



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Talotekniikka

# Energiatehokkuuden parantaminen nykyaikaisella ilmastokäsittelykoneella

Joel Polojärvi

Opinnäytetyö, Toukokuu 2022

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2022**  
**Talotekniikan koulutus**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

Tekijä  
Joel Polojärvi

Nimeke  
Energiatehokkuuden parantaminen nykyaikaisella ilmankäsittelykoneella.

Toimeksiantaja  
JK-Kanava Oy

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella ilmankäsittelykoneen nykyaikaistamisella saavutettavia hyötyjä taloudellisesta näkökulmasta. Tarkastelun kohteena työssä käytettiin Joensuussa sijaitsevan liikerakennuksen ilmankäsittelykonetta.

Opinnäytetyössä tutkitaan ilmankäsittelykoneen uudistamisen hyötyjä pääosin energiankulutuksen osalta. Tarkoituksena on esittää energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä sekä muita nykyaikaistamisen hyötyjä. Työssä käydään läpi perustietoa ilmanvaihdosta ja ilmanvaihtojärjestelmistä. Vertailtavia arvoja ovat ilmankäsittelykoneen kokonaisenergiankulutus, lämmöntalteenoton hyötysuhteet sekä SFP-arvot. Lisäksi hankkeelle lasketaan takaisinmaksuaika.

Tulokset osoittivat ilmankäsittelykoneen nykyaikaistamisen varsin kannattavaksi taloudellisesta näkökulmasta. Laskenta osoitti hankkeen takaisinmaksuajan arvioksi noin 8,5 vuotta. Puutteellisen datan vuoksi ei pystytty tarkkaa arviota laskemaan. Nykyaikaistaminen toi kuitenkin mukanaan muitakin kuin taloudellisia hyötyjä.

Kieli  
suomi

Sivuja 40  
Liitteet 1  
Liitesivumäärä 1

Asiasanat  
ilmanvaihto, energiatehokkuus



**THESIS**  
**May 2022**  
**Degree Programme in Building Services Engineering**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

Author  
Joel Polojärvi

Title  
Improving Energy Efficiency with a Modern Air Handling unit

Commissioned by  
JK-Kanava Oy

#### Abstract

The purpose of the thesis was to examine the benefits of modernizing an air handling unit from an economic point of view. The air handling unit of a commercial building in Joensuu was used in the study.

This thesis examines the benefits of renovating an air handling unit mainly in terms of energy consumption. The aim is to present the factors influencing energy efficiency as well as other benefits of modernization. The thesis covers basic information about ventilation and ventilation systems. The values to be compared are the total energy consumption of the air handling unit, the heat recovery efficiencies and the SFP values. In addition, a payback period is calculated for the project.

The results showed that the modernization of the air handling unit was quite profitable from an economic point of view. The calculation showed an estimated payback period of approximately 8.5 years. Due to incomplete data, an accurate estimate could not be calculated. However, the modernization brought also non-economic benefits.

Language  
Finnish

Pages 40  
Appendices 1  
Pages of Appendices 1

Keywords  
air handling, energy efficiency

# Sisältö

1	Johdanto .....	5
2	Ilmanvaihto Suomessa.....	6
2.1	Ilmanvaihdon perusteet .....	6
2.2	Ilmanvaihtojärjestelmät ja sen osat.....	7
2.2.1	Painovoimainen ilmanvaihto .....	8
2.2.2	Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä .....	9
2.2.3	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä .....	9
2.2.4	Lämmöntalteenotto .....	11
2.2.5	Retermia lämmöntalteenotto.....	16
2.2.6	Lämmitys .....	17
2.2.7	Puhaltimet.....	18
2.3	Ilmanvaihdon energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät.....	19
3	Opinnäytetyössä käytetyt menetelmät .....	20
3.1	Laskennassa käytettäviä käsitteitä .....	21
4	Opinnäytetyön tekemisen kuvaus .....	22
4.1	Vanha ilmankäsittelykone .....	23
4.2	Uusi ilmankäsittelykone .....	24
4.3	Vanhan ilmankäsittelykoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittäminen .....	25
4.4	Uuden ilmankäsittelykoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittäminen .....	29
4.5	Ilmanvaihdon lämmitystarve .....	30
4.6	SFP-luvun laskenta.....	32
5	Tulosten tarkastelu.....	33
5.1	Kokonaisenergiankulutus vuodessa .....	34
5.2	Takaisinmaksuaika .....	36
6	Pohdinta.....	37
	Lähteet.....	39

## Liitteet

- Liite 1 Ulkoilman lämpötilojen esiintymistiheys nykyilmastossa (TRY2012) pysyvyyssarvoina vyöhykkeellä III (Jyväskylä)

## 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä käsitellään nykyaikaisen ilmapuhdistuskoneen päivittämisen hyötyjä taloudellisesta näkökulmasta. Energian säästäminen on puhuttanut kovasti nykyvuosina ja koko ajan yritetään kehittää enemmän energiatehokkaita ratkaisuja. Ilmanvaihdon merkitys on kasvanut huomattavasti lähivuosikymmeninä ja vaatimukset sisäilman ja energian suhteen ovat muuttuneet paljon. Energian hinnan noustessa vanhan ja energiasyöpön ilmanvaihtojärjestelmän uusiminen voi olla hyvinkin kannattava sijoitus. Nykyaikaiset ilmapuhdistuskoneet ovat huomattavasti energiatehokkaampia ja uuden ilmapuhdistuskoneen hankinnalla saatetaan saavuttaa huomattavat energiasäästöt. Voidaan olettaa, ettei noin 30–40 vuotta vanha ilmapuhdistuskone saavuta nykypäivän vaatimuksia energian eikä sisäilman suhteen.

Toimeksiantajana työlle on JK-Kanava Oy ja kohteena projektille on Joensuuissa sijaitseva 5-kerroksinen liikerakennus. Mittauksia ei suoriteta koko rakennuksen ilmapuhdistuskoneiden osalta vaan työn laajuus rajataan yhteen lämmöntalteenotolla varustettuun ilmapuhdistuskoneeseen. Työssä käytettävä ilmapuhdistuskone on hankittu 80-luvulla, joten merkittäviä tuloksia energiansäästön osalta on odotettavissa. Uuden ilmapuhdistuskoneen hankinta sijoittuu kesälle 2022, joten mittausdatana käytetään valmistajan ilmoittamia tietoja.

Opinnäytetyön tarkoituksena on esittää ilmanvaihtojärjestelmän nykyaikaistamisen mukana tulevia taloudellisia sekä muita hyötyjä. Työ tuo esille perustietoa ilmanvaihdosta ja ilmanvaihtojärjestelmistä. Tarkoituksena työssä on verrata uuden ja vanhan ilmapuhdistuskoneen välistä energiankulutusta ja tuoda esille mitkä asiat energiankulutukseen vaikuttavat. Käsiteltäviä arvoja ovat lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, puhaltimien SFP-luvut ja ilmapuhdistuskoneen kokonaisenergiankulutus. Tarkoituksena on myös laskea takaisinmaksuaika uuden ilmapuhdistuskoneen hankinnalle.

## 2 Ilmanvaihto Suomessa

Ilmanvaihdon merkitys on tullut esille vahvasti 2000-luvulla ja tätä myöten energiaa kuluu entistä enemmän ilmanvaihtojärjestelmiin. Energiatehokkuus tavoitteiden noustessa koko ajan tiukemmiksi ja energian hinnan noustessa on olennaista alkaa miettimään millä keinoin energiatehokkuutta saadaan parannettua. Suurikokoisissa kiinteistöissä tarvittavat ilmamäärät kasvavat ja ilmanvaihtoon kuluu suuria määriä energiaa, joten energiansäästöpotentiaali on suuri.

### 2.1 Ilmanvaihdon perusteet

Riittävä ilmanvaihto on yksi avaintekijä tehokkaaseen työntekoon ja oppimiseen. Ilmanvaihdon päätehtävänä on parantaa hengitettävää ilman laatua, lisätä viihtyisyyttä ja poistaa epäpuhtauksia. Kuitenkaan kaikkia rakennuksessa syntyvien epäpuhtauksien lähteitä ei voida poistaa, joten niiden hallintaan tarvitaan ilmanvaihtoa. Riittävän ilmanvaihdon avulla sisäilman kosteus ja hiilidioksidipitoisuudet saadaan pidettyä ihmiselle ja rakennukselle terveellisellä tasolla. [6.]

Toimivan ilmanvaihdon edellytyksenä on kanaviston oikeaoppinen säätö. Oikein säädetyssä kanavistolla ilma virtaa suunnitelmien mukaisesti ja paineet pysyvät hallinnassa. Paine-ero on tärkeä tekijä ilmanvaihdon toiminnassa. Paine-ero saadaan aikaan puhaltimilla tai lämpötilaerolla ja sen avulla ilma virtaa suuremmasta paineesta pienempään. Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaudesta tulee pitää huolta, suodattimia tulee vaihtaa säännöllisesti sen likaantuessa. Poistoilmakanava tulee puhdistaa vähintään palomääräyksien edellyttämällä tavalla. Kanaviston likaantuminen vaikuttaa ilmavirtoihin ja tästä syystä niitä tulee puhdistaa suositetulla tavalla. Näin ollen vältetään tarpeetonta energiantuhlausta. [6.]

Ilmanvaihdon jaksottaminen oikeaan aikaan ja paikkaan on tärkeää energiansäästön osalta, koska sen avulla voidaan pienentää puhallinenergian sekä lämmitysenergian tarvetta. Asuinrakennuksissa tulee ilmanvaihdon olla koko ajan

päällä, koska oleskelu on epäsäännöllistä. Toimistorakennuksissa ja muissa tiloissa, joissa ei oleskella jatkuvasti, voidaan ilmanvaihtoa rajoittaa silloin, kun tilaa ei käytetä. On kuitenkin varmistettava, että sisäilman taso on riittävä käyttäjän saapuessa tilaan. Epäpuhtauksia syntyy jatkuvasti, joten tulee ilmanvaihto käynnistää riittävän ajoissa. [6.]

Epäpuhtauksien poisto tapahtuu poistoilmakanavalla, joka on hyvä sijoittaa tiloihin, joissa syntyy jatkuvasti epäpuhtauksia. Asunnoissa näitä ovat esimerkiksi märkätilat ja keittiö. Epäpuhtaudet olisi hyvä poistaa ennen kuin ne leviävät muihin tiloihin. [6.]

Tuloilmalla pyritään parantamaan ilmanlaatua oleskelutiloissa. Tuloilma tuodaan aina puhtaisiin tiloihin kuten, makuuhuoneisiin tai olohuoneeseen, joista se siirtyy siirtoilmana keittiöön tai märkätiloihin. Tuloilmaa voidaan tehostaa ikkunatuuletuksella hetkellisesti. [6.]

Rakennuksen vaipan tiiveys on tärkeä asia ilmanvaihdon toimivuuden kannalta. Tiiviissä rakennuksessa ilmanvaihtoa pystytään helpommin ohjaamaan, koska kaikki ilma menee ilmavaihtojärjestelmän läpi. Mikäli rakennuksen vaippa ei ole tiivis, voi tämä ilmetä vetona kylmän ilman virratessa sisälle. Epätiivistä rakennusta ei pystytä hallita ilmanvaihtojärjestelmillä, mikä johtaa lämmitystarpeen kasvamiseen. [6.]

## **2.2 Ilmanvaihtojärjestelmät ja sen osat**

Yleisimpiä ilmanvaihtojärjestelmiä ovat painovoimainen- ja koneellinen ilmanvaihto. Ilmanvaihtojärjestelmillä saadaan varmistettua riittävä ilmavirtaus tilaan, jolloin sisäilma saadaan pidettyä puhtaana. Ilmanvaihdon toimivuus perustuu paine-eroihin, mikä mahdollistaa painovoimaisen ilmanvaihdon. Mikäli tuloilma tuodaan tilaan koneellisesti, kyseessä on koneellinen ilmanvaihto. Kerros-, pien- ja rivitaloissa yleisesti käytetään joko hajautettua tai keskitettyä ilmavaihtojärjestelmää. Keskitettyjä järjestelmiä käytetään usein myös esimerkiksi palvelutaloissa, asuntoloissa, kouluissa, päiväkodeissa, myymälöissä, ravintoloissa,

liikuntatiloissa ja teollisuushalleissa. Hajautetulla ilmanvaihtojärjestelmällä tarkoitetaan, että jokaisessa asunnossa on oma ilmanvaihtokone ja keskitetyllä, jossa yksi ilmavaihtokone palvelee useampaa huoneistoa. Eroina näissä vaihtoehtoisissa on lähinnä laitteen käytön hallinta, huolto ja lämmityskustannusten kohdistuminen. Keskitetyn ja hajautetun järjestelmän energiansäästön osalta ei merkittäviä eroja ole, säästöt riippuvat enemmänkin laitevalinnoista. [1, 113–127.]

Tavanomaisen ilmanvaihtokoneen tyypillisiä osia ovat tulo- ja poistoilmapuhallin, lämmönsiirrin, äänenvaimentimet, suodattimet, etulämmityspatteri, lämmönsiirtimen ohituspelti ja jälkilämmityspatteri. Tässä työssä kuitenkin käydään läpi energiankulutuksen kannalta oleelliset osat eli puhaltimet, lämmöntalteenotto ja lämmitysmuodot. [1, 157.]

Ilmanvaihtokoneet voidaan jaotella pieniin ilmanvaihtokoneisiin, koteloituihin ilmankäsittelykoneisiin ja toimintavalmiisiin ilmankäsittelykoneisiin. Pieniä ilmanvaihtokoneita tyypillisesti käytetään pientaloissa ja hajautetuissa järjestelmissä, joiden ilmavirta-alue on noin 50...500 l/s. Pienet ilmanvaihtokoneet ovat asennusvalmiita yksiköitä. Koteloituja ilmankäsittelykoneita käytetään keskitettyihin järjestelmiin ja kone koostuu moduuleista, jotka valitaan kohteen tarpeiden mukaisesti. Yleisesti niitä käytetään isoissa kohteissa, kuten myymälöissä ja teollisuushalleissa. [1, 155–165.]

### **2.2.1 Painovoimainen ilmanvaihto**

Painovoimainen ilmanvaihto on hyvin yleinen ilmanvaihtoratkaisu 1970-luvulle asti rakennetuissa rakennuksissa. Tässä ratkaisussa poistoilmaventtiili sijoitetaan yleensä keittiöön, pesuhuoneeseen, WC-tilaan, pukuhuoneeseen ja saunaan. Poistoilmaventtiilin kautta poistoilma johdatetaan katolle. Ilman virtaaminen ulos perustuu painovoimaan, mikä syntyy sisä- ja ulkoilman tiheyserosta. Lämpimän ilman tiheys on pienempi kuin kylmän ja tämä mahdollistaa painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuuden. Tuulella on vaikutus ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuteen. [1, 114.]



Painovoimaisen ilmanvaihdon korvausilma tulee sieltä, mistä sillä on helpoin tulla. Tuulisessa ilmalla korvausilma tulee tuulen suunnan puolelta. Mikäli rakennuksen vaippa on epätiivis, korvausilma epäpuhtauksineen voi tulla rakenteiden läpi. Makuu- ja olohuoneissa korvausilman saanti perustuu ikkunatuuletukseen, mikäli huoneessa ei ole ulkoilmaventtiiliä. Ulkoilmaventtiilillä ilmavirtauksiin voidaan vaikuttaa jonkin verran. [1, 114.]

On muutamia ratkaisuja, joilla pystytään tehostaan painovoimaista ilmavaihtoa. Liesituulettimella saadaan tehostettua keittiön ilmanvaihtoa hetkellisesti. Myös pesuhuoneen poistokanavaan sijoitetulla puhaltimella voidaan ohjata ilmaa tehokkaammin ulos. Haittapuolena näitä ratkaisuja käytettäessä ilmavirtauksen suunta voi kääntyä siten, että epäpuhtaista tiloista ilma virtaa puhtaisiin tiloihin. [1, 114–115.]

### **2.2.2 Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä**

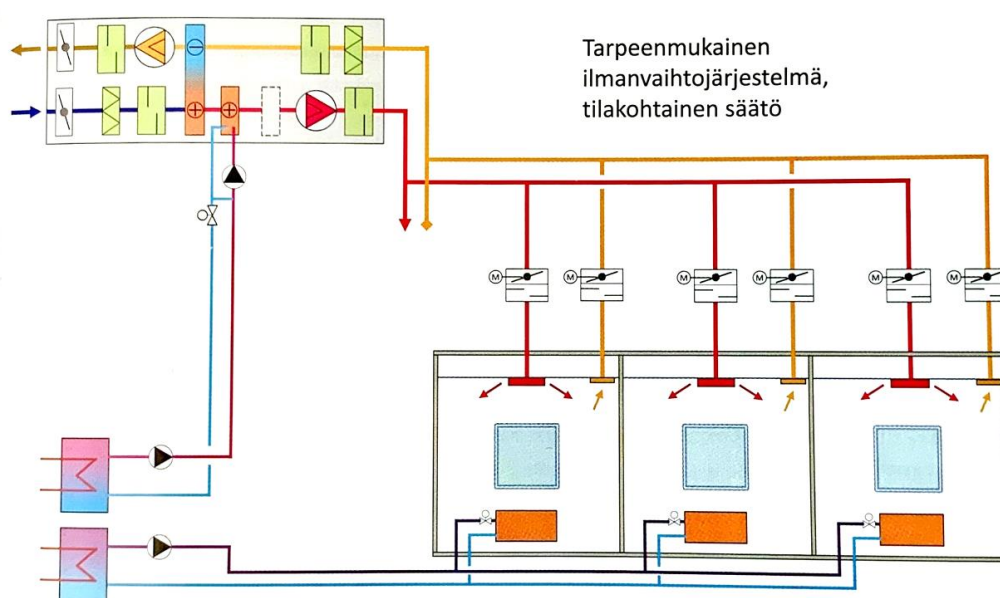
Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä on hyvin samantapainen kuin painovoimainen ilmanvaihto, mutta poistoilmakanavaan vesikatolle on asennettu huippuimuri, joka aiheuttaa rakennukseen alipaineen. Tästä syystä, mikäli rakennuksessa ei ole korvausilmaventtiiliä, tulee korvausilma sieltä mistä sen on helpoin tulla. Ovirako on tälle järjestelmälle oleellinen osa, jotta ilma saadaan ohjattua puhtaista tiloista poistoventtiileillä varustettuihin huoneisiin. [1, 115–116.]

### **2.2.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä**

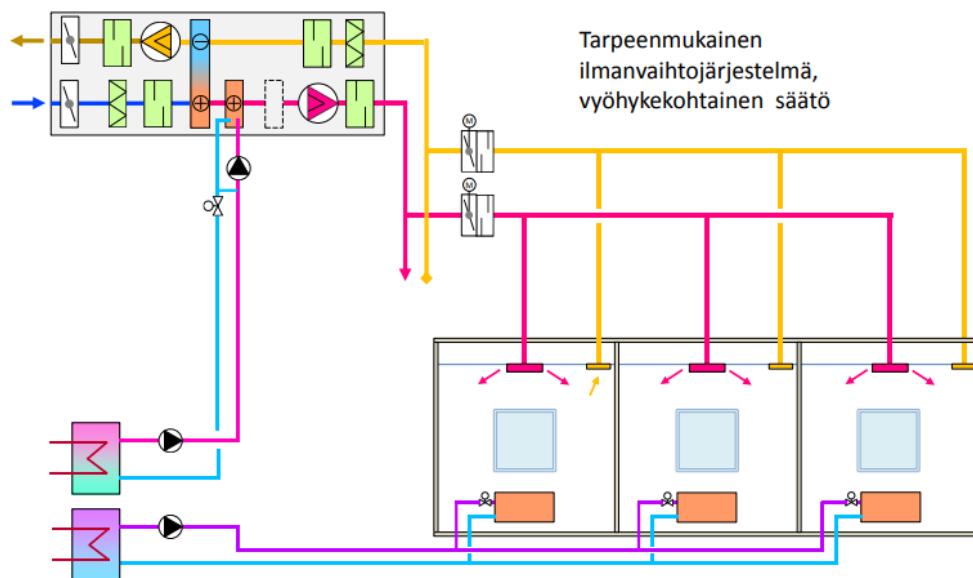
Koneellisella ilmanvaihdolla tarkoitetaan järjestelmää, jossa tuloilma tuodaan tilaan koneellisesti ja poistoilma ohjataan lämmöntalteenottoa hyödyntäen takaisin ilmanvaihtokoneelle ja tätä kautta ulos rakennuksesta. Koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän etuna on mahdollisuus ilman suodatukseen ja

lämmöntalteenottoon. Lämmitetyllä ilmalla mahdollistetaan tuloilmanjako huoneisiin vedottomasti, sekä ilma pystytään suodattamaan epäpuhtauksista. Tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän laitteet ovat kehittyneet suuresti ajan mittaan varsinkin puhaltimien ja lämmöntalteenoton suhteen. Lämmöntalteenotolla varustettuja ilmanvaihtokoneita alettiin kehitellä 1970-luvulla. Kerrostaloissa tämä yleistyi kuitenkin vasta 1990-luvulla. Tämä vuosikymmen oli merkittävä askel kohti nykyaikaisia ilmanvaihtojärjestelmiä, koska lämmöntalteenotolla saavutettiin suuret energiansäästöt tuloilman lämmityksen suhteen. [1, 116.]

Keskittyissä tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmissä ilmavirtauksia voidaan hallita eri tavoin. Ensimmäinen vaihtoehto on keskitetty yhteinen säätö, jolloin huoneistoissa ei ole omaa säätöä (kuva 2). Toinen vaihtoehto on huoneistokohtainen säätö, jolloin huoneistoissa on omat ilmavirtaussäätimet (kuva 1). Tällöin ilmavirtoja pystytään tehostamaan kuormituksen ajaksi tai tarvittaessa pienentämään poissaolon ajaksi. Tarpeenmukaisesti säädettävä ilmanvaihto olisi hyvä olla etenkin myymälöissä, ravintoloissa, opetustiloissa ja tiloissa, joissa ei oleskella jatkuvasti. Säätö voidaan toteuttaa huonekohtaisesti tai vyöhykekohtaisesti. Ilmavirtaa voidaan ohjata hiilidioksidipitoisuuden, lämpötilan tai läsnäolon perusteella, jolloin ohjaus tapahtuu manuaalisesti tai automaattisesti esimerkiksi liiketunnistinta hyödyntäen. [1, 116–127.]



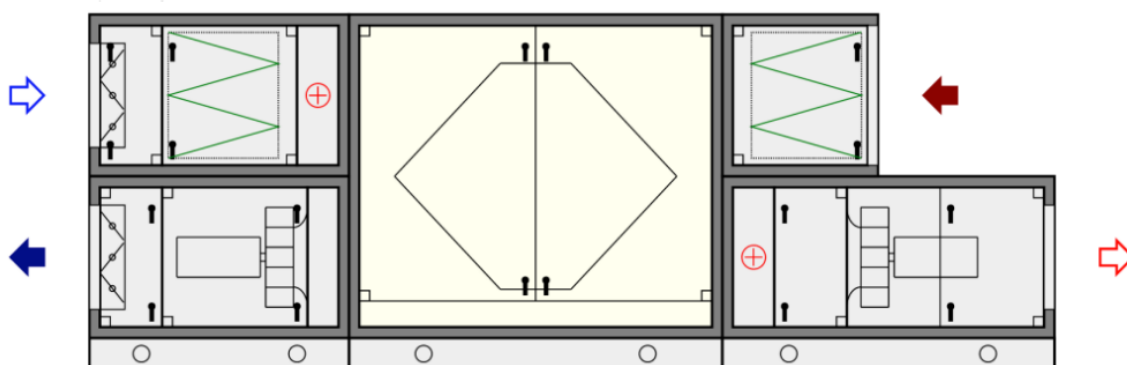
Kuva 1. Tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä tilakohtaisella säädöllä. [1, 127.]



Kuva 2. Tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä vyöhykekohtaisella säädöllä. [1, 127.]

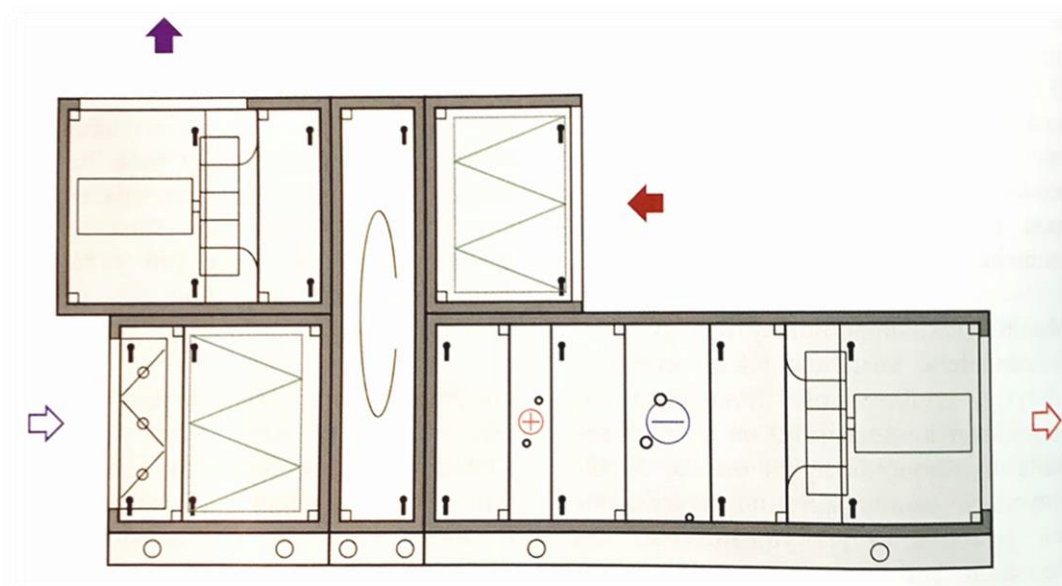
## 2.2.4 Lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenotolla pyritään hyödyntämään poistoilmasta saatava lämpö tuloilmaan, jotta tuloilman lämmitystarve pienentyisi. Lämmöntalteenotolla saavutettu lämpö vähentää tuloilman jälkilämmityksen tarvetta, mikä vähentää energiankulusta huomattavasti. Kuvassa 3 on esitetty vastavirtalevyllämmönsiirrin il-mankäsittelykoneessa. Lämmönsiirtimiä on saatavilla neljä erilaista mallia: pyörivä lämmönsiirrin, ristivirtatyypinen levyllämmönsiirrin, vastavirtatyypinen levyllämmönsiirrin ja nestekiertoinen lämmöntalteenotto. [1, 178–183.]

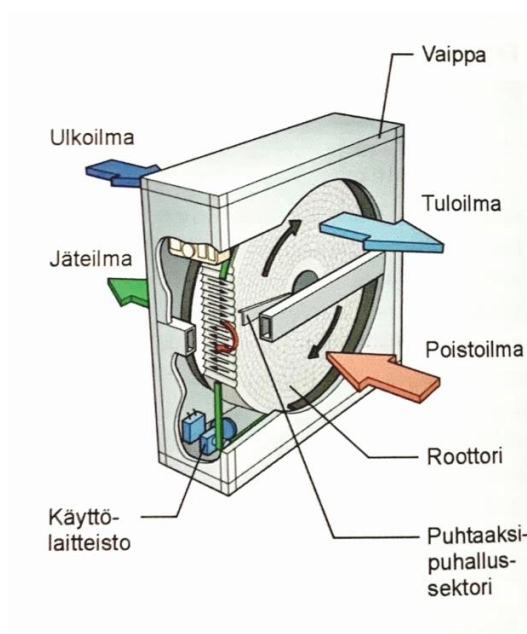


Kuva 3. Vastavirtalevyllämmönsiirrin il-mankäsittelykoneessa. [1, 183.]

Pyörivä lämmönsiirrin on paljon käytetty menetelmä suurissa ilmapuhdistuslaitteissa. Lämmönsiirrin sisältää alumiinista tai keraamisesta materiaalista valmistetun kiekkomaisen roottorin, mikä siirtää pyöriessään poistoilmasta saatavan lämmön tuloilmaan (kuva 5). Rakenteeltaan lämmönsiirrin vaatii hyvin pienen tilan. Lämmönsiirtimen kotelo on jaettu kahteen osaan, joista toisessa virtaa tuloilma ja toisessa poistoilma (kuva 4). Ilmavirtojen tulee aina virrata vastakkaisiin suuntiin, jotta laite toimii oikein. Lämmönsiirtimellä on korkea hyötysuhde, koska laite toimii vastavirtaperiaatteella eikä tarvitse toimiakseen mitään väliainetta. Lämpötilahyötysuhde on tyypillisesti 75–85 %. Roottorin puhtaana pysyvyys on hyvä, koska virtaussuunnan muuttuessa epäpuhtaudet pyyhkiytyvät itsestään pois. Poistoilman ja tuloilman sekoittumisen estämiseksi lämmönsiirtimessä on puhtaaksipuhallussektori. Korkean hyötysuhteen ansiosta jälkilämmityksen tarve laskee, sekä painehäviö pysyy kohtuullisena eikä aiheuta kasvua sähkönkulutuksessa. Säätolaitteistolla voidaan säätää roottorin pyörimisnopeutta, tyypillisesti nopeus on 0,5 – 15rpm. Energiategokkuuden näkökulmasta katsottuna pyörivä lämmönsiirrin on hyvä vaihtoehto. [1, 178–179.]

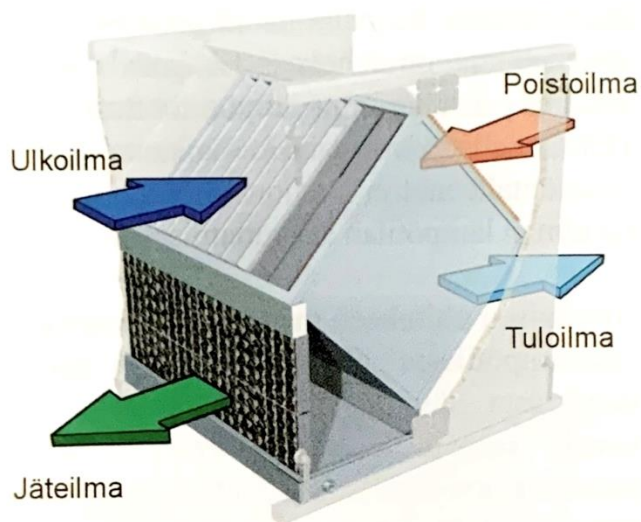


Kuva 4. Pyörivällä lämmönsiirtimellä varustettu ilmapuhdistuslaitte. [1, 180.]



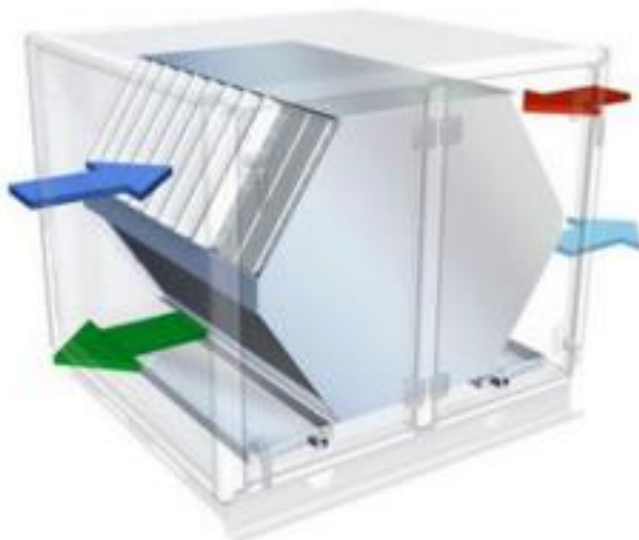
Kuva 5. Pyörivä lämmönsiirrin. [1, 178.]

Ristivirtatyypinen levylämmönsiirrin (kuva 6) on yleinen vaihtoehto pientalojen ilmanvaihdon lämmön talteen otossa. Hyviä puolia lämmönsiirtimessä ovat kustannustehokas rakenne ja kohtuullisen hyvä lämpötilahyötysuhde. Lämpö siirtyy ohuiden lämpöä johtavien levyjen läpi tuloilman ja poistoilman kulkiessa ristikkäin. Lämmönsiirtimessä ei ole liikkuvia osia, joten se on hyvin toimintavarma. Ristivirtaperiaatteesta johtuen maksimihyötysuhde rajoittuu noin 60–65 %. Kylmässä ilmastossa tulee ottaa huomioon laitteen huurtuminen, mikäli poistoilma jäähtyy alle kastepisteen. Huurtumisen poistoon tehokas menetelmä on lohkosulatus, jota voidaan käyttää vain isommissa koneissa. [1, 180–182.]



Kuva 6. Ristivirtatyypinen levylämmönsiirrin. [1, 181.]

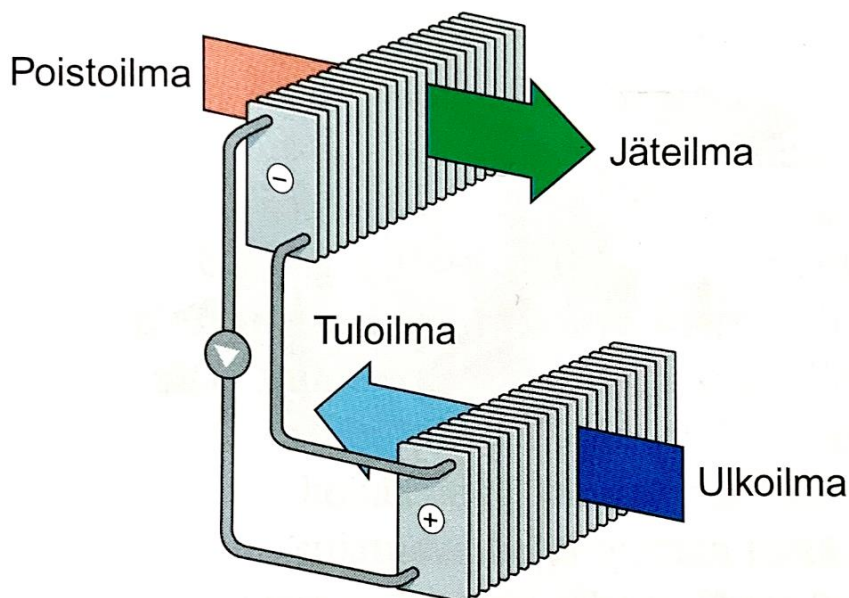
Vastavirtatyypinen levylämmönsiirrin (kuva 7) on hyvin samantapainen kuin ristivirtatyypinen. Ilmavirrat kulkevat enemmän vastakkaisiin suuntiin toisista ja tämä mahdollistaa lämpötilahyötysuhteen nousun parhaillaan yli 80 %. Lämpötilahyötysuhteen noustessa poistoilma jäähtyy entistä enemmän ja tämä johtaa lämmönsiirtimen huurtumiseen ja jäätymiseen. Huurteen poistoon voidaan käyttää samaa menetelmää kuin ristivirtatyypisessä lämmönsiirtimessä, mutta joissain tapauksissa tämäkään ei riitä, joten tulee lämmönsiirrin varustaa etulämmityspatterilla. Etulämmityspatterin tehtävä on lämmittää lämmönsiirtimelle tulevaa ulkoilmaa. Vastavirtatyypinen lämmönsiirrin on rakenteeltaan suurikokoinen. [1, 183.]



Kuva 7. Vastavirtatyypinen levylämmönsiirrin. [1, 183.]

Nestekiertoinen eli epäsuora rekuperatiivinen lämmöntalteenotto (kuva 8) siirtää lämmön poistoilmasta väliaineen avulla. Lämmönsiirrin on hyvin samankaltainen kuin lämmitys- tai jäähdytyspatteri, mutta lämmityspinta-ala on usein suurempi, mikä mahdollistaa paremman lämpötilahyötysuhteen. Väliaine kerää lämmön poistoilmapatterin kautta, josta se kulkeutuu putkistoa pitkin tuloilmapatteriin. Väliainetta käytetään veden ja jäätymisenestoaineen seosta, jonka kierrättäminen putkistossa tapahtuu pumpulla. Nestekiertoinen lämmöntalteenotto mahdollistaa lämmön siirron ilman tulo- ja poistoilmavirtojen sekoittumista keskenään. Laitteessa on myös etuna, että ilmanvaihtolaitoksissa pystytään tulo- ja poistoilma sijoittaa kauas toisistaan, koska lämpö siirtyy nesteenä putkistoa pitkin. Tämänkin järjestelmän osalta tulee ottaa huomioon poistoilmapatterin huurtuminen, jota pystytään hallitsemaan nestevirtaa säätämällä. Nestevirtaa pienentämällä saadaan lämmöntalteenottoa pienennettyä. [1, 184–185.]

Nestekiertoisesta lämmöntalteenottojärjestelmästä on myös vaihtoehto, johon pystytään lisätä nesteelle lämmitys- tai jäähdytyspatterit. Lämmitys/jäähdytys tapahtuu lämmönsiirtimen avulla suoraan nesteputkeen samalla periaatteella kuin nestekiertoinen lämmönsiirrin. Tällä järjestelmällä saavutetaan korkeampi lämpötilasuhde, mutta järjestelmä vaatii käyttötilanteelle mukautuvan ohjauksen. [1, 187.]



Kuva 8. Nestekiertoinen lämmöntalteenotto. [1, 187.]

### 2.2.5 Retermia lämmöntalteenotto

Retermia neulalämmönsiirrin (kuva 9) on omien tietojensa mukaan markkinoi- den kehittynein neste-ilmalämmönsiirrin. Lämmönsiirrintä voidaan käyttää läm- mityspatterin sijasta lämmittämiseen sekä jäähdyttämiseen. Neulalämmönsiirrin toimii lähes samalla tavalla kuin nestekiertoinen lämmöntalteenotto eli lämpö- energia kulkeutuu pumpun avulla lämmönsiirtonestettä pitkin poistoilmasta tu- loilmaan. Perinteisiin lämmöntalteenotto ratkaisuihin verrattuna neulalämmön- siirrin mahdollistaa lämmönsiirron ilman, että poistoilmasta siirtyy epäpuhtauk- sia tai kosteutta tuloilmaan. [7.]

Neulalämmönsiirtimen avulla on mahdollista kattaa 50–90 % tuloilman lämmi- tystarpeesta poistoilmasta saatavalla lämmitysenergialla sekä pienentää järjes- telmän painehäviöitä [7]. Neulalämmönsiirrin toimii itse G3-tason esisuodatti- mena, mutta tämä edellyttää suodattimien vaihdon sijaan säännöllistä neula- lämmönsiirrinpinnan puhdistusta, jotta lämmönsiirto-ominaisuudet säilyvät [8].

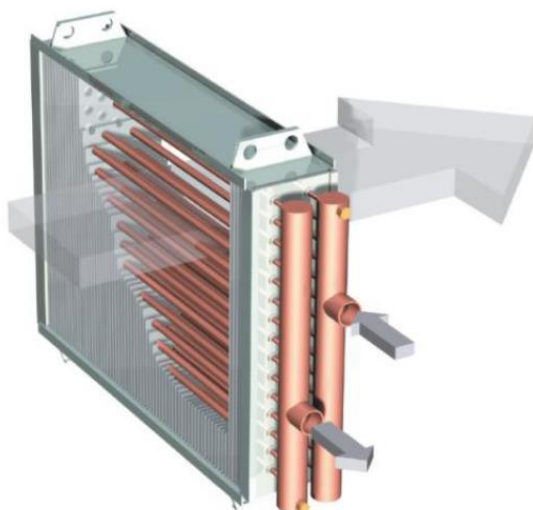




Kuva 9. Retermia-runkoon lämmönsiirrin. [8.]

### 2.2.6 Lämmitys

Lämmityksen tehtävä on lämmittää tai jäähdyttää ilmankäsittelykoneessa kulkevaa ilmaa. Lämmönsiirto on pyritty toteuttamaan siten, että painehäviö pysyisi mahdollisimman pienenä. Lämmityspatterin sisällä on suuri määrä pystysuunnissa pieniä alumiinisia ohuita levyjä, joita lävistää vaakatasoiset kupariputket (kuva 10). Tällä tavalla patterin läpi kulkeva ilma saadaan lämmitettyä tai jäähdytettyä. Patteri lämmitetään usein lämmitysverkoston vedellä. Tyypillinen kaukolämpöön kytketty lämmityksessä käytettävä veden lämpötila on tulevalla vedellä 60 °C ja lähtevällä 40 °C. [8, 170–171.]



Kuva 10. Lämmitys- tai jäähdytyspatteri. [1, 170.]

### 2.2.7 Puhaltimet

Puhallin on hyvin merkittävä osa ilmanvaihtojärjestelmää. Moottorista ja siipi-pyörästä koostuvalla puhaltimella saadaan ilma virtaamaan ja paine nousemaan kanavistossa. Puhaltimen pyörimisnopeutta pystytään muuttamaan sää-tämällä hihnan välityssuhdetta, mikä tarkoittaa kuitenkin sitä, että portaaton säätö ei ole mahdollista. Taajuusmuuntajan avulla voidaan säätö suorittaa por-taattomasti. [1, 174.]

Puhallinmoottoreita on kolme eri tyyppiä: oikosulkumoottori, EC-moottori ja PM-moottori.

Oikosulkumoottori on IEC-moottorirunkoinen sähkömoottori, mikä kytketään 3 x 400 V verkkoon (kuva 11). Perinteisiä pyörimisnopeuksia 50 Hz verkossa ovat 750, 1000, 1500 ja 3000 kierrosta minuutissa. Mikäli halutaan käyttää muita no-peuksia, tulee käyttää pyörimisnopeussäätöä. Hyötysuhde oikosulkumoottorilla on suhteellisen korkea. [1, 174.]

EC-moottori on elektronisesti kommutoitu tasavirtamoottori, mikä on varustettu kestopäinmagneetilla. Moottorin toiminta perustuu virran suunnan muuttamiseen staattorissa. Pyörimisnopeutta voidaan säätää laajasti ja nopeutta säädetään

säätöyksiköllä, joka on usein integroitu moottoriin. EC-moottorin hyötysuhde on korkea, minkä mahdollistaa laaja pyörimisalueen säätö. Parhaiten puhallin sopii pienille moottoritehoille, useimmiten asuntoilmanvaihtoon. [1, 174–175.]

PM-moottorin toiminta perustuu kestopagneetteihin. Rakenne moottorilla on hyvin samankaltainen kuin 3-vaiheisella oikosulkumoottorilla, mutta hyötysuhde on huomattavasti korkeampi. PM-moottorin pyörimisnopeutta säädetään taajuusmuuntajalla, jonka on oltava PM-moottorikäyttöön soveltuva. [1, 175.]



Kuva 11. Oikosulkumoottori. [1, 175.]

### 2.3 Ilmanvaihdon energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät

Ilmanvaihto on suuri tekijä energiakustannuksissa ja energiatehokkuutta voidaan jatkuvasti parantaa, mutta sisäilman laadusta ei voida tinkiä energiakustannuksiin vedoten. Ensisijaisesti ilmanvaihtoa tulee käyttää tarpeenmukaisesti ja ilmavirtojen tulee olla riittävät.

Ilmavaihdon energiatehokkuutta voidaan parantaa mitoitusteknisesti, järjestelmäteknisesti ja laiteteknisesti. Mitoitusteknisesti voidaan energiatehokkuutta parantaa kanavistojen väljentämällä, mikä pienentää puhaltimelta vaadittua tehoa. Järjestelmäteknisesti keinoja ovat ilmavirtojen säätö tarpeenmukaiseksi sekä lämmityksen ja jäähdytyksen suhteen lämpötilaerojen pienentäminen. Laiteteknisesti energiatehokkuuteen vaikuttaa puhaltimien ja lämmöntalteenoton hyötysuhteet. [1, 10.] Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon energiansäästöpotentiaali on korkea, jos rakennuksessa oleskelu on säännöllistä, muttei kokoai-kaista. Näin ollen pystytään pienentämään puhallinsähkön sekä lämmitys- tai jäähdytysenergian kulutusta. [2a, 4.]

Tarpeenmukainen ilmanvaihto on varmistettava. Ilmanvaihdon asunto- tai tilakohtainen säädettävyys parantaa lämpökuormien hallintaa ja viihtyisyyttä. Riittävä ilmanvaihto varmistaa osaltaan sisäilman laadun säily- misen hyvänä, joten ilmanvaihtoa ei tule rajoittaa sisäilman laadun kus- tannuksella energiansäästön takia. [3, 131.]

### **3 Opinnäytetyössä käytetyt menetelmät**

Työssä lähdettiin tutkimaan ilmakäsittelykoneen nykyaikaistamisella saavutetta- via hyötyjä, joilla on merkitystä energiatehokkuuteen. Tarkoituksena työssä on tutkia, mistä ilmakäsittelykoneen kokonaisenergiankulutus koostuu.

Tarkoituksena työllä oli tutkia hyötyjä, joita ilmakäsittelykoneen uusimisella voi- daan saavuttaa taloudellisesta näkökulmasta ja verrata uuden ja vanhan järjes- telmän välisiä eroja. Vertailtavia arvoja ovat muun muassa puhaltimien sähkön- kulutukset uuden ja vanhan ilmakäsittelykoneen välillä sekä lämmöntalteen- oton hyötysuhteiden vertailu ja lämmitystarpeen laskenta. On ilmiselvää, että noin 40 vuotta vanha järjestelmä ei ole läheskään yhtä energiatehokas kuin mitä nykypäivän järjestelmät ovat.

Laskennassa käytetään tilannetta, jossa ilmakäsittelykone käy tasaisesti ym- päri vuorokauden. Ilmakäsittelykoneen aikaohjausta ei oteta tässä työssä

huomioon vaan ilmkäsittelykone käy tasaisesti ympäri vuorokauden. Joitakin arvoja ei pystytty tarkasti määrittämään, joten arvoina käytetään mahdollisimman lähelle arvoituja esimerkkilukuja.

### 3.1 Laskennassa käytettäviä käsitteitä

**Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteella** tarkoitetaan lämmöntalteenottolaitteistolla talteen otettavan lämmön suhdetta lämmityksen tarvitsemaan lämpömäärään vuodessa, kun lämmöntalteenottoa ei ole. [4b, 44.]

**Ilmanvaihdon lämmitystarpeella** tarkoitetaan lämpömäärä, jolla ilma lämmitetään ulkoilman lämpötilasta sisäilman lämpötilaan. Mitoittavana sisäilman lämpötilana käytetään 21 °C. [4b, 44.]

**LTO** on lyhenne lämmöntalteenotosta. [4b, 44.]

**Tuloilman lämpötilahyötysuhde** on lämmöntalteenotossa tapahtuva tuloilman suhde poistoilman ja ulkoilman väliseen lämpötilaerotukseen. [4b, 44.]

**Poistoilman lämpötilahyötysuhde** on poistoilman jäähtymisen suhde poistoilman ja ulkoilman väliseen lämpötilaerotukseen. [4b, 44.]

**Lämmöntarveluku** on lämmitysenergian tarvetta, joka muodostuu lämpötilaerosta ja sen esiintymisajasta. Lämmöntarveluvut lasketaan lämmityskaudelle, jolloin ulkolämpötila on alle +12 °C. [4b, 45.]

## 4 Opinnäytetyön tekemisen kuvaus

Ilmankäsittelykoneen energiankulutus koostuu pääasiassa puhaltimista ja lämmityksestä tai jäädytyksestä. Energiatehokkuuteen merkittäviä tekijöitä ovat lämmöntalteenoton hyötysuhde ja puhaltimien SFP-luku. Selvitettäviä arvoja olivat ilmavirrat, puhaltimien sähkönkulutus, sekä poistoilman, tuloilman, ulkoilman ja jäteilman lämpötilat.

Lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteen laskenta suoritettiin Ympäristöministeriön Tasauslaskentaoppaan 2018 monisteen 122 avulla. Lämpötilahyötysuhteen laskenta tulee suorittaa siten, että lämmönsiirtimet ovat kuivina ja ilman jäätyminenestoja tai tuloilman lämpötilan rajoituksia.

Ilmavirtojen lämpötilat oli mahdollista lukea itse ilmankäsittelykoneesta. Lämpömittareita on asetettu molemmin puolin lämmöntalteenottoa tulo- ja poistopuolella. Taajuusmuuttajat mahdollistivat tulo- ja poistoilmapuhaltimen sähkönkulutuksen seurannan varsin helpoksi (kuva 12). Ilmavirtojen mittaamisen suoritti toimeksiantaja.



Kuva 12. Tulopuhaltimen taajuusmuuttaja.

## 4.1 Vanha ilmankäsittelykone

Tutkimuksessa käytettävänä ilmankäsittelykoneena toimi suurikokoinen 80-luvulla käyttöönotettu kone (kuva 13). Lämmönsiirtimenä järjestelmässä toimii risivirtatyypinen lämmönsiirrin. Tuloilman jälkilämmitys tapahtuu kaukolämpöverkostosta lämmityspatterin avulla. Tulo- ja poistoilmapuhaltimien moottoreina toimii HXUR-225A2 kolmivaiheiset oikosulkumoottorit. Puhaltimien ilmamäärät ovat noin 2000 l/s. Lisäksi tilassa on pienempi ilmankäsittelykone, jonka tulo- ja poistoilmavirrat ovat noin 530 l/s. Järjestelmään on myöhemmin lisätty taajuusmuuttajat sekä tuloilmapuolelle lisäpuhallin. Ilmankäsittelykoneen suodatinluokka on G3.

Kojeisto on asetettu käymään viikko-vuorokausiohjelmakellon mukaisesti. Tarvittaessa konetta voidaan käyttää puoliteholla. Ulkolämpötilan laskiessa alle 15°C käyvät puhaltimet pienemmällä nopeudella. Lämmityskaudella säätöjärjestelmä ohjaa antureiden mittaustulosten perusteella jäähdytysventtiilin kiinni ja lämmityspatterin venttiiliä siten, että tuloilman lämpötila saadaan pidettyä asetusarvossaan. Säätöjärjestelmä estää lämmöntalteenoton huurtumisen ohjaamalla säätöpeltejä lämpöantureiden avulla. Jäähdytyskaudella lämmöntarpeen pienentyessä lämmöntalteenotto ohittuu, rajakytkin antaa kylmäkoneelle käynnistysluvan ja magneettiventtiilien avulla kylmäkoneen jäähdytysteho saadaan asetusarvoa vastaavaksi. Seisonta-aikana säätöpellit ohjautuvat kiinni. Varolaite suorittaa hälytyksen, mikäli tuloilmakojeen lämmityspatterin veden lämpötila laskee alle asetusarvon.



Kuva 13. Vanha ilmapuhdistuslaitteisto.

#### 4.2 Uusi ilmapuhdistuslaitteisto

Uudeksi ilmapuhdistuslaitteistoksi valikoitui ETS NORD Recair -merkkinen kone. Recair -ilmapuhdistuslaitteiston ilmapuhtaus mitoitettiin siten, että se korvaa molemmat vanhat ilmapuhdistuslaitteistot. Lämpötilanotto ratkaisuksi valittiin Re-termia neulalämpösiirrin, johon kuuluu ilmapuhdistuslaitteiston tulokoneen runkoon liitettävä lämpösiirrinosa sekä ulospuhalluskatos, jonka kautta jäteilma puhalletaan katolle. Lämpösiirrimen hyötysuhteet ovat noin 61,8–72,9 % riippuen tuloilman lämpötilasta sekä poistoilmavirrasta. Lämpösiirrimessä on varaus jäähtymiselle, mikäli tulevaisuudessa sitä tarvitaan. Tulokoneen ilmavirta on 3200 l/s ja moottoriteho verkosta 2,98 kW. Poistokoneella on sama ilmavirta mutta moottoriteho on 2,91 kW. Tuloilma- ja poistoilmapuhaltimen tyyppi on EC. Valmistajan ilmoittama puhaltimien SFP-luku on 1,78 kW / (m<sup>3</sup>/s). Ilmapuhdistuslaitteiston suodatinluokka on F7 ePM1 60 %.





Kuva 14. Recair ilmankäsittelykone. [9.]

#### 4.3 Vanhan ilmankäsittelykoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittäminen

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämiseksi tarvittiin ulkoilman, sisäilman, tuloilman ja jäteilman lämpötilat. Ulkolämpötilojen pysyvyystiedot vuosihyötysuhteen määrittämistä varten tuli hakea vyöhykkeen III mukaan. Ilmankäsittelykoneen lämpötilojen tarkastelu suoritettiin, kun ulkoilman lämpötila oli noin  $-4^{\circ}\text{C}$ . Sisäilman eli poistoilman lämpötila oli  $20^{\circ}\text{C}$ . Ulkoilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen oli  $10^{\circ}\text{C}$  ja jäteilman taas  $9^{\circ}\text{C}$ .

Tulo- ja poistoilman lämpötilahyötysuhteiden laskenta suoritetaan Ympäristöministeriön Tasauslaskentaoppaan 2018 avulla käyttäen kaavoja 1 ja 2. [4, 50.]

(1)

$$\eta_t = \frac{(t_{tLTO} - t_u)}{(t_s - t_u)}$$

(2)

$$\eta_p = \frac{(t_s - t_j)}{(t_s - t_u)}$$

missä:

$\eta_t$	Tuloilman lämpötilahyötysuhde
$\eta_p$	Poistoilman lämpötilahyötysuhde
$t_{tLTO}$	Ulkoilman lämpötila LTO:n jälkeen
$t_u$	Ulkoilman lämpötila
$t_s$	Sisäilman eli poistoilman lämpötila
$t_j$	Jäteilman lämpötila

Tuloilman lämpötilahyötysuhde on:

(1)

$$\eta_t = \frac{(10 - (-4))}{(20 - (-4))} = 58,3\%$$

Poistoilman lämpötilahyötysuhde on:

(2)

$$\eta_p = \frac{(20 - 9)}{(20 - (-4))} = 45,8\%$$

Ilmankäsittelykoneen tuloilmavirta on 1920 l/s ja poistoilmavirta on 2070 l/s.

Tulo- ja poistopuolen ilmavirrat olivat epäsuhteiset, joten tuli selvittää ilmankäsittelykoneen tulo- ja poistoilmavirran suhde, jonka saa laskettua kaavalla 3. [4, 51.]

(3)

$$R_{LTO} = \frac{q_{tLTO}}{q_{pLTO}}$$

$$R_{LTO} = \frac{1,92}{2,07} = 0,928$$

missä:

$R_{LTO}$	LTO:n läpi kulkevien tulo- ja poistoilmavirran suhde
$q_{tLTO}$	LTO:n läpi kulkeva tuloilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$q_{pLTO}$	LTO:n läpi kulkeva poistoilmavirta, m <sup>3</sup> /s

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde  $\eta_a$  saadaan laskettua lämmöntarvelukuja hyödyntäen Tasauslaskentaoppaan 2018 yhtälöllä 4. [4, 58.]

(4)

$$\eta_a = \frac{\sum R_{T,i} S_{T,i}}{S_S}$$

$$\eta_a = \frac{0,928 * 3305,9}{5878,6} = 52,2\%$$

missä:

$\eta_a$	Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, %
$R_{T,i}$	Tulo- ja poistoilmavirran suhde
$S_{T,i}$	LTO:n jälkeisen tuloilman ja ulkoilman välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd.
$S_S$	Sisäilman ja ulkoilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd.

Lämmöntarvelukujen laskenta suoritetaan testivuoden TRY 2012 vyöhykkeen III ulkoilman lämpötilan pysyvyysarvojen perusteella. [4, 59.] Lämmöntarvelukujen määrittäminen onnistui selkeästi tekemällä Tasauslaskentaoppaan 122 mukaisen taulukon 1, jonne tarvittavat tiedot syötetään. [4, 62.] Lämmöntarveluvut  $S_S$  ja  $S_{T,i}$  saadaan määritettyä kaavoilla 5 ja 6. Kun pysyvyystiedot ilmoitetaan prosentteina vuodesta, tulee kaavan oikea puoli kertoa luvulla 365, jotta yksiköksi tulee Kd. [4, 60.]

(5)

$$S_S = \sum (\tau_n - \tau_{n-1}) (t_s - t_{u,n}) * 365$$

(6)

$$S_T = \sum (\tau_n - \tau_{n-1}) (t_{tLTO,n} - t_{u,n}) * 365$$

missä:

$\tau_n$  Tarkasteltava ajankohta pysyvyytaulukossa, %  
 $\tau_{n-1}$  Tarkasteltavaa ajankohtaa edellinen ajankohta pysyvyytaulukossa, %

$t_u$ °C	Aika vuodesta, %	$t_{LTO}$ , °C maks.	$t_j$ , °C min.	$t_s$ °C	$t_j$ °C	$t_{LTO}$ °C	$R_{LTO}$	$N_t$	$N_p$	Ss, Kd ( $t_s - t_u$ )	St, Kd ( $t_{LTO} - t_u$ )	SJ, Kd ( $t_s - t_j$ )
-28	0,00 %	17	5	21	5,0	-11	0,928	0,352	0,327	0	0	0
-27	0,07 %	17	5	21	5,0	-10	0,928	0,360	0,333	12,26	4,42	8,18
-26	0,17 %	17	5	21	5,0	-9	0,928	0,370	0,340	17,16	6,35	11,32
-25	0,24 %	17	5	21	5,0	-8	0,928	0,380	0,348	11,75	4,47	7,66
-24	0,40 %	17	5	21	5,0	-7	0,928	0,385	0,356	26,28	10,12	16,92
-23	0,56 %	17	5	21	5,0	-6	0,928	0,380	0,363	25,70	9,76	16,37
-22	0,70 %	17	5	21	5,0	-5	0,928	0,390	0,373	21,97	8,57	13,78
-21	0,87 %	17	5	21	5,0	-4	0,928	0,400	0,380	26,06	10,42	16,16
-20	1,22 %	17	5	21	5,0	-3	0,928	0,410	0,390	52,38	21,47	31,95
-19	1,93 %	17	5	21	5,0	-2	0,928	0,420	0,400	103,66	43,54	62,20
-18	2,69 %	17	5	21	5,0	-1	0,928	0,430	0,410	108,19	46,52	63,83
-17	3,17 %	17	5	21	5,0	0	0,928	0,440	0,422	66,58	29,29	38,48
-16	3,54 %	17	5	21	5,0	1	0,928	0,450	0,432	49,97	22,49	28,38
-15	4,11 %	17	5	21	5,0	2	0,928	0,460	0,445	74,90	34,45	41,57
-14	4,58 %	17	5	21	5,0	3	0,928	0,475	0,458	60,04	28,52	32,54
-13	5,01 %	17	5	21	5,4	4	0,928	0,490	0,458	53,36	26,15	28,92
-12	5,51 %	17	5	21	5,9	5	0,928	0,500	0,458	60,23	30,11	32,64
-11	6,13 %	17	5	21	6,3	6	0,928	0,520	0,458	72,42	37,66	39,25
-10	7,00 %	17	5	21	6,8	7	0,928	0,540	0,458	98,44	53,16	53,35
-9	8,37 %	17	5	21	7,3	8	0,928	0,583	0,458	150,02	87,46	81,31
-8	10,01 %	17	5	21	7,7	9	0,928	0,583	0,458	173,59	101,21	94,09
-7	12,84 %	17	5	21	8,2	9	0,928	0,583	0,458	289,23	168,62	156,76
-6	14,98 %	17	5	21	8,6	10	0,928	0,583	0,458	210,90	122,95	114,31
-5	17,95 %	17	5	21	9,1	10	0,928	0,583	0,458	281,85	164,32	152,76
-4	20,94 %	17	5	21	9,6	11	0,928	0,583	0,458	272,84	159,06	147,88
-3	24,69 %	17	5	21	10,0	11	0,928	0,583	0,458	328,50	191,52	178,05
-2	28,97 %	17	5	21	10,5	11	0,928	0,583	0,458	359,31	209,48	194,74
-1	33,14 %	17	5	21	10,9	12	0,928	0,583	0,458	334,85	195,22	181,49
0	36,91 %	17	5	21	11,4	12	0,928	0,583	0,458	288,97	168,47	156,62
1	42,27 %	17	5	21	11,8	13	0,928	0,583	0,458	391,28	228,12	212,07
2	46,35 %	17	5	21	12,3	13	0,928	0,583	0,458	282,95	164,96	153,36
3	49,51 %	17	5	21	12,8	13	0,928	0,583	0,458	207,61	121,04	112,53
4	52,92 %	17	5	21	13,2	14	0,928	0,583	0,458	211,59	123,36	114,68
5	55,75 %	17	5	21	13,7	14	0,928	0,583	0,458	165,27	96,35	89,58
6	59,57 %	17	5	21	14,1	15	0,928	0,583	0,458	209,15	121,93	113,36
7	62,97 %	17	5	21	14,6	15	0,928	0,583	0,458	173,74	101,29	94,17
8	65,96 %	17	5	21	15,0	16	0,928	0,583	0,458	141,88	82,71	76,90
9	68,89 %	17	5	21	15,5	16	0,928	0,583	0,458	128,33	74,82	69,56
10	71,66 %	17	5	21	16,0	16	0,928	0,583	0,458	111,22	64,84	60,28
11	75,03 %	17	5	21	16,4	17	0,928	0,583	0,458	123,01	71,71	66,67
12	78,11 %	17	5	21	16,9	17	0,928	0,583	0,458	101,18	58,99	54,84
									Yht.	5878,5805	3305,8779	3219,4994

Taulukko 1. Vanhan ilmakäsittelykoneen lämmöntarvelukujen määrittämiseen tarvittava taulukko.

#### 4.4 Uuden ilmakäsittelykoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittäminen

Uuden ilmakäsittelykoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämiseen käytetään valmistajan antamia tietoja, joiden perusteella alhaalla näkyvä taulukko 2 on täytetty. Taulukosta saadaan lämpötilapysyvyyden perusteella lämmöntarveluvut. TRY2012 säätiedoilla lämmöntarveluvuksi  $S_T$  saadaan 4042 Kd ja lämmöntarveluvuksi  $S_S$  saadaan 5878,6. Taulukosta nähdään, että  $R_{LTO}$  on 1 eli tulo- ja poistoilma ovat yhtä suuret. Vuosihyötysuhde lämmöntarveluilla lasketaan aiemmin käytetyllä kaavalla 4.

(4)

$$\eta_a = \frac{\sum R_{T,i} S_{T,i}}{S_S}$$

$$\eta_a = \frac{1 * 4041}{5878,6} = 68,7\%$$

$t_u$ °C	Aika vuodesta %	$t_{LTO}$ , °C maks.	$t_p$ °C min.	$t_s$ °C	$t_j$ °C	$t_{LTO}$ °C	$R_{LTO}$	$N_t$	$N_p$	Ss, Kd ( $t_u$ )	St, Kd ( $t_{LTO}-t_u$ )	SJ, Kd ( $t_s-t_j$ )
-28	0,00 %	17	5	21	-10,9	4	1,000	0,650	0,650	0	0	0
-27	0,07 %	17	5	21	-10,3	4	1,000	0,652	0,652	12,26	8,00	4,27
-26	0,17 %	17	5	21	-9,7	5	1,000	0,654	0,654	17,16	11,22	5,94
-25	0,24 %	17	5	21	-9,1	5	1,000	0,655	0,655	11,75	7,70	4,05
-24	0,40 %	17	5	21	-8,5	6	1,000	0,656	0,656	26,28	17,24	9,04
-23	0,56 %	17	5	21	-8,0	6	1,000	0,658	0,658	25,70	16,91	8,79
-22	0,70 %	17	5	21	-7,3	6	1,000	0,659	0,659	21,97	14,48	7,49
-21	0,87 %	17	5	21	-6,7	7	1,000	0,660	0,660	26,06	17,20	8,86
-20	1,22 %	17	5	21	-6,2	7	1,000	0,664	0,664	52,38	34,78	17,60
-19	1,93 %	17	5	21	-5,6	8	1,000	0,664	0,664	103,66	68,83	34,83
-18	2,69 %	17	5	21	-4,9	8	1,000	0,664	0,664	108,19	71,84	36,35
-17	3,17 %	17	5	21	-4,2	8	1,000	0,664	0,664	66,58	44,21	22,37
-16	3,54 %	17	5	21	-3,6	9	1,000	0,664	0,664	49,97	33,18	16,79
-15	4,11 %	17	5	21	-3,3	9	1,000	0,676	0,676	74,90	50,63	24,27
-14	4,58 %	17	5	21	-2,7	10	1,000	0,676	0,676	60,04	40,59	19,45
-13	5,01 %	17	5	21	-2,0	10	1,000	0,676	0,676	53,36	36,07	17,29
-12	5,51 %	17	5	21	-1,3	10	1,000	0,676	0,676	60,23	40,71	19,51
-11	6,13 %	17	5	21	-0,6	11	1,000	0,676	0,676	72,42	48,95	23,46
-10	7,00 %	17	5	21	-0,3	11	1,000	0,686	0,686	98,44	67,53	30,91
-9	8,37 %	17	5	21	0,4	12	1,000	0,686	0,686	150,02	102,91	47,10
-8	10,01 %	17	5	21	1,1	12	1,000	0,686	0,686	173,59	119,09	54,51
-7	12,84 %	17	5	21	1,8	12	1,000	0,686	0,686	289,23	198,41	90,82
-6	14,98 %	17	5	21	2,5	13	1,000	0,686	0,686	210,90	144,68	66,22
-5	17,95 %	17	5	21	2,9	13	1,000	0,696	0,696	281,85	196,17	85,68
-4	20,94 %	17	5	21	3,6	13	1,000	0,696	0,696	272,84	189,89	82,94
-3	24,69 %	17	5	21	4,3	14	1,000	0,696	0,696	328,50	228,64	99,86
-2	28,97 %	17	5	21	5,0	14	1,000	0,696	0,696	359,31	250,08	109,23
-1	33,14 %	17	5	21	5,7	14	1,000	0,696	0,696	334,85	233,06	101,79
0	36,91 %	17	5	21	6,2	15	1,000	0,705	0,705	288,97	203,72	85,25
1	42,27 %	17	5	21	6,9	15	1,000	0,705	0,705	391,28	275,85	115,43
2	46,35 %	17	5	21	7,6	15	1,000	0,705	0,705	282,95	199,48	83,47
3	49,51 %	17	5	21	8,3	16	1,000	0,705	0,705	207,61	146,37	61,25
4	52,92 %	17	5	21	9,0	16	1,000	0,705	0,705	211,59	149,17	62,42
5	55,75 %	17	5	21	9,8	16	1,000	0,699	0,699	165,27	115,53	49,75
6	59,57 %	17	5	21	10,5	16	1,000	0,699	0,699	209,15	146,19	62,95
7	62,97 %	17	5	21	11,2	17	1,000	0,699	0,699	173,74	121,44	52,30
8	65,96 %	17	5	21	11,9	17	1,000	0,699	0,699	141,88	99,17	42,70
9	68,89 %	17	5	21	12,6	17	1,000	0,699	0,699	128,33	89,71	38,63
10	71,66 %	17	5	21	14,4	17	1,000	0,602	0,602	111,22	66,95	44,26
11	75,03 %	17	5	21	15,0	17	1,000	0,602	0,602	123,01	74,05	48,96
12	78,11 %	17	5	21	15,6	17	1,000	0,602	0,602	101,18	60,91	40,27
									Yht.	5878,58	4041,52	1837,07

Taulukko 2. Uuden ilmakäsittelykoneen lämmöntarvelukujen määrittämiseen tarvittava taulukko.

#### 4.5 Ilmanvaihdon lämmitystarve

Ilmanvaihdon lämmitystarve on laskettu ympärivuorokautiselle käytölle ja laskenassa ei oteta huomioon ilmakäsittelykoneen aikaohjausta. Tarkoituksena on laskea lämmitykseen vaadittava energiantarve vuodessa. Ympäristöministeriön Tasauslaskentaoppaan 2018 monisteen 122 mukaan ilmanvaihdon lämmitystarpeen laskentaan käytettävä kaavaa 7. [4, 52.]

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

$$Q_{iv1} = 1 * 1,2 * 2,6 * 5878,6 * 24 = 440\,189,6 \text{ kWh}$$

$$Q_{iv2} = 1 * 1,2 * 3,2 * 5878,6 * 24 = 541\,771,8 \text{ kWh}$$

missä:

$Q_{iv1}$	Vanhan ilmkäsittelykoneen lämmitystarve, kWh
$Q_{iv2}$	Uuden ilmkäsittelykoneen lämmitystarve, kWh
$c_p$	Ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 kJ/kg
$\rho$	Ilman tiheys, 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$q_p$	Poistoilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$\Delta t$	Aika vuorokaudessa, h

Lämmitystarveluvulla tarkoitetaan rakennuksen lämmitysenergian tarvetta. Lämmitystarveluku perustuu ulko- ja sisälämpötilan väliseen erotukseen vyöhykekohtaisesti. [10.] Tässä työssä käytetään Jyväskylän säävyöhykettä eli vyöhyke III. Sisälämpötilana käytetään 21°C ja ulkolämpötilat on haettu ilmatieteenlaitoksen ulkoilman lämpötilan pysyvyysarvojen TRY2012 perusteella. [5.]

Poistoilmasta talteen otettu lämpöenergia saadaan kertomalla lämmitystarve vuosihyötysuhteella:

$$\text{Talteenotettu lämpöenergia } Q_{LTO1} = 440\,189,6 * 0,522 = 229\,779 \text{ kWh}$$

$$\text{Talteenotettu lämpöenergia } Q_{LTO2} = 541\,771,8 * 0,687 = 372\,197 \text{ kWh}$$

Vanhan ilmkäsittelykoneen talteen ottama lämpöenergia on alhaisempi kuin uudessa. Uudessa ilmkäsittelykoneessa korkean lämpötilahyötysuhteen ansiosta talteen otettu energia on huomattavasti suurempi. Ero olisi vielä suurempi, jos uuden ja vanhan ilmkäsittelykoneen ilmavirrat olisivat yhtä suuret.

Lämmöntalteenoton jälkeinen lämmitystarve saadaan laskettua helposti vähentämällä talteen otettu lämpöenergia lämmityksen tarpeesta:

$$\text{Lämmitystarve } Q_{iv1} = 440\,189,6 - 229\,779 = 210\,411 \text{ kWh}$$

$$\text{Lämmitystarve } Q_{iv2} = 541\,771,8 - 372\,197 = 169\,575 \text{ kWh}$$

Vanhan koneen jälkilämmitykselle jää lämmitettävää vuodessa 210411 kWh.

Uuden koneen jälkilämmitykselle jää lämmitettävää vuodessa 169575 kWh.

#### 4.6 SFP-luvun laskenta

SFP-luvulla tarkoitetaan tehoa, joka tarvitaan ilmakehän liikuttamiseen sekun-  
nissa. SFP-luvun laskentaan käytetään LVI 30-10529, Ilmanvaihtojärjestelmän  
ominaissähköteho SFP-opasta. Tulo- ja poistoilmankäsittelykoneen SFP-luku  
lasketaan jakamalla tulo- ja poistopuhaltimen yhteinen sähköteho ja ilmavirralla.  
Jakajana käytetään aina tulo- ja poistoilmavirrasta suurempaa. [11, 2.]

(8)

$$SFP = \frac{\text{Tulosähkö} + \text{Poistosähkö}}{q_{vmax}}$$

$$SFP^1 = \frac{4,93+5,35}{2,6} = 3,95 \frac{\text{kW}}{\text{m}^3/\text{s}}$$

$$SFP^2 = \frac{2,88+2,81}{3,2} = 1,78 \frac{\text{kW}}{\text{m}^3/\text{s}}$$

Puhaltimien sähkönkulutuksien laskennassa käytetään tilannetta, jossa puhalti-  
met kuljettavat tasaista ilmamäärää läpi vuoden. Puhaltimien mahdollista aika-  
ohjausta ei oteta huomioon. Mittaus tapahtuu puhtaalla suodattimella ja apulait-  
teet tulee huomioida. Sähkönkulutus lasketaan kertomalla puhaltimen ottoteho  
tuntien lukumäärällä, jota vuodessa on. [11, 2.]

Vanhat puhaltimet:

$$\text{Tuloilmapuhallin} = 4,93 * 8760 = 43187 \text{ kWh}$$

$$\text{Poistoilmapuhallin} = 5,35 * 8760 = 46866 \text{ kWh}$$



Uudet puhaltimet:

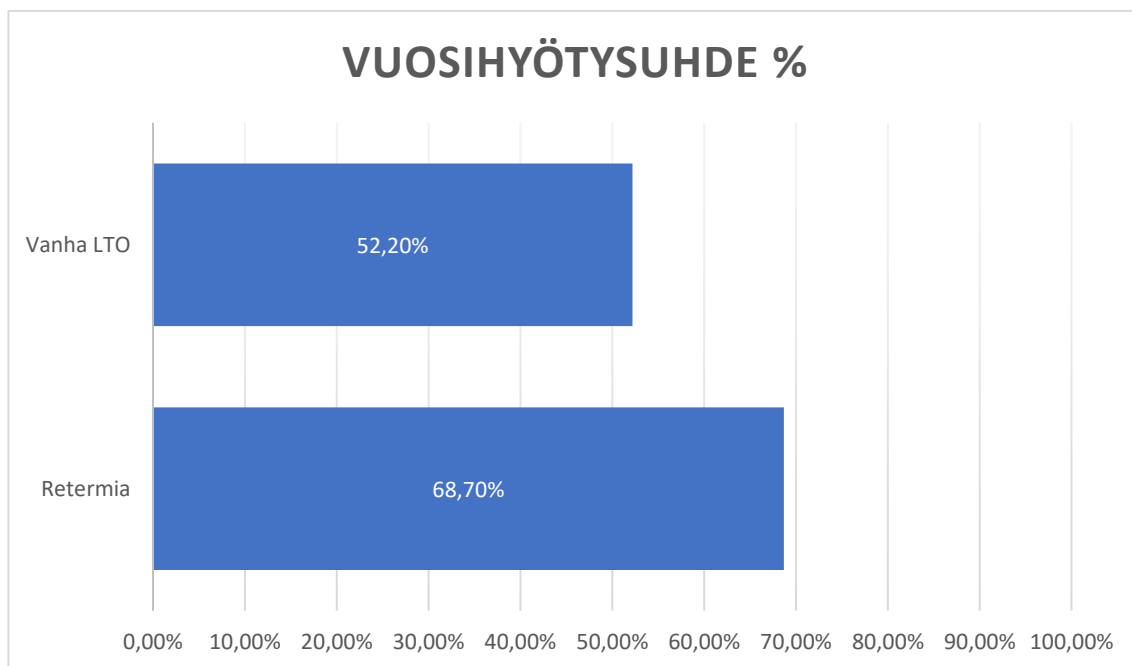
$$Tuloilmapuhallin = 2,88 * 8760 = 25229 \text{ kWh}$$

$$Poistoilmapuhallin = 2,81 * 8760 = 24616 \text{ kWh}$$

Uusien puhaltimien sähkökulutuksessa huomioitavaa on vielä se, että sähkökulutus on huomattavasti pienempi, vaikka samaan aikaan uudet puhaltimet puhaltavat noin 600 l/s enemmän ilmaa.

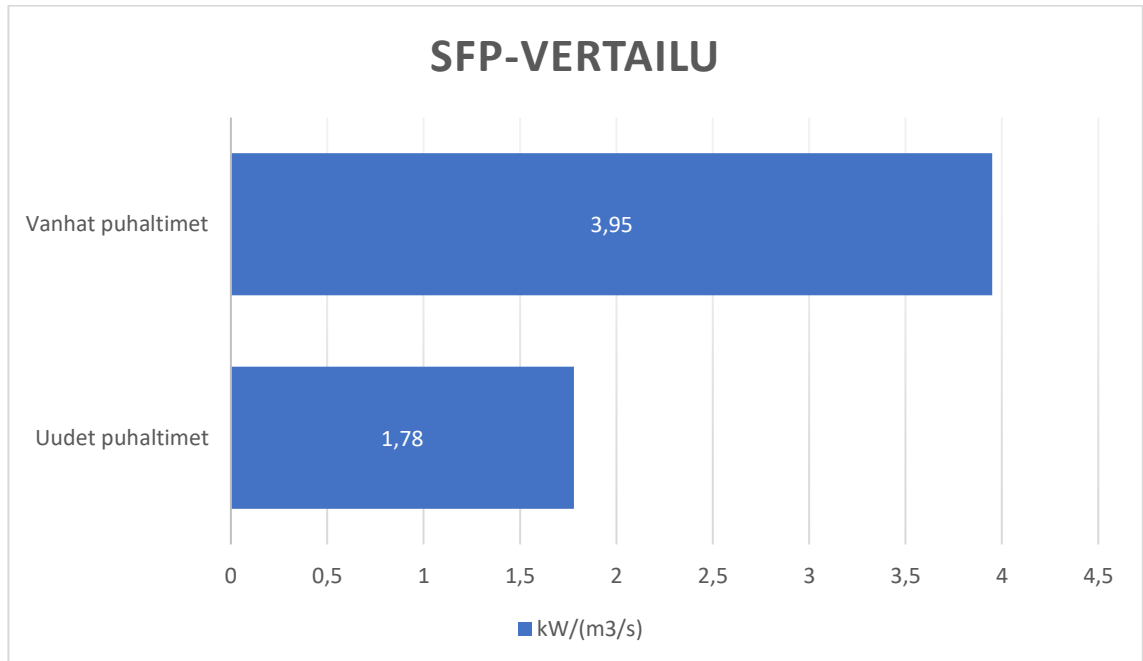
## 5 Tulosten tarkastelu

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta tarkastellessa huomataan, että ero on prosentuaalisesti pieni, mutta vuositasolla energiansäästö on huomattava (kaavio 1). Vuosihyötysuhde nousi noin 16 % vanhaan verrattuna.



Kaavio 1. Vuosihyötysuhde.

SFP-lukuja vertailemalla nähdään, että ero on hyvin suuri (kaavio 2).



Kaavio 2. SFP-luvut.

## 5.1 Kokonaisenergiankulutus vuodessa

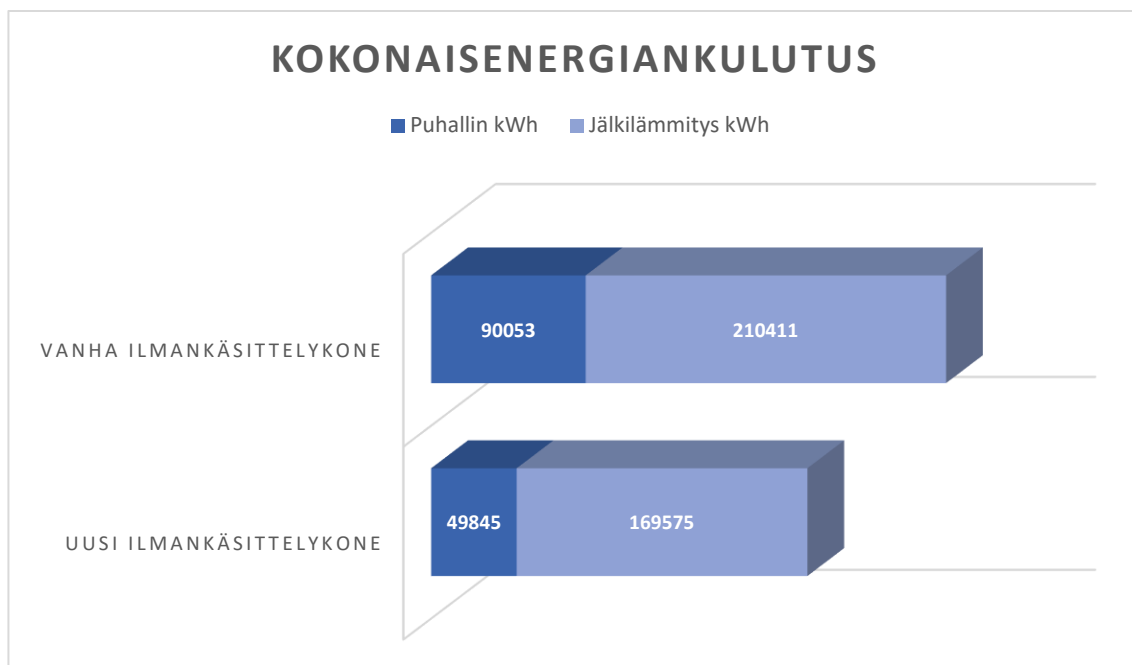
Ilmankäsittelykoneiden kokonaisenergiankulutus vuodessa koostuu puhaltimien sähkönkulutuksesta ja lämmityksen energiantarpeesta. Vuositasolla vanhan ilmankäsittelykoneen puhaltimien yhteinen sähkönkulutus on 90 053 kWh, kun taas uusissa sähkönkulutus on vain 49 845 kWh. Lämmitystarve puolestaan vanhassa ilmakäsittelykoneessa on 210 411 kWh, kun taas uudessa 169 575 kWh.

Vanha ilmankäsittelykone:

$$\text{Kokonaisenergiankulutus} = 90053 + 210411 = 300464 \text{ kWh}$$

Uusi ilmakäsittelykone:

$$\text{Kokonaisenergiankulutus} = 49845 + 169575 = 219420 \text{ kWh}$$



Kaavio 3. Kokonaisenergiankulutuksen vertailu.

Kokonaisenergiankulutuksessa on huomattavia eroja uuden ja vanhan ilmankäsittelykoneen välillä. Prosentuaalisesti suurimman eron saavutti puhaltimet uuden ja vanhan välillä (kaavio 3). Lämmityksentarvetta tarkastellessa tulee huomioida, että uudessa ilmakäsittelykoneessa lämmitettävä ilmamäärä on noin 600 l/s enemmän kuin vanhassa.

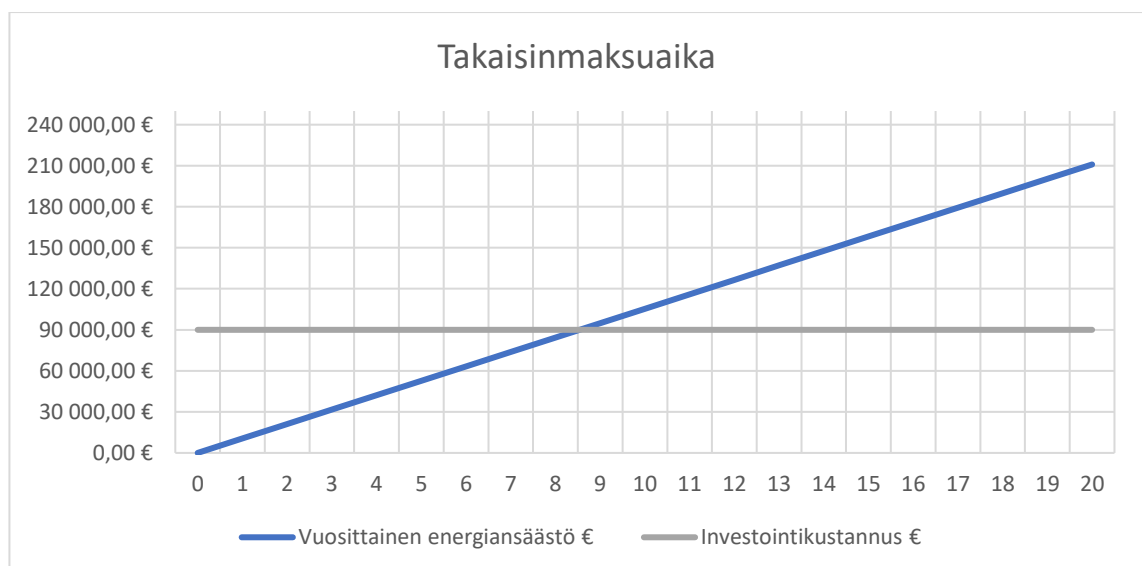
## 5.2 Takaisinmaksuaika

Uuden ilmastähtelykoneen hankinta kustannukset koostuvat ilmastähtelykoneen hinnasta, lämmöntalteenottopaketista, tarvikkeista ja asennuksesta. Ilmastähtelykoneen ja lämmöntalteenottopaketin hinnaksi tulee 57 000 €. Asennustöiden hinnaksi tarvikkeineen tulee noin. 33 000 €, joka kattaa kaikki ilmastävaihtourakkaan kuuluvat työt konehuoneessa. Yhteensä urakalle tulee hintaa 90 000 €.

Sähkön ja kaukolämmön hinnat perustuvat arvioihin. Kaukolämmön hinnan keskiarvoksi tuli noin 0,081 €/kWh. Arvioituna sähkön hintana takaisinmaksuajan laskennassa käytetään 0,18 €/kWh, johon sisältyy arvio siirtomaksusta. Hinta pysyy laskelmissa vakiona eikä energiankulutuksen vuosittaista hinnan nousua oteta työssä huomioon.

Takaisinmaksuaika lasketaan jakamalla investointiin käytettävä summa vuotuisella säästöllä, joka muodostuu uuden ja vanhan puhaltimen sähkönkulutuksen erotuksesta kerrottuna sähköhinnalla ja ilmastähtelykoneiden kokonaisenergiankulutusten erotuksesta kerrottuna kaukolämmön hinnalla.

$$\frac{90000\text{€}}{((90053 - 49845) * 0,18\text{€}) + ((210411 - 169575) * 0,081\text{€})} = 8,53a$$



Kaavio 4. Takaisinmaksuaika.

## 6 Pohdinta

Työssä oli tarkoitus tutkia ilmkäsittelykoneen päivittämisen hyötyjä taloudellisesta näkökulmasta sekä energiansäästön kannalta. Useat noin 90-luvulla asennetut koneelliset tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmät alkavat olla sen ikäisiä, että olisi ajankohtaista alkaa harkita laitteiston nykyaikaistamista taloudellisesta näkökulmasta. Ilmanvaihdon lämmityskulut ovat suuri osa kiinteistön kokonaisenergiankulutusta, joten energiaa kuluu huomattavia määriä pelkästään ilmanvaihtojärjestelmiin. Energian hinnan noustessa olisi suotuisaa selvittää miten energiankulutusta saadaan pienennettyä.

Ilmanvaihdon kokonaisenergian ei vastaa täysin oikeaa vuosittaista kulutusta, koska aikaohjausta ei pystytty laskennassa ottamaan huomioon puutteellisen mittausdatan vuoksi. Energiankulutuksen laskenta suoritettiin tilanteessa, jossa ilmkäsittelykoneet käyvät tasaisesti läpi vuoden. Kyseessä on kuitenkin liikerakennus, missä oleskellaan pääsääntöisesti vain arkisin, joten ilmanvaihtoa pystytään rajoittamaan yöksi ja viikonlopuksi.

Vanhan ilmkäsittelykoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde yllätti odotukset ikänsä puolesta. Vuosihyötysuhteen arvio oli noin 40–50 %, mutta laskenta taulukkoa hyödyntäen vuosihyötysuhteeksi tuli 52,2 %, mikä osoittautui odotuksia korkeammaksi. Uudessa lämmöntalteenottoratkaisussa vuosihyötysuhteeksi saatiin 68,7 %, joten hukkaan menee vähemmän lämpöenergiaa. Ero on kuitenkin vuositasolla huomattava.

Puhaltimet puolestaan yllättivät SFP-lukuja vertaillessa. Uudet puhaltimet osoittautuivat yli kaksi kertaa energiatehokkaammiksi. Hyödyt laitteiston nykyaikaistamisesta eivät kuitenkaan jääneet vain energiansäästötasolle, vaan hyötyjä tulee esimerkiksi suodatusluokissa, huollettavuudessa sekä etäseurannassa, mikäli lisävarusteita halutaan.

Takaisinmaksuajan arvioksi saatiin laskennan perusteella 8,53 vuotta. Arvio on laskettu tämänhetkisinä sähköhinnoilla, eikä siinä olla otettu huomioon

vuosittaisia huoltokuluja kuten suodattimien vaihtoa sekä lämmöntalteenoton puhdistusta.

Opinnäytetyötä tehdessä tuli huomattua, että ilmakäsittelykoneen tarkan energiankulutuksen määrittämiseen vaaditaan paljon taustatyötä ja dataa, minkä hankinta vanhasta ilmakäsittelykoneesta on suhteellisen haastavaa. Nykyaikaisen ilmakäsittelykoneiden tiedot saa kätevästi netistä tai suoraan valmistajalta, mikä helpottaa prosessia huomattavasti. Ilmakäsittelykoneen aikaohjauksen huomioon ottaminen olisi tehnyt laskuista enemmän todellisuutta vastaavat. Opinnäytetyötä tehdessä kuitenkin pääsi tarkastelemaan laajasti ilmavaihtojärjestelmiä sekä oppi paljon uutta ilmanvaihdosta. Tulokset osoittautuivat odotusten mukaisiksi ja ilmakäsittelykoneen nykyaikaistaminen paransi energiatehokkuutta merkittävästi.

## Lähteet

1. Sandberg Esa. 2016. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät Ilmastointitekniikka osa 1. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
2. Ympäristöministeriö. 2018a. Laskentaopas Tarpeenmukaisen ilmavaihdon huomioiminen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luvun) laskennassa. [Opas-tarpeenmukaisen-ilmanvaihdon-huomioimisesta-E-luvun-laskennassa\\_20180228-a-E4C60E12\\_A5A3\\_4B98\\_A5D5\\_02AEE4FC9FD7-144152.pdf \(ym.fi\)](#) 2.5.2022
3. Ympäristöministeriö. 2017. Rakenteellinen energiantehokkuus korjausrakentamisessa. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Rakenteellinen-energiatehokkuus\\_korjausrakentamisessa\\_27.4.2017-8CBAF1E6\\_A394\\_462D\\_BB90\\_0B6E0B9550BC-127395.pdf/5ac47598-0caf-7bb0-33f4-b7debde15926/Rakenteellinen-energiatehokkuus\\_korjausrakentamisessa\\_27.4.2017-8CBAF1E6\\_A394\\_462D\\_BB90\\_0B6E0B9550BC-127395.pdf?t=1603260150693](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Rakenteellinen-energiatehokkuus_korjausrakentamisessa_27.4.2017-8CBAF1E6_A394_462D_BB90_0B6E0B9550BC-127395.pdf/5ac47598-0caf-7bb0-33f4-b7debde15926/Rakenteellinen-energiatehokkuus_korjausrakentamisessa_27.4.2017-8CBAF1E6_A394_462D_BB90_0B6E0B9550BC-127395.pdf?t=1603260150693) 2.5.2022
4. Ympäristöministeriö. 2018b. Tasauslaskentaopas 2018 Rakennuksen lämpöpölvien määräysten mukaisuuden osoittaminen. [Rakennuksen lämpöpölvien määräysten mukaisuuden osoittaminen 2007 Tasauslaskentaopas \(ym.fi\)](#) 11.4.2022
5. Ilmatieteenlaitos. 2022. Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. [Energialaskennan testivuodet TRY2012 - Ilmatieteen laitos](#) 25.4.2022
6. Sisäilmayhdistys ry. 2022. [Ilmanvaihdon perusteet / Perustietoa sisäilmasta / Sisäilmayhdistys \(sisailmayhdistys.fi\)](#) 4.4.2022
7. Retermia. 2015. Lämmön talteenotto. [Lämmöntalteenotto – Retermia Oy](#) 27.4.2022
8. Retermia. 2015. Neulalämmönsiirtimet. [Neulalämmönsiirtimet – Retermia Oy](#) 27.4.2022
9. ETS NORD. 2022. Recair Ilmankäsittelykoneet. <https://www.etsnord.fi/tuote-ryhm%C3%A4t/recair> 30.4.2022
10. Ilmatieteenlaitos. 2022. Lämmitystarveluvut. [Lämmitystarveluvut - Ilmatieteen laitos](#) 25.4.2022

11. LVI 30-10529. 2013. Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP.  
28.4.2022



