



Tehdasrakennuksen lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien kehittäminen

Emmi Uusi-Piuhari

Opinnäytetyö, AMK

Syyskuu 2021

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), Energia- ja ympäristötekniikka

Uusi-Piuhari, Emmi

Tehdasrakennuksen lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien kehittäminen

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Syyskuu 2021, 56 sivua.

Tekniikan ala. Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

Tiivistelmä

Rakennusten energiatehokkuuteen kiinnitetään yhä enemmän huomiota ja sitä halutaan kehittää entistä paremmaksi. Suomessa noudatetaan Euroopan unionin päästövähennystavoitteita sekä tavoitteita ilmasto-neutraaliudesta ja energiatehokkuuden lisäämisestä. Olemassa olevan rakennuskannan energiatehokkuuden parantaminen on merkittävässä asemassa tavoitteisiin pääsemiseksi.

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa tehdasrakennuksen lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien nykytilat. Tarkasteltava tehdasrakennus on I-Valo Oy:n valaisintehdas, joka sijaitsee Hämeenlinnassa Iittalan taajamassa. Nykytilan kartoituksen lisäksi tavoitteena oli selvittää ratkaisuja, joilla rakennuksen energiatehokkuutta voitaisiin kustannustehokkaasti parantaa. Opinnäytetyö toteutettiin laadullisena kehittämistyönä.

Energiatehokkuutta parantavien toimien kartoittamiseksi tuli selvittää ilmanvaihdon nykytila. Nykytilan kartoituksessa hyödynnettiin tehtyjä ilmavirta- ja lämpötilamittauksia sekä laitteiden tietoja. Energiatehokkuutta parantavalle toimenpiteelle laskettiin takaisinmaksuaika, jonka avulla voidaan arvioida investoinnin kannattavuutta.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin laskettua merkittävimmän parannusehdotuksen kustannusarvio sekä takaisinmaksuaika. Olemassa olevista ilmanvaihtokoneista TK2 on kannattavaa uusia kokonaan. Ilmanvaihtokoneen TK1 uusiminen on ajankohtaista laitteen käyttöiän päättyessä. Ilmanvaihdon säädeltävyydellä ja ilmanjaon muutoksilla voidaan tehostaa ilmanvaihtoa. Tehdasrakennuksen nykyinen polttoaine, maakaasu, on mahdollista korvata uusiutuvia energiavaroja hyödyntävällä kotimaisella biokaasulla.

Opinnäytetyössä kävi ilmi, että suurin energiatehokkuuteen vaikuttava tekijä tarkasteltavassa kohteessa on ilmanvaihto, jonka lisäksi energiatehokkuutta parantavaa potentiaalia löytyy lämmöntalteenoton lisäämisestä, automaatiojärjestelmän uudistamisesta sekä tarpeenmukaisesti ohjattavista järjestelmistä. Työn tarkoituksena on toimia nykytilan esiselvityksenä suuremmille tuleville projekteille tarkasteltavassa tehdasrakennuksessa.

Avainsanat (asiasanat)

Energiatehokkuus, energiankulutus, teollisuusrakennus, ilmanvaihto

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Uusi-Piuhari, Emmi

Development of heating and ventilation systems of an industrial building

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, September 2021, 56 pages.

Engineering and technology. Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

More and more attention is being paid to the energy efficiency of buildings and there is a desire to develop it. Finland complies with the European Union's emission targets as well as with the targets for climate neutrality and increasing energy efficiency. Improving the energy efficiency of the existing building stock plays an important role in achieving the targets.

The aim of the thesis was to map the current state of the heating and ventilation system in a factory building. The factory building under consideration is I-Valo Oy's lighting factory, located in Hämeenlinna. In addition to the mapping of the current situation, the aim was to find out solutions that could cost-effectively improve the building's energy efficiency. The thesis was implemented as a qualitative development work.

The current state of ventilation had to be clarified to map measures to improve energy efficiency. The current state of ventilation was investigated using data from air flow and temperature measurements as well as existing equipment. A repayment period was calculated for the energy efficiency improvement measure, which can be used to assess the profitability of the investment.

As a result of the thesis, the cost estimate of the investment of the most significant improvement proposal and the repayment period were calculated. Of the existing ventilation machine, the TK2 is profitable to replace with a new machine. Replacing the TK1 ventilation machine is topical at the end of the machines' useful life. Ventilation adjustability and changes in air distribution can make air ventilation more effective. It is possible to replace the current fuel natural gas in the factory building with domestic biogas utilizing renewable energy resources.

The thesis showed that the biggest factor influencing energy efficiency in the examined object is the air ventilation. In addition to ventilation, the potential for improving energy efficiency can be found in increasing heat recovery, modernizing the automation system and controlling systems as needed. The purpose of the work is to serve as a preliminary survey of the current situation for larger future projects in the factory building under consideration.

Keywords/tags (subjects)

Energy efficiency, energy consumption, industrial building, ventilation

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Tavoitteet	4
1.2	Tutkimusmenetelmä	5
1.3	Tutkimusasetelma ja rajaukset	6
1.4	Opinnäytetyön luotettavuus ja eettisyys sekä tiedonhaku	7
1.5	Toimeksiantaja ja tutkittava kohde.....	7
2	Teollisuusrakennusten energiatehokkuus ja sisäilmasto	8
2.1	Sisäilmaolosuhteet teollisuudessa	8
2.2	Lainsäädäntö	9
2.3	Energiatehokkuus kannattaa	10
2.4	Korjausrakentaminen	11
2.5	Energiatuki.....	12
2.6	Tarpeenmukaisesti ohjattava järjestelmä.....	12
3	Teollisuusrakennusten lämmitys	13
3.1	Lämmöntuotto	13
3.2	Tilojen lämmitys	16
4	Ilmanvaihto teollisuudessa	20
4.1	Ilmanvaihtokone	21
4.2	Ilmanjakotavat.....	21
4.3	Lämmöntalteenotto	25
4.4	Ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus	28
5	Kohteen nykytila	29
5.1	Ilmanvaihtojärjestelmät	29
5.1.1	Ilmanvaihtokerroin	31
5.1.2	Ilmavirtamittaukset	32
5.1.3	Ilmanvaihdon energiankulutus	34
5.1.4	Korvausilman lämpenemisen nettoenergiantarve	39
5.2	Lämmitysjärjestelmä	40
5.2.1	Lämmitysjärjestelmän energiankulutus	40
5.2.2	Maakaasun kulutus.....	42

6	Tehostustoimet	42
7	Uusittavan ilmanvaihtokoneen kustannukset ja takaisinmaksuaika.....	47
8	Yhteenveto tuloksista	48
9	Pohdinta.....	50
	Lähteet	52
	Liitteet	56
	Liite 1. Ilmanvaihtokoneen kustannusarvio	56

Kuviot

Kuvio 1. Energian loppukäytön jakautuminen	10
Kuvio 2. Yritysten nimeämät energiatehokkuustoimien oheishyödyt	11
Kuvio 3. Ilmalämmityksen havainnekuva	17
Kuvio 4. Kiertoilmakojeet asennettuna seinälle	18
Kuvio 5. Säteilylämmityksen havainnekuva	19
Kuvio 6. Sekoittavan virtauksen periaatekuva.....	22
Kuvio 7. Syrjäyttävän virtauksen periaatekuva	23
Kuvio 8. Laminaarisen mäntävirtauksen periaatekuva.....	24
Kuvio 9. Osittaisen oikosulkuvirtauksen periaatekuva	25
Kuvio 10. Levylämmönsiirrin	26
Kuvio 11. Nestekiertoinen lämmönsiirrinjärjestelmä	27
Kuvio 12. Pyörivä lämmönsiirrin	28
Kuvio 13. Kaavio kokoonpanon ilmanvaihtokoneesta.....	29
Kuvio 14. Kokoonpanohallin ilmanjako ja huippuimuri	30
Kuvio 15. Lämmitysenergian kulutus toimistossa.....	41
Kuvio 16. Lämmitysenergian kulutus tuotantohallissa	41
Kuvio 17. Syrjäyttävä ja sekoittava ilmanjako.....	44

Taulukot

Taulukko 1. Ilmavirta mittaukset ja ilman tilavuusvirrat	33
Taulukko 2. Poistopuhaltimet	34
Taulukko 3. Kokoonpanohallin ilmanvaihtokoneen TK1 nettoenergiantarve	37
Taulukko 4. TK2 ilmanvaihtokoneen nettoenergiantarve	38
Taulukko 5. Korvausilman lämpenemisen nettoenergiantarve.....	39
Taulukko 6. Vuosittaiset lämmitysenergiankulutukset.....	41

Taulukko 7. Maakaasun vuosikulutus kohteittain	42
Taulukko 8. Takaisinmaksuaika	48

1 Johdanto

Euroopan unionissa on tavoitteena vähentää päästöjä vähintään 55 % vuoteen 2030 mennessä, verrattuna vuoden 1990 päästöihin. Vuoteen 2050 mennessä päästöjen pitäisi olla 80–95 % nykyhetkeä pienemmät. Rakennusten energiankulutus on noin 40 % Euroopan unionin kokonaiskulutuksesta. Euroopan unioni on asettanut jäsenmailleen tavoitteeksi tehostaa energiankäyttöä, hillitä päästöjä sekä lisätä uusiutuvan energian käyttöä. Tämän lisäksi Euroopan unionin on määrää olla ilmastoneutraali vuoteen 2050 mennessä. (Rakennusten energiatehokkuus 2020.)

Vuonna 2020 Suomessa oli noin 1,5 miljoonaa rakennusta, joista 9,9 % teollisuuden ja kaivannais-toiminnan rakennuksia. Rakennuskantaan ei lasketa kesämökkejä tai maatalouden rakennuksia. (Rakennukset ja kesämökit 2020.) Suomessa on noin 68 000 teollisuus- ja varastorakennusta, joiden lämmönkulutus kattaa 28 % koko Suomen rakennusten lämmönkulutuksesta (Energiatehokas teollisuuskiinteistö 2012).

Olemassa olevien rakennusten energiatehokkuus ja sen parantaminen ovat isossa asemassa kasvi-huonepäästöjen hillitsemisessä ja näin ollen ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. Lähes nollaenergiatalojen vaikutukset energiankulutuksessa näkyvät vasta pitkällä aikavälillä. Ilmastonmuutoksen hillitsemisen vuoksi vanhemman rakennuskannan energiatehokkuuden parantaminen on merkityksellistä. (Rakentaminen ja rakennukset 2020.)

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa I-Valo Oy:n tehdasrakennuksen lämmitys- ja ilmanvaihto-järjestelmien nykytila. Nykytilan kartoituksen lisäksi järjestelmille suunniteltiin kehitysehdotukset. Kehitystoimenpiteiden avulla oli tarkoitus optimoida energiankäyttöä tehokkaammaksi ja käyttö-tarkoitukseen sopivammaksi.

1.1 Tavoitteet

Tavoitteena oli, että opinnäytetyön tulos on merkittävä työn tilaajan kannalta. Työn tilaaja sai järjestelmien uudistuksille selkeät ratkaisut, joita voidaan hyödyntää uudistuksia suunnitellessa ja tehdessä. Opinnäytetyön energiatehokkuuden parantamistoimenpiteitä ja energiankäytön opti-

mointisuunnitelmia voidaan käyttää apuna, kun tarkastellaan vastaavanlaisia kohteita. Suoranaisena ohjeena opinnäytetyön tuloksia ei voida käyttää, sillä kulutustiedot- ja jakaumat ovat rakennuskohtaisia.

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa tehdasrakennuksen lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien nykytilat. Opinnäytetyön oli tarkoituksena toimia nykytilan esiselvityksenä suuremmille tuleville projekteille tarkasteltavassa kohteessa. Ilmanvaihdon energiankulutus ja lämmöntalteenotto-potentiaali kartoitettiin olemassa olevien ratkaisujen ja tehtyjen ilmavirta- ja lämpötilamittausten avulla. Nykytilan kartoituksen lisäksi opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ratkaisuja, joilla voitaisiin kustannustehokkaasti parantaa tarkasteltavien järjestelmien energiatehokkuutta.

1.2 Tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyö toteutettiin tutkimuksellisenä kehittämistyönä, koska työssä haluttiin löytää nykyisille ratkaisuille energiatehokkuutta parantavia kehittämistoimenpiteitä. Pernaan (2013) mukaan kehittämistutkimus on muodostunut tarpeesta kehittää kehittämistarvetta tutkimuspohjaisesti. Kehittämismenetelmä on laaja-alainen menetelmä, jossa kehittäminen ja tutkiminen yhdistyvät teoreettisia ja kokeellisia vaiheita hyödyntäen. Menetelmä etenee sykleittäin. Tutkimustuloksien ollessa kehitysehdotuksia ei tutkimus välttämättä sisällä kokonaista muutossykliä. Kehittämisprosessissa tarkastellaan kehitettävää ilmiötä todellisissa olosuhteissa. Menetelmässä tutkija tai kehittäjä on ulkopuolinen havainnoija. Kehittämistutkimuksessa on hyvin oleellista rajata aihe. (Perna 2013.)

Monesti kehittämistyö sekoitetaan kehittämistutkimukseen. Näiden välillä ei ole kovinkaan suurta eroa, sillä esimerkiksi yrityksissä tehdään jatkuvasti kehitystoimenpiteitä. Kehittämistyöstä tulee kehittämistutkimus, kun mukana on tutkimustyötä. Kehittämistutkimuksessa pyritään saamaan aikaan muutoksia. Tutkimuksessa muutoksen kohteena voi olla esimerkiksi palvelu, tuote tai organisaatio. Kehittämistutkimuksessa ei ole pelkästään kyse tutkimuksesta, jolla pyritään ymmärtämään ja selittämään ilmiöitä. Kehittämistutkimuksen tavoitteena on löytää ongelma ja pyrkiä ratkaisemaan se. (Kananen 2017.) Kehittämiskohde muotoillaan ongelmaksi, johon laaditaan tutkimuskysymykset. Tutkimuksessa pyritään vastaamaan näihin tutkimuskysymyksiin, jolloin ongelma ratkeaa. (Väänänen 2021.)

1.3 Tutkimusasetelma ja rajaukset

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmä oli kvalitatiivinen eli laadullinen kehittämistyö. Työssä hyödynnettiin erilaisia lähteitä kuten esimerkiksi kirjallisuutta, asetuksia ja säädöksiä sekä ohjeita rakennusten energiatehokkuudesta ja energiankulutuksen laskennasta. Kanasen (2017) mukaan laadullisella tutkimuksella tarkoitetaan tutkimusta, jossa ei hyödynnetä määrällisiä tilastollisia menetelmiä (Kananen 2017.)

Opinnäytetyössä pyrittiin vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Mitkä ovat ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmän nykytilat?
- Miten ilmanvaihtoa voitaisiin optimoida, jotta kaikkialla rakennuksessa olisi hyvät olosuhteet ja ilmanvaihto olisi tehokas?
- Millä taloteknisillä toimenpiteillä energiatehokkuutta voitaisiin parantaa?
- Onko maakaasu mahdollista korvata uusiutuvilla energialähteillä?

Kohteen nykytilan kartoitus rajattiin lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmiin. Olemassa oleva ilmanvaihtojärjestelmä ei ole kaikista optimaalisin ratkaisu isoon rakennukseen, sillä esimerkiksi tuulilma ei jakautunut tasaisesti eri puolille rakennusta. Tämän lisäksi rakennuksen poistoilmassa on paljon lämmöntalteenottopotentiaalia, jota ei hyödynnetä. Sähkönkulutus rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle, sillä kartoituksen perusteella sähköjärjestelmissä ei havaittu merkittävää energiansäästöpotentiaalia. Tarkasteltavaan kohteeseen on tulossa valaistuksen ohjausjärjestelmä, mikä lisää sähkönkulutuksen energiatehokkuutta merkittävästi. Käyttövedenkulutusta ei tarkasteltu opinnäytetyössä, sillä kulutus on suhteellisen vähäistä kyseisessä rakennuksessa.

Opinnäytetyön tarkasteltavan kohteen energiatehokkuustoimenpiteitä suunnitellessa alue- ja kaukolämpö jätettiin pois tarkastelusta, sillä tarkasteltava rakennus sijaitsee alueella, jossa ei ole niitä saatavilla. Jäähdytyksellä varustettuja ilmastointijärjestelmiä ei huomioitu parannusehdotuksissa, vaan pelkästään ilmanvaihtojärjestelmien muutokset olivat tarkasteltavana. Tämän lisäksi energiatehokkuuden parannusehdotuksissa keskityttiin ilmanvaihtojärjestelmien uusimiseen, sillä ne koettiin lämmitysjärjestelmää potentiaalisemmaksi energiatehokkuutta parantavaksi toimenpiteeksi.

1.4 Opinnäytetyön luotettavuus ja eettisyys sekä tiedonhaku

Opinnäytetyön luotettavuuteen vaikuttaa lähtötietojen luotettavuus sekä käytettävän aineiston luotettavuus. Opinnäytetyötä varten ei tarvinnut hakea tutkimuslupaa. Tutkimuslupa haetaan opinnäytetöissä tilanteissa, jossa aineistonkeruu koskee esimerkiksi henkilöstöä, asiakkaita, potilaita, opiskelijoita jne. tai rekisteri- sekä arkistoaineistoja. Tässä opinnäytetyössä tällaista tilannetta ei ollut. Opinnäytetyössä ei ollut myöskään salassapitovelvoitetta. Opinnäytetyössä noudatettiin hyvää tieteellistä käytäntöä ja lähdeviitteet merkittiin selkeästi Jyväskylän ammattikorkeakoulun ohjeistuksen mukaisesti. Opinnäytetyön tekijä on puolueeton työssä käsiteltävän asian suhteen.

Tutkimusaineistona käytettiin rakennuksen energiankulutustietoja ja -hintoja, mittaustuloksia sekä laitteiden tyyppitietoja. Tyyppitiedot löytyvät kaikista laitteista, jotka kuluttavat energiaa. Opinnäytetyön tietopohjana käytettiin talotekniikkaan ja energiatekniikkaan liittyvää kirjallisuutta, oppaita, lakeja ja säädöksiä sekä verkkojulkaisuja.

Opinnäytetyön aineisto kerättiin sisällönanalyysina. Sisällönanalyysilla tarkoitetaan tapaa, jolla alkuperäisen lähteen informaatiosta tuodaan ilmi tiivistetty ja yleistävä kuvaus. Sisältöanalyysissa alkuperäisen tiedon tietoarvo ei kuitenkaan muutu. (Tuomi & Sarajärvi 2009.) Opinnäytetyössä hyödynnettiin paljon Seppäsen Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka teosta vuodelta 1996. Teos on alalla varsin laajasti käytössä ohjeistuksena sekä oppaana. Teoksessa on edelleen ajantasaista tietoa, vaikka lähde on vanhempi.

1.5 Toimeksiantaja ja tutkittava kohde

Opinnäytetyö tehtiin Insinööritoimisto AX-LVI Oy:n toimeksiantona. Insinööritoimisto AX-LVI Oy, AX-Prosessit Oy ja AX-Konsultit Oy muodostavat yhdessä kolmen yhtiön ryhmän, jota kutsutaan AX-Suunnitteluksi. AX-Suunnittelu on teknisen alan suunnittelu- ja konsulttitoimisto, jossa työskentelee hieman alle 100 työntekijää. AX-Suunnittelun osaamisalueita ovat talotekniikan lisäksi esimerkiksi ympäristö- ja turvallisuustekniikka sekä prosessisuunnittelu.

Opinnäytetyön aihe muodostui asiakkaan tarpeesta kehittää tehdasrakennuksen energiatehokkuutta lämmönkäytön ja ilmanvaihdon osalta. Tarkasteltava kohde on 50 vuotta sitten rakennettu

alun perin varastorakennukseksi ja myöhemmin muutettu tehdasrakennukseksi. Tarkasteltava kohde sijaitsee litalan taajamassa Hämeenlinnassa.

2 Teollisuusrakennusten energiatehokkuus ja sisäilmasto

Rakennusten energiatehokkuustarkastelussa tarkastellaan lämpöolosuhteita, sisäilman laatua, lämmintä käyttöväettä, valaistusta sekä käyttäjälaitteita. Lämpöolosuhteiden energiatehokkuuteen vaikuttavat rakennuksen ulkovaipan lämpöominaisuudet esimerkiksi eristys ja tiiveys, lämmitys sekä jäähdytys. Ilmanvaihto puolestaan vaikuttaa sisäilman laatuun ja energiatehokkuuteen. Hyvän sisäilmaston ylläpitämiseen liittyy ilman puhdistus, kostutus, kuivaus sekä ilman tehokas vaihtuvuus. (Heljo & Vinha 2014, 55.)

Rakennusten energiatehokkuudella tarkoitetaan kokonaisuuden hallintaa. Energiatehokkaan rakennuksen perustana on lämpöhäviöiden pienentäminen. Rakennusautomaatiolla voidaan toteuttaa järjestelmien optimaaliset sekä tarpeenmukaiset ohjaukset. Rakennusautomaation avulla pyritään ylläpitämään sisäilmaolosuhteet optimaalisina mahdollisimman matalalla energiankulutuksella. Energiatehokkaalla laitteiden ohjauksella sekä tehokkaammilla laitteilla voidaan vähentää rakennuksen energiankulutusta. Rakennuksen energiatehokkuutta parantamalla kokonaisenergiankulutusta voitaisiin pienentää lähes viidenneksellä. (Liedes 2017, 7–23.)

2.1 Sisäilmaolosuhteet teollisuudessa

Sisäilmastolla tarkoitetaan kemikaalisten ja fysikaalisten tekijöiden kokonaisuutta tilassa. Lämpöolosuhteet, kemialliset ja biologiset epäpuhtaudet, kosteus sekä pöly ovat sisäilmastoon vaikuttavia tekijöitä. Ongelmat sisäilmastossa vaikuttavat negatiivisesti työntekijöiden terveyteen ja työtehoon. (Seppänen & Seppänen 1996, 11.)

Teollisuusrakennuksessa epäpuhtauksien tavoitetaso tulee olla haitallisiksi tunnettujen pitoisuuksien (HTP-arvo) raja-arvojen alapuolella, jotta haitallisten aineiden pitoisuudet eivät olisi liian korkeat. Edellä mainittujen lisäksi tuotantoprosessi voi asettaa vaatimuksia sisäilmastolle. Tavoitetaso määritellään tilakohtaisesti. Raja-arvot tulisi täyttää tilan oleskeluvyöhykkeellä eli teollisuudessa työskentelyalueella. (Teollisuusrakennusten ilmastointi ja lämmitys 1990, 3.). Aiemmin mitoitusohjeena käytettiin rakentamismääräyskokoelman osaa D2, mutta vuonna 2019 sen korvasi FINVAC

ry:n Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa (Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa 2019).

Sisäilmastoluokitus 2018 asettaa tavoitearvot rakennusten sisäilmastolle. Suomessa yleisin sisäilmastoluokka on tyydyttävä sisäilmasto S3. S3-luokassa tavoitteet täyttävät maankäyttö- ja rakennuslain sekä terveydensuojelulain asettamat vähittäisvaatimukset sisäilmanlaadulle, lämpötilalle, valaistukselle sekä ääniolosuhteille. S1 on sisäilmastoluokista korkein luokka, S3 heikoin. Näiden välistä on sisäilmastoluokka S2. S1-luokassa korostuu säädettävyys ja yksilöllisyys, kaikki ominaisuudet on käyttäjän itse säädettävissä. S3-luokassa käyttäjä ei puolestaan pysty itse vaikuttamaan sisäilmaston hetkellisiin ominaisuuksiin. S3-luokassa ei ole annettu tavoitearvoja valaistussuunniteluun tai ilmankosteuteen, S1-luokassa näille on tavoitearvot. (RT 07-11299 2018.)

Teollisuusrakennuksissa voidaan käyttää kohdeilmanvaihtoa apuna epäpuhtauksien hallinnassa. Kohdeilmanvaihtoa voidaan hyödyntää esimerkiksi työntekijän työskennellessä lähellä epäpuhtauslähdettä. Tyypillisimpiä kohdepoistoa vaativia kohteita ovat maalaus ja liimaus, hitsaus, pölyävät aineet, työstökoneet, kemikaalien käsittely sekä kaasuja ja höyryjä kehittävät laitteet. (Sandberg 2014, 540–545.)

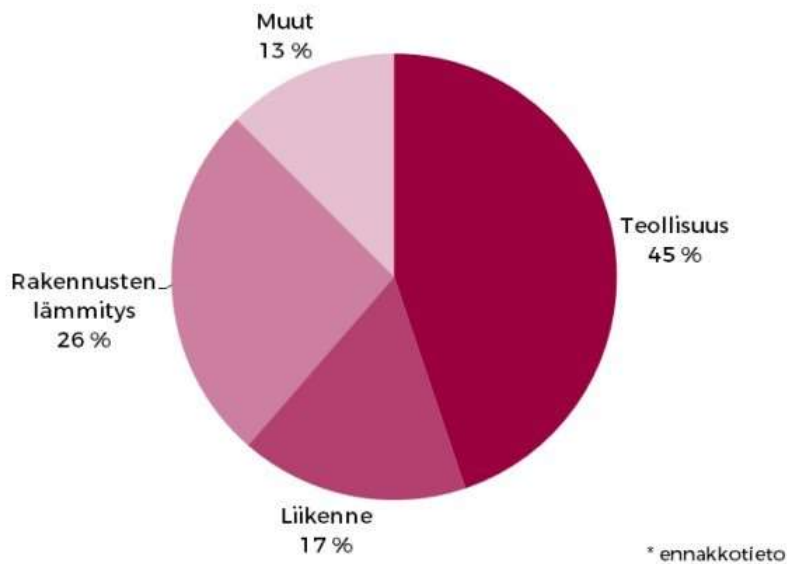
2.2 Lainsäädäntö

Lainsäädännöllä ja direktiiveillä pyritään ohjaamaan rakentamista entistä energiatehokkaammaksi ja vähäpäästöisemmäksi. Suomessa noudatetaan Euroopan unionin tavoitteita, jolloin uudisrakennusten tulee olla lähes nollaenergiataloja. Lähes nollaenergiatalo tarkoittaa rakennusta, jossa on korkea energiatehokkuus ja sen tarvitsema vähäinen energian tarve katetaan uusiutuvilla energiaravaroilla. (Rakennusten energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö n.d.)

Rakennusten energiankulutuksen osuus Suomen kokonaiskulutuksesta on noin 40 %. Energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö pyrkii edistämään rakennusten energiatehokkuutta sekä uusiutuvien energiavarojen käyttöä. Lainsäädännön tavoitteena on myös pienentää rakennusten energiankulutusta ja vähentää kasvihuonepäästöjä. Monesti energiatehokkuuden parantaminen edistää myös rakennuksen sisäilmaston laatua. (Rakennusten energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö

n.d.) Rakennukset aiheuttavat Suomen kasvihuonepäästöistä noin 30 %. Rakennusten lämmitykseen kului vuonna 2020 26 % kokonaiskulutuksesta, joka oli 283 TWh. (Energian loppukäyttö n.d.) Kuviossa 1 on esitettyä energian loppukäyttö sektoreittain.

Energian loppukäytön jakaantuminen sektoreittain 2020*



Kuvio 1. Energian loppukäytön jakautuminen (Energian loppukäyttö n.d.)

2.3 Energiatehokkuus kannattaa

Energian tuotannosta ja käytöstä syntyy merkittävästi hiilidioksidipäästöjä. Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen on yksi keskeisistä syistä parantaa energiaterhokkuutta. Yritykset voivat saavuttaa erilaisilla energiaterhokkuuteen liittyvillä toimenpiteillä monia oheishyötyjä. Oheishyödyt jaetaan esimerkiksi taloudellisiin, tuotannollisiin ja toiminnallisiin sekä ympäristömyönteisiin hyötyihin. Näiden lisäksi energiaterhokkuustoimet voivat parantaa työoloja sekä yrityksen imagoa. Vastuullisella energiankäytöllä ja halulla tehostaa energiaterhokkuutta yrityksen on mahdollista parantaa omaa yrityskuvaansa. Energiaterhokkuustoimet edellä mainittujen oheishyötyjen lisäksi voivat kohottaa yrityksen kilpailukykyä. Yleensä yrityksiä motivoi eniten taloudelliset hyödyt, kun ryhdytään parantamaan energiaterhokkuutta. (Energiaterhokkuuden oheishyödyt yrityksissä 2018.)

Jo yksittäinenkin energian tehostamistoimenpide auttaa saavuttamaan useita oheishyötyjä. Energiaterhokkuuden parantamisen oheishyötyinä voidaan pitää esimerkiksi ilmastoa, kansantaloutta,

resurssien käyttöä, energiatehokkuutta sekä hyvinvointia. (Energiatehokkuuden oheishyödyt yrityksissä 2018.) Kuviossa 2 on esitetty kootusti yritysten saavuttamia oheishyötyjä energiatehokkuutta parantamalla.



Kuvio 2. Yritysten nimeämät energiatehokkuustoimien oheishyödyt (Energiatehokkuuden oheishyödyt yrityksissä 2018).

2.4 Korjausrakentaminen

Korjausrakentamisella tarkoitetaan olemassa olevan rakennuksen tai rakennuksen osien kunnan parantamista (Korjausrakentaminen n.d.). Rakennuksen korjausrakentamisen yhteydessä on kannattavaa tehdä myös energiatehokkuutta parantavia toimia, mikäli se on taloudellisesti ja teknisesti mahdollista. Rakennusten ollessa 40–60 vuotta vanhoja, on energiaremontti järkevää toteuttaa perusparannuksien yhteydessä. Olemassa olevan rakennuskannan energiatehokkuustoimet ovat merkittävässä asemassa tavoitellessa energiatehokkaampaa yhteiskuntaa. Energiatehokkuutta parantavia toimia ovat esimerkiksi ikkunoiden vaihto, lämmöntalteenoton lisääminen, rakennusvaipan tiiveyden tarkistaminen ja lämpimän käyttöveden kulutuksen seuranta. (Korjausrakentaminen ja energiatehokkuus n.d.)

Olemassa olevissa rakennuksissa energiatehokkuutta voidaan parantaa esimerkiksi tarpeenmukaisesti ohjattavalla järjestelmällä. Tarpeenmukaisesti ohjattavalla valaistuksella ja ilmanvaihdolla on mahdollista saada aikaan suuria energiansäästöjä tiloissa, joiden käyttöaste vaihtelee. Nykyisin tarpeenmukaisuus on käytössä esimerkiksi toimitiloissa, mutta tulevaisuudessa tarpeenmukaisesti ohjattavia järjestelmiä voidaan hyödyntää myös asuinrakennuksissakin. (Liedes 2017, 7–23.) Vanhassa rakennuksessa voi olla taloudellisempaa pyrkiä pienentämään energiankulutusta kuin investoida täysin uusiin järjestelmiin. Joissain tapauksissa on järkevämpää tehdä kokonaan tai osittain uusi järjestelmä kuin korjata vanhaa. (Rakentaminen ja rakennukset 2020.)

2.5 Energiatuki

Kaiken kokoisten yritysten on mahdollista hakea energiataukea sellaisiin investointi- tai selvityshankkeisiin, jotka edistävät uusiutuvan energiantuotantoa tai sen käyttöä, energiantuotannon tai käytön tehostamista sekä muuttamista energiajärjestelmä vähähiilisemmäksi. Tuen myöntäminen yrityksille on harkinnanvaraista ja etusijalla ovat uudet teknologiahankkeet. Energiatuen pitkän aikavälin tavoitteena on edistää uusien ja innovatiivisten ratkaisujen kehittämistä, jotta energiajärjestelmä muuttuisi vähähiiliseksi. Aurinkolämpö- ja aurinkosähköhankkeisiin on mahdollista saada tukea 20 %, kun vastaavasti biokaasuhankkeisiin tukea voi saada 25 %. (Energiatuki 2021.)

2.6 Tarpeenmukaisesti ohjattava järjestelmä

Automaatiojärjestelmällä voidaan tehostaa energiankäyttöä erilaisissa talotekniikan järjestelmissä, kuten lämmityksessä, ilmanvaihdossa ja valaistuksessa. Ilmanvaihtoa ei pidä optimoida sisäilmaolosuhteiden kustannuksella. Automaation avulla voidaan luoda järjestelmille aikaohjelma. Automaation avulla voidaan ohjata valaistusta esimerkiksi hämäräkytkimillä, liiketunnistimilla ja aikaohjauksella. Aikaohjelmien avulla järjestelmät säästävät energiaa ajankohtina, jolloin rakennusten käyttöaste on vähäinen. (Automaatio ja energia n.d.)

Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla voidaan parantaa rakennuksen energiatehokkuutta. Ilmanvaihdon aikaohjauksella voidaan pienentää lämmitys- ja sähköenergian tarvetta ilmanvaihtokoneessa. Laskemalla sisäilman ja tuloilman lämpötiloja voidaan pienentää energiankulutusta niin, että rakenteille ei aiheudu harmia. Energiansäästötoimet pienentävät energiakustannuksia, mutta tämän lisäksi myös rakennuksen hiilijalanjälki pienenee. (Korpela & Tuliniemi 2020.)

3 Teollisuusrakennusten lämmitys

Teollisuudessa lämpöenergiaa tarvitaan tilojen ja käyttöveden lämmitykseen sekä prosessiin. Suomen primäärienergiasta noin 30 % kuluu rakennusten lämmitykseen, joten energiatehokas lämmittäminen vaikuttaa merkittävästi kansantalouteen. Lämmitysenergian kulutukseen vaikuttavat lämmitettävän tilan pinta-ala, rakennuksen vaipan eristys, käytettävä lämmitysjärjestelmä ja sen hyötysuhde, ulkoilman ja sisäilman lämpötilatasot sekä sisäisten lämpökuormien määrä. Rakennusten lämmitystarve muodostuu johtumislämpöhäviöistä, ilmanvaihdosta, lämpimän käyttöveden lämmityksestä sekä vuotoilman lämmityksestä. (Rakennustieto RTS 2007, 3.)

Teollisuudessa rakennusten lämmitykseen käytetään usein kaukolämpöä ja prosessien lämpötarpeisiin höyryä. Myös omalla lämmöntuotannolla voidaan tuottaa teollisuusrakennuksessa tarvittava lämpöenergia käyttämällä uusiutuvia energiavaroja kuten esimerkiksi puuta tai pellettiä. Suora sähkölämmitys päälämmönlähteenä ei ole kannattavin ratkaisu teollisuudessa. Lämmityksen kokonaiskustannukseen vaikuttavat lämmön tuotantotapa ja käytettävä polttoaine. Teollisuusyritykset voivat joko tuottaa tarvittavan lämmön itse tai ostaa ulkopuoliselta toimijalta. Energiatehokkaassa lämmönsiirrossa pumput ovat tärkeässä roolissa, hankinnassa tulee ottaa huomioon koko pumppausjärjestelmä. Pumppausjärjestelmän tulee kokonaisuudessaan olla energiatehokas. (Energiatehokas teollisuuskiinteistö 2012.)

Teollisuushalleissa, joissa prosesseihin ei kulu lämmintä käyttövettä, on lämpimän käyttöveden kulutus vähäistä. Lämmin käyttövesi voidaan lämmittää käyttövesivaraajalla. Varaajassa vesi lämmitetään sähkövastuksella. (Eerola, Hagner & Sippola 1993, 42.) Toinen vaihtoehto käyttöveden lämmitykseen on käyttöveden lämmönsiirrin. Käyttöveden lämmönsiirtimessä käyttövesi lämpenee vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään liitetyn lämmönlauvuttimen avulla. (Seppänen & Seppänen 1996, 213–214.)

3.1 Lämmöntuotto

Teollisuusrakennuksissa lämpö voidaan tuottaa itse esimerkiksi maakaasulla, öljyllä, sähköllä, pelletillä tai muulla kiinteällä polttoaineella. Lämpöenergia voidaan myös ostaa ulkoiselta toimijalta kaukolämpönä. Lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttavat esimerkiksi lämmitysenergiatarve,

lämmitettävän tilan koko ja käyttötarkoitus. Rakennuksen sijainnilla on merkitystä saatavilla oleviin lämmönlähteisiin. Taajama-alueen ulkopuolella ei välttämättä ole tarjolla kaukolämpöä tai maakaasuverkkoa. (Lappalainen 2010, 99.) Opinnäytetyössä tarkasteltava kohde sijaitsee alueella, jossa alue- tai kaukolämpöä ei ole saatavilla.

Maakaasu

Maakaasulla lämmittäessä rakennuksessa tulee olla vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä sekä lämmityskattila ja kaasupoltin. Öljyn ja maakaasun lämmitysjärjestelmät ovat lähestulkoon samankaltaiset. Lähes kaikilla öljykattiloilla voidaan polttaa myös maakaasua. Maakaasua ei kuitenkaan tarvitse varastoida lämmitettävässä kohteessa niin kuin öljyä. Maakaasun toimittaa paikallinen jakeluyhtiö jakeluputkistoa pitkin. Maakaasulämmityksen vuosihyötysuhde on yli 90 %. (Lappalainen 2010, 99.)

Maakaasujärjestelmä on käyttäjälle melko helppohoitoinen. Tehokkaan palamisen edellytys on polttolaitteen säännöllinen huolto. Vain hyväksytyt asennusliikkeet voivat huoltaa maakaasun laitteistoa. Fossiilisista polttoaineista maakaasua pidetään ympäristöystävällisimpänä polttoaineena, sillä sen hiukkaspäästöt ovat vähäiset eikä sen palamisessa synny rikin oksideja. (Maakaasu 2016.)

Sähkö

Sähkökattiloita on käytetty lämmitysjärjestelmissä yleisimmin käyttöveden lämmitykseen. Sähkökattilat ovat yleistyneet 1900-luvun alkupuolelta saakka myös teollisuudessa teollisuusrakennusten lämmityksessä sekä vastaamaan prosessilämmön tuotannosta. Teollisuusrakennuksissa vastuskattilalla voidaan tuottaa kuumaa vettä ja elektrodikattilalla höyryä prosessitarpeisiin. Sähkökattila on toimintavarma ja sen käynnistäminen on nopeaa. Sähkökattiloiden etuna on säädettävyyden ja päästöttömyyden sekä korkea hyötysuhde (> 99 %). Rajoittavana tekijänä sähkökattiloiden yleistymisessä on ollut sähkön korkea hinta. (Anteroinen 2016, 24–26.) Sähkökattilaa voidaan pitää helppoisimpana ja kustannustehokkaimpana ratkaisuna hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä, jos sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt ovat alhaiset (Jääskeläinen & Turunen 2021, 24).

Vastuskattilassa on metallinen vastus, jolla sähköenergia muutetaan lämpöenergiaksi. Metallinen vastus siirtää sähkön lämpöenergian veteen. Vastuskattilan tehoa voidaan säätää muuttamalla

sähkövirran suuruutta. Lämmennyt vesi voidaan hyödyntää lämpimän käyttöveden tai huonetilojen lämmityksessä esimerkiksi vesikiertoisen patteriverkoston avulla. (For the Safe Operation of Electric Steam Boilers 2013.)

Kiinteät kotimaiset polttoaineet

Kiinteillä kotimaisilla polttoaineilla tarkoitetaan turvetta, puuta, pellettiä ja muita biopolttoaineita. Kiinteiden biopolttoaineiden lämpöarvo on esimerkiksi maakaasua alhaisempi. Kiinteät kotimaiset polttoaineet vaativat useimmiten varastointiin suuren tilan alhaisen lämpöarvon vuoksi. Kiinteiden polttoaineiden lämmitysjärjestelmään kuuluu poltin, kattila, polttoaineen siirtolaitteisto sekä lämmönjakoverkosto. Polttoainevarasto voi sijaita joko sisällä tai ulkona, kunhan polttoaine pysyy kivilämpönä. (Seppänen & Seppänen 1996, 104–106.)

Kiinteiden polttoaineiden lämmitysjärjestelmät vaativat käyttäjältä jonkin verran huoltoa ja perehtyneisyyttä. Ylläpitoon kuuluu muun muassa järjestelmän yleinen valvonta, tuhkan laadun seuranta, savukaasujen lämpötilan seuranta sekä säätäminen esimerkiksi polttoaine-erän vaihtuessa. Tuhkan poisto ja kattilan nuohoaminen on tehtävä säännöllisesti. Nykyään on tarjolla järjestelmiä, joissa nämä on automatisoitu. (Kokkonen 2012.)

Kaukolämpö

Kaukolämpö lämmitysmuotona on Suomen yleisin kaupungeissa ja taajama-alueilla. Kaukolämpö tuotetaan polttamalla polttoainetta esimerkiksi biomassaa, maakaasua, kivihiihtä, turvetta, öljyä sekä biokaasua lämpölaitoksessa tai sähkön- ja kaukolämmön yhteistuotantolaitoksissa. Kaukolämmön tuotannossa voidaan hyödyntää myös ympäristön lämpöä esimerkiksi maasta, ilmasta ja vedestä sekä hukkalämpöä. Yhteistuotantolaitoksilla on korkeampi hyötysuhde verrattuna erillistuotantolaitosten hyötysuhteeseen. Lämpöenergia siirretään asiakkaalle kaukolämpöverkostoa pitkin. Lämmin kaukolämpövesi luovuttaa lämpöenergian lämmönsiirtimen avulla asiakkaan lämmitysverkostoon. Kaukolämpövesi ei sekoitu talojen lämmitysverkoston veteen, vaan se kiertää jäähtyneenä takaisin tuotantolaitokselle. (Kaukolämpö ja -jäähdytys n.d.)

3.2 Tilojen lämmitys

Rakennuksen lämmitys tapahtuu yleensä hyödyntämällä lämmityskennoja tai lämmityspattereita. Suoralla sähkölämmityksellä lämpö tuotetaan lämmönluovuttimen patterissa. Vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä lämpö siirretään lämmönsiirtoputkistossa lämmitettävään tilaan. Lämmönsiirtoputkiston mitoitus vaikuttaa tarvittavan pumpun tehoon. Pumpun elinkaarikustannuksista 90 % koostuu käyttökustannuksista. (Energiatehokas teollisuuskiinteistö 2012.)

Vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä lämpö jaetaan tiloihin lämminvesiverkostoon kytketyillä lämpöpattereilla, ilmanvaihdon lämmityspattereilla, kierrätysilmalämmittimillä tai vesikiertoisilla säteilylämmittimillä sekä lattialämmitystä hyödyntämällä. Vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään voidaan tarvittaessa liittää myös hukkalämmön talteenottojärjestelmä. Suorassa sähkölämmityksessä lämpö jaetaan tiloihin huoneissa sijaitsevilla lämpöpattereilla, ilmanvaihdon sähköpatterilla, kierrätysilmapuhaltimen sähkölämmittimellä tai säteilylämmittimellä. (Energiatehokas teollisuuskiinteistö 2012.)

Vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötilaa säädetään ulkolämpötilan mukaisesti. Menoveden lämpötila pidetään säätökäyrän mukaisessa lämpötilassa säätöventtiilin avulla. Edellä mainittu säätöjärjestelmä ei huomioi lämmitettävän tilan sisäisiä lämpökuormia. Huoneiden lämpökuormat voidaan huomioida huonelämpötila-anturilla. Tällöin säätökeskus säätää säätökäyrää huonelämpötila-anturin mittausten perusteella. (Reinikainen 2015.)

Lämpöpatteri

Lämpöpatterit jaetaan radiaattoreihin ja konvektoreihin. Radiaattoreiden lämmitystapa perustuu säteilyyn, kun puolestaan konvektoreiden lämmitystapa perustuu säteilyn lisäksi konvektioon. Konvektorissa huoneilma lämpenee, kun se on kiertänyt patterien pintojen kautta. Radiaattorien avulla huoneilma lämpenee, kun huoneilma kiertää patterien pintojen kautta. Tämän lisäksi lämpöenergiaa säteilee patterin pintojen kautta ympäröivään tilaan. (Lappalainen 2010, 55.)

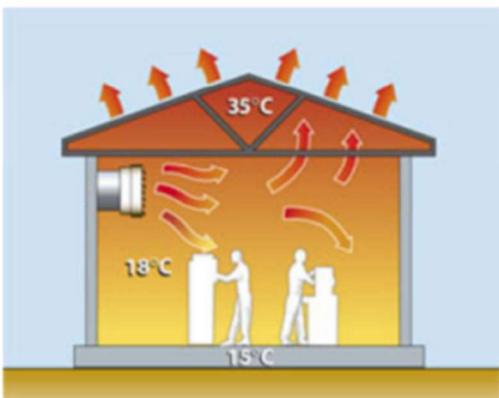
Patterilämmitys on huonetilojen yleisin lämmitystapa sen edullisuuden ja helppokäyttöisyyden ansiosta. Lämpöpatterissa voi olla sähkövastus tai se voidaan yhdistää vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Lämpöpatterin lämmitysvaikutus on paikallinen ja näin ollen lämpötehoa voidaan säätää

paikallisesti. Radiaattoreiden toimintaperiaate ei aiheuta ilmaan liikettä, joten ne eivät kierrätä pölyä tai aiheuta vedon tunnetta. Konvektorit puolestaan aiheuttavat liikettä. Patterit vaativat suuren pinta-alan, jos lämpötehontarve on suuri. (Eerola ym. 1992, 35.)

Lämpöpatterit sopivat mataliin tiloihin, joissa ilmanvaihtotarve on vähäinen eikä ole suuria ulkovoivia. Lämpöpatterit eivät ole tehokas lämmönjakotapa korkeissa rakennuksissa. Korkeissa tiloissa tarvittavan lämpöenergian määrä vaatisi todella ison lämmönluovuttimen, eikä se olisi taloudellisesti tai teknisesti kannattavaa toteuttaa. Lämpöpattereita voidaan käyttää myös paikallisina lisälämmönlähteinä esimerkiksi työpisteillä. Vesikiertoiset lämmityspatterit ovat edullinen ja turvallinen vaihtoehto tiloihin, jotka ovat luokiteltu palo- ja räjähdysvaarallisiksi. (Eerola ym. 1992, 35.)

Ilmalämmitys

Ilmalämmityksellä tarkoitetaan lämmönjakotapaa, jossa huoneisiin puhallettava tuloilma on lämmitetty ilmanvaihtokoneessa. Ilmanvaihtokoneessa ilma voidaan lämmittää sähkövastuksella, vesikiertoisella lämmityspatterilla tai ilmanvaihtokoneeseen kytketyllä lämpöpumpulla. Ilmalämmitysjärjestelmä yhdistää ilmanvaihdon ja tilojen lämmittämisen. Ilmalämmityksessä käytettävät tuloilmalaitteet sekoittavat tuloilman tehokkaasti huoneilmaan, jotta ei muodostuisi ilman kerrostumista. (Lappalainen 2010, 56.) Kuviossa 3 on esitettyä ilmalämmityksen havainnekuva.



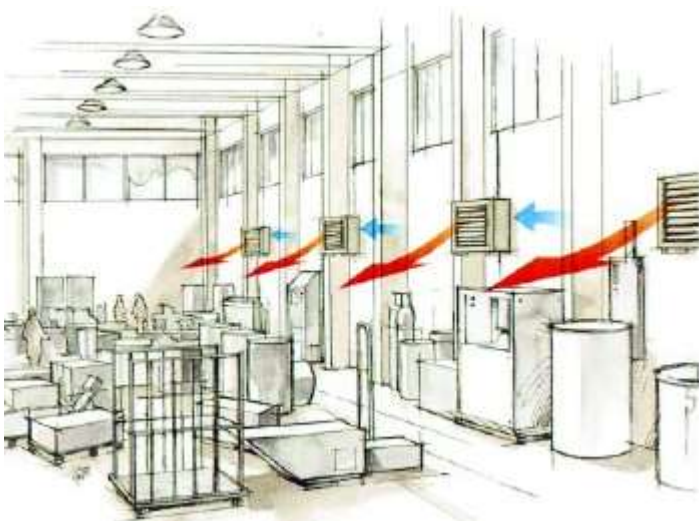
Kuvio 3. Ilmalämmityksen havainnekuva (Forsman 2012)

Ilmalämmitys vaatii suuren ilmanvaihtomäärän, jotta tarvittava lämpöteho saadaan tuotua ilmanvaihdolla huonetilaan. Ilmanvaihtomäärän tulisi olla ilmalämmitteisessä järjestelmässä vähintään 1,5 vaihtoa tunnissa eli ilman tulisi vaihtua 1,5 kertaa yhden tunnin aikana. Kyseisen järjestelmän

etuna on vain yksi säädettävä ja ohjattava järjestelmä sekä lämmityspatterin edullisuus. Täysin ongelmaton järjestelmä ei ole, sillä lämpötehon ohjaus tai säätö tapahtuu ilmavirran suuruutta muuttamalla. Ylilämmin tuloilma aiheuttaa ongelmia syrjäyttävässä ilmanjakotekniikassa, sillä lämpimän ilman noustessa ylös muodostuu epätoivottu oikosulkuvirtaus. Suuren paine-eron vuoksi ilmanvaihtokoneen puhaltimien energiakustannus on suuri. Ilmalämmitysjärjestelmä sopii kohteisiin, joiden lämmitystarve on vain muutaman asteen suuruinen. (Eerola ym. 1992, 35.)

Kiertoilmakoje

Kiertoilmakojeet soveltuvat leveärunkoisiin halleihin ja varastorakennuksiin sekä tiloihin, joissa pattereiden avulla ei pystytä tuomaan tarpeeksi lämmitystehoa. Ne voidaan asentaa joko kattoon tai seinään. Kiertoilmakojeen avulla korvataan johtumislämpöhäviöitä kierrättämällä ja lämmittämällä saman huonetilan ilmaa. Kojeen avulla raitista ulkoilmaa voidaan sekoittaa kierrätysilman joukkoon. Kiertoilmakojeen lämpöpatteri voi olla sähkövastus tai se voidaan liittää vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. (Teollisuusrakennusten ilmastointi ja lämmitys 1990, 18.) Kuviossa 4 on esitettyä kuva kiertoilmakojeista, jotka ovat asennettu tilan seinään.



Kuvio 4. Kiertoilmakojeet asennettuna seinälle (WDH kiertoilmakoje n.d.)

Kiertoilmakojeen etuna on laitteen helppokäyttöisyys ja yksinkertaisuus. Kojeen puhaltimen sähkötehtarve on alhainen ja laitteen painehäviö pieni. Usean kiertoilmakojeen lämmityspattereita voidaan automaation avulla ohjata ryhmänä. Puhaltimen aiheuttama suuri paikallinen nopeus voi

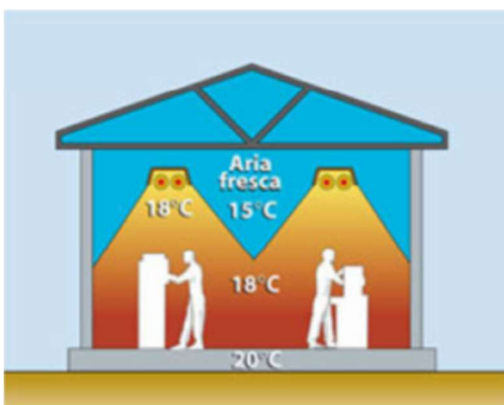
aiheuttaa vedon tunnetta ja puhaltimesta muodostuu melua. Ilman puhallus kierrättää pölyä ja näin ollen lisää epäpuhtauksien määrää työskentelyvyöhykkeellä. (Eerola ym. 1992, 33.)

Puhaltimia voidaan hyödyntää myös tuloilman kierrättämisessä. Jos puhdas tuloilma kertyy katon rajaan, auttavat puhaltimet ilman kierrättämisessä kohti työskentelyvyöhykettä. Kiertoilmakojeita voidaan käyttää myös ilman lämmityspatteria pelkästään ilman kierrätys tarkoituksessa. (Eerola ym. 1992, 33.)

Säteilylämmitys

Säteilylämmitin lämmittää ne pinnat, joille säteily osuu. Teollisuushalleissa säteilyn vaikutuksesta lämpenevät lattiat ja sen rakenteet, esineet sekä seinien alaosa. Rakennuksen ilma lämpenee lämpöenergian pintojen ja rakenteiden kautta. Säteilylämmittimessä on useimmiten sähkövastus, mutta niitä voidaan tarpeen vaatiessa valmistaa liitettäväksi rakennuksen vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. (Eerola ym. 1992, 33.)

Säteilylämmityksen etuna on mahdollisuus kohdentaa lämpö haluttuun paikkaan. Ympäröivän huoneen lämpötila voi olla muutaman asteen alhaisempi. Säteilylämmitin ei lisää huoneilman liikettä. Näin ollen se ei synnytä vetoa tai kierrätä pölyä. Lämmönjakotapana säteilylämmitys ei sovi kaikkiin tiloihin esimerkiksi palo- ja räjähdysturvallisista syistä. Korkeisiin teollisuushalleihin soveltuu parhaiten sauvasäteilijät. Joihinkin säteilylämmitysjärjestelmiin on mahdollista liittää myös viilennys. (Eerola ym. 1992, 33.) Kuviossa 5 on esitettyä säteilylämmityksen havainnekuva.



Kuvio 5. Säteilylämmityksen havainnekuva (Forsman 2012)

4 Ilmanvaihto teollisuudessa

Ilmanvaihdolla sisäilman laatutavoitteita eli ilman puhtautta hallitaan vaihtamalla epäpuhdas huoneilma raikkaaseen ja puhtaaseen ilmaan. Ilmanvaihdon mitoitetaan tyypillisesti epäpuhtauslähteet, lämpötila tai ilmankosteus. Ilmastoinnin avulla hallitaan epäpuhtauksien lisäksi lämpötilaa, jolloin tuloilma mitoitetaan jäähdytystarpeen perusteella. (Sandberg 2014, 113) Tarkasteltavassa kohteessa potentiaalisimmat energiatehokkuustoimet liittyvät ilmanvaihtoon, joten seuraavissa kappaleissa keskitytään tarkastelemaan ilmanvaihtoa.

Ilmanvaihdon tarkoituksena on tuoda huonetilaan puhdasta ilmaa ja poistaa epäpuhdas ilma. Epäpuhdas ilma sisältää epäpuhtauksien lisäksi muun muassa ylimääräistä kosteutta ja lämpöä. (Energiatehokas teollisuuskiinteistö 2012.) Oikein mitoitettu ja toimiva ilmanvaihto edesauttaa rakennuksen energiatehokkuutta. Mikäli tehdasrakennuksessa ilmanvaihto ei toimi optimaalisesti, voivat työntekijät altistua tuotannossa syntyville epäpuhtauksille. (Jääskeläinen & Turunen 2013.)

Teollisuusrakennuksissa ilmanvaihto kuluttaa suuren osan kokonaisenergiankulutuksesta. Lämmönkäytöstä jopa 31 % kuluu ilmanvaihtoon. Optimaaliseen ja tehokkaaseen ilmanvaihtoon kuuluvat: kustannustehokkuus, turvallisuus, energiatehokkuus, tarkoituksenmukaisesti toimiva, työhyvinvointia edistävä sekä älykkäästi ohjattava. (Energiatehokas ilmanvaihto teollisuudessa n.d.)

Teollisuusrakennuksissa ilmanvaihtoon tulisi kiinnittää huomiota, sillä se vaikuttaa oleellisesti työhyvinvointiin ja työntekijöiden terveyteen. Työturvallisuuslain mukaan työpaikalla tulee olla riittävästi kelpollista hengitysilmaa sekä ilmanvaihdon tulee olla riittävän tehokas ja tarkoituksenmukainen. Työpaikoilla, joilla esiintyy ilman epäpuhtauksia esimerkiksi pölyä, savua tai kaasua, on epäpuhtaudet poistettava ilmanvaihdon avulla. (Työturvallisuuslaki 738/2002, 37 §.)

Teollisuudessa ilmanvaihdon mitoitus perustuu epäpuhtauksien ja lämpökuormien hallintaan. Ilmaa tuodaan rakennukseen niin paljon kuin poistot ja prosessi vievät pois, jotta ei muodostu alipaineisuutta. Kesäisin mitoitus tehdään tyypillisesti lämpökuormien hallitsemiseksi ja talvimitoitus puolestaan epäpuhtauksien hallitsemiseksi. (Teollisuusrakennusten ilmastointi ja lämmitys 1990, 70.)

4.1 Ilmanvaihtokone

Ilmanvaihtojärjestelmässä tärkeässä roolissa on ilmanvaihtokone. Ilmanvaihtokoneen pääperiaatteena on suodattimen avulla puhdistaa ulkoa otettava tuloilma. Tuloilma lämmitetään ilmanvaihtokoneessa haluttuun sisäänpuhalluslämpötilaan lämmityspatterin avulla. Lämmityspatterit ovat useimmiten vesikiertoisia tai sähkövastuksia. Lämmöntalteenotolla voidaan tehdä tuloilman esilämmitys ennen lämmityspatteria, tämä tehostaa ilmanvaihdon energiatehokkuutta. Lämmityksen lisäksi tuloilmaa voidaan kostuttaa tarpeen vuoksi. Tuloilman kostutus on harvinaista, mutta sitä voidaan hyödyntää erityisolosuhteita vaativissa kohteissa. (Seppänen & Seppänen 1996, 180–184.)

Koneen puhaltimien avulla tuloilma johdetaan ilmanvaihtokanavistoon ja kanavistoa pitkin huone-tiloihin sekä poistoilma huoneista ulos. Ilmanvaihtokanavissa on usein äänenvaimentimet puhaltimien molemmin puolin, jotta voidaan pienentää syntyvää melua. Keskusilmanvaihtokone asennetaan joko konehuoneeseen tai palveltavaan tilaan. Ilmanvaihtokone voidaan asentaa palveltavaan tilaan esimerkiksi teollisuushalliin silloin, kun se on ääniteknisesti mahdollista. (Seppänen & Seppänen 1996, 180–184.)

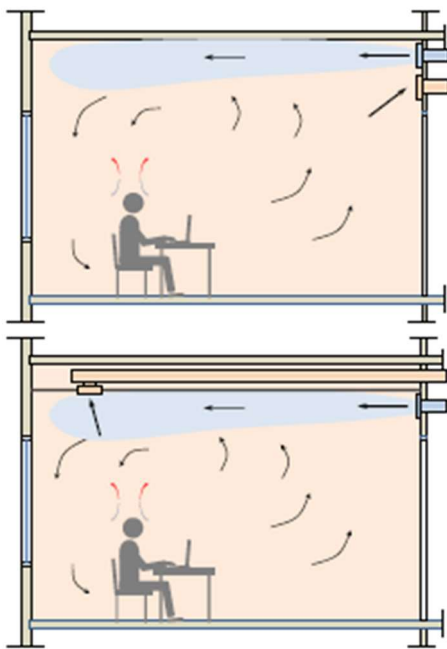
4.2 Ilmanjakotavat

Energiatehokkaan ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuden kannalta oleellisessa asemassa on toimiva ja onnistunut ilmanjakotekniikka. Puutteellinen tai epäonnistunut ilmanjakotekniikka voi aiheuttaa turhaa energiankulutusta sekä epäsuotuisia sisäilmasto-olosuhteita. Ilmanjako on merkittävässä roolissa ilmanvaihdon toiminnassa. Optimaalisella ilmanjaolla vaikutetaan ilmanvaihdon tehokkuuteen eli siihen, kuinka pienellä ilmavirralla saadaan ilman epäpuhtauksien määrä riittävän pieneksi. Ilmanjakotekniikalla voidaan myös minimoida ja vähentää vetoa sekä optimoida lämpötilatasoa. (Lappalainen 2010, 66.)

Ilmanjako suunnitellaan niin, että puhdas tuloilma virtaa työskentelyvyöhykkeelle ja epäpuhdas poistoilma suuntautuu poistoilmalaitteita kohden. Tällä pyritään siihen, että epäpuhtaudet eivät leviäisi työskentelyvyöhykkeelle. Käytetyimpiä ilmanjakotapoja ovat sekoittava ja syrjäyttävä ilmanjako. (Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas 2020.)

Sekoittava virtaus

Sekoittava ilmanjako on yksi käytetyimmistä ilmanjakotavoista teollisuuden lisäksi tavanomaisissa huonetiloissa. Sekoittava ilmanjako pyrkii puhaltamaan tuloilman suurella nopeudella tuloilmalaitteista niin, että se sekoittuu mahdollisimman tehokkaasti ja tasaisesti huoneilmaan. Poistoilmanlaatu on samankaltainen kuin työskentelyvyöhykkeen ilmanlaatu. Tuloilman ja huoneilman sekoittumisella saavutetaan tasaiset olosuhteet koko huonetilassa. Lämpötila ja epäpuhtauksien pitoisuus ovat tasaiset koko huoneilmassa. (Seppänen & Seppänen 1996, 194–198.) Kuviossa 6 on esitettyä sekoittavan ilmanjaon peruseriaate.

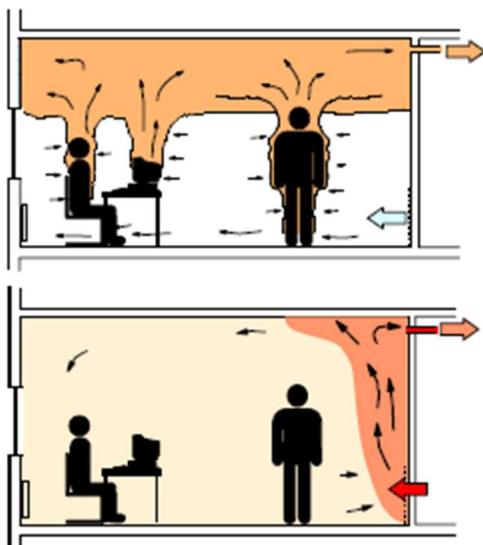


Kuvio 6. Sekoittavan virtauksen periaatekuva (Sandberg 2014, 224)

Sekoittava ilmanjako soveltuu tiloihin, joissa epäpuhtauspitoisuus on kohtuullisen pieni sekä sisäisten lämpökuormien määrä vähäinen. Sekoittavan ilmanjaon tehokkuutta vähentää tuloilmalla huoneilman lämmittäminen, sillä ilmavirtojen lämpötilaero parantaa sekoittuvuutta. (Seppänen & Seppänen 1996, 194–198.)

Syrjäyttävä virtaus

Syrjäyttävän virtauksen ilmanjakotekniikka on toinen yleisimmistä ilmanjakotavoista. Syrjäyttävä ilmanjako on yleinen esimerkiksi teollisuudessa. Syrjäyttävän ilmanjaon periaatteena on tuoda puhdas tuloilma matalalla nopeudella suoraan työskentelyvyöhykkeelle. Pienellä puhallusnopeudella pyritään vähentämään vedon syntymistä sekä hidastamaan tuloilman sekoittumista huoneilmaan. Epäpuhdas huoneilma syrjäytyy tuloilmalla. Tuloilma lämpenee huonetilassa, jolloin se nousee tilan yläosaan ja yläosassa olevaan poistoilmakanavaan. Syrjäytyvä ilma vie mukanaan huoneilman epäpuhtaudet pois työskentelyvyöhykkeeltä. Optimaalisen toimimisen saavuttamiseksi tuloilman tulee olla hieman huoneilmaa viileämpää, muutoin voi syntyä vedon tunnetta tai epäpuhtauksien jäämistä työskentelyvyöhykkeelle. (Seppänen & Seppänen 1996, 198–199.) Kuviossa 7 on esitettyä syrjäyttävän virtauksen toimintaperiaate.



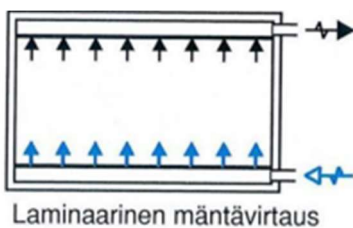
Kuvio 7. Syrjäyttävän virtauksen periaatekuva (Sandberg 2014, 224)

Syrjäyttävällä ilmanjaolla pyritään saamaan mahdollisimman hyvät olosuhteet työskentelyvyöhykkeelle. Näin ollen tämä ilmanjakotapa sopii esimerkiksi korkeisiin tiloihin, joissa on suuri määrä sisäisiä lämpökuormia tai epäpuhtauslähteitä. Kyseinen ilmanjakotapa on hyvä juuri siis teollisuustiloihin, jotka ovat korkeita ja sisältävät epäpuhtauslähteitä. Syrjäyttävällä ilmanvaihdolla saadaan työskentelyvyöhykkeelle suotuisat olosuhteet. (Seppänen & Seppänen 1996, 198–199.)

Laminaarinen mäntävirtaus

Laminaarinen mäntävirtaus ilmanjakotapana on käytetty tiloissa, joissa ilmanlaadulle on asetettu erityisiä vaatimuksia. Mäntävirtauksessa tuloilmavirralla luodaan yhdensuuntainen virtauskenttä koko huonetilaan. Virtauskenttä kuljettaa huoneilman epäpuhtaudet poistoilman mukana pois tilasta. Tuloilmavirran nopeus on pieni, mutta tuloilmamäärän on oltava suuri, jotta onnistutaan saamaan virtauskenttä koko huonetilaan. (Sandberg 2014, 226–227.)

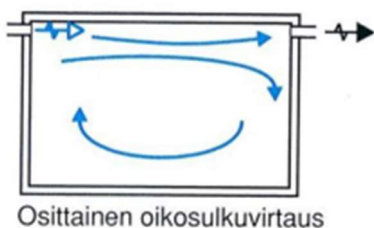
Mäntävirtaus ilmanjakotapana sopii erityisesti tiloihin, joissa on niin sanotut puhtausvaatimukset. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi leikkaussalit ja puhdastilat. (Sandberg 2014, 226–227.) Kuviossa 8 on esitettyinä mäntävirtauksen toimintaperiaate. Kuviossa sinisellä on tuloilma ja mustalla poistoilma.



Kuvio 8. Laminaarisen mäntävirtauksen periaatekuva (Seppänen & Seppänen 1996, 193)

Osittainen oikosulkuvirtaus

Oikosulkuvirtaus ilmanjakotapana on epätoivottu tilanne. Oikosulkuvirtaus on tilanne, jossa osa tuloilmavirrasta menee suoraan poistoilmakanavaan. Se on epätoivottu tilanne, sillä se heikentää merkittävästi ilmanvaihdon tehokkuutta. Tilanteen syntymistä pyritään välttämään ammattitaitoisella suunnittelulla. (Seppänen & Seppänen 1996, 194.) Kuviossa 9 on esitettyinä oikosulkuvirtauksen periaatekuva.



Osittainen oikosulkuvirtaus

Kuvio 9. Osittaisen oikosulkuvirtauksen periaatekuva (Seppänen & Seppänen 1996, 193)

4.3 Lämmöntalteenotto

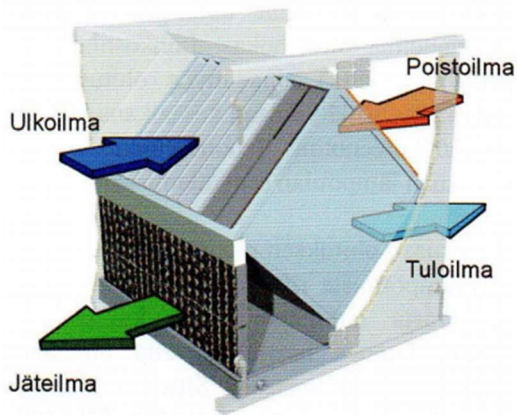
Rakennusten energiatehokkuutta voidaan parantaa ottamalla poistoilman lämpöenergia talteen ja hyödyntää se esimerkiksi tuloilman esilämmityksessä. Lämmöntalteenoton peruseräteenä on, että lämpimämpi aine luovuttaa lämpöenergiaa kylmemmälle aineelle, tässä tapauksessa on kyse poistoilmasta ja tuloilmasta. Lämmönsiirto kahden aineen välillä on sitä tehokkaampaa, mitä suurempi niiden lämpötilaero on. Myös suurempi lämmönsiirtopinta-ala tehostaa lämmöntalteenottoa. (Seppänen & Seppänen 1996, 285–286.)

Lämmöntalteenottojärjestelmiä on erilaisia. Yksinkertaisimmat laitteistot koostuvat pelkästään lämmönvaihtimista, joissa poistoilman lämpöenergia siirtyy suoraan sisään puhallettavaan tuloilmaan. Poistoilmaa voidaan myös sekoittaa tuloilmaan, mikäli poistoilman laatu täyttää puhtausvaatimukset. Edellä mainittu ratkaisu parantaa hyötysuhdetta merkittävästi. (Liddament, 1996.)

Levylämmönsiirrin

Levylämmönsiirrin on vanhin ja yleisin lämmöntalteenottolaitte. Yleisimmin levylämmönsiirtimet ovat käytössä asuinrakennuksissa. Levylämmönsiirtimessä lämpö siirtyy levyjen läpi poistoilmasta tuloilmaan. Lämpötilahyötysuhde on tyypillisesti olemassa olevissa laitteissa 50–80 %, sarjaan kytkennällä voidaan nostaa hyötysuhdetta. Levylämmönsiirrin soveltuu kohteisiin, joissa tarvitaan edullista lämmöntalteenottolaitetta sekä hygieenistä vaihtoehtoa. Tehonsäätö levylämmönsiirtimessä tapahtuu ohitussäädöllä. (Teollisuusrakennusten ilmastointi ja lämmitys 1990, 70.) Levylämmönsiirrin on yksinkertaisen rakenteensa ansiosta helppohuoltoinen ja toimintavarma (Sandberg 2014, 180). Voimassa olevien määräysten mukaan uudisrakennuksissa levylämmönsiirtimen lämpötilahyötysuhde tulee kuitenkin olla yli 73 % (A 1253/2014).

Ristivirtalevylämmönsiirtimessä ilma kulkee ristikkäin levyjen välissä. Joka toisessa kanavassa kulkee lämmin poistoilma ja joka toisessa välissä lämmitettävä tuloilma. Lämpöenergia siirtyy levyjen läpi poistoilmasta tuloilmaan. Vastavirtalevylämmönsiirrin toimii samalla periaatteella, mutta tuloilma ja poistoilma kulkevat enemmän toisiaan vasten, jolloin saavutetaan parempi lämpötilahyötysuhde. (Sandberg 2014, 180–182.) Kuviossa 10 on esitettyä levylämmönsiirtimen periaatekuva.

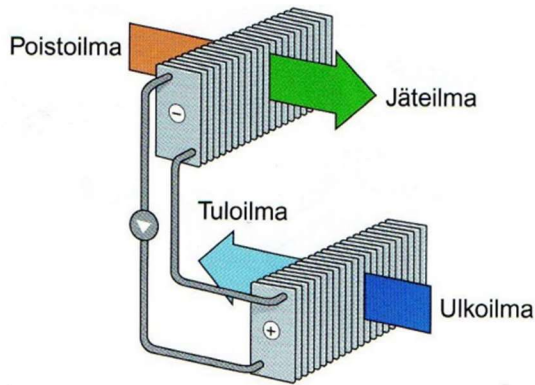


Kuvio 10. Levylämmönsiirrin (Sandberg 2014, 181)

Nestekiertoinen lämmönsiirrin

Nestekiertoisia lämmönsiirtimiä käytetään kohteissa, joissa poisto- ja tuloilmakanavistot sijaitsevat erillään. Olemassa olevien nestekiertoisten järjestelmien lämpötilahyötysuhde on 40–55 %. Lämpötilahyötysuhteeseen vaikuttaa tulo- ja poistoilman välinen lämpötilaero, lämmönsiirtimen pinta-ala sekä etäisyydet ja siirtoputkien eristykset. Järjestelmä on erittäin hygieeninen, sillä ilmavirrat eivät sekoitu keskenään missään vaiheessa. (Teollisuusrakennusten ilmastointi ja lämmitys 1990, 70.) Voimassa olevien määräysten mukaan uudisrakennuksissa nestekiertoisten lämmönsiirtimien lämpötilahyötysuhde tulee kuitenkin olla yli 68 % (A 1253/2014).

Nestekiertoisessa lämmönsiirtimessä lämpöenergia siirtyy käytettävän väliaineen avulla. Väliaine on tyypillisesti veden ja jäätymisenestoaineen seos. Väliainetta kierrätetään pumpulla tuloilma- ja poistoilmakanavien lämmönsiirtopattereiden välillä. Poistoilmakanavan patterissa kiertävä väliaine lämpenee. Lämpenemisen jälkeen lämmennyt väliaine pumpataan tuloilmakanavan patteriin, jossa väliaine siirtää lämpöenergian tuloilmaan. Lämmönsiirtopinta-alan tulee olla riittävän suuri, sillä lämmönsiirto tapahtuu pienillä lämpötilaeroilla. (Sandberg 2014, 184.) Kuviossa 11 on esitettyä nestekiertoisen lämmönsiirtimen periaatekuva.

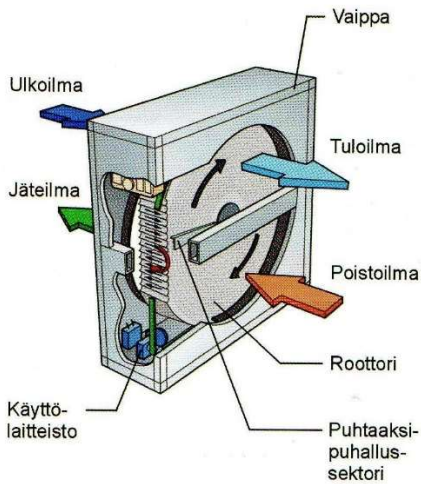


Kuvio 11. Nestekiertoinen lämmönsiirrinjärjestelmä (Sandberg 2014, 184)

Pyörivä lämmönsiirrin

Pyörivällä lämmönsiirtimellä ilmanvaihdon energiatehokkuus kasvaa merkittävästi, sillä pyörivän lämmönsiirtimen lämpötilahyötysuhde on korkea, jopa 75–85 %. Kyseisessä lämmönsiirtimessä on tiheä kennorakenne, jonka ansiosta lämmönsiirtopinta-ala on suuri. Pyörivää lämmönsiirintä pyritään käyttämään lämmöntalteenottolaitteena korkean lämpötilahyötysuhteen ja pienen tilantarpeen vuoksi, mikäli tuloilman puhtausvaatimukset sen mahdollistavat. (Sandberg 2014, 184.) Voimassa olevien määräysten mukaan uudisrakennuksissa pyörivän lämmönsiirtimen lämpötilahyötysuhde tulee kuitenkin olla yli 73 % (A 1253/2014).

Pyörivässä lämmönsiirtimessä alumiinista valmistettu kennomainen lämmönsiirtopinta pyörii akselinsa ympäri. Poistoilmasta lämmennyt kenno luovuttaa lämpöenergian tuloilmalle. Siirtimen kotelo on jaettu kahteen osaan, toiselle puolelle virtaa tuloilma ja toiselle poistoilma. Pyörimisnopeutta muuttamalla voidaan säätää lämmönsiirtotehoa. Kennon avulla voidaan tarvittaessa siirtää myös poistoilman kosteus tuloilmaan. Pyörivät lämmönsiirtimet sopivat kohteisiin, joissa tarvitaan tuloilman kostutusta ja korkeaa lämpötilahyötysuhdetta. (Teollisuusrakennusten ilmastointi ja lämmitys 1990, 70.) Kuviossa 12 on esitettyä pyörivä lämmönsiirrin.



Kuvio 12. Pyörivä lämmönsiirrin (Sandberg 2014, 178)

4.4 Ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus

Ilmanvaihdossa lämpöenergiaa kuluu tuloilman lämmitykseen. Huoneisiin puhallettava ilma voidaan esilämmittää lämmöntalteenotolla. Esilämmityksen jälkeen tuloilmaa lämmitetään tarvittaessa lämmityspatterilla. Sähköenergiaa kuluu ilmaa siirtäviin laitteisiin eli esimerkiksi puhaltimiin. Järjestelmien käyttöajat ja käyttötehot sekä lämpötilataso vaikuttavat energiankulutukseen. (Energiatehokas ilmanvaihto teollisuudessa n.d.)

Ilmanvaihdon energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa säädöillä. Mahdollisuuksien mukaan ilmavirtaa voidaan pienentää esimerkiksi käyttöaikojen ja käyttöasteen perusteella. Tuloilman lämpötilatasoa voidaan tiputtaa muutamalla asteella, jolloin lämmitysenergian tarve on pienempi. Lämmöntalteenotto parantaa ilmanvaihdon energiatehokkuutta merkittävästi. (Energiatehokas ilmanvaihto teollisuudessa n.d.)

Teollisuusrakennuksessa ilmanvaihtojärjestelmän tehokkuutta tarkasteltaessa takaisinmaksuaika ei välttämättä ole paras mittari toimenpiteen kannattavuuden arvointiin. Teollisuusrakennuksen ilmanvaihdon parannustoimenpiteet ovat perusteltuja, kun huomioidaan tuotannon tekijät sekä työntekijöiden työolosuhteet ja työturvallisuus. (Jääskeläinen & Turunen 2013.)

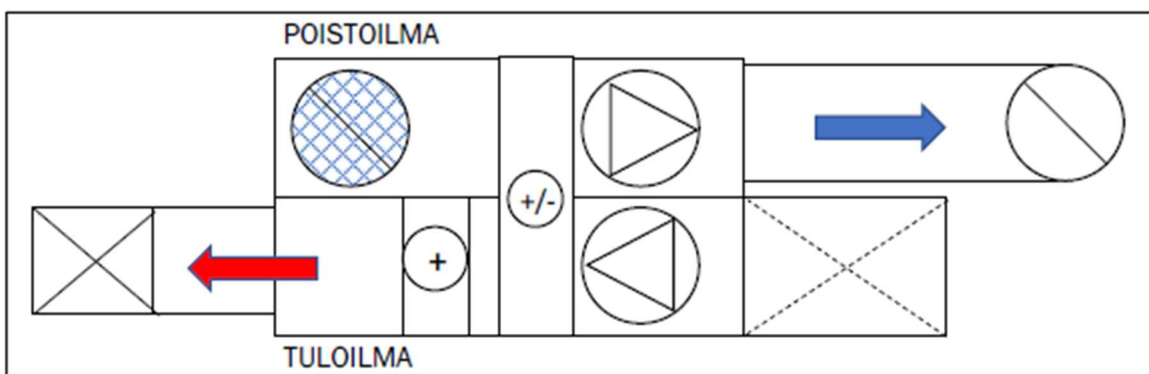
5 Kohteen nykytila

Tarkasteltava rakennus on noin 50 vuotta vanha. Alun perin rakennus on suunniteltu varastoksi, mutta se toimii nykyään tehdasrakennuksena. Rakennuksessa on vuonna 2014 parannettu energiatehokkuutta eristämällä rakennus Finnfoam-eristelevyllä. Lämmitysenergia tuotetaan omalla maakaasukattilalla, joka on vuodelta 1998 ja sen arvioitu käyttöikä on 30 vuotta. Käytettävän maakaasun toimittaa paikallinen toimittaja Loimua Oy. Rakennuksessa ei ole keskitettyä rakennusautomaatiojärjestelmää, vaan laitteita ohjataan pääosin omilla paikallisilla säätimillään.

Tehtaalla on Sasmator-maalauslinja, jonka poistoilmavirta on suuri. Linjan poistoilmakanavassa on syklonipuhdistus ja sen perässä patruunatyypinen kuitusuodatin. Maalauslinja on kaksi kertaa viikossa päällä kahdeksan tuntia eli viikoittainen käyttöaika on 16 tuntia. Maalauslinjan poistoilma voidaan kierrättää takaisin halliin ulkoisten suodattimien läpi. Kyseistä toimintoa käytetään lähinnä talvella kovilla pakkasilla. Tehtaan paineilma tuotetaan tehdashallissa olevalla Atlas Copco -paineilmakompressorilla. Paineilman painetaso on 7 bar:ia. Kompressorin tuottaa paljon lämpöä ympäröivään tilaan.

5.1 Ilmanvaihtojärjestelmät

Ensimmäinen ilmanvaihtokone sijaitsee hallin etuosassa. Ilmanvaihtokoneen tuloilmakanava on kooltaan DN800. Kokoonpanossa on ilmanvaihtokone TK/PK01 Mastervent 7,5 kW. Koneessa on lämmöntalteenottokiekko sekä vesikiertoinen lämmityspatteri. Koneita ohjataan paikallisella Ouman säätimellä. Kuviossa 13 on kaaviokuva kokoonpanon ilmanvaihtokoneesta.



Kuvio 13. Kaavio kokoonpanon ilmanvaihtokoneesta

Toinen ilmanvaihtokone ABB Fläkt Industri AB Faca-80-3-1-07-54 sijaitsee maalaamon päällä, hie-
man ahtaassa paikassa. Koneessa on kierrätysilmamahdollisuus ja siinä on vesikiertoinen lämmi-
tyspatteri. Koneen haastavan sijoituspaikan vuoksi kanavistoon on jouduttu tekemään paljon
suunnan ja kanavakoon muutoksia, mitkä aiheuttavat ylimääräisiä virtausvastuksia ja energianku-
lutusta. Lämmityspatteri on kanavaa huomattavasti leveämpi, joten siitä ei saada irti maksimite-
hoa.

Toimiston ilmanvaihto on hoidettu kolmella Muh-Ilmava tulo-poistokoneella. Toimiston koneissa
on lämmöntalteenottolaitteistona levylämmönsiirrin. Toimiston sosiaali- ja pukutiloja palvelee il-
manvaihtokone, jossa ei ole lämmöntalteenottoa ja lämmitys tapahtuu sähkövastuksella. Toimis-
ton sosiaali- ja pukutilat ovat olleet jonkin aikaa pois käytöstä.

Halleissa on käytössä sekoittava ilmanjako. Tuloilma jaetaan tiloihin korkealta, jolloin puhtain sekä
raikkain ilma ei välttämättä saavuta työskentelyvyöhykettä tehokkaasti. Tuloilma on ehtinyt jo se-
koittumaan ja lämpenemään likaisen poistoilman kanssa. Kuviossa 14 on kokoonpanohallin ilman-
jako. Tuloilma jaetaan tilaan suuttimilla ja säleiköillä, jotka ovat noin 10 metrin korkeudella.



Kuvio 14. Kokoonpanohallin ilmanjako ja huippuimuri

Tehtaalla on paljon ilman poistoja suhteessa tuloilman määrään, joka voi aiheuttaa ilman alipainaisuutta, tällöin korvausilmaa tulee rakenteista. Tuloilma voi tulla suoraan rakenteista ulkoilmana, jolloin korvausilma lämpenee tilojen lämmityslaitteiden avulla. Tarkasteltavassa kohteessa kaikki korvausilma ei todennäköisesti tule suoraan ulkoa, sillä kartoituskäynnillä ilmeni, että aika ajoittain tulee viemärin hajuhaittoja. Tällaisessa tilanteessa osa korvausilmasta voi siis tulla esimerkiksi lat-tiakaivojen kautta.

Tuloilma ei välttämättä jakaudu kaikille alueille tasaisesti. Tällöin sisäilmasto ei ole optimaalinen kaikissa rakennuksen osissa. Rakennuksen poistoilmassa on paljon lämmöntalteenottopotentiaalia, sillä tällä hetkellä suuri osa ilmasta johdetaan suoraan ulos ilman lämmöntalteenottoa.

5.1.1 Ilmanvaihtokerroin

Tuotantotilalle laskettiin ilmanvaihtokerroin. Ilmanvaihtokerroin laskettiin arvioidulla tilojen keskimääräisellä korkeudella kaavalla 1. Ilmanvaihtokerroin kuvaa, kuinka monta kertaa ilma vaihtuu tunnissa.

$$n = \frac{q_{v,tuloilma}}{V} * 3600 \quad (1)$$

missä n = ilmanvaihtokerroin 1/h

$q_{v,tuloilma}$ = tuloilmavirrat yhteensä m^3

V = rakennuksen tilavuus, m^3

3600 = kerroin, jolla tehdään yksikkömuunnos $m^3/s \rightarrow m^3/h$

Tehdusrakennuksen tuotantotilan ilmanvaihtokertoimeksi saatiin 0,92 1/h. Tämä tarkoittaa, että koko tilan ilma ei ehdi vaihtua yhden tunnin aikana. Ilmanvaihdon oppaassa muissa kuin asuinrakennuksessa työtiloille annetaan mitoitusarvoiksi $2 \text{ dm}^3/s, m^2$ ja $6 \text{ dm}^3/s, hlö$. Näillä mitoitusarvoilla päästään tarkasteltavassa kohteessa ilmanvaihtokertoimeen, joka on noin 1 1/h. Ilmanvaihtokerroin 1 1/h tarkoittaa, että koko tilan ilma vaihtuu kerran tunnissa.

5.1.2 Ilmavirtamittaukset

Ilmanvaihtokoneiden energiankulutuslaskentaa varten ilmanvaihtokoneiden ilmavirrat tuli selvittää. Ilmavirtamittaukset suoritettiin monipistemittauksena. Monipistemittauksessa ilmavirran nopeus mitataan kanavaan tehdyn reiän kautta useammasta kohdasta, riippuen kanavan koosta. Mittaus laskee keskiarvon muutaman sekunnin mittaukselle. Kanavan mittapisteiden ilman nopeuksista laskettiin keskiarvo, jonka jälkeen saadaan laskettua todellisen ilmavirran suuruus. Mittaukset suoritettiin Pitot-putkella ja mikromanometrillä, joiden toimintaperiaate perustuu paikallisen nopeuden mittaamiseen paine-eron avulla. Taulukossa 1 esitettynä mitatut nopeudet ja kaavalla 2 lasketut tilavuusvirrat.

Ilmamäärä voidaan laskea kaavalla 2, kun on tiedossa ilmavirran nopeus ja kanavan poikkipinta-ala.

$$q_v = Av_i \tag{2}$$

missä q_v = ilman tilavuusvirta, m³/s
 A = kanavan poikkipinta-ala, m²
 v_i = ilman nopeus kanavassa, m/s

Taulukko 1. Ilmavirta mittaukset ja ilman tilavuusvirrat

	TK1	PK1	TK2	Maalaamon poistoilma
Nopeus (m/s)	5,2	5,60	4,70	16,40
Nopeus (m/s)	5,9	5,70	4,80	17,10
Nopeus (m/s)	4,7	5,60	4,80	16,90
Nopeus (m/s)	4,6	4,80	4,60	17,00
Nopeus (m/s)	6,1	4,80	5,40	16,80
Nopeus (m/s)	5,7	4,50	5,50	14,80
Nopeus (m/s)	4,8	5,50	5,20	16,40
Nopeus (m/s)	4,8	5,50	5,00	16,40
Nopeus (m/s)	6,1	4,00	5,80	16,90
Nopeus (m/s)	6,2	3,70	5,80	16,60
Nopeus (m/s)	6,0		5,50	
Nopeus (m/s)	5,9		5,50	
Nopeus (m/s)	5,9		5,40	
Nopeus (m/s)	6,2		6,10	
Nopeus (m/s)	5,7		5,70	
Nopeus (m/s)	5,9		5,60	
Nopeus (m/s)	5,8		4,70	
Nopeus (m/s)	5,8		5,60	
Nopeus (m/s)	6,1		5,60	
Nopeus (m/s)	5,7		5,30	
Keskiarvo (m/s)	5,66	4,97	5,33	16,53
Kanavan pinta-ala (m ²)	0,60	0,50	0,80	0,31
Ilmavirta	3,39	2,50	4,26	5,15

Ilmavirran mittauksen yhteydessä mitataan aina myös ilman lämpötila ja kosteus, jotta saadaan selville ilman tiheys, mikä vaikuttaa mittaustulokseen. Mittaustulos ilmoitetaan normeerattuna 20 °C, kuivaa ilmaa, jonka tiheys on 1,2 kg/m³.

Tuotantotiloissa on edellä mainittujen puhaltimien lisäksi useita poistopuhaltimia, joiden ilmamääriä ei mitattu. Taulukossa 2 on koonti suunnitelmien mukaisista ilmamääristä. Savunpoistopuhaltimet sijaitsevat työskentelypisteillä esimerkiksi hitsauspisteellä. Työssä oletettiin, että savunpoistopuhaltimet ovat päällä tarvittaessa. Maalaamon poistoilmapuhallin ei myöskään ole päällä ympäri vuorokauden. Maalaamo on käytössä kaksi kertaa viikossa 8 h päivässä.

Taulukko 2. Poistopuhaltimet

Laite	Tyyppi	Mitoitusvirtaamaa
PF11	Aksiaalipoistopuhallin	1,1 m ³ /s
PF12	Aksiaalipoistopuhallin	1,3 m ³ /s
PF14	Savunpoistopuhallin	2,2 m ³ /s
PF15	Savunpoistopuhallin	2,2 m ³ /s
PF1	Huippuimuri	2,87 m ³ /s
PF2	Huippuimuri	2,87 m ³ /s

5.1.3 Ilmanvaihdon energiankulutus

Ilmanvaihdon energiankulutus tarkastelussa kullekin tarkasteltavalle ilmanvaihtokoneelle laskettiin tarvittavan lämmitysenergian nettotarve sekä lämmöntalteenotolla ilmanvaihdosta talteenotettavan lämpöenergian suuruus. Jokaiselle kuukaudelle laskettiin erikseen energiamäärät mitoitettavan ulkolämpötilan mukaisesti.

Suomi on jaettu neljään säävyöhykkeeseen. Säävyöhykkeiden mukaan ilmoitetaan energiankulutuslaskennassa käytettävät kunkin vyöhykkeen mitoittavat ulkolämpötilat kuukausittain. Suomessa säävyöhykkeet ovat Helsinki-Vantaan säävyöhyke 1, Jokioisten säävyöhyke 2, Jyväskylä-Luonetjärven säävyöhyke 3 ja Sodankylän säävyöhyke 4. Hämeenlinna kuuluu säävyöhykkeelle 2.

(A1009/2017.)

Ilmanvaihdon energiankulutuslaskennassa sisäänpuhalluslämpötilana käytettiin 18 °C ja lämpötila nousee puhaltimessa 0,5 °C. Laskennassa käytettävä sisäänpuhalluslämpötila on vain arvio, sillä puutteellisen automaation vuoksi todellisesta sisäänpuhalluslämpötilasta ei ole tarkkaa tietoa.

Lämmöntalteenotolla varustetun ilmanvaihtokoneen TK1 lämmitysenergian nettotarve saatiin laskettua kaavan 3 mukaisesti. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeella tarkoitetaan tuloilman lämmitystarvetta mahdollisen lämmöntalteenoton jälkeen.

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} \left((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{LTO} \right) \Delta t / 1000 \quad (3)$$

missä Q_{iv} = ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh
 t_d = ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen käyntiaikasuhde vuorokaudessa, h/24 h
 t_v = ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
 ρ_i = ilman tiheys, 1,2, kg/m³
 c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
 $q_{v,tulo}$ = tuloilmavirta, m³/s
 T_{sp} = sisäänpuhalluslämpötila, °C
 $\Delta T_{puhallin}$ = lämpötilan nousu puhaltimessa, °C
 T_{LTO} = lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila, °C
 Δt = ajanjakson pituus, h
 1000 = kerroin, jolla tehdään laatumuunnos kilowattitunneiksi, kWh

Lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila saadaan laskettua kaavalla 4.

$$T_{LTO} = T_u + \frac{P_{LTO}}{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo}} \quad (4)$$

missä T_{LTO} = lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila, °C
 P_{LTO} = lämmöntalteenotolla talteen otettu kuukauden keskimääräinen teho, W
 T_u = mitoittava ulkolämpötila, °C
 t_d = ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen käyntiaikasuhde vuorokaudessa, h/24 h
 t_v = ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
 ρ_i = ilman tiheys, 1,2 kg/m³
 c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
 $q_{v,tulo}$ = tuloilmavirta, m³/s

Lämmöntalteenotolla talteenotettu teho lasketaan kaavalla 5.

$$P_{LTO} = \eta_{a,ivkone} t_d t_v c_{pi} \rho_i q_{v,poisto} (T_s - T_u) \quad (5)$$

missä P_{LTO} = lämmöntalteenotolla talteen otettu kuukauden keskimääräinen teho, W
 $\eta_{a,ivkone}$ = ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, %
 t_d = ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen käyntiaikasuhde vuorokaudessa, h/24 h
 t_v = ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
 ρ_i = ilman tiheys, 1,2 kg/m³
 c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
 $q_{v,poisto}$ = tuloilmavirta, m³/s
 T_s = sisälämpötila, °C
 T_u = mitoittava ulkolämpötila, °C

Ilmanvaihdosta talteenotettu energia lasketaan kaavalla 6.

$$Q_{lto} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} (T_{lt} - T_u) \Delta t / 1000 \quad (6)$$

missä Q_{lto} = ilmanvaihdosta talteenotettu energia, kWh
 t_d = ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen käyntiaikasuhde vuorokaudessa, h/24 h
 t_v = ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
 ρ_i = ilman tiheys, 1,2 kg/m³
 c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
 $q_{v,poisto}$ = tuloilmavirta, m³/s
 T_{LTO} = lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila, °C
 T_u = mitoittava ulkolämpötila, °C
 Δt = ajanjakson pituus, h
 1000 = kerroin, jolla tehdään laatumuunnos kilowattitunneiksi, kWh

Taulukossa 3 on esitettyä kokoonpanohallin ilmanvaihtokoneen TK1 nettoenergiantarve. Kokoonpanon ilmanvaihtokone on varustettu lämmöntalteenottokiekolla. Laskennassa lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena käytettiin 71,4 %. Lämmöntalteenottokiekon vuosihyötysuhde laskettiin

Ympäristöministeriön LTO-laskimella (LTO-laskin 2018). Laskennassa lämpötilahyötysuhteena käytettiin 73 %, sillä kyseessä on lämmöntalteenottokiekko.

Laskennassa käytettiin oletusta, että laite on viikon jokaisena vuorokautena päällä ympäri vuoden. Kokoonpanon ilmanvaihtokoneen vuosittainen lämmitysenergiatarve on noin 144 MWh. Ilman lämmöntalteenottokiekkoa lämmitystarve olisi yli 440 MWh. Q_{iv} eli ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve on kesä-, heinä- ja elokuussa nolla, sillä lämmöntalteenoton lämmitysteho riittää kattamaan lämmitysenergian nettotarpeen näinä kuukausina.

Taulukko 3. Kokoonpanohallin ilmanvaihtokoneen TK1 nettoenergiatarve

TK1	Q_{iv} (kWh) nettoenergiatarve	T_{lto} (°C)	Teho, P_{lto} (kW)	Q_{lto} (kWh)
Tammikuu	24 995,86	9,22	53,49	39 793,39
Helmikuu	24 089,26	8,97	54,62	38 016,22
Maaliskuu	23 016,47	9,87	50,51	37 578,22
Huhtikuu	12 517,20	13,21	35,34	25 446,96
Toukokuu	4 020,10	16,17	21,93	16 318,96
Kesäkuu	0,00	17,81	14,50	10 440,96
Heinäkuu	0,00	19,25	7,93	58 96,50
Elokuu	0,00	18,66	10,60	78 88,56
Syyskuu	4 207,38	16,06	22,43	16 147,25
Lokakuu	10 513,61	14,02	31,70	23 585,99
Marraskuu	18 029,52	11,33	43,91	31 615,92
Joulukuu	22 461,11	10,06	49,67	36 956,70
Yhteensä	143 850,50			289 685,62

Ilman lämmöntalteenottoa varustetun ilmanvaihtokoneen TK2 nettoenergiatarve saadaan lasketua kaavan 7 mukaisesti.

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} \left((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_u \right) \Delta t / 1000 \quad (7)$$

missä Q_{iv} = ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh

t_d = ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen käyntiaikasuhde vuorokaudessa, h/24 h

t_v = ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk

ρ_i = ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)

$q_{v,tulo}$ = tuloilmavirta, m³/s

T_{sp} = sisäänpuhalluslämpötila, °C

$\Delta T_{puhallin}$ = lämpötilan nousu puhaltimessa, °C

T_u = mitoittava ulkolämpötila, °C

Δt = ajanjakson pituus, h

1000 = kerroin, jolla tehdään laatumuunnos kilowattitunneiksi, kWh

Taulukossa 4 on esitettyä maalaamon päällä olevan ilmanvaihtokoneen TK2 lämmitysenergian nettotarve kuukausitasolla ja vuositasolla. Ilmanvaihtokoneessa TK2 ei ole lämmöntalteenottoa. Tuloilma lämmitetään vesikiertoisella lämmityspatterilla. Laskennassa käytettiin oletusta, että laite on viikon jokaisena vuorokautena päällä ympäri vuoden. Maalaamon päällä sijaitsevan ilmanvaihtokoneen TK2 vuosittainen nettoenergiatarve on noin 530 MWh.

Taulukko 4. TK2 ilmanvaihtokoneen nettoenergiatarve

TK2	Q_{iv} (ilman LTO) (kWh) nettoenergiatarve
Tammikuu	81 274,08
Helmikuu	77 907,46
Maaliskuu	76 012,28
Huhtikuu	47 623,68
Toukokuu	25 514,08
Kesäkuu	11 979,19
Heinäkuu	75 709,44
Elokuu	54 88,934
Syyskuu	25 533,62
Lokakuu	42 775,83
Marraskuu	62 277,12
Joulukuu	74 535,94
Yhteensä	531 679,3

5.1.4 Korvausilman lämpenemisen nettoenergiantarve

Rakennuksen poistoilmavirran suuruus on suurempi kuin tuloilmavirran suuruus. Tämä tarkoittaa, että rakennukseen tulee korvausilmaa rakenteista. Kaavalla 8 laskettiin rakennuksen korvausilman lämpenemisen nettoenergiantarve, sillä oletuksella, että kaikki korvausilma tulee suoraan ulkoa ulkoilmana. Korvausilman suuruus on $2,99 \text{ m}^3/\text{s}$, kun huomioidaan aksiaalipoistopuhaltimet ja huippuimurit. Taulukossa 5 on esitettyä kaavalla 8 laskettu korvausilman nettoenergiantarve.

$$Q_{iv,korvausilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,korvausilmavirta} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (8)$$

missä $Q_{iv,korvausilma}$ = korvausilman lämpenemisen nettoenergiantarve, kWh

ρ_i = ilman tiheys, $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, $1000 \text{ J}/(\text{kg K})$

$q_{v,tulo}$ = tuloilmavirta, m^3/s

T_s = sisälämpötila, °C

T_u = mitoittava ulkolämpötila, °C

Δt = ajanjakson pituus, h

1000 = kerroin, jolla tehdään laatumuunnos kilowattitunneiksi, kWh

Taulukko 5. Korvausilman lämpenemisen nettoenergiantarve

Kuukausi	$Q_{korvausilma}$ nettoenergiantarve (kWh)
Tammikuu	66 656,72
Helmikuu	63 679,82
Maaliskuu	62 946,15
Huhtikuu	42 625,44
Toukokuu	27 335,39
Kesäkuu	17 489,35
Heinäkuu	98 77,05
Elokuu	13 213,89
Syyskuu	27 047,78
Lokakuu	39 508,19
Marraskuu	52 958,88
Joulukuu	61 905,06
Yhteensä	485 243,70

5.2 Lämmitysjärjestelmä

Tarkasteltavassa kohteessa lämmitysenergia tuotetaan maakaasukattilalla. Rakennuksessa on vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä. Vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään on liitetty lämpimän käyttöveden lämmitys, tehdasosan ilmanvaihtokoneiden tuloilman lämmitys sekä tilojen lämmitykseen käytettävät laitteet. Lämpimän käyttövedenkulutus kohteessa on vähäistä, joten sitä ei tarkastella erikseen opinnäytetyössä.

5.2.1 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus

Lämmitysjärjestelmän energiankulutus voidaan laskea kaavalla 9, kun tiedetään käytetyn polttoaineen kulutus ja kattilan hyötysuhde. Kohteessa oli tiedossa maakaasun kulutus, joten seuraavalla kaavalla laskettiin tuotetun lämmitysenergian määrä eli se kuinka paljon lämpöenergiaa rakennuksessa kuluu. Laskennassa kattilan maakaasukattilan hyötysuhteena on käytetty 92 %.

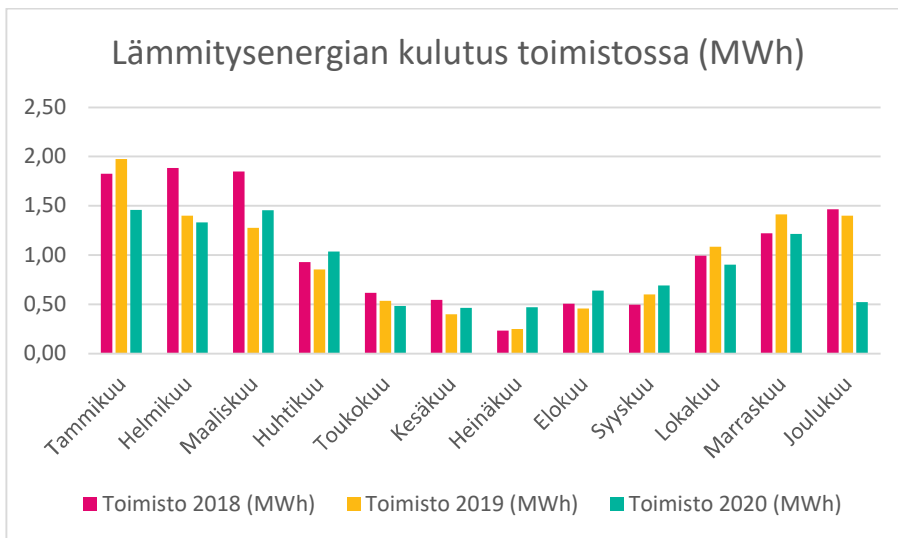
$$Q_{hyöty} = \eta Q_{tuotu} \quad (9)$$

missä $Q_{hyöty}$ = lämpöenergian määrä, MWh
 η = lämmöntuoton hyötysuhde, %
 Q_{tuotu} = polttoaineen kulutus, MWh

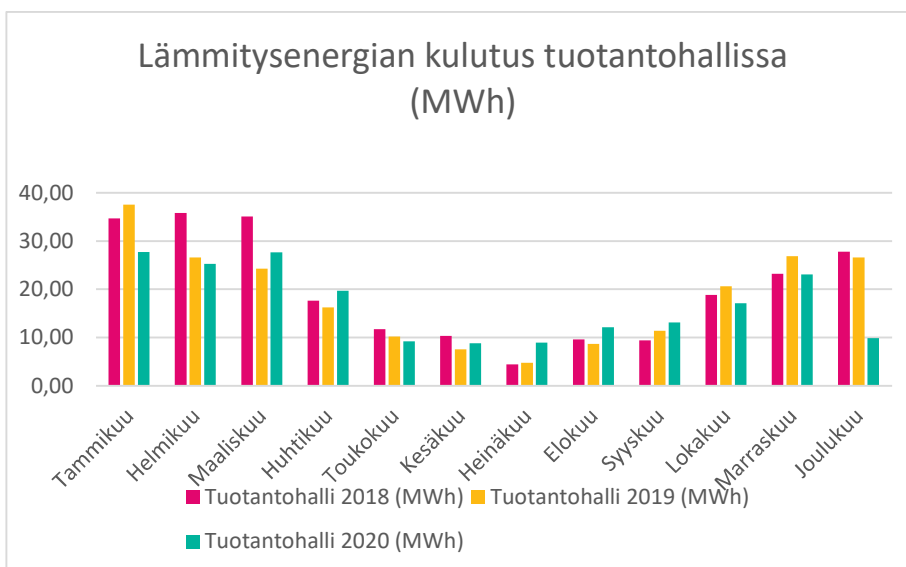
Taulukossa 6 on esitettyinä kaavalla 9 lasketut lämmitysenergiankulutukset vuosittain toimiston ja tuotannon lämmityksen ja lämpimän käyttöveden osalta. Kuviossa 15 on esitettyinä toimiston lämmitysenergian jakautuminen kuukausille ja kuviossa 16 tuotantohallin. Kuvioista nähdään, että kestävä kuukausin lämmitysenergian tarve on muita vuodenaikoja vähäisempää. Maakaasun jakautuminen eri kulutuskohteisiin on laskettu työntilaaajan antamien tietojen perusteella. Kulutusjakaumat ovat arvioita todellisesta tilanteesta.

Taulukko 6. Vuosittaiset lämmitysenergiankulutukset

MWh	Toimiston tilat ja lämminkäyttövesi	Tuotannon tila ja lämminkäyttövesi
2018	12,56	238,69
2019	11,65	221,38
2020	10,67	202,72



Kuvio 15. Lämmitysenergian kulutus toimistossa



Kuvio 16. Lämmitysenergian kulutus tuotantohallissa

5.2.2 Maakaasun kulutus

Tarkasteltavassa kohteessa maakaasua kuluu toimistotiloissa tilojen ja käyttöveden lämmitykseen, tuotantohallin tilojen ja käyttöveden lämmitykseen sekä maalauslinjan veden ja prosessiuunien lämmitykseen. Maakaasun kulutuksesta arviolta 60 % kuluu maalauslinjalla veden ja prosessiuunien lämmitykseen. Tilojen ja käyttöveden lämmitykseen kuluu 40 %, josta toimistotilojen osuus on 2 % ja tuotantohallin 38 %. Taulukossa 7 on esitettyä maakaasun kokonaiskulutukset osa-alueittain. Vuosittaiset kokonaiskulutukset ovat olleet yhteensä 628,12 MWh, 582,58 MWh ja 522,47 MWh. Maakaasun jakautuminen eri kulutuskohteisiin on laskettu työntilaajan antamien tietojen perusteella. Kulutusjakaumat ovat arvioita todellisesta tilanteesta. Maakaasukattilan hyötysuhteen arvioitiin olevan 92 %.

Taulukko 7. Maakaasun vuosikulutus kohteittain

MWh	Toimisto	Tuotanto	Maalauslinja	Yhteensä
2018	13,65	259,44	409,64	628,12
2019	12,66	240,63	379,94	582,58
2020	11,60	220,35	347,92	522,47

6 Tehostustoimet

Tarkasteltavan rakennuksen energiatehokkuutta ja energiankäyttöä voidaan optimoida monin eri keinoin. Tässä kappaleessa on esitettyä mahdollisia tehostustoimia ja uudistuksia, joilla voitaisiin tehostaa ja optimoida tarkasteltavan rakennuksen energiankäyttöä sekä lisätä energiatehokkuutta. Merkittävimmät tehostuspotentiaalit liittyvät lämmöntalteenottojärjestelmiin sekä ohjausjärjestelmien muutoksiin, sillä kaikkea rakennuksen lämmöntalteenottopotentiaalia ei ole hyödynnetty ja aikaohjauksella laitteiden tehoja voidaan pienentää rakennuksen käyttöasteen ollessa vähäistä. Suurehkossa teollisuusrakennuksessa ilmanvaihtoon kuluu merkittävästi lämpöenergiaa, joten sen tehostamista on syytä tarkastella.

Teollisuusrakennuksen ilmanvaihtoa voidaan pitää energiatehokkaana, kun sitä voidaan ohjata todellisen tarpeen mukaan. Tarpeen mukainen ohjaus tulee tapahtua kuitenkin niin, että huolehditaan syntyvien epäpuhtauksien poistamisesta. Tarpeetonta ilmanvaihtoa on syytä välttää tilojen

ollessa tyhjillään. Ilmanvaihtoon kuuluvaa laitteistoa pitää huoltaa ja puhdistaa säännöllisesti, jotta se toimii tehokkaasti halutulla tavalla. Energiatehokkaan ilmanvaihdon perustana on myös ilmata-
seet, jotta ei muodostu voimakkaasti alipaineisia tiloja. (Energiatehokas ilmanvaihto teollisuudessa
n.d.)

Lämmöntalteenotto

Tehdasrakennuksen ilmanvaihtokoneessa TK2 ei ole lämmöntalteenottoa. Nykyiseen koneeseen on mahdollista lisätä lämmöntalteenottomahdollisuus. Ilmanvaihtokone TK2 on sijoitettu haastavaan paikkaan, joka on vaatinut paljon kanavan koon ja suunnan muutoksia. Tämän takia kone on kannattavaa uusien kohteeseen suunnitellulla koneella, jossa on lämmöntalteenottojärjestelmä. Tehdasrakennuksessa ei ole ilman puhtausvaatimuksia, joten levylämmönsiirrin on edullisuuden vuoksi yksi kannattavimmista ratkaisuista.

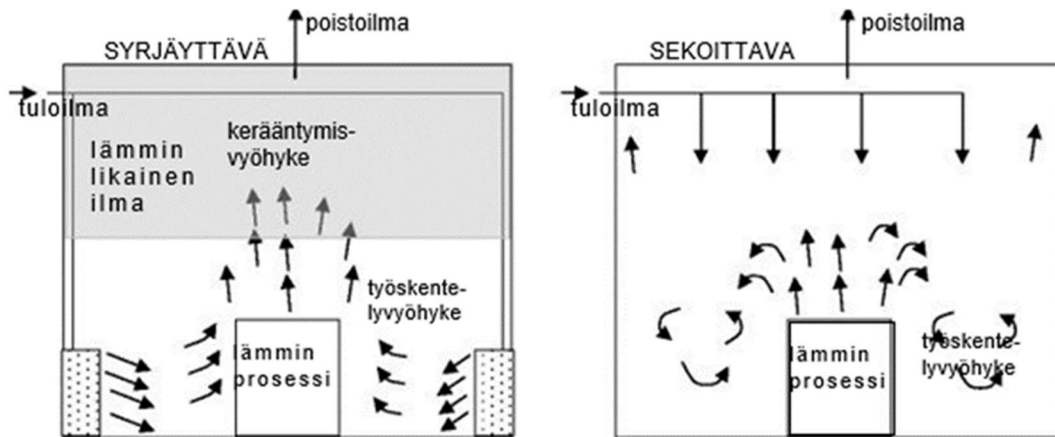
Lämmöntalteenotto pienentää merkittävästi ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian nettotarvetta. Tuloilma lämpenee poistoilman sisältämän lämpöenergian avulla ja tämän jälkeen lisälämmitys tapahtuu ilmanvaihtokoneen lämmityspatterissa. Mikäli tehdasrakennuksen ilmanvaihtokone TK2 päivitetään uuteen lämmöntalteenotolla varustettuun koneeseen, pienenee ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve noin 70 %. Laskennassa on käytetty vuosihyötysuhteena 71,4 %.

Ilmanjako

Ilmanjaon muutos ei välttämättä suoranaisesti lisää ilmanvaihdon energiatehokkuutta. Muuttamalla ilmajakotapaa voidaan kuitenkin tehostaa ja optimoida ilmanvaihdon toimivuutta. Tarkasteltavassa teollisuusrakennuksessa on tällä hetkellä käytössä sekoittava ilmanjako. Sekoittavassa ilmanjaossa poistoilman epäpuhtaudet sekoittuvat tuloilmaan, jolloin työskentelyvyöhykkeen ilma ei ole kaikista puhtainta ja raikkainta.

Sekoittavan ilmanjaon sijaan syrjäyttävällä ilmanjaolla voidaan saada aikaan viihtyisämmät sisäilmaolosuhteet työskentelyvyöhykkeelle. Ilmanjaon muuttaminen syrjäyttäväksi ilmajakotavaksi vaatii paljon kanavointia ja uusia päätelaitteita, jotta tuloilma pystytään puhaltamaan matalalla nopeudella suoraan työskentelyvyöhykkeelle. Syrjäyttävässä ilmanjaossa epäpuhtas ilma syrjäytyy raikkaalla tuloilmalla, jolloin epäpuhtaudet eivät jää työskentelyvyöhykkeelle.

Ilmanjaon muuttaminen tehostaa viihtyvyyttä työskentelyvyöhykkeellä, jolloin ilma olisi nykyistä raikkaampaa ja epäpuhtauksien poisto entistä tehokkaampaa. Kuviossa 17 on vertailukuvat syrjäyttävän ja sekoittavan ilmanjakotapojen eroavaisuuksista. Kuvioista nähdään, että sekoittavassa ilmanjaossa esimerkiksi lämpö jää ikään kuin pyörimään alueelle. Syrjäyttävässä virtauksessa lämmin ilma poistuu tehokkaammin poistoilman mukana.



Kuvio 17. Syrjäyttävä ja sekoittava ilmanjako (Heinänen n.d.)

Automaatio ja järjestelmien aikaohjaus

Tarkasteltavassa tehdasrakennuksessa ei ole hyödynnetty juurikaan keskitettyjä rakennusautomaatiojärjestelmiä. Laitteita ohjataan omilla paikallisilla säätimillä, mutta esimerkiksi häiriötilanteista ei lähde tietoa järjestelmän käyttäjälle. Rakennusautomaatiojärjestelmän avulla laitteiden toimintaa voidaan ohjata ja seurata keskitetysti. Seuraamalla laitteiden energiankulutusta, voidaan energiankäyttöä tehostaa ja vähentää paremmin kuin ilman energian seuranta. Järjestelmien aikaohjauksella ilmanvaihtokoneita voidaan tyhjäkäyttöaikana käyttää pienemmällä teholla. Teollisuusrakennuksessa on kuitenkin huolehdittava, että ilman epäpuhtaudet poistuvat pienemmälläkin teholla.

Tehdasrakennuksessa tilojen sisälämpötilan laskemisella saadaan aikaan säästöjä. Lämpötilan säätöjärjestelmät olisi hyvä sijoittaa kaikkien työntekijöiden tavoitettavissa, jotta lämpötilan säätö onnistuu tarpeen mukaan. Energiatohokkuuden kannalta työntekijöiden koulutus ja opastus energiaa säästäviin toimintatapoihin on kannattavaa.

Kattilan uusiminen

Tarkasteltavan tehdasrakennuksen nykyisenä lämmitysmuotona on maakaasukattila. Maakaasukattilassa on suhteellisen korkea hyötysuhde, laskennallisesti 92 %. Nykyinen maakaasukattila on toimiva, joten sitä ei ole järkevää korvata tässä kohtaa. Lämmitysmuodon muutos on luontevaa tehdä siinä kohtaa, kun nykyisen kattilan käyttöikä tulee päähänsä. Kattilan käyttöikä ollessa loppumassa on syytä harkita uusiutuviin energiavaroihin siirtymistä.

Maakaasun toimittaja Loimua Oy toimittaa maakaasun lisäksi myös biokaasua. Biokaasua on saatavilla myös litalassa. Maakaasun vaihtaminen biokaasuun ei ole suoranainen energiatehokkuustoi-
menpide, mutta sitä voidaan pitää ympäristötekona. Biokaasu on kotimainen uusiutuvista raaka-
aineista valmistettu polttoaine. (Maakaasu n.d.)

Lämmitys

Lämmitysenergian tehostamistoimista yksi tehokkaimmista on tarkastaa tilojen lämpötilatasot. Lämpötilatason laskeminen jo muutamallakin asteella saa aikaan säästöjä. Yhden asteen laskeminen voi vähentää lämmityskustannuksia noin 5 %. Tehdasrakennuksessa energiatehokkuutta voidaan lisätä esimerkiksi lämmitysjärjestelmän säädöillä, huolehtimalla rakennusten tiiveydestä, liisäämällä lämmöntalteenottoa sekä vähentämällä lämpimän käyttöveden kulutusta.

Teollisuusrakennuksen suorasähkölämmitys voidaan korvata esimerkiksi ilmalämpöpumpulla. (Rakennusten lämmitys kuluttaa runsaasti energiaa 2018.)

Uudet ilmanvaihtokoneet

Nykyiset ilmanvaihtokoneet tarkasteltavassa teollisuusrakennuksessa eivät välttämättä ole tilaan ja sen käyttökohteeseen kaikista optimaalisin ratkaisu. Maalaamon päällä oleva ilmanvaihtokone TK2 on aikoinaan siirretty toisesta rakennuksesta, joten siihen on jouduttu tehdä suunnan ja kanavakoon muutoksia. Muutokset aiheuttavat suurempia virtausvastuksia ja ylimääräistä energiankulutusta.

Uusimalla teollisuusrakennuksen ilmanvaihtokoneet voitaisiin saada aikaan merkittäviä energiatehokkuuden parannustoimia. Uudet koneet mahdollistaisivat nykyaikaiset lämmöntalteenottojär-

jestelmät sekä tilaan sopivat oikein suunnitellut kanavoinnit. Kokoonpanohallin ilmanvaihtokoneen TK1 ei ole välttämättä kustannustehokasta uusia, sillä siinä on suhteellisen tehokas lämmöntalteenottokiekko. Ilmanvaihtokoneen uusimista energiatehokkaampaan on syytä harkita nykyisen laitteen käyttöön tullessa vastaan. Uusittuihin ilmanvaihtokoneisiin olisi järkevää lisätä säätöjärjestelmät, jotta käyntiaikoja ja laitteiden toimintaa voitaisiin seurata. Häiriötilanteista olisi mahdollista saada käyttäjälle esimerkiksi hälytys tekstiviestillä.

Seuraavassa kappaleessa esitetään kustannusarvio uudelle maalaamon päällä olevalle ilmanvaihtokoneelle TK2:lle. Uuden ilmanvaihtokoneen tuloilmavirta suurennetaan nykyisestä $4,24 \text{ m}^3/\text{s}$ → $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Suuremmalla ilmavirralla ilmanvaihtoketoimeksi saadaan yli 1 1/h , jolloin tilan ilma vaihtuu kerran tunnissa

Tehdusrakennuksen keskimääräinen korkeus on noin 6 metriä. Rakennuksessa korkea tila on monessa kohtaa hukkatilaa, tällöin suurta ilmamäärää lämmitetään ja vaihdetaan turhaan. Madaltamalla huonekorkeutta voidaan saada aikaan säästöjä ilmanvaihdon energiankulutuksessa. Tehdusrakennuksen madaltaminen voidaan tehdä välikattoratkaisulla.

Veden kulutus

Tarkasteltavassa teollisuusrakennuksessa käyttöveden osuus energiankulutuksen näkökulmalta ei ole kovin merkittävässä roolissa. Teollisuusrakennuksen vesikalusteet esimerkiksi WC-istuimet ja hanat on syytä tarkastaa säännöllisesti vuotojen varalta. Jo pienikin vuoto voi aiheuttaa suuria lisäkustannuksia vuoden aikana. Automaation avulla vedenkulutustakin on helppo seurata. Käytöikensä päässä olevat laitteet on hyvä uudistaa energiapiiheihin laitteisiin.

Paineilma

Paineilma on suhteellisen kallis teollisuuden hyödyke, mutta monissa teollisuusprosesseissa kuitenkin tarpeellinen. Paineilmajärjestelmän energiatehokkuutta voidaan parantaa minimoimalla vuodot sekä parantamalla järjestelmän hyötysuhdetta. Hyötysuhteen parantaminen käytännössä onnistuu parantamalla paineilmantasoa. Jos yksittäisen laitteen tarvitsema painetaso on muita korkeampi, voidaan käyttää apuna paineenkorottajia. Tällöin koko verkon painetason ei tarvitse olla niin korkea. (Keski-Honkola 2014.)

Tarkasteltavassa kohteessa paineilman energiankulutusta voidaan vähentää vuotojen minimoinnin lisäksi vähentämällä tyhjäkäyntiaikaa sekä painetasoa. Järjestelmään voidaan lisätä paineenkorotajia laitteille, joiden tarvitsema painetaso on muita korkeampi. Paineilma tuotetaan sähköllä, joka muutetaan lämpöenergiaksi. Tämä on lämmityskaudella etu, mutta lämmityskauden ulkopuolella haitta. Lämmöntalteenotolla jopa 90–95 % lämmöstä voidaan hyödyntää. (Oy Atlas Copco Ab www-sivut 2020.) Tarkasteltavassa teollisuusrakennuksessa paineilmaa tuottava kone on konehallissa, jolloin lämpö siirtyy ympäröivään tilaan.

7 Uusittavan ilmanvaihtokoneen kustannukset ja takaisinmaksuaika

Tässä luvussa esitellään uusittavan ilmanvaihtokoneen TK2 kustannusarviot. Kustannusarvioissa huomioidaan itse ilmanvaihtokoneen lisäksi muut vaadittavat osat sekä asennuskulut. Maalaamon päällä olevalle ilmanvaihtokoneelle TK2 laskettiin kustannusarviot. Tarkempi kustannuslaskenta on liitteissä 1.

Uusittavan ilmanvaihtokoneen ilman tilavuusvirtaa nostettiin $4,24 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 5 \text{ m}^3/\text{s}$, jotta saataisiin ilmanvaihtokerroin 1 1/h. Uusittavaan ilmanvaihtokoneeseen suunniteltiin myös lämmöntalteenottojärjestelmä, jolla ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve pienenee. Nykyisessä koneessa lämmöntalteenottoa ei ollut ollenkaan.

Ilmanvaihtokoneen investoinnin kustannusarvioksi saatiin noin 90 000 €. Kustannusarviossa on huomioitu ilmanvaihtokoneen lisäksi automaatio-, sähkö- sekä rakennustyöt ja vanhan koneen purku. Näiden lisäksi kustannusarvioon on laskettu mukaan tarvittavien kanavien, venttiilien, eristysten, tulppien ja ulkosäleikköjen kustannukset ja niiden asennuskustannukset.

Takaisinmaksuaika laskettiin hyödyntämällä suoraa takaisinmaksu menetelmää. Takaisinmaksuaika laskettiin kaavalla 10. Investoinnin takaisinmaksuajaksi saatiin 5 vuotta ja vuotuisesti säästöksi noin 18 000 €. Taulukossa 8 on esitettyä ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeen kustannus ennen ja jälkeen uudistuksen sekä takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuaika on suhteellisen lyhyt, joten investointia voidaan pitää kannattavana myös taloudellisesti.

$$n = \frac{H}{S} \quad (10)$$

missä n = takaisinmaksuaika vuosina, a

H = investoinnin suuruus, €

S = vuotuinen säästö, €/a

Taulukko 8. Takaisinmaksuaika

Maakaasun hinta	23,5	€/MWh		
Siirtomaksu	6,81	€/MWh		
Energiavero	20,65	€/MWh		
Perusmaksu	494,7467	€/kk		
Kulutus ja kustannus ennen uudistusta	531,6793	MWh	33031,58	€
Kulutus ja kustannus uudistuksen jälkeen	180,753	MWh	15148,21	€
Säästö	17 883,36	€/a		
Takaisinmaksuaika	5,03	vuotta		

8 Yhteenveto tuloksista

Opinnäytetyön merkittävimmät tulokset parantavat teollisuusrakennuksen energiatehokkuutta. Suurin potentiaali energiatehokkuutta parantavissa toimenpiteissä on ilmanvaihdossa ja lämmöntalteenoton lisäämisessä. Pitkällä tähtäimellä energiatehokkuutta parantavat toimet aikaansaavat myös kustannuksien alenemista. Alhaisemmista kustannuksista hyvänä esimerkkinä toimii lämmöntalteenottojärjestelmän lisääminen ilmanvaihtokoneeseen, jossa sitä ei entuudestaan ole. Ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian kustannukset muodostuvat lämmitystarpeesta. Ilman lämmöntalteenottoa lämmitys katetaan kokonaan ostoenergialla. Lämmöntalteenottojärjestelmällä varustetun ilmanvaihtokoneen ostoenergian tarve on pienempi, tällöin myös kustannukset ovat alhaisemmat.

Korvausilman suuruus tarkasteltavassa kohteessa on kohtalaisen suuri ja näin ollen myös sen lämmitysenergiannettotarve on suuri, noin 485 MWh vuodessa. Korvausilman lämpeneminen tapahtuu tilalämmityksellä eli tässä tapauksessa kiertoilmakojeilla. Rakenteista tuleva korvausilma on

samassa lämpötilassa ulkolämpötilan kanssa, jolloin lämmitysenergiaa tarvitaan lämmittämään ulkolämpötilasta tilan lämpötilaan. Korvausilman lämpenemisen nettoenergiantarvetta voidaan pienentää lisäämällä lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihtokone. Uuden ilmanvaihtokoneen ansiosta korvausilman määrä rakenteista pienenee, sillä tuloilman suuruus kasvaa.

Ilmanjaon muutoksella parannetaan ilmanjaon tehokkuutta. Varsinaisena energiatehokkuustoimenpiteenä sitä ei kuitenkaan voida pitää, mutta se on sisäilmaston ja viihtyvyyden kannalta oleellinen parannustoimenpide. Ilmanjaon muutos sekoittavasta syrjäyttävään ilmanjakotapaan edesauttaa epäpuhtauksien poistoa. Epäpuhtauksien poisto lisää viihtyvyyttä ja parantaa työskentelytehokkuutta.

Järjestelmiin on kannattavaa uusia nykyaikaiset automaatiojärjestelmät, joiden avulla voidaan tehostaa ilmanvaihtoa ja lämmitysjärjestelmää energiatehokkaammaksi. Automaation avulla järjestelmiä voidaan ohjata tarpeenmukaisesti sekä asettaa järjestelmiin aikaohjaukset. Aikaohjauksella saadaan aikaan taloudellisia säästöjä, kun järjestelmiä ei tarvitse käyttää täydellä teholla ympäri vuorokauden läpi vuoden. Ilmanvaihdon tehoa voidaan pienentää esimerkiksi työaikojen ulkopuolella, kuitenkin niin, että epäpuhtauksien hallinta pysyy riittävällä tasolla. Energiatehokasta ilmanvaihtojärjestelmää tulee pystyä ohjaamaan ja tehostamaan tarpeen tullen.

Ympäristöystävällisyyden näkökulmalta tarkasteltaessa nykyinen polttoaine maakaasu on kannattavaa vaihtaa biokaasuun. Maakaasun toimittaja Loimua Oy toimittaa myös kotimaista biokaasua Hämeenlinnassa. Polttoaineen vaihtaminen ympäristöystävälliseen biokaasuun vähentää päästöjä sekä muutos voi parantaa myös yrityksen imagoa ja lisätä vastuullisuutta.

Ilmanvaihtokoneiden uusimisella rakennuksen energiatehokkuus paranee merkittävästi. Nykyaikaiset ilmanvaihtokoneet on varustettu lämmöntalteenotolla, joka pienentää lämmitysenergian nettotarvetta huomattavasti. Kustannustehokkuuden näkökannalta on kuitenkin kannattavaa uusia vain ilmanvaihtokone TK2, sillä siinä ei ole vielä lämmöntalteenottomahdollisuutta. Ilmanvaihtokoneen TK1 uusimista on syytä tarkastella laitteen käyttöiän tullessa vastaan.

9 Pohdinta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa I-Valo Oy:n teollisuusrakennuksen ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmien nykytilat. Nykytilan kartoituksen lisäksi tavoitteena oli kartoittaa energiatehostustoimenpiteitä tarkasteltaville järjestelmille. Investointien kannattavuutta varten oli selvitetävä investointien takaisinmaksuajat, joiden avulla pystyttiin arvioimaan säästöjen suuruutta.

Tavoitteiden saavuttamiseksi projektin alussa määritettiin tutkimuskysymykset, jotka olivat:

- Mitkä ovat ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmän nykytilat?
- Miten ilmanvaihtoa voitaisiin optimoida, jotta kaikkialla rakennuksessa olisi hyvät olosuhteet ja ilmanvaihto olisi tehokas?
- Millä taloteknisillä toimenpiteillä energiatehokkuutta voitaisiin parantaa?
- Onko maakaasu mahdollista korvata uusiutuvilla energialähteillä?

Työn tuloksena voitiin todeta, että olemassa olevista ilmanvaihtokoneista TK2 on kannattavaa uusia kokonaan. Ilmanvaihtokoneen TK1 uusiminen on ajankohtaista laitteen käyttöiän ollessa päätymässä. Ilmanvaihdon säädettävyydellä ja ilmanjaon muutoksilla voidaan tehostaa ilmanvaihtoa. Tehdasrakennuksen nykyinen polttoaine maakaasu on mahdollista korvata uusiutuvia energiavaroja hyödyntävällä kotimaisella biokaasulla.

Työssä onnistuttiin kattavasti kartoittamaan järjestelmien nykytilat. Tämän lisäksi opinnäytetyössä onnistuttiin kehittämään parannusehdotuksia, joilla pyritään parantamaan tehdasrakennuksen energiatehokkuutta. Osa lähtötiedoista oli puutteellisia ja niitä jouduttiin arvioimaan. Ilmavirtamittauksissa ei mitattu kohdepoistojen poistoilmavirtoja. Jos poistoilmavirrat olisi mitattu, olisi voitu onnistuneemmin arvioida rakennuksen ali- tai ylipaineisuutta.

Kehitystyön luotettavuuteen vaikutti osin puutteelliset lähtötiedot. Puutteelliset lähtötiedot toivat myös haasteita työn etenemiseen. Joitakin lähtötietoja jouduttiin arvioimaan, sillä todellisista tiedoista ei ollut varmuutta. Esimerkiksi rakennuksen keskimääräinen korkeus oli arvio sekä ilmanvaihdon sisäänpuhalluslämpötila. Luotettavuutta voitaisiin lisätä rakennuksen arkkitehtipiirroksilla, joita ei ole kyseisestä rakennuksesta saatavilla. Raportissa pyrittiin selkäesti tuomaan esille epävarmat arvioidut lähtötiedot.

Opinnäytetyössä hyödynnettiin kattavasti erilaisia lähteitä. Lähteistä saadut tiedot pyrittiin löytämään myös toisesta lähteestä, jotta varmistuttiin asian oikeellisuudesta. Hyödyntämällä erilaisia lähteitä pyrittiin kriittiseen lähteiden hyödyntämiseen ja lisäämään työn luotettavuutta. Lähteissä pyrittiin hyödyntämään alan asiantuntijoiden ja yhdistysten kirjallisuutta ja artikkeleita. Opinnäytetyö suoritettiin alkuperäisen aikataulutavoitteen mukaisesti.

Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää, kun I-Valon tehdasrakennuksen energiatehokkuusremontti on ajankohtainen. Opinnäytetyötä voidaan käyttää ohjeistuksena siihen, millä toimilla tarkasteltavan tehdasrakennuksen energiatehokkuutta voitaisiin parantaa.

Mikäli ilmanvaihtoa halutaan tehostaa entisestään, on syytä harkita ilmanvaihtokonetta kokoonpanopuolen matalaan osaan, jotta korvausilman suuruus pieneneisi. Tällä hetkellä matalassa osassa tuloilma tulee pääosin muista tiloista ja rakenteista. Tämä parannus on kuitenkin merkittävä investointi, sillä koneelle ei ole valmiina paikkaa vaan se todennäköisesti jouduttaisiin asentamaan ulos. Kohteen lämmitysenergian määrää voidaan optimoida sisälämpötilatarkastelun avulla. Tarkasteltavassa kohteessa voidaan lisätä maalaamoon lämmöntalteenotto, jolloin maalaamon kuumen pois-toilman energia pystyttäisiin hyödyntämään.

Lähteet

A 1009/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Viitattu 1.8.2021. <https://www.finlex.fi>, ajantasainen lainsäädäntö.

Anteroineen, S. 2016. Raskas polttoöljy väistyy kattiloista- mitä tilalle? Enerotec, 2/2016. Viitattu 17.6.2021. <http://www.publico.com/magazine/pdf/815.pdf>.

Eerola, P., Hagner, B. & Sippola, J. 1993. Teollisuushallien taloudellinen lämmitys ja ilmanvaihto. Helsinki: Imatran Voima.

Energiatehokas ilmanvaihto teollisuudessa. N.d. Motiva. Viitattu 1.6.2021. [https://www.motiva.fi/files/18470/Energiatehokas ilmanvaihto teollisuudessa.pdf](https://www.motiva.fi/files/18470/Energiatehokas_ilmanvaihto_teollisuudessa.pdf).

Energiatehokkuuden oheishyödyt yrityksissä. 2018. Motiva. Viitattu 3.6.2021. [https://www.motiva.fi/files/15389/Energiatehokkuuden oheishyodyt yrityksissa.pdf](https://www.motiva.fi/files/15389/Energiatehokkuuden_oheishyodyt_yrityksissa.pdf).

Energiatehokkuus – Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2018. Suomen rakentamismääräyskokoelma.

For the Safe Operation of Electric Steam Boilers, 2013. Code of Practice. Published: Labour Department. Viitattu 17.6.2021. <http://www.labour.gov.hk/eng/public/bpvd/boiler.pdf>.

Forsman, H. 2012. Vesikiertoisten säteilylämmityspaneelien energiataloudellisuus. Opinnäytetyö, AMK. Metropolia Ammattikorkeakoulu, talotekniikka. Viitattu 10.6.2021. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2012060611915>.

Heljo, J. & Vinha, J. 2014. Rakennusfysiikka: 1, Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Jääskeläinen, J. & Turunen, T. 2013. Energiansäästöä ja työturvallisuutta teollisuuskiinteistön ilmastointitutkimuksella. Promaint kunnossapidon ja tuotannon erikoislehti. Viitattu 1.6.2021. [https://promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuudenkehittaminen/Energiansaastoa-ja-tyoturvallisuutta-teollisuuskiinteiston-ilmastointitutkimuksella/\(offset\)/9](https://promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuudenkehittaminen/Energiansaastoa-ja-tyoturvallisuutta-teollisuuskiinteiston-ilmastointitutkimuksella/(offset)/9).

Jääskeläinen, J. & Turunen, T. 2021. Suomen teollisuuden sähköistyminen ja sen vaikutus energiatehokkuuteen ja hukkalämpöjen hyödyntämiseen. Motiva. Viitattu 17.6.2021. [https://www.motiva.fi/files/18746/Teollisuuden sähköistyminen ja sen vaikutukset energiatehokkuuteen ja hukkalampojen hyodyntämiseen raportti 2021.pdf](https://www.motiva.fi/files/18746/Teollisuuden_sahkoistyminen_ja_sen_vaikutukset_energiatehokkuuteen_ja_hukkalampojen_hyodyntamiseen_raportti_2021.pdf).

Kananen, J. 2017. Kehittämistutkimus interventiotutkimuksen muotona: opas opinnäytetyön ja pro gradun kirjoittajalle. Jyväskylän Ammattikorkeakoulu.

Keski-Honkola, P. 2014. Energiatehokas paineilma haastaa tuotantolaitokset. Promaint kunnossapidon ja tuotannon erikoislehti 21.10. 2014. Viitattu 2.8.2021. <https://promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuuden-kehittaminen/Energiatehokas-paineilma-haastaa-tuotantolaitokset>.

Kokkonen, A. 2012. Puupelletti lämmitteä puhtaasti ja uusiutuvasti. Motivan verkkojulkaisu. Viitattu 14.6.2021. https://www.motiva.fi/files/6059/Puupelletti_lammittaa_puhtaasti_ja_uusiutu_vasti.pdf.

Korjausrakentaminen ja energiatehokkuus. N.d. Rakennusteollisuus. Viitattu 5.7.2021. <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Korjausrakentaminen1/Korjausrakentaminen-ja-energiatehokkuus/>.

Korpela, T. & Tuliniemi, E. 2020. Rakennusten tarpeenmukainen energiankäyttö edistää vähähiilisyttä. XAMK. Viitattu 6.7.2021. <https://read.xamk.fi/2020/metsa-ymparisto-ja-energia/rakennusten-tarpeenmukainen-energiankaytto-edistaa-vahahiilisyytta/>.

Lappalainen, M. 2010. Energia- ja Ekologiakäsikirja: Suunnittelu ja rakentaminen. Tampere: Rakennustieto.

Liddament, M.W. 1996. A Guide to Energy Efficient Ventilation. Viitattu 1.6.2021. <http://www.aivc.org/resource/gv-guide-energy-efficient-ventilation?volume=33979>.

Liedes, R. 2017. Rakennusten energiatehokkuus. 2. painos. Espoo: Sähköinfo.

Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. 2019. Päivitetty 28.2020. Helsinki: Finvac Oy.

Pernaa, J. 2013. Kehittämistutkimus tutkimusmenetelmänä. Viitattu 1.7.2021. https://tuhat.helsinki.fi/ws/files/127650174/2013_Pernaa_KT_tutkimusmenetel-mana_KT_kirja.pdf.

Rakennukset ja kesämökit. Suomen virallinen tilasto (SVT). 2020. Päivitetty 3.6.2021. Viitattu 2.7.2021. https://www.stat.fi/til/rakke/2020/rakke_2020_2021-05-27_kat_002_fi.html.

Rakennusten energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö. N.d. Ympäristöministeriö. Viitattu 17.5.2021. <https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuus>.

Rakennusten lämmitys kuluttaa runsaasti energiaa. 2018. Viitattu 2.8.2021. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/73fa2827-42d1-4fd7-a757-175aca58b441/rakennusten-lammitys-kuluttaarunsaasti-energiaa.html>.

Rakennustieto RTS. 2007. Rakennusten lämmitysjärjestelmät. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Reinikainen, J. 2015. Patteriverkoston perussäätö – menetelmät ja mahdollisuudet. Opinnäytetyö, AMK. Mikkelin ammattikorkeakoulu, talotekniikka. Viitattu 8.6.2021. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201505086925>.

RT 07-11299. 2018. Sisäilmastoluokitus. RT-ohjekortti. Rakennustieto. Viitattu 13.8.2021. <https://janet.finna.fi/>, RT-kortisto.

Sandberg, E. 2014. Ilmastointitekniikka: Osa 1, Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät: perustietoa ilmastointitekniikasta rakentamisen ja rakennusten käytön asiantuntijoille. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut.

Seppänen, O. & Seppänen, M. 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Espoo: SIY Sisäilmayhdistys.

Sisäilmasto ja ilmvaihto-opas. 2020. Talotekniikkainfo. Päivitetty 10.6.2020. Viitattu 31.5.2021. <https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/luku-3-ilmanvaihto-ja-ilmanvaihtojarjestelmat>.

Teollisuusrakennusten ilmastointi ja lämmitys. 1990. Pienen ja keskisuuren teollisuuden oppaat. Helsinki: Valtion painatuskeskus.

Tuomi J. & Sarajarvi A. 2009. Laadullinen tutkimus ja sisällön analyysi. 5. painos. Helsinki: Tammi.

Väänänen, O. 2021. Kehittämistutkimus. Tutkimus- ja kehittäminen opintojakson opetusmateriaali, kevät 2021. Jyväskylän Ammattikorkeakoulu.

Energiatehokas teollisuuskiinteistö. 2012. Motiva. Viitattu 1.6.2021. https://www.motiva.fi/files/5847/Energiatehokas_teollisuuskiinteisto.pdf.

Työturvallisuuslaki. 2002. 23.8.2002/738 muutoksineen.

A 1253/2014. Komission asetus (EU) N:o 1253/2014. Viitattu 1.8.2021. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32014R1253>.

Rakentaminen ja rakennukset. 2020. Motiva. Päivitetty 10.8.2020. Viitattu 16.5.2021. https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/rakentaminen_ja_rakennukset.

Rakennusten energiatehokkuus. 2020. Päivitetty 27.8.2020. Motiva. Viitattu 15.5.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten_energiatehokkuusdirektiivi.

Automaatio ja energia. N.d. Energiatehokas koti. Päivitetty: 18.3.2021. Viitattu 6.7.2021. https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/taloautomaatio/automaatio_ja_energia#.

Energiatuki. 2021. Business Finland. Viitattu 3.6.2021. <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>.

Maakaasu. 2016. Motiva. Päivitetty 25.11.2016. Viitattu 14.6.2021. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/maakaasu.

Energian loppukäyttö. N.d. Motiva. Päivitetty 21.6.2021. Viitattu 1.7.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/energian_loppukaytto.

Korjausrakentaminen. N.d. Tilastokeskus. Viitattu 5.7.2021. <https://www.stat.fi/meta/kas/korjausrakentam.html>.

Kaukolämpö ja -jäähdytys. N.d. Energiamaailma. Viitattu 6.7.2021. <https://energiamaailma.fi/energiasta/energiantuotanto/kaukolampo-ja-jaahdytys/>.

LTO-laskin. 2018. Ympäristöministeriö. Viitattu 14.7.2021.

Oy Atlas Copco Ab www-sivut. 2020. Viitattu 2.8.2021. <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/paineilman-perusteet/paineilmalaitteisto-energiatehokkuus>.

Maakaasu. N.d. Loimua. Viitattu 10.8.2021. <https://www.loimua.fi/maakaasu/>.

Heinänen, S. 2021. Sähköpostiviesti 12.8.2021.

WDH kiertoilmakoje. N.d. Scanoffice. Viitattu 13.8.2021. <https://www.scanoffice.fi/tuote/wdh-kiertoilmakoje/>.

Liitteet

Liite 1. Ilmanvaihtokoneen kustannusarvio

Kategoria	Koko	Sarja	Tuote	kpl	L (m)	eriste,\A	s\ [mm]	Sur-face\area	Yksikköhinta, materiaali (€)	Normitunnit (h)	Asennus-hinta (€/h)	Hinta (€)
Kanava	3000x1000	SK FeZn			0,4			3,6	500	3	150	350
Kanava	1000	PK HFe			3,7			11,6	260	3	150	1112
Kanava	2000x1000	TP FeZn			2,4			14,4	370	3	150	1038
T-haara-90	1000/1000	PK HFe		1				5,5	480	3	150	630
Paineen alennus-/korottajaventtiili	3000x1000/1000	SK FeZn		1				4	400	3	150	550
Paineen alennus-/korottajaventtiili	1000/2000x1000	TP FeZn		3				9	300	3	150	1050
Tulppa	1000	PK HFe		1					220	3	150	370
Pakoilmalaite	1000	J1	EYMA-2-100	1					4100	4	200	4300
Eristys/kanava	3000x1000	L100P	Lämpöeriste 100 mm + Pelti FeZn		0,4	4	100	3,6	40	4	200	360
Eristys/kanava	1000	L100P	Lämpöeriste 100 mm + Pelti FeZn		2,7	10,2	100	8,5	40	4	200	608
Eristys/kanava	2000x1000	L100P	Lämpöeriste 100 mm + Pelti FeZn		0,3	2,4	100	2,1	40	4	200	296
Eristys/T-haara-90	1000/1000	L100P	Lämpöeriste 100 mm + Pelti FeZn	1			100	5,5	40	4	200	420
Eristys/venttiili	3000x1000/1000	L100P	Lämpöeriste 100 mm + Pelti FeZn	1			100	4	40	4	200	360
Eristys/venttiili	1000/2000x1000	L100P	Lämpöeriste 100 mm + Pelti FeZn	1			100	3	40	4	200	320
Eristys/tulppa	3000x1000	L100P	Lämpöeriste 100 mm + Pelti FeZn	1			100		40	4	200	240
Eristys/tulppa	1000	L100P	Lämpöeriste 100 mm + Pelti FeZn	1			100		40	4	200	240
Ulkosäleikkö	3000*1000		RIS	1					1650	5	250	1900
IV-kone				1					50000	25	1250	51250
Automaatiotyöt												9000
Sähkötyöt												5000
Rakennustyöt												5000
Vanhan koneen purku												2000
Yhteensä											86394	