäpuhtauksia siirry lämmitettävään tuloilmaan. Tämän vuoksi epäsuora rekuperatiivinen lämmön talteenottomuoto on paljon käytetty järjestelmä tiloissa, joissa on tarkat vaatimukset tuloilman puhtaudelle. Tämän lämmön talteenottomuodon lämpötilasuhde on 45 – 60 % pattereiden syvyydestä riippuen /8, s.287/. Myös tämä lämmönsiirrintyyppi on altis huurtumiselle/jäätymiselle. Käytännössä epä-

suoran rekuperatiivisen lämmön talteenottopatterin huurtuminen estetään rajoittamalla lämmönsiirtimessä kiertävän nesteen tilavuusvirtaa kolmitieventtiilillä. Poistoilma- puolen lämmönsiirtimelle tulevan lämmön talteenottonesteen lämpötilaa säädetään kolmitieventtiilillä siten, ettei sen anneta laskea esimerkiksi alle  $-5\text{ °C}$ , jolloin lämmön talteenottopatterin lamellin lämpötila ei laske alle  $0\text{ °C}$ , eikä huurretta muodostu /9, s.185/.



**KUVA 6. Nestekiertoinen lämmön talteenotto /9/**

### 3.4.1 Neulaputkilämmönsiirrin

Neulaputkilämmönsiirrin tai toiselta nimeltään neulalämmönsiirrin on yksi nestekiertoisen lämmön talteenottojärjestelmän lämmönsiirrintyyppi. Tätä lämmönsiirrin tyyppiä esitellään tarkemmin siksi, että se liittyy olennaisesti kyseiseen opinnäytetyöhön. Kyseinen neulaputkitekniikka toimii lämmönsiirtimen pääasiallisena lämpöenergiaa keräävänä materiaalina, sillä itse lämmön talteenottonestettä sisältävän putken pinnassa olevat ”neulat” lisäävät lämmönsiirtimen lämmönkeruupinta-alaa huomattavasti. Käytännössä siirtimen lämpöä talteenottava rakenne koostuu alumiininauhasta ja kupari- tai alumiiniputkesta. Kupari- tai alumiiniputkessa kiertävä lämmön talteenottoneste kerää itseensä lämpösisältöä, joka johdetaan putkistoa pitkin lämmitettävään kohteeseen. Tämä tekniikka on Retermia OY:n valmistama ja patentoima menetelmä. Näitä lämmönsiirtimiä asennetaan luonnollisesti niin tulo- kuin poistoilman yhteyteen. Neulaputkilämmönsiirtimiä on kahden mallisia; aaltomaisia sekä U:n mallisia. ”Karkeasti jaoteltuna neulalämmönsiirtimet voidaan jakaa kahteen päätyyp-



piin: aaltomallinen neulalämmönsiirrin ja U-mallinen neulalämmönsiirrin. Jaottelu viittaa neulaputkien taivutusmalliin, joka voi siis olla joko aaltomainen tai U-malli. Aaltomallisia neulaputkia käytetään rakennesosissa, esimerkiksi ilmanvaihtokoneen osana ja U-mallisia ilmanotto- ja ulospuhalluskatoksissa sekä LTO-huippuimureissa.”  
/12./

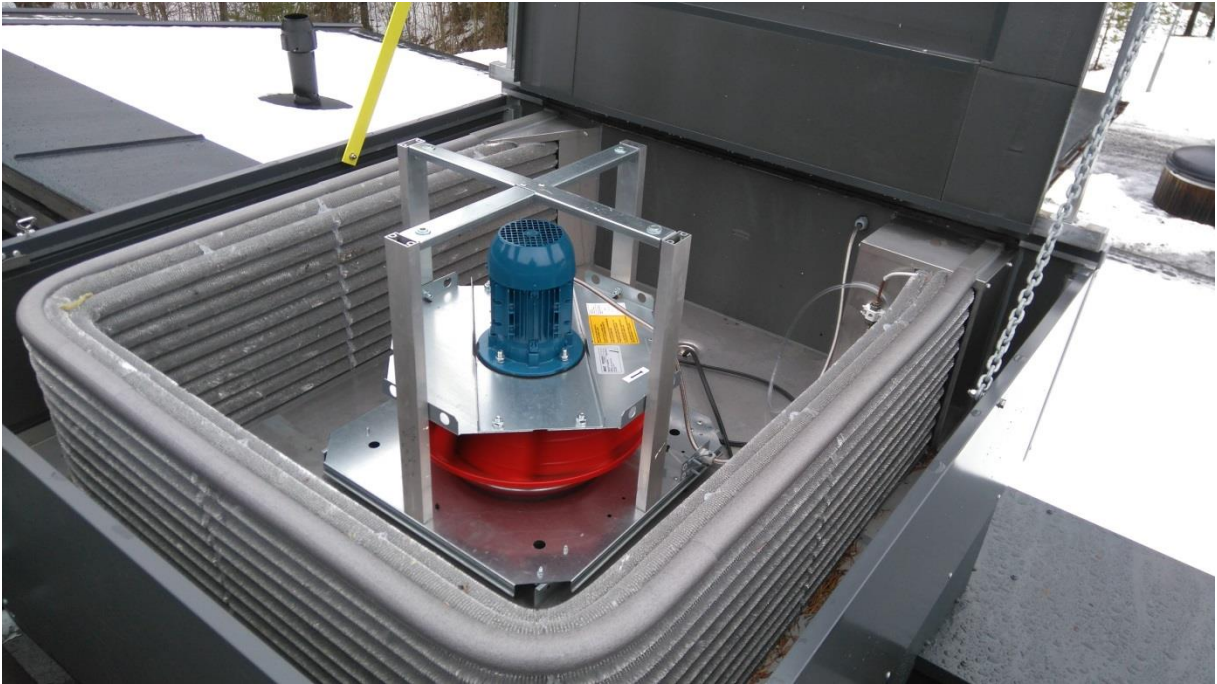
Tätä opinnäytetyötä koskevassa kohteessa on asennettu poistoilman yhteyteen ns. LTOH, eli huippuimuri, joka on varustettu U:n mallisella neulaputkilämmönsiirtimellä. Talteenotettu lämpö johdetaan nesteen välityksellä putkistoa pitkin tuloilmakoneen (TK1) tuloilman lämmittämiseen, jossa on taas aaltomallinen neulaputkilämmönsiirrin.

Kuvassa 7 on TK1-tuloilmakoneessa oleva neulaputkilämmönsiirrin. Siirtimeen tulevat liuosputket on johdettu poistoilman lämmönsiirtimeltä kyseiselle lämmönsiirtimelle. Neulaputkilämmönsiirtimestä vasemmalla on kondenssieristetty supistusosa, jonka jälkeen moottorilla ohjattava sulkupelti.



**KUVA 7. Tuloilmakoneessa (TK1) oleva neulaputkilämmönsiirrin**

Alla olevassa kuvassa (Kuva 8) on poistoilman yhteydessä oleva U:n mallinen neulaputkilämmönsiirrin. Lämmönsiirtimen keskellä on poistoilman huippuimuri, joka puhaltaa lämmintä poistoilmaa lämmönkeruupinnan läpi.



**KUVA 8. Poistoilman LTOH U:n mallisella neulaputkilämmönsiirtimellä**

#### **4 KOHTEEN ESITTELY**

Tämän opinnäytetyön kohteena toimii Mikkelin Tuomiokirkkoseurakunnan omistama, Mikkelin Otavassa sijaitseva Susiniemen leirikeskus. Leirikeskus on valmistunut ja otettu käyttöön vuonna 2004. Susiniemen leirikeskus käsittää päärakennuksen, rantasaunan, kodan ja pyöröhirsisen saunamajan. Opinnäytetyö itsessään keskittyy pelkästään päärakennuksessa tehtyihin muutostöihin. Pääasiassa leirikeskuksen toiminta painottuu erilaisiin Mikkelin Tuomiokirkkoseurakunnan järjestämiin tapahtumiin kuten rippileireihin ja nuortenleireihin. Seurakunnan järjestämien leirien ja tapahtumien lisäksi Susiniemen leirikeskus soveltuu hyvin myös erilaisten yritysten kokous-, koulutus- ja virkistyspäivien viettoon.

Päärakennuksessa on majoitustilaa 64 henkilölle sekä kolme kokoustilaa, jotka voidaan yhdistää. Leirikeskuksen toiminnassa pyritään kiinnittämään erityistä huomiota kestäväan kehitykseen ja ympäristöasioihin. Tästä esimerkkinä se, että Susiniemen leirikeskus on ensimmäisenä Mikkelin alueella päässyt portaalle 4, ”Portaat luomuun” -ohjelmassa /13/.

#### **4.1 Kohteen vanha lämmitysjärjestelmä**

Susiniemen leirikeskuksen aikaisempi lämmitysjärjestelmän lämmönlähde oli kokonaan järjestetty öljylämmityksellä. Öljylämmitys oli ollut koko leirikeskuksen alkupe-  
räinen lämmitysmuoto vuodesta 2004 alkaen. Tämä on ollut todennäköisesti leirikes-  
kuksen rakentamisajankohtaan nähden toimintavarmin ja edullisimmista päästä oleva  
ratkaisu, sillä mm. kaukolämpöön ei kyseisellä alueella ole ollut mahdollisuutta. Öljy-  
lämmityksen lämpökeskus/lämmönjakohuone sijaitsi erillisenä rakennuksena leirikes-  
kuksen vieressä, josta lämmitetty käyttövesi sekä lämmitysjärjestelmän kiertovesi  
johdettiin maanalaisilla putkistoilla rakennuksiin. Lämmitysjärjestelmä käsitti niin  
vesikiertoiset lämmitysradiaattorit kuin ilmanvaihdon lämmityspatteritkin. Myös ky-  
seisessä lämmönjakohuoneessa lämmitetty käyttövesi kattoi koko leirikeskuksen läm-  
pimän veden tarpeen.

#### **4.2 Kohteen saneeraus vuonna 2015**

Susiniemen leirikeskuksen saneeraustyöt alkoivat kesällä 2015. Merkittävin tehty  
muutostyö oli lämmitysjärjestelmän lämmönlähteen muuttaminen öljylämmityksestä  
maalämpöön. Kohteeseen porattiin yhteensä 16 maalämpökaivoa, eri puolille leirikes-  
kuksen tonttia. Nykyinen maalämpöjärjestelmä käsittää niin lämmitysjärjestelmän  
kiertoveden, ilmanvaihdon jälkilämmityspattereiden kuin käyttöveden lämmittämisen.  
Lisäksi maalämpöön liittyen tuloilmakoneiden raitisilmareittiin asennettiin passiivinen  
lämmitys/viilennyspatteri, jota käytetään tuloilman esilämmittämiseen tai viilentämi-  
seen ulkolämpötilasta riippuen.

Päärakennuksen ilmanvaihtoon liittyen tehtiin myös saneeraustyötä. Päärakennuksen  
tuloilmavirroista vastaa kaksi tuloilmakonetta; TK1 ja TK2. TK1 vastaa keittiön tu-  
loilmasta ja TK2 vastaa luokkatilan, kappelin ja ruokalan tuloilmasta. Kummallakin  
tuloilmakoneella on sama raitisilmareitti, johon saneerauksen yhteydessä asennettiin  
maalämpöön liitetty passiivi lämmitys/viilennyspatteri. Passiivisella läm-  
mitys/viilennyspatterilla tarkoitetaan sitä, että porakaivon maaliuoksen ollessa lämpi-  
mämpää kuin ulkoilma, käytetään kyseistä patteria tuloilman esilämmitykseen, kun  
taas maaliuoksen ollessa viileämpää kuin ulkoilma käytetään sitä tuloilman viilentä-  
miseen, mikäli siihen on tarvetta. Tuloilman viilennystarvetta esiintyy esimerkiksi

kovilla helteillä. TK2:n päällä on poistoilmakone, joka vastaa samojen tilojen poistoilmanvaihdoista kuin kyseinen tuloilmakonekin. Kyseisessä ilmanvaihtokoneessa oli alkuperäisenä lämmön talteenottolaitteena pyörivä regeneratiivinen lämmönsiirrin, joten tuloilmakonetta (TK2) koskien saneerauksen yhteydessä ei ollut muita toimenpiteitä kuin passiivi lämmitys/viilennyspatterin asennus.

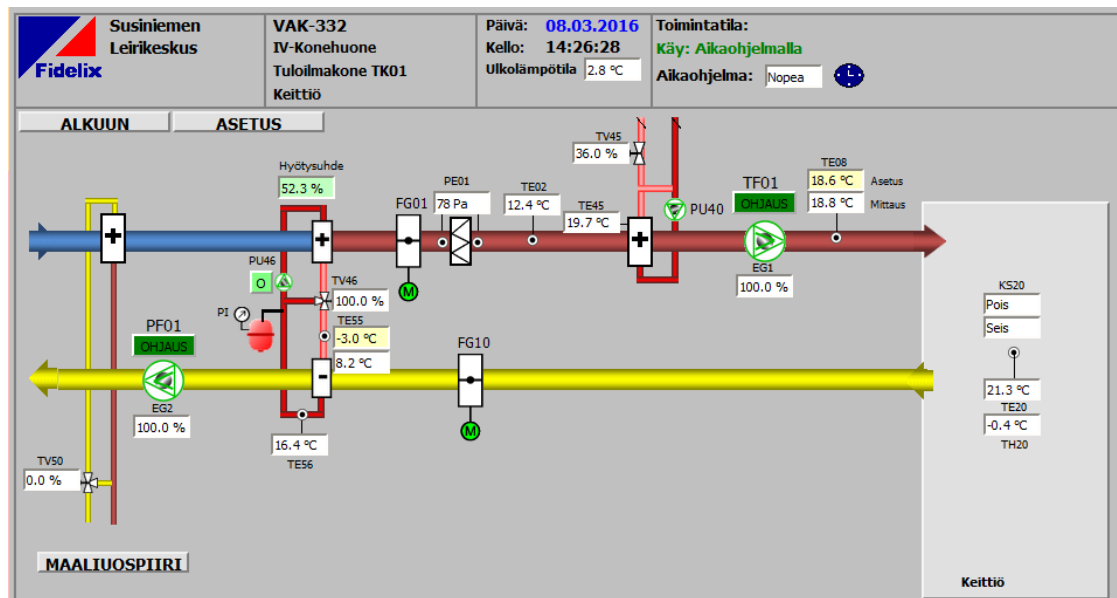
TK1:n yhteyteen asennettiin passiivisen lämmitys/viilennyspatterin lisäksi poistoilman lämmön talteenottolaitteeseen liittyvä nestekiertoinen Retermian neulaputkilämmönsiirrin. Lämmön talteenottolaitteiston toinen lämmönsiirrin sijaitsee siis TK1:n yhteydessä ja toinen lämmönsiirrin sijaitsee keittiötilojen poistoilman huippumurinin yhteydessä. Poistoilmasta talteenotettua lämpösisältöä otetaan talteen lämmön talteenotonesteeseen ja johdetaan putkistoa pitkin tuloilman lämmönsiirtimelle tuloilman esilämmittämistä varten. TK1:ssä ei ennen neulaputkilämmönsiirtimen asennusta ollut minkäänlaista lämmön talteenottolaitetta.

## 5 MITTAUKSET

### 5.1 Yleistä kohteen mittauksista

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää poistoilman lämmön talteenottolaitteiston tuottama energiansäästö. Energiansäästön selvittämiseksi kohteessa suoritettiin mittauksia, joiden pohjalta energiansäästölaskelmat tehtiin. Mittauksiin kuului sekä tulo- että poistoilman lämpötilojen seuranta/mittausjakso, jonka tulosten avulla poistoilman lämmön talteenottolaitteistolle laskettiin kuukausittainen keskimääräinen teho. Mitattujen lämpötilojen arvot tallennettiin ilmanvaihtojärjestelmän valvonta alakeskukseen, eli VAK:iin (Kuva 9), josta lämpötilatiedot otettiin energiansäästön laskentaa varten. Lämpötilojen seurantajakson ulkopuolisina lämpötiloina käytettiin ilmatieteenlaitoksen ilmoittamia Jyväskylän kuukauden keskimääräisiä ilmanlämpötiloja /15/. Energiansäästön laskentaan tarvittiin myös sekä tulo- että poistoilmakoneiden ilmojen tilavuusvirrat, eli  $q_v:t$  ( $m^3/s$ ). Sekä tulo- että poistoilmavirrat ovat säädetty siten, että 18 h tuntia vuorokaudessa ne ovat täydellä teholla ja yöaikaan 6 h puolella teholla. Tämä on yleinen käytäntö kohteissa, joissa ei ole toimintaa yöaikaan. Energiansäästölaskelmat suoritettiin Microsoft Exceliin luodulla laskentapohjalla. Saaduista

energiansäästö määristä vähennettiin itse lämmön talteenottojärjestelmän liuospumpun käyttämä sähköenergiämäärä ja sekä tulo- että poistoilmakoneissa olevien lämmön siirtimien ilman painehäviöistä aiheutuva puhaltimien lisätehontarve. Lopullista vuotuista energiansäästöä verrattiin maalämpöpumpun SCOP-arvoon, jonka kautta talteenotettua energiamäärää voitiin verrata sähköenergiaan, jonka seurauksena voitiin määrittää lämmön talteenottolaitteen takaisinmaksuaika.



**KUVA 9. TK1:den toimintakaavio VAK:issa**

## 5.2 Ilmanvaihtojärjestelmän ilmanlämpötilojen mittaus

Energiansäästön laskennassa oleellisessa osassa on ilman lämpötilojen mittaus laitteiston eri osissa. Näiden mittaustulosten perusteella lämmön talteenottolaitteistolle on mahdollista laskea keskimääräinen kuukausittainen teho, jonka avulla voidaan määrittää kunkin kuukauden talteenotettu energiamäärä. Tässä opinnäytetyössä tuloilmakoneen ilman lämpötilojen mittauskohteina oli ulkolämpötila, lämpötila passiivisen esilämmitys/viilennyspatterin jälkeen, lämpötila lämmön talteenottosiirtimen jälkeen ja sisäänpuhalluslämpötila. Nämä mittaukset suoritettiin tuloilmakoneeseen asennetuilla Produal TEK NTC 10 (Kuva 10) -lämpötila-antureilla, joista mitattu lämpötila-arvo tallentui VAK:in järjestelmään. Poistoilmakoneeseen liittyen mitattiin poistoilman lämpötilaa ennen poistoilman lämmönsiirintä.



**KUVA 10. ProDual TEK NTC 10 lämpötila-anturi /16/**

### 5.3 Ilmavirtojen mittaus

Energiansäästön laskentaan ilman lämpötilojen lisäksi tarvitaan myös ilmanvaihtokoneiden ilman tilavuusvirrat eli  $q_v:t$  ( $m^3/s$ ). Tarkasteltavan lämmön talteenottolaitteistoon liittyvä tuloilmakoneen TK1 ja keittiön poistoilmahuippuimurin ilmavirrat. Nämä puhaltimet ovat taajuusmuuntajalla ohjattavia ja niiden ilmavirrat on säädetty vakioksi siten, että 18 h (06.00 - 24.00) päivässä ne käyvät täydellä teholla (100 %) ja 6 h (00.00 - 06.00) puolella teholla (50 %). Täydellä teholla poistoilmavirta on  $1000 \text{ dm}^3/s$  ja puolella teholla  $500 \text{ dm}^3/s$ . Tuloilmavirta taas on täydellä teholla  $990 \text{ dm}^3/s$  ja puolella teholla  $495 \text{ dm}^3/s$ . Ilmavirtojen suuruudet ovat otettu kohteen ilmanvaihdon mitoitustiedoista. Rakennuksen ilmanvaihto on suunniteltu siis siten, että se on hieman alipaineinen, jolloin sisäilman kosteus ei siirry rakenteisiin. Ilmanvaihdon tehokkuuden laskeminen yöajaksi on yleinen tapa tiloissa, joissa ei ole käyttöä yöaikaan.

## 6 ENERGIANSÄÄSTÖN LASKENTA

Tämän opinnäytetyön päällimmäinen tarkoitus oli tutkittavan lämmön talteenottolaitteen tuottaman energiansäästön laskenta. Lopullisiin lämmön talteenottolaitteiston energiansäästölukemiin päästiin erilaisten laskentakaavojen kautta, jotka tässä kappalessa esitetään loogisessa järjestyksessä. Laskelmissa käytetyt suureet pohjautuvat

mittausjaksolta saatuihin mittaustietoihin, jotka ovat tallentuneet VAK:in muistiin tai ilmanvaihtojärjestelmään asetettuihin vakioarvoihin. Koska opinnäytetyön tarkoituksena oli arvioida lämmön talteenottolaitteen vuotuinen energiansäästö, mittausjakson ulkopuolisina ulkolämpötilan arvoina käytettiin kuukausittaisia keskilämpötiloja. Laskentakaavoihin liittyi myös fysiikkaan liittyviä vakioarvoja, kuten ilman tiheys ja ominaislämpökapasiteetti. Energiansäästölaskennan tuloksia verrattiin maalämpöpumpun SCOP-arvoon, joka määrittellään järjestelmän lämmitysveden menovirtauslämpötilan ja maalämpöliuoksen tulolämpötilan mukaan. SCOP-arvo kertoo, kuinka paljon energiaa maalämpöjärjestelmällä saadaan tuotettua sähköverkosta otettuun sähköenergiaan nähden. Tämän kautta päästiin opinnäytetyön taloudellisen laskennan pariin ja lämmön talteenottolaitteiston takaisinmaksuajan määrittämiseen.

## 6.1 Ulkolämpötilojen mittaus ja vuotuiset keskilämpötilat

Energiansäästön laskentaan liittyy olennaisesti ulkoilman keskimääräiset kuukausittaiset lämpötilat sekä mittausjakson aikana VAK:iin tallennetut ulkoilman lämpötilat. Tämän opinnäytetyön vuotuisen energiansäästön laskennassa VAK:iin tallennettua lämpötiladataa käytettiin 9.3.2016 - 23.3.2016 väliseltä ajalta ja loppuvuoden lämpötila-arvoina käytettiin ilmatieteenlaitoksen ilmoittamia Jyväskylän lentoaseman mittauspisteen vuoden 2015 keskimääräisiä kuukausittaisia ulkolämpötila-arvoja. Jyväskylän ulkolämpötilatietoja käytettiin siksi, koska se on ilmatieteenlaitoksen lähin mittauspiste josta on saatavilla kuukausittaiset ulkoilman keskilämpötilat. Kohtalaisen lyhyen etäisyyden vuoksi (~120 km) näitä lämpötilatietoja voidaan pitää luotettavina sekä riittävän tarkkoina energiansäästön laskennassa.

VAK:iin tallentuu ulkoilmanlämpötila ( $T_u$ ), ilman lämpötila esilämmityspatterin jälkeen ( $T_{telp}$ ), ilman lämpötila poistoilman lämmön talteenottolaitteen jälkeen ( $T_{lto}$ ), sisäänpuhallusilmanlämpötila ( $T_{sp}$ ) sekä poistoilman lämpötila-arvo ( $T_s$ ) kahden tunnin välein, eli 12 lämpötila-arvoa vuorokautta kohden. Näistä lämpötiloista lasketaan erikseen joka tunnille lämmön talteenottolaitteella talteenotettu teho ja tuntikohtainen energiansäästö. Mitattujen arvojen sekä ilmatieteenlaitoksen ilmoittamien kuukausittaisten keskilämpötilojen pohjalta lasketut arvot lämmön talteenottolaitteiston tehosta sekä energiansäästöstä lasketaan yhteen.

Taulukossa 1 Ilmatieteenlaitoksen ilmoittamat kuukausittaiset ulkoilman keskilämpötilat Jyväskylässä /15/.

**TAULUKKO 1. Kuukausittaiset ulkoilman keskilämpötilat Jyväskylässä**

Kuukausi	Ulkoilman keskilämpötila °C
Tammikuu	-14,7
Helmikuu	-2,6
Maaliskuu	-0,4
Huhtikuu	3,4
Toukokuu	8,7
Kesäkuu	12,2
Heinäkuu	14,7
Elokuu	15,6
Syyskuu	10,9
Lokakuu	4
Marraskuu	2,7
Joulukuu	0,1

## 6.2 Esilämmityspatterin teho

Kohteen kahden ilmanvaihtokoneen (TK1 & TK2) raitisilmakanavaan asennettiin saaneeraustyön yhteydessä Retermian passiivinen esilämmitys/viilennyspatteri eli ELP. Tämän opinnäytetyön laskelmissa keskitytään vain passiivisen esilämmitysviilennyspatterin lämmitystehoon, joten siitä käytetään termiä esilämmityspatteri. Passiivinen esilämmitys/jäähdytyspatteri tarkoittaa käytännössä sitä, että maalämmön porakaivon maaliuoksen ollessa lämpimämpää kuin ulkoilma se esilämmittää ilmanvaihdon tuloilmaa. Maaliuoksen mitoituslämpötilana käytetään suunnittelijan ilmoittamaa +3 °C, joten keskimääräisiä kuukausittaisia ulkolämpötiloja tarkastellessa voidaan todeta, että tuloilman esilämmittäminen on mahdollista käytännössä tammi-, helmi-, maaliskuu- ja joulukuussa. Tuloilman esilämmittämisen suurimpana hyötynä on se, että kovimmilla pakkasilla, esimerkiksi ulkoilman mitoittavalla lämpötilalla -29 °C tuloilma saadaan esilämmitettyä jopa -5 °C:een, jolloin esilämmityspatterin jälkeisten tuloilmakoneiden (TK1 & TK2) lämmön talteenottolaitteet voivat käydä täydellä teholla ilman että niitä pitäisi huurtumiseneston vuoksi pysäyttää tai niiden käyntiä rajoittaa /12/. Maalämmön porakaivon maaliuoksen ollessa viileämpää kuin ulkoilma se esiviilentää ilmanvaihdon tuloilmaa, mikäli siihen on tarvetta. Käytännössä viilennystarvetta on vain silloin, kun ulkoilma on lämpimämpää kuin ilmanvaihdon suunniteltu



sisäänpuhallusilman lämpötila. Tässä tapauksessa tuloilman sisäänpuhalluslämpötila eli  $T_{sp}$  on  $+19^{\circ}\text{C}$ .

Kyseisen esilämmityspatterin teho on otettava poistoilman lämmön talteenottopatterin energiansäästön laskennassa huomioon siksi, että se lämmittää tuloilmaa, ennen kuin se johdetaan tuloilmakoneen (TK1:n) poistoilman lämmön talteenottopatterille. Esilämmityspatterilla esilämmitetty ilma luonnollisesti vähentää poistoilman lämmön talteenottolaitteen tehoa, koska lämpötilaero eli  $\Delta_t$  pienenee. Esilämmityspatterin tehon laskennassa sille määritetään aluksi lämpötilasuhde mitoituslämpötilojen mukaan.

Esilämmityspatterin vuotuinen lämpötilasuhde lasketaan kaavalla 1.

$$\eta_t = \frac{T_{telp} - T_u}{T_{ml} - T_u} \quad (1)$$

Kaavassa 1

$\eta_t$  = Esilämmityspatterin lämpötilasuhde

$T_{telp}$  = Tuloilman lämpötila esilämmityspatterin jälkeen,  $^{\circ}\text{C}$  ( $-9^{\circ}\text{C}$ )

$T_u$  = Mitoittava ulkolämpötila,  $^{\circ}\text{C}$  ( $-29^{\circ}\text{C}$ )

$T_{ml}$  = Tulevan maaliuoksen lämpötila,  $^{\circ}\text{C}$  ( $+3^{\circ}\text{C}$ )

Esilämmityspatterin lämpötilasuhteen laskennassa käytettiin laitevalmistajan ilmoittamia yllä olevia mitoittavia ilmanlämpötiloja, joiden pohjalta esilämmityspatterin lämpötilasuhteeksi saatiin 62,5 %.

Tätä lämpötilasuhdetta tarvittiin esilämmityspatterin kuukausittaisen keskimääräisen tehon laskentaan, joka saadaan kaavalla 2.

$$\phi_{elp} = \eta_t * t_v * t_d * q_v * \rho * C_p * \Delta t \quad (2)$$

Kaavassa 2

$\phi_{elp}$  = Esilämmityspatterin keskimääräinen kuukausittainen teho (kW)

$\eta_t$  = Esilämmityspatterin lämpötilasuhde

$t_v$  = Ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhde (vrk/7vrk)

$t_d$  = Ilmanvaihtokoneen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24h)

$q_v$  = Tuloilman tilavuusvirta ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$\rho$  = Ilman tiheys ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$C_p$  = Ilman ominaislämpökapasiteetti ( $\text{kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$ )

$\Delta_t$  = Ulkoilman ( $T_u$ ) ja esilämmityspatterin jälkeisen ilman välinen lämpötilaero ( $T_{telp}$ ) ( $^\circ\text{C}$ )

Ulkoilman lämpötilana käytettiin kuukausittaisia keskilämpötiloja ja esilämmityspatterin jälkeisen ilman lämpötiloina, eli ( $T_{telp}$ ) käytettiin lämpötiloja, jotka vastasivat mittausjaksolta saatuja vastaavia tuloksia. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että ulkoilman ollessa esimerkiksi helmikuun keskilämpötilaa vastaava  $-2,6$   $^\circ\text{C}$ , niin  $T_{telp:n}$  arvona käytettiin samoja hetkiä vastaavia VAK:iin tallentuneiden  $T_{telp:n}$  keskiarvoa. Ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhte  $t_v$  on 1, sillä ilmanvaihtokone käy viikon jokaisena päivänä. Vuorokautinen käyntiaikasuhte  $t_d$  on 0,75 ilmanvaihdon ollessa täydellä teholla (100 %) ja 0,25 ollessa puolella teholla (50 %). Tuloilmavirta raitisilmakanavassa täydellä teholla (100 %) on  $2,85$   $\text{m}^3/\text{s}$  ja puolella teholla (50 %)  $1,425$   $\text{m}^3/\text{s}$ , ilman tiheys on  $1,2$   $\text{kg}/\text{m}^3$  ja ilman ominaislämpökapasiteetti on  $1$   $\text{kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$ . Taulukossa 2 on esitetty ulkolämpötiloja vastaavat esilämmityspatterin jälkeisen ilman lämpötilojen ( $T_{telp}$ ) keskiarvot ilmanvaihdon tehostusten mukaan.

## TAULUKKO 2. $T_{telp:n}$ keskiarvot ulkolämpötilojen ja ilmanvaihdon tehostusten mukaan

$T_{telp:n}$ keskimääräiset lämpötilat ulkolämpötilojen $T_u:n$ mukaan							
	100% Ilmavirta			50% Ilmavirta			
Kuukausi	Keskilämpötila ( $^\circ\text{C}$ )	$T_u$ ( $^\circ\text{C}$ )	$T_{telp}$ ( $^\circ\text{C}$ )	Keskilämpötila ( $^\circ\text{C}$ )	$T_u$ ( $^\circ\text{C}$ )	$T_{telp}$ ( $^\circ\text{C}$ )	
Tammikuu	-14,7	-14,7	-3,6	-14,7	-14,7	-4,6	
	Keskiarvo	-14,7	-3,6	Keskiarvo	-14,7	-4,6	
Helmikuu	-2,6	-2,8	-0,2	-2,6	-2,8	1,1	
		-2,7	-0,2		-2,3	0,2	
		-2,5	0,2				
	Keskiarvo	-2,7	-0,1	Keskiarvo	-2,6	0,7	
Maaliskuu	-0,4	-0,3	1,0	-0,4	-0,4	1,2	
		-0,4	1,1		-0,7	1,5	
		-0,6	1,4		-0,1	2,1	
	Keskiarvo	-0,4	1,2	Keskiarvo	-0,4	1,6	
Joulukuu	0,1	0,1	1,5	0,1	-0,1	2,1	
		0,1	1,0		0,1	2,8	
		0,1	1,7		0,1	2,8	
	Keskiarvo	0,1	1,4	Keskiarvo	0,0	2,6	

Esilämmityspatterin teho on laskettu 9.3. - 23.3.2016 väliseltä ajalta VAK:iin tallentuneiden ulkoilmanlämpötilan mittaustulosten pohjalta ja loppukuukauden sekä esilämmityspatterin muiden lämmityskuukausien tehot on laskettu keskimääräisillä kuukausittaisilla ulkoilmanlämpötiloilla.

Taulukossa 3 on esitetty esilämmityspatterin kuukausittaiset keskimääräiset lämmitystekhot.

### TAULUKKO 3. Esilämmityspatterin kuukausittaiset keskimääräiset lämmitystekhot (kW)

ELP:n kuukausittaiset keskimääräiset lämmitystekhot (kW)					
Täysi ilmavirta (100%)			Puolitettu ilmavirta (50%)		
Kuukausi	Ulkoilman keskilämpötila (°C)	$\phi_{elp}$ ELP:n keskim.(kk) teho (kW)	Kuukausi	Ulkoilman keskilämpötila (°C)	$\phi_{elp}$ ELP:n keskim.(kk) teho (kW)
Tammikuu	-14,7	17,9	Tammikuu	-14,7	2,7
Helmikuu	-2,6	4,2	Helmikuu	-2,6	0,9
Maaliskuu	-0,4	2,6	Maaliskuu	-0,4	0,5
Huhtikuu	3,4	-	Huhtikuu	3,4	-
Toukokuu	8,7	-	Toukokuu	8,7	-
Kesäkuu	12,2	-	Kesäkuu	12,2	-
Heinäkuu	14,7	-	Heinäkuu	14,7	-
Elokuu	15,6	-	Elokuu	15,6	-
Syyskuu	10,9	-	Syyskuu	10,9	-
Lokakuu	4	-	Lokakuu	4	-
Marraskuu	2,7	-	Marraskuu	2,7	-
Joulukuu	0,1	2,1	Joulukuu	0,1	0,7

Taulukosta 3. voidaan selkeästi todeta, että ulkoilman lämpötilan ollessa n. +3 °C tai yli, esilämmityspatterilla ei ole esilämmitystekhoa. Tällöin myös  $T_{telp}$  on yhtä suuri ulkoilman  $T_u$ :n kanssa.

#### 6.2.1 Esilämmityspatterin teho mittausjakson aikana

Passiivisen esilämmityspatterin teho laskettiin mittausjakson ajalta pitkälle samalla tavalla kuin kuukausittaisilla keskilämpötiloilla. Mittausjakson aikana VAK:iin tallentui lämpötila-arvot kahden (2) tunnin välein ulkoilmanlämpötilasta ( $T_u$ ) ja esilämmityspatterin jälkeisestä ilmanlämpötilasta ( $T_{telp}$ ), joiden erotusta myös käytettiin laskelmissa lämpötilaero  $\Delta_t$ :n arvona. Esilämmityspatterille laskettiin siis hetkellinen

teho kahden tunnin välein, kun taas ulkoilman kuukausittaisia keskilämpötiloja käytettäessä keskimääräinen teho on laskettu kuukausitasolla. Merkille laitettavaa näissä tuloksissa oli se, että välillä maaliuos oli viileämpää kuin ulkoilma, jolloin tuloilmaa viilennettiin turhaan ennen sen lämmittämistä. Tällöin automatiikan tulisi katkaista maaliuoksen kierrättäminen esilämmityspatterissa, mutta näin ei tapahtunut. Tämä tarkoittaa luonnollisesti myös sitä, että tällöin esilämmityspatterin lämmitysteho on negatiivinen.

Esilämmityspatterin teholle laskettiin keskiarvo mittausjakson tulosten pohjalta. Laskettujen tehojen keskiarvoksi saatiin 1,44kW. Esilämmityspatterin tehoa luonnollisesti laskee se, että välillä maaliuos oli viileämpää kuin ulkoilma, jolloin myös tehon arvo oli negatiivinen. Mikäli automatiikka olisi sulkenut maaliuoksen kierron sen ollessa ulkoilmaa viileämpää, esilämmityspatterin tehon keskiarvo olisi ollut 2,23kW, mikä on hyvin lähellä kuukauden keskilämpötilalla laskettua arvoa.

### **6.3 Lämmön talteenottolaitteella talteen otettu teho**

Poistoilman lämmön talteenottolaitteen tehonlaskenta etenee pitkälle samalla tavalla kuin esilämmityspatterinkin. Aluksi lämmön talteenottolaitteelle lasketaan kuukausittainen keskimääräinen teho, jonka jälkeen sille saadaan määritettyä laitteen jälkeinen ilman lämpötila. Lämpötilaerolla, joka on ennen ja jälkeen lämmön talteenottolaitteen saadaan laskettua kuukausittainen talteenotettu energiamäärä kilowattitunneissa (kWh). Erona esilämmityspatterin laskelmiin verrattuna on se, että tuloilmavirta on poistoilman lämmön talteenottoa laskettaessa täydellä teholla 0,99 m<sup>3</sup>/s ja puolella teholla 0,495 m<sup>3</sup>/s aikaisemman 2,85 m<sup>3</sup>/s ja 1,425 m<sup>3</sup>/s sijaan. Poistoilmavirta on taas täydellä teholla 1 m<sup>3</sup>/s ja 0,5 m<sup>3</sup>/s puolella teholla. Tämä johtuu siitä, että esilämmityspatteri palveli tilan kumpaakin tuloilmakonetta (TK1 & TK2), kun taas poistoilman lämmön talteenotto laite palvelee vain TK1:tä.

Energiansäästöä selvitettäessä lämmön talteenottolaitteelle on laskettava kuukausittainen keskimääräinen talteenotettu teho. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, kuinka suurella teholla lämmön talteenotto laite pystyy ottamaan poistoilman lämpösisältöä talteen. Teho ilmoitetaan yksikössä kW eli kilowattia. Lämmön talteenottolaitteen tehoon vaikuttaa poistoilmavirran suuruus, eli poistoilmahuippuimurin käyntiajan te-

hostus, joka on 18 h vuorokaudesta täydellä teholla (100 %, 1 m<sup>3</sup>/s) ja 6 h vuorokaudesta puolella teholla (50 %, 0,5 m<sup>3</sup>/s). Lisäksi lämmön talteenottolaitteen tehon laskentaan tarvitaan itse laitteen lämpötilasuhte (η<sub>t</sub>). Kyseiselle laitteelle laitevalmistaja on määrittänyt lämpötilasuhteeksi 49,4 % mitoituslämpötilojen mukaan. Lämmön talteenottolaitteen keskimääräinen kuukausittainen teho lasketaan kaavalla 3.

$$\phi_{lto} = \eta_t * t_v * t_d * q_v * \rho * C_p * \Delta_t \quad (3)$$

Kaavassa 3

$\phi_{lto}$  = Lämmön talteenottolaitteen keskimääräinen kuukausittainen teho (kW)

$\eta_t$  = Lämmön talteenottolaitteen lämpötilasuhte (%)

$t_v$  = Ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhde (vrk/7vrk)

$t_d$  = Ilmanvaihtokoneen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24h)

$q_v$  = Poistoilman tilavuusvirta (m<sup>3</sup>/s)

$\rho$  = Ilman tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$C_p$  = Ilman ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)

$\Delta_t$  = Poistoilman ja esilämmityspatterin jälkeisen ilman ( $T_{telp}$ ) välinen lämpötilaero (°C)

Lämmön talteenottolaitteen teho laskettiin maaliskuulta 9.3. - 23.3.2016 välisenä aikana olleen mittausjakson VAK:iin tallentuneiden arvojen perusteella ja loppu kuukaudelta käyttämällä ennalta määritettyjä/laskettuja  $\Delta_t:n$  arvoja. Poistoilman lämpötilana on käytetty rakennuksen sisäilman lämpötilaa, jonka suunnitteluarvo on +21 °C. Taulukossa 4 esitellään lasketut keskimääräiset kuukausittaiset lämmön talteenottolaitteen tehot.

#### TAULUKKO 4. Lämmön talteenottolaitteen keskimääräiset kuukausittaiset tehot (kW)

LTO-laitteen keskimääräiset kuukausittaiset tehot (kW)					
Täysi ilmavirta (100%)			Puolitettu ilmavirta (50%)		
Kuukausi	$\phi_{lto}$	Talteenotettu teho (kW)	Kuukausi	$\phi_{lto}$	Talteenotettu teho (kW)
Tammikuu		10,92	Tammikuu		1,89
Helmikuu		9,37	Helmikuu		1,51
Maaliskuu		8,82	Maaliskuu		1,44
Huhtikuu		7,82	Huhtikuu		1,30
Toukukuu		5,47	Toukukuu		0,91
Kesäkuu		3,91	Kesäkuu		0,65
Heinäkuu		2,80	Heinäkuu		0,47
Elokuu		2,40	Elokuu		0,40
Syyskuu		4,49	Syyskuu		0,75
Lokakuu		7,56	Lokakuu		1,26
Marraskuu		8,14	Marraskuu		1,36
Joulukuu		8,70	Joulukuu		1,37
Yht.		80,40 kW			13,30 kW

Kun lämmön talteenottolaitteen kuukausittaiset tehot oli laskettu, voitiin seuraavaksi siirtyä laskemaan lämmön talteenottolaitteen jälkeistä lämpötilaa  $T_{lto}$ . Tämä lämpötila laskettiin myös pitkälle samalla tavalla kuin esilämmityspatterille. Ainoana poikkeuksena laskennassa on se, että tuloilmavirtana käytettiin TK1:den tuloilmavirtaa tehos- tusaikojen mukaan  $0,99 \text{ m}^3/\text{s}$  tai  $0,495 \text{ m}^3/\text{s}$  ja ilmanlämpötilana käytettiin  $T_{telp}$ :tä. Kaavassa 4. lämmön talteenottolaitteen jälkeisen ilmanlämpötilan laskenta.

$$T_{lto} = T_{telp} + \frac{\phi_{lto}}{t_d * t_v * \rho * C_p * q_v} \quad (4)$$

Kaavassa 4

$T_{lto}$  = Lämmön talteenottolaitteen jälkeinen ilmanlämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{telp}$  = Esilämmityspatterin jälkeinen ilmanlämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\phi_{lto}$  = Lämmön talteenottolaitteen keskimääräinen kuukausittainen teho (kW)

$t_d$  = Ilmanvaihtokoneen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24h)

$t_v$  = Ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhde (vrk/7vrk)

$\rho$  = Ilman tiheys ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$C_p$  = Ilman ominaislämpökapasiteetti ( $\text{kJ}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$ )

$q_v$  = Tuloilman tilavuusvirta ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Myös  $T_{lto}$ :n arvo tallentui mittausjaksolta VAK:iin, joten yllä olevalla kaavalla lasket- tuja arvoja on käytetty vain mittausjakson ulkopuolisissa laskelmissa, eli kuukausittai- silla keskilämpötiloilla laskettaessa. Taulukossa 5. kuukausittaiset keskimääräiset lämmön talteenottolaitteen jälkeiset ilmanlämpötilat.

#### TAULUKKO 5. Kuukausittaiset keskimääräiset lämmön talteenottolaitteen jäl- keiset ilmanlämpötilat ( $^{\circ}\text{C}$ )

Kuukausittaiset keskimääräiset LTO-laitteen jälkeiset ilmanlämpötilat ( $^{\circ}\text{C}$ )			
Täysi ilmavirta (100%)		Puolitettu ilmavirta (50%)	
Kuukausi	$T_{lto}$ LTO:n jälkeinen lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ )	Kuukausi	$T_{lto}$ LTO:n jälkeinen lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ )
Tammikuu	8,7	Tammikuu	8,2
Helmikuu	10,4	Helmikuu	10,8
Maaliskuu	11,0	Maaliskuu	11,3
Huhtikuu	12,2	Huhtikuu	12,2
Toukukuu	14,8	Toukukuu	14,8
Kesäkuu	16,6	Kesäkuu	16,6
Heinäkuu	17,8	Heinäkuu	17,8
Elokuu	18,3	Elokuu	18,3
Syyskuu	15,9	Syyskuu	15,9
Lokakuu	12,5	Lokakuu	12,5
Marraskuu	11,8	Marraskuu	11,8
Joulukuu	11,2	Joulukuu	11,8

### 6.3.1 Lämmön talteenottolaitteella talteenotettu teho mittausjakson aikana

Mittausjakson ajalta lämmön talteenottolaitteen tehon laskenta suoritetaan myös samalla tavalla kuin keskimääräisillä ilmanlämpötilan arvoilla. Erona on se, että lämpötilaero ( $\Delta_t$ ), eli poistoilman ja esilämmityspatterin jälkeisen ilman ( $T_{\text{tep}}$ ) välinen lämpötilaero saadaan suoraan VAK:iin tallentuneesta datasta. Keskimääräisillä kuukausittaisilla ulkolämpötiloilla on laskettu lämmön talteenottolaitteen teho kuukausitasolla, mutta mittausjakson aikana teho on laskettu kahden tunnin välein mitatuilla ilmanlämpötilojen arvoilla jokaiselle mittaustilanteelle erikseen. Lämmön talteenottolaitteen teho vaihteli luonnollisesti ulkolämpötilojen mukaan. Parhain teho laitteesta saadaan silloin, kun ilman lämpötila ennen lämmön talteenottolaitetta on mahdollisimman kylmää ja ilmanvaihdon tehostus on 100 %.

Kahden tunnin välein lasketuista tehon arvoista laskettiin lämmön talteenottolaitteen teholle keskiarvo, joksi saatiin 6,65 kW.

### 6.4 Lämmön talteenottolaitteella talteenotettu energiamäärä

Kun lämmön talteenottolaitteelle on laskettu kuukausittainen keskimääräinen teho sekä mittausjakson pohjalta laskettu teho ja sen jälkeinen lämpötila, voidaan alkaa määrittämään kuukausittaista ja sen pohjalta vuotuista energiansäästöä. Energiansäästölaskelmissa tarvitaan tuloilman lämpötilat ennen ja jälkeen lämmön talteenottolaitteen, jotka ovat aikaisemmissa laskelmissa laskettu. Energiansäästö lasketaan tuloilmakoneen kummallekin käyntiajan tehostukselle erikseen, kuten myös aikaisemmat laskelmat on laskettu. Talteenotetusta lämpöenergiasta (kW) päästään varsinaiseen kuukausittaiseen energiansäästöön kertomalla talteenotettu teho kunkin kuukauden päivien lukumäärällä ja lämmön talteenottolaitteen vuorokautisella käyntiajalla, eli käytännössä vuorokauden tuntimäärällä (24 h), jolloin energian yksiköksi saadaan kilowattituntia (kWh). Laskettu energiamäärä tarkoittaa maalämmöllä tuotettua energiaa, joka myöhemmässä vaiheessa muutetaan vastaamaan sähköenergiaa maalämpöjärjestelmän SCOP-luvun avulla.

Talteenotetusta vuotuisesta energiamäärästä vähennetään itse lämmön talteenottoiston kuluttama vuotuinen sähköenergiamäärä, joka muodostuu lämmön talteenot-

tonestettä kierrättävästä liuos pumpusta sekä tulo- ja poistoilmapuolella olevien lämmönsiirtimien aiheuttaman painehäviön tuomasta puhaltimien sähköenergian tarpeen noususta.

#### 6.4.1 Lämmön talteenottolaitteen sähköenergian kulutus

Kuten aikaisemmin mainittiin, lämmön talteenottolaitteen sähköenergian kulutus koostuu lämmön talteenotonestettä kierrättävän liuos pumpun sähköenergian tarpeesta sekä tulo- ja poistoilmakoneissa olevien lämmönsiirrinten aiheuttamasta painehäviöistä, joka kasvattaa tulo- ja poistoilmapuhaltimien tehontarvetta.

Liuos pumpun sähköenergian tarve lasketaan pumpun ominaistehon ja käyntiajan mukaan. Olettamuksena on, että liuos pumpun käyntiaika on vuoden jokaisena tuntina. Liuos pumpu on Kolmeksikin valmistama, AE-26/2 tyyppinen keskipakopumppu, jonka ominaistehoksi valmistaja ilmoittaa 0,65 kW. Pumpun ominaisteho laskettiin mittausjakson ajalle sekä kuukausittaisien keskilämpötilojen avulla laskettujen arvojen ajalle erikseen, mutta samalla kaavalla. Lopuksi lasketut arvot summattiin yhteen. Pumpun sähköenergian kulutus lasketaan kaavalla 5.

$$Q_{lp} = \phi_{lp} * t \quad (5)$$

Kaavassa 5

$Q_{lp}$  = Liuos pumpun kuluttama sähköenergia (kWh)

$\phi_{lp}$  = Liuos pumpun ominaisteho

$t$  = Liuos pumpun käyntiaika

Liuos pumpun kuluttama sähköenergia oli mittausjakson aikana 234 kWh ja kuukausittaisilla keskilämpötiloilla laskettaessa 5476 kWh. Yhteenlaskettuna liuos pumpun vuotuinen sähköenergian kulutus on 5710 kWh.

Lämmönsiirtimien aiheuttaman painehäviön vuoksi sekä tulo- että poistoilmapuhaltimet vaativat enemmän sähköenergiaa, jotta haluttu ilmavirta saadaan ylläpidettyä. Lämmön talteenottolaitteen valmistaja Retermia on ilmoittanut aiheutuvat ilmanpainehäviöt kohteen mitoitus tiedoissa. Poistoilman lämmönsiirtimeen ilmanpainehäviö



( $\Delta_p$ ) on 29Pa ja tuloilman lämmönsiirtimen ilman painehäviö ( $\Delta_p$ ) on 27Pa. Lämmönsiirtimien painehäviön aiheuttama puhaltimien tehontarpeen kasvu lasketaan ilmanvaihdon käyntiaikojen tehostuksille erikseen. Kyseiset laskelmat on myös suoritettu mittausjaksolle sekä kuukausittaisilla keskilämpötiloilla suoritetuille laskuille erikseen. Lämmönsiirtimien painehäviöiden aiheuttama puhaltimien tehontarpeen kasvu lasketaan kaavalla 6.

$$Q_{puh} = \frac{(\Delta p * q_v * t_d * t_v * h * d)}{1000} \quad (6)$$

Kaavassa 6

$Q_{puh}$  = Lämmönsiirtimien painehäviöiden aiheuttama puhaltimien tehontarpeen kasvu (kWh)

$\Delta_p$  = Lämmönsiirtimen aiheuttama ilman painehäviö (Pa)

$q_v$  = Tulo- tai poistoilman tilavuusvirta ( $m^3/s$ )

$t_d$  = Ilmanvaihtokoneen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24h)

$t_v$  = Ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhde (vrk/7vrk)

$h$  = Puhaltimen käyntiaika vuorokaudessa (h)

$d$  = Puhaltimen käyntiaika vuodessa/mittausjaksossa (pv)

1000 = Jakaja, jonka avulla yksiköksi saadaan kilowattituntia

Kuten yllä jo mainittiin, niin puhaltimien tehontarpeen kasvu laskettiin erikseen ilmanvaihdon käyntiaikojen tehostuksille sekä mittausjaksolle että kuukausittaisilla keskilämpötiloilla lasketuille arvoille. Kaikista näistä yhteensä saadaan vuotuiseksi puhaltimien tehontarpeenkasvuksi 487 kWh.

#### 6.4.2 Talteen otettu energiamäärä

Lämmön talteenottolaitteen tuottamaa energiansäästöä lähdetään laskemaan ilmanlämpötilaeron avulla. Ilmanlämpötilaerona käytetään lämpötiloja ennen ja jälkeen lämmön talteenottolaitteen. Energiansäästö lasketaan erikseen mittausjaksolle sekä kuukausittaisille keskilämpötiloille kummallakin ilmanvaihdon käyntiaikojen tehostuksilla.

Energiansäästö lasketaan kaavalla 7.

$$Q_{lto} = q_v * \Delta t * \rho * C_p * t_d * t_v * h * d \quad (7)$$

Kaavassa 7

$q_v$  = Tuloilmavirta (m<sup>3</sup>/s)

$\Delta t$  = Ilmanlämpötilaero ennen ja jälkeen lämmön talteenottolaitteen (°C)

$\rho$  = Ilman tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$C_p$  = Ilman ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)

$t_d$  = Ilmanvaihtokoneen vuorokautinen käyntiaikasuhte (h/24h)

$t_v$  = Ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhte (vrk/7vrk)

$h$  = Laitteen toiminta-aika vuorokaudessa (h)

$d$  = Laitteen toiminta-aika kuukaudessa tai mittausjaksossa (pv)

Taulukossa 6 esitellään kuukausittaisien keskilämpötilojen avulla lasketut talteen otetut energiamäärät.

#### TAULUKKO 6. Lämmön talteenottolaitteen talteen ottama energiamäärä

LTO-laitteen talteenottama energiamäärä (kWh)			
Täysi ilmavirta (100%)		Puolitettu ilmavirta (50%)	
	Q <sub>lto</sub> Talteenotettu energia (kWh)		Q <sub>lto</sub> Talteenotettu energia (kWh)
Kuukausi		Kuukausi	
Tammikuu	8124,0	Tammikuu	1409,1
Helmikuu	6519,9	Helmikuu	1048,1
Maaliskuu	3385,9	Maaliskuu	551,7
Huhtikuu	5634,0	Huhtikuu	939,0
Toukukuu	4068,6	Toukukuu	678,1
Kesäkuu	2817,0	Kesäkuu	469,5
Heinäkuu	2083,9	Heinäkuu	347,3
Elokuu	1786,2	Elokuu	297,7
Syyskuu	3233,1	Syyskuu	538,9
Lokakuu	5623,3	Lokakuu	937,2
Marraskuu	5858,1	Marraskuu	976,3
Joulukuu	6473,4	Joulukuu	1016,1
Yht.	55607,4	Yht.	9209,0
Mittausjakson aikana talteenotettu energiamäärä (kWh)			
	2642,9		
Q <sub>lto</sub> yhteensä			
	67459,3		

Yllä olevassa taulukossa on lämmön talteenottolaitteen kuukausittaiset talteen otetun energian määrät. Maaliskuun lukema on sen vuoksi pienempi, koska siitä on vähennetty lämmön talteenottolaitteen toiminta-aika mittausjakson ajalta. Mittausjakson ajalta talteen otettu energiamäärä laskettiin muuten samalla kaavalla, mutta laitteen toiminta-aikana käytettiin kahta (2) tuntia. Talteen otettu energiamäärä laskettiin siis kahden tunnin välein erikseen. Lopuksi mittausjakson aikana talteen otetut energiamäärät summattiin yhteen. Lopulliseksi vuotuiseksi energiansäästökseksi saatiin 67459,3 kWh maalämpöenergiaa.

### **6.5 Talteen otettu energiamäärä ilmanvaihdon nettoenergiantarpeeseen verrattuna**

Tuloilmakoneen TK1:den tuloilman lämmittämiseen on määritetty nettoenergiantarve, jotta talteen otettua energiamäärää voidaan verrata ilmanvaihdon nettoenergiantarpeeseen. Nettoenergiantarpeella tarkoitetaan lämpöenergiamäärää, jolla ulkoilma saadaan lämmitettyä sisäänpuhallusilman asetettuun lämpötila-arvoon. TK1:den tuloilman lämmittämisen nettoenergiantarve on määritetty joka kuukaudelle erikseen keskimääräisten ulkoilman lämpötilojen perusteella. Myös mittausjakson ajalle on määritetty tuloilman lämmittämisen nettoenergiantarve aina kahden (2) tunnin välein. Ilmanvaihdon lämmittämisen nettoenergiantarve lasketaan kaavalla 8.

$$Q_{iv} = q_v * \Delta t * \rho * C_p * t_d * t_v * h * d \quad (8)$$

Kaavassa 8

$Q_{iv}$  = Ilmanvaihdon lämmittämisen nettoenergiantarve (kWh)

$q_v$  = Tuloilman tilavuusvirta (m<sup>3</sup>/s)

$\Delta t$  = Ulkoilman ja sisäänpuhallusilman lämpötilaero (°C)

$\rho$  = Ilman tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$C_p$  = Ilman ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)

$t_d$  = Ilmanvaihtokoneen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24h)

$t_v$  = Ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhde (vrk/7vrk)

$h$  = Tuloilmakoneen toiminta-aika vuorokaudessa (h)

$d$  = Tuloilmakoneen toiminta-aika kuukaudessa tai mittausjaksossa (pv)

Tuloilman lämmittämisen nettoenergiantarve laskettiin ilmanvaihdon käyntiaikojen tehoksille erikseen. Lopuksi lasketut nettoenergiantarpeet summattiin yhteen.

Taulukossa 7. on kuukausittaiset tuloilmakoneen TK1:den tuloilman lämmittämisen nettoenergiantarpeet verrattuna lämmön talteenottolaitteella talteenotettuun energiamäärään.

**TAULUKKO 7. Ilmanvaihdon nettoenergiantarpeet verrattuna lämmön talteenottolaitteella talteenotettuun energiamäärään.**

Talteenotetun energiamäärän (kWh) vertaaminen tuloilman lämmittämisen nettotarpeeseen (kWh)									
Kuukausi	LTO (kWh)			Nettotarve (kWh)			LTO:n osuus nettoenergiantarpeesta (%)		
	Ilmavirtojen tehostus (%)			Ilmavirtojen tehostus (%)			Ilmavirtojen tehostus (%)		
	100 %	50 %	Yht.	100 %	50 %	Yht.	100 %	50 %	Keskiarvo
Tammikuu	8124,0	1409,1	9533,1	22339,9	3723,3	26063,2	36,4	37,8	36,6
Helmikuu	6519,9	1048,1	7568,1	13394,9	2232,5	15627,4	48,7	46,9	48,4
Maaliskuu	5784,8	795,5	6580,4	10655,0	1496,5	12151,5	54,3	53,2	54,2
Huhtikuu	5634,0	939,0	6573,0	10007,7	1668,0	11675,7	56,3	56,3	56,3
Toukukuu	4068,6	678,1	4746,7	6827,9	1138,0	7965,9	59,6	59,6	59,6
Kesäkuu	2817,0	469,5	3286,5	4362,3	727,1	5089,4	64,6	64,6	64,6
Heinäkuu	2083,9	347,3	2431,3	2850,5	475,1	3325,6	73,1	73,1	73,1
Elokuu	1786,2	297,7	2083,9	2253,9	375,6	2629,5	79,3	79,3	79,3
Syyskuu	3233,1	538,9	3772,0	5196,3	866,1	6062,4	62,2	62,2	62,2
Lokakuu	5623,3	937,2	6560,5	9943,6	1657,3	11600,8	56,6	56,6	56,6
Marraskuu	5858,0	976,3	6834,4	10456,8	1742,8	12199,6	56,0	56,0	56,0
Joulukuu	6473,4	1016,1	7489,5	12528,9	2088,1	14617,0	51,7	48,7	51,2

Yllä olevasta taulukosta luettuna tuloilmakone TK1:den vuotuinen tuloilman lämmitystehontarve on 129008 kWh lämpöenergiaa. Tästä määrästä 67459 kWh saadaan poistoilman lämmön talteenottolaitteella. Kaavalla 9 saadaan laskettua talteen otetun energiamäärän suhde tuloilman lämmittämisen nettotarpeeseen.

$$\eta_a = \frac{Q_{lto}}{Q_{iv}} * 100\% \quad (9)$$

Kaavassa 9

$\eta_a$  = Lämmön talteenoton lämpöenergian suhde ilmanvaihdon nettoenergiantarpeeseen/vuosihyötysuhde (%)

$Q_{lto}$  = Lämmön talteenottolaitteen vuotuinen talteenotettu energiamäärä (kWh)

$Q_{iv}$  = Ilmanvaihdon tuloilman lämmityksen nettoenergiantarve (kWh)

Kaavalla 9 laskettuna tulokseksi saadaan, että poistoilman lämmön talteenotto-laite kattaa 52,3 % tuloilmakone TK1:n tuloilman lämmityksen nettotarpeesta, eli lämmön talteenotto-laitteen vuosihyötysuhde on  $\eta_a=52,3\%$ .

Kuukausina, jolloin esilämmityspatteri esilämmittää tuloilmaa, on lämmön talteenotto-laitteen kattama osuus nettotarpeesta luonnollisesti pienempi. Esilämmityspatteri lämmittää tuloilmaa ennen lämmön talteenotto-laitetta, jolloin myös lämpötilaero ( $\Delta t$ ) on pienempi, joka taas vähentää lämmön talteenotto-laitteen tehoa. Esilämmityspatterin lämmityskuukausia ovat tammi-, helmi-, maaliskuu- ja joulukuu. Prosentuaalinen keskiarvo on laskettu ilmanvaihdon käyntiaikakertoimien mukaan. Taulukossa 8 on esitetty esilämmityspatterin kattama osuus TK1:den tuloilman lämmittämisen nettotarpeesta.

#### TAULUKKO 8. Esilämmityspatterin kattama osuus tuloilman lämmittämisen nettotarpeesta

Esilämmityspatterin lämmitystehon osuus nettotarpeesta (%)									
	Nettotarve (kWh)			ELP:n lämmitysteho (kWh)			ELP:n osuus nettotarpeesta (%)		
Kuukausi	Ilmavirtojen tehostus (%)			Ilmavirtojen tehostus (%)			Ilmavirtojen tehostus (%)		
	100 %	50 %	Yht.	100 %	50 %	Yht.	100 %	50 %	Keskiarvo
Tammikuu	22339,9	3723,3	26063,2	9963,1	503,7	10466,8	44,6	13,5	40,2
Helmi- kuu	13394,9	2232,5	15627,4	2172,7	150,0	2322,7	16,2	6,7	14,9
Maaliskuu	10655,0	1496,5	12151,5	1433,1	100,1	1533,1	13,4	6,7	12,6
Huhtikuu									
Toukokuu									
Kesäkuu									
Heinäkuu									
Elokuu									
Syyskuu									
Lokakuu									
Marraskuu									
Joulukuu	12528,9	2088,1	14617,0	1185,9	126,0	1311,9	9,5	6,0	9,0

#### 6.6 Lämmön talteenotto-laitteen SCOP-arvo

”SCOP”-lyhenne tulee sanoista Seasonal Coefficient of Performance. SCOP:illa tarkoitetaan koko lämmityskauden laitteen hyötysuhdetta. Laitteen SCOP kertoo, kuinka tehokkaasti kulutettu sähköenergia saadaan muutettua lämpöenergiaksi. Esim. Mer-

kintä SCOP 4 tarkoittaa, että 1 kilowatilla saadaan tuotettua 4 kilowattia lämpöenergiaa /17/.

SCOP-arvo lasketaan kaavalla 10.

$$SCOP = \frac{Q_{lto}}{Q_{lp} + Q_{puh}} \quad (10)$$

Kaavassa 10

$SCOP$  = Lämmön talteen ottolaitteen vuotuinen SCOP-arvo

$Q_{lto}$  = Lämmön talteenottolaitteella talteen otettu vuotuinen energiamäärä (kWh)

$Q_{lp}$  = Liuospumpun kuluttama sähköenergia vuodessa (kWh)

$Q_{puh}$  = Lämmönsiirtimien ilmanpainehäviöiden aiheuttama puhaltimien sähkötehotarpeen kasvu vuodessa (kWh)

SCOP-arvo on laskettu mittausjakson sekä kuukausittaisten keskimääräisten ulkolämpötilojen avulla laskettujen tulosten perusteella. Lämmön talteenottolaitteen SCOP-arvoksi saatiin 10,9.

## 6.7 Esilämmityspatterin COP-arvo mittausjakson ajalta

Kuten poistoilman lämmön talteenottolaitteellekin, niin esilämmityspatterille voidaan laskea COP-arvo mittausjakson ajalta. Kyseiselle laitteelle ei voida SCOP-arvoa laskea siksi, koska SCOP-arvo tarkoittaa koko lämmityskauden arvoa, ja se vaatisi lämpötilojen mittaustietoja koko vuoden ajalta. Pelkkä COP-arvo kertoo yleisesti, kuinka tehokkaasti laitteeseen kulutettu sähköenergia saadaan muutettua lämpöenergiaksi /17/.

Laskentaperiaate COP-arvon laskennassa on sama kuin SCOP-arvon. Esilämmityspatterin lämpöenergian määrä (kWh) jaetaan laitteen kuluttamalla sähköenergiamäärällä. Kuten lämmön talteenottolaitteessakin, myös esilämmityspatterin sähköenergiankulutus muodostuu esilämmityspatterin liuospumpun kuluttamasta sähköenergiamäärästä (kWh) ja raitisilmakanavassa olevan lämmönsiirtimen ilmanpainehäviön aiheuttamasta puhaltimien tehotarpeen kasvusta. Esilämmityspatterilla mittausjakson aikana tuotettiin 828,7 kWh lämpöenergiaa. Lämmönsiirtimen ilmanpainehäviö on suunnittelijan

mitoitustietojen mukaan 28 Pa. Tästä aiheutuu puhaltimille 15,6 kWh sähköntehontarpeen kasvu mittausjakson aikana. Esilämmityspatterissa porakaivon maaliuosta kiertävän liuospumpan ottoteho on 0,65 kW ja mittausjakson aikana siitä aiheutui 234 kWh sähköenergiankulutus.

Näillä arvoilla laskettuna mittausjakson ajalle esilämmityspatterille saadaan COP-arvoksi 3,3. Mikäli esilämmityspatterin toimintaa olisi tutkittu koko lämmityskauden ajan, COP-arvo olisi suurempi. Tämä johtuu siitä, että ulkoilmanlämpötila olisi talvi-kuukausina kylmempi, jolloin myös esilämmityspatterin teho ( $\phi_{elp}$ ) ja sen myötä lämmitysenergiämäärä olisivat suurempia.

## 6.8 Mittausjakson ja teoreettisten tulosten vertailu

Kun energiansäästö on laskettu niin mittausjakson ajalta kuin kuukausittaisia keskilämpötiloja käyttäen, on hyvä vertailla tuloksia keskenään. Tässä kappaleessa teoreettisilla tuloksilla tarkoitetaan kuukausittaisilla keskilämpötiloilla laskettuja arvoja. Vertailun ajankohtana on käytetty mittausjaksoon sijoittuvaa aikaa. Vertailussa suurin ero syntyy siinä, että kuukausittaisilla ulkoilman keskilämpötiloilla laskettaessa ulkoilmanlämpötila ( $T_u$ ) pysyy vakiona, joka Maaliskuussa on  $-0,4$  °C. Tällöin myös mm. esilämmityspatterin ( $\phi_{elp}$ ) ja lämmön talteenottolaitteen ( $\phi_{lto}$ ) teho on vakio koko kuukauden ajan. Mittausjakson aikana ulkoilman lämpötila-arvo taas mitattiin erikseen aina kahden (2) tunnin välein. Tällöin myös esilämmityspatterin ( $\phi_{elp}$ ) ja lämmön talteenottolaitteen ( $\phi_{lto}$ ) teho saattoi vaihdella, koska ulkolämpötilan muutokset vaikuttavat tehon laskentakaavassa olevaan lämpötilaeroon ( $\Delta_t$ ). Taulukossa 9 on vertailu mittausjakson aikaisista sekä kuukausittaisella keskilämpötilalla lasketuista  $\phi_{elp}$ -,  $\phi_{lto}$ -,  $Q_{lto}$ -,  $Q_{iv}$  jälkilämmityspatteri- ja  $Q_{iv}$  nettotarve -tuloksista. Teoreettisten tulosten  $Q_{lto}$ -,  $Q_{iv}$  jälkilämmityspatteri- ja  $Q_{iv}$  nettotarve -arvot on muutettu siten, että ne vastaavat mittausjakson pituutta, eli 15 vuorokautta.

### TAULUKKO 9. Mittausjakson ja teoreettisten tulosten vertailu

Mittausjakson energiansäästön vertailu teoreettisiin energiansäästön arvoihin					
	$\phi$ esilämmityspatterin teho (kW)	$\phi_{lto}$ talteenotettu teho (kW)	$Q_{lto}$ talteenotettu energia (kWh)	$Q_{iv}$ jälkilämmityspatteri (kWh)	$Q_{iv}$ nettotarve (kWh)
Mittausjakso	1,4	6,7	2642,9	1726,7	4407,7
Teoreettinen	3,1	10,3	3691,4	3568,5	7259,9

Taulukosta 9 voidaan lukea, että teoreettiset arvot ovat kaikki suurempia. Suurin vaikuttaja eroihin on se, että päiväsaikaan, kun ilmanvaihdon tehokkuus oli täydellä teholla (100 %), niin ulkolämpötila oli kuukausittaiseen keskilämpötilaan nähden kohtalaisen korkea, jopa +8 °C. Tämä luonnollisesti vähentää tuloilman lämmitystehontarvetta, koska lämpötilaero ( $\Delta_t$ ) on pienempi. Mittausjakson aikana kylmimmät ulkolämpötilan arvot, jopa -15 °C, sijoituivat yöaikaan, jolloin ilmanvaihdon tehokkuus on puolella teholla (50 %). Tällöin tuloilman tilavuusvirta on puolitettu täydestä ilma-  
virrasta ja tuloilmakoneen vuorokautisena käyntiaikasuhteena ( $td$ ) käytetään arvoa 0,25, mikä vaikuttavat suoraan kaikkiin taulukossa oleviin tuloksiin ( $\phi_{elp}$ ,  $\phi_{lto}$ ,  $Q_{lto}$ ,  $Q_{iv}$ , jälkilämmityspatteri ja  $Q_{iv}$  nettotarve) alentavasti.

Kaiken kaikkiaan mittausjaksolta saatuja tuloksia voidaan pitää luotettavana teoreettisiin tuloksiin nähden, sillä mittausjakson aikana ulkoilmanlämpötila oli paikoitellen huomattavan korkea kuukausittaiseen keskilämpötilaan nähden, mikä luonnollisesti laskee tuloilman lämmitystarvetta.

## 7 TAKAISINMAKSUAJAN LASKENTA

### 7.1 Rahallinen säästö vuodessa

Takaisinmaksuajan laskenta perustuu lämmön talteenottolaitteella säästetyn lämpöenergian määrään. Säästetty lämpöenergia vastaa maalämmöllä tuotettua energiaa ja rahalliseksi säästökseksi se saadaan maalämpöpumpun SCOP-arvon avulla. SCOP-arvo kertoo kuinka paljon lämpöenergiaa saadaan tuotettua järjestelmään syötettyyn sähköenergiamäärään nähden. Jos maalämpöjärjestelmän SCOP-arvo on esimerkiksi kolme (3), tarkoittaa se, että 1 kW syötettyä sähköenergiaa saadaan tuotettua 3kW lämpöenergiaa.

Susiniemessä ilmanvaihdon lämmityksestä vastaa ”Stiebel Eltron WPF40” -tyyppinen maalämpöpumppu, jonka SCOP-arvoksi voidaan määrittää järjestelmän lämmitysveden menovirtauslämpötilan (+60°C) ja maalämpöliuoksen tulolämpötilan (+3°C) mukaan 2,7, tehokäyrästä luettuna. Tämän luvun avulla lämmön talteenottolaitteella säästetty lämmitysenergia saadaan muutettua sähköenergian muotoon ja sitä kautta rahalliseksi säästökseksi.



Kaavassa 11 on laskettu vuotuinen sähköenergian säästö maalämpöpumpun SCOP-arvon kautta.

$$\Delta Q_{S_{lto}} = \frac{Q_{lto}}{SCOP} \quad (11)$$

Kaavassa 11

$\Delta Q_{S_{lto}}$  = Säästetty sähköenergiamäärä vuodessa (kWh)

$Q_{lto}$  = Lämmön talteenottolaitteella talteen otettu vuotuinen energiamäärä (kWh)

$SCOP$  = Maalämpöpumpun SCOP-arvo

Kun ( $Q_{lto}=67459$  kWh) ja ( $SCOP=2,7$ ), yllä olevalla kaavalla laskettuna saadaan vuotuinen sähköenergian säästö ( $\Delta Q_{S_{lto}}$ ), joka on 24985 kWh sähköenergiaa. Takaisinmaksuaikaa määrittäessä on luonnollisesti huomioitava lämmön talteenottolaitteen kuluttama vuotuinen sähköenergiamäärä, joka vähennetään lämmön talteenottolaitteella säästetystä vuotuisesta sähköenergiamäärästä. Lämmön talteenottolaitteen kuluttama sähköenergiamäärä vuodessa on 6197 kWh, ja kun se vähennetään vuotuisesta sähköenergian säästöstä, saadaan todelliseksi vuotuiseksi sähköenergian säästökseksi 18788kWh. Lämmön talteenottolaitteen kuluttama sähköenergiamäärä koostuu liuos-pumpun kuluttamasta sähköenergiasta sekä neulaputkilämmönsiirrinten ilmanpainehäviön aiheuttamasta puhaltimien tehontarpeen kasvusta. Vuotuisen rahallisen säästön laskennassa on käytetty Etelä-Savon energian (ESE) ilmoittamia sähkön hintatietoja, jotka muodostuvat itse sähköenergiasta sekä sähkön siirto hinnasta /18/.

Sähkön hinnan laskennassa on käytetty yksiaikaisähkön hintatietoja, jolloin sähköenergian hinta on 6,35 snt/kWh ja sähkön siirto hinta on 2,85 snt/kWh. Yhteensä sähkön hinnaksi saadaan 9,2 snt/kWh. Sähkön hinnan avulla voidaan laskea vuotuinen rahallinen säästö. Rahallinen säästö lasketaan kaavalla 12.

$$\text{Rahallinen säästö vuodessa} = Q_{\text{sähkö}} * \text{sähkön hinta} \quad (12)$$

Kaavassa 12

$Q_{\text{sähkö}}$  = Todellinen vuotuinen sähköenergian säästö (kWh)

$\text{Sähkön hinta}$  = Sähköenergian ja sähkön siirto hinnan summa (kWh)

Vuotuiseksi rahalliseksi säästökseksi saadaan kaavalla 12. laskettuna n.1730€/vuodessa.

## 7.2 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajan laskenta perustuu lämmön talteenottolaitteiston kokonaiskustannusten vertaamista vuotuisen rahalliseen säästöön. Lämmön talteenottolaitteiston kokonaiskustannukset koostuvat sekä poisto- että tuloilman neulaputkilämmönsiirtimistä, niiden välisestä putkistosta, liuospumpusta, automaattikalaitteista, putkiston eristyksistä, kondenssiviemäröinnistä, sähköasennuksista sekä veloitetusta asennustyöstä. Hintatiedot takaisinmaksuajan laskentaa varten on hankittu neulaputkilämmönsiirrinten valmistajalta (Retermia OY) sekä Susiniemen leirikeskuksesta toimineelta LVI-urakoitsijalta (YIT Kuntatekniikka OY, Mikkeli).

Lämmön talteenottolaitteen valmistaja Retermia OY ilmoitti neulaputkilämmönsiirrinten kokonaishinnoiksi yhteensä 7354 €. Neulaputkilämmönsiirrinten välisestä putkistosta, liuospumpusta, automaattikalaitteista, putkiston eristyksistä, kondenssiviemäröinnistä, sähköasennuksista sekä veloitetusta asennustyöstä vastasi LVI-urakoitsija YIT Kuntatekniikka OY, Mikkeli, joka arvioi kokonaiskustannuksiksi 3900 €.

Takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 13.

$$Takaisinmaksuaika = \frac{LTO - laitteiston kokonaishinta}{Rahallinen säästö vuodessa} \quad (13)$$

Kaavassa 13

*LTO-laitteiston kokonaishinta = 11254€*

*Rahallinen säästö vuodessa = 1730€/vuosi*

Poistoilman lämmön talteenottolaitteen takaisinmaksuajaksi kaavan 13 avulla saatiin 6,5 vuotta, eli 6 vuotta ja 6 kk. Ottaen huomioon, että kohteen lämmitysjärjestelmänä on maalämpö, voidaan takaisinmaksuaikaa pitää kohtalaisen hyvänä. Takaisinmaksuaika pitenee aina, minkä halvemalla lämpöenergiaa saadaan luotua. Maalämpöä voidaan pitää kohtalaisen ”halpana” ja kustannustehokkaana lämmitysjärjestelmänä etenkin verrattuna kohteen vanhaan lämmitysmuotoon, öljylämmitykseen. Mikäli kohteessa olisi vielä vanha lämmitysjärjestelmä eli öljylämmitys, olisi lämmön talteenottolait-

teiston takaisinmaksuaika lyhyempi, mutta luonnollisesti lämpöenergian ”luominen” taas olisi huomattavasti kalliimpaa.

## 8 YHTEENVETO

Lämmön talteenottolaitteiston hankintaa tuloilmakoneeseen (TK1) voidaan pitää kannattavana jo siltä pohjalta, että kyseisessä tuloilmakoneessa ei ollut aiemmin lainkaan lämmön talteenottolaitetta. Opinnäytetyön energiansäästölaskelmista voidaan todeta, että lämmön talteenottolaitteella säästetään vuositason huomaava määrä energiaa. Poistoilmasta talteenotetulla lämpöenergiamäärällä saadaan katettua yli 50 % tuloilmakoneen (TK1) vuotuisesta tuloilman lämmityksen nettoenergiatarpeesta. Kohtalaisen lyhyen takaisinmaksuajan vuoksi lämmön talteenottolaitteiston hankintaa voidaan pitää kannattavana sijoituksena. Suosittelisin esilämmityspatterin automatiikan tarkempaa tutkimista/säätämistä, sillä lämpötilojen mittausjakson ajalta saaduista tiedoista voidaan selvästi todeta, että välillä esilämmityspatterissa kiertävä maalämpöliuos oli viileämpää kuin ulkoilma, jolloin tuloilmaa jäähdytettiin suotta, ennen kuin se johdettiin lämmön talteenottolaitteelle esilämmitettäväksi.

Saneerattavia vanhoja kohteita on Suomessa paljon, joissa lämmin poistoilma puhalletaan rakennuksesta ulos ilman, että sen lämpösisältöä otetaan talteen. Vastaavanlaisten lämmön talteenottolaitteiden asennusten määrä saneerauskohteissa on kovassa kasvussa ja luultavasti tulee vielä nousemaan entisestään. Kuten opinnäytetyöraportin alussa esitettiin, niin rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä, joka ei käsitä lämmön talteenottolaitetta, voi kattaa jopa 50 % rakennuksen lämpöhäviöistä. Tällaisiin kohteisiin on hyvin suositeltavaa suunnitella esimerkiksi tässä opinnäytetyössä tutkittavaa neste-kiertoista lämmön talteenottolaitteen asennusta.

Opinnäytetyöraportin alussa esitellyistä tavoitteista sanottakoon, että vuotuista lämmitysenergian säästöä laitteella saadaan 67459kWh, joka vastaa sähköenergiassa 18788 kWh. Säästetty sähköenergiamäärä vastaa 1730€ rahallista säästöä vuodessa ja lämmön talteenottolaitteiston hankintakustannuksiin verrattuna takaisinmaksuajaksi saatiin 6 vuotta ja 6 kuukautta. Poistoilman lämmön talteenottolaitteen SCOP-arvoksi laskettiin 10,9 ja vuosihyötysuhteeksi ( $\eta_a$ ) tuli 52,3%.

Tämä opinnäytetyö oli mielestäni hyvin mielenkiintoinen ja aihe käytännönläheinen. Itselläni ei aikaisemmin ollut nestekiertoisista lämmön talteenottolaitteista juurikaan kokemusta, joten aihe kiinnosti jo sen vuoksi, että halusin oppia asiasta lisää. Opinnäytetyön lopputulokseen olen tyytyväinen.

## LÄHTEET

/1/ D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto, Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012.

/2/ Consti, Lämmöntalteenotto, www-dokumentti,  
<http://www.consti.fi/erikoistyot/lammontalteenotto/> Päivitetty 4.2.2016, Luettu 4.2.2016

/3/ Wasenco, Jäteveden lämmöntalteenotto, www-dokumentti,  
<http://wasenco.com/jateveden-lammon-talteenotto/> Päivitetty 4.2.2016, Luettu 4.2.2016

/4/ D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2012

/5/ E7 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Ympäristöministeriö, Ympäristöministeriön asetus ilmanvaihtolaitteistojen paloturvallisuudesta, Ilmanvaihtolaitteistojen paloturvallisuus, Ohjeet 2004

/6/ D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ohjeet 2007

/7/ Swegon, Lämmöntalteenottolaite pyörivällä lämmönvaihtimella, www-dokumentti,  
<https://swegon.com/fi/Swegon-Home-Solutions/Tuotteet/Ilmanvaihtolaitteet/Pyorivakennoiset-R-sarja/CASA-R120-Premium/?p=1&selectedfolder=%2FGlobal%2FPDFs%2FHome+ventilation&sort=size&desc=0&doctype=&lang=finnish&cust=&q=> Päivitetty 10.2.2016, Luettu 10.2.2016

/8/ Seppänen, Olli1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. SOLVER palvelut OY, Anjalankoski 2008

/9/ Sandberg, Esa (toim.). Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Tammerprint 2014

/10/ Edu.fi, lämmöntalteenotto, www-dokumentti,  
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/lvi/aihio5/iv-koje/lto.htm> Päivitetty 10.2.2016, Luettu 10.2.2016

/11/ Fläkt Woods OY, lämmöntalteenotto, www-dokumentti,  
<http://m.flaktwoods.fi/tuotteet/acs/ilmankasittelykoneet/eq/lammontalteenotto/?t=tab1> Päivitetty 10.2.2016, Luettu 10.2.2016

/12/ Retermia OY, Terminologia, www-dokumentti,  
<http://www.retermia.fi/tuotetyypit/terminologia/> Päivitetty 10.2.2016, Luettu 10.2.2016

/13/ Mikkelin Tuomiokirkkoseurakunta, Susiniemen leirikeskus, www-dokumentti,  
<http://www.mikkelintuomiokirkkoseurakunta.fi/leirikeskukset/susiniemen-leirikeskus>  
Päivitetty 10.2.2016, Luettu 10.2.2016

/14/ Rtek, Ajankohtaista, www-dokumentti,  
[http://www.energent.fi/ajankohtaista\\_30.html](http://www.energent.fi/ajankohtaista_30.html), Päivitetty 13.10.2015, Luettu 22.2.2016

/15/ Ilmatieteenlaitos, Ilmatieteenlaitos, www-dokumentti, <http://ilmatieteenlaitos.fi/>  
Päivitetty 28.3.2016, Luettu 28.3.2016

/16/ Pro dual, Tuotokuva, www-dokumentti,  
[http://www.produal.fi/folders/Images/Tuotekuvat/tek\\_pic.jpg](http://www.produal.fi/folders/Images/Tuotekuvat/tek_pic.jpg) Päivitetty 28.3.2016,  
Luettu 28.3.2016

/17/ Nilan, COP vs. SCOP – hyötysuhteiden erot, www-dokumentti,  
<http://www.nilan.fi/cop-vs-scop-hyotysuhteiden-erot/>, Päivitetty 28.3.2016, Luettu  
28.3.2016

/18/ Etelä-Savon Energia, Sähkön hinnan muodostuminen, www-dokumentti,  
<https://www.esefi.fi/sahko/hinnat/>, Päivitetty 1.1.2015, Luettu 6.4.2016

Tässä opinnäytetyöraportissa olevat laskelmat on laskettu kyseisissä teoksissa olevilla  
laskentakaavoilla:

Seppänen, Olli.1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. SOLVER palvelut OY, An-  
jalankoski 2008

Sandberg, Esa (toim.). 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Talotekniikka-Julkaisut  
Oy, Tammerprint 2014