

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Talotekniikan koulutus

Henri Väisänen

ILMANVAIHTOKONEEN GLYKOLI-LTO:N JA VASTAVIRTALEVY-
LTO:N VERTAILU

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2020



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2020
Talotekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Henri Väisänen

Nimeke
Ilmanvaihtokoneen glykoli-lto:n ja vastavirtalevy-lto:n vertailu

Toimeksiantaja
Granlund Kuopio Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli vertailla glykoli- ja vastavirtalevylämmöntalteenottoa, niiden takaisinmaksuaikoja, investointi- ja elinkaarikustannuksia, ilmanvaihdon lämmitysenergian kustannuksia sekä lämpötila- ja vuosihyötysuhteita. Lämmöntalteenottojärjestelmän valinta vaikuttaa suuresti rakennuksen ilmanvaihdon lämmitysenergian kustannuksiin, hankintakustannuksiin ja järjestelmän elinkaarikustannuksiin.

Ilmanvaihdon lämmitysenergioiden simuloinnit tehtiin IDA ICE -simulointiohjelmalla. Simulointiin käytettiin Kuopiossa sijaitsevan rakennuksen IFC -mallia, jossa on noin 2000 m². Ilmanvaihtokoneet mitoitettiin työtä varten konevalmistajien mitoitusohjelmistoilla. Energiasimuloinneissa ja konemitoituksissa käytettiin säävyöhykkeen 3 mitoitusarvoja.

Työntuloksista käy ilmi, lämmöntalteenottojärjestelmissä on eroja investointikustannuksien, lämpötilahyötysuhteiden ja vuosihyötysuhteiden osalta. Investointikustannukset ja hyötysuhteet vaikuttavat takaisinmaksuaikoihin ja elinkaarikustannuksiin suuresti.

Kieli
suomi

Sivuja 44
Liitteet 5
Liitesivumäärä 13

Asiasanat

Lämmöntalteenotto, Glykoli, vastavirtalevy, Elinkaarikustannus



THESIS
April 2020
Degree Programme in Building Ser-
vices Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Henri Väisänen

Title
Counterflow Plate Heat Recovery of an Air Supply Unit

Commissioned by
Granlund Kuopio Oy

Abstract

The aim of the thesis was to compare glycol and counterflow plate heat recovery, their repayment periods, investment and life cycle costs, ventilation heating energy costs, temperature efficiency and annual efficiency. The heat recovery system selection greatly affects the building's ventilation, heating costs, acquisition costs and system life cycle costs.

Simulations of ventilation heating energy were made with the IDA ICE simulation program. The IFC model of the building in Kuopio, which has about 2000 m², was used for the simulation. The ventilation units were dimensioned for the work with the dimensioning software of the machine manufacturers. The design values of weather zone 3 were used for energy simulations and machine measurements.

The work results show that there are differences in heat exchanger systems in terms of investment costs, temperature efficiencies and annual efficiencies. Investment costs and efficiencies greatly affect payback times and life cycle costs.

Language

Finnish

Pages 44

Appendices 5

Pages of Appendices 13

Keywords

heat recovery, glycol, counterflow plate, life cycle cost

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Lämmöntalteenotto	7
2.1	Perusteet	8
2.2	Lainsäädäntö	8
2.3	Vastavirtalevyllämmöntalteenotto	11
2.3.1	Esilämmityspatteri.....	12
2.4	Nestekiertoinen lämmöntalteenotto	13
2.5	Lämmönsiirtonesteet	15
2.6	Lämpötilahyötysuhde	17
2.6.1	Poistoilman lämpötilahyötysuhteen laskenta	17
2.6.2	Tuloilman lämpötilahyötysuhteen laskenta	18
2.7	Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	18
2.7.1	ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta	19
2.7.2	Ilmanvaihdosta talteen otettu lämpöenergia	20
2.8	Ilmanvaihtokoneiden tilavaraukset.....	22
3	Ilmanvaihtokoneet.....	23
3.1	Ilmanvaihtokone 0,3 m ³ /s.....	24
3.2	Ilmanvaihtokone 1 m ³ /s.....	25
3.3	Ilmanvaihtokone 2,5 m ³ /s.....	26
3.4	Ilmanvaihtokone 5 m ³ /s.....	28
4	Ilmanvaihdon energiasimulointi.....	29
4.1	Ostoenergian hinnat	30
4.2	0.3 m ³ /s energiasimulointi.....	30
4.3	1 m ³ /s energiasimulointi.....	32
4.4	2.5 m ³ /s energiasimulointi.....	35
4.5	5 m ³ /s energiasimulointi.....	36
5	Ilmanvaihdon elinkaarikustannukset ja takaisinmaksuajat	38
5.1	Elinkaarikustannukset.....	38
5.2	Takaisinmaksuajat	40
6	Pohdinta.....	40
6.1	Tulosten luotettavuus.....	40
6.2	Yhteenveto.....	41
	Lähteet.....	44

Liitteet

Liite 1	Ilmanvaihtokoneiden LTO:n mitoitus 0,3 m ³ /s
Liite 2	Ilmanvaihtokoneiden LTO:n mitoitus 1 m ³ /s
Liite 3	Ilmanvaihtokoneiden LTO:n mitoitus 2,5 m ³ /s
Liite 4	Ilmanvaihtokoneen LTO:n mitoitus 5 m ³ /s
Liite 5	Elinkaarilaskemat ja takaisinmaksuajat

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tehtiin Granlund Kuopio Oy:n toimeksiannosta. Idea työhön tuli Granlund Kuopio Oy:stä, kesällä 2019. Granlund Kuopio Oy kuuluu yhtenä aluetoimistona Granlund konserniin. Granlund Kuopio Oy on Itä-Suomen alueen johtava talotekniikan asiantuntijayritys. Granlund tarjoaa taloteknistä suunnittelua, ohjelmistokehitystä, konsultointipalveluita kiinteistö-, energia- ja ympäristöjohtamiseen sekä rakentamiseen.

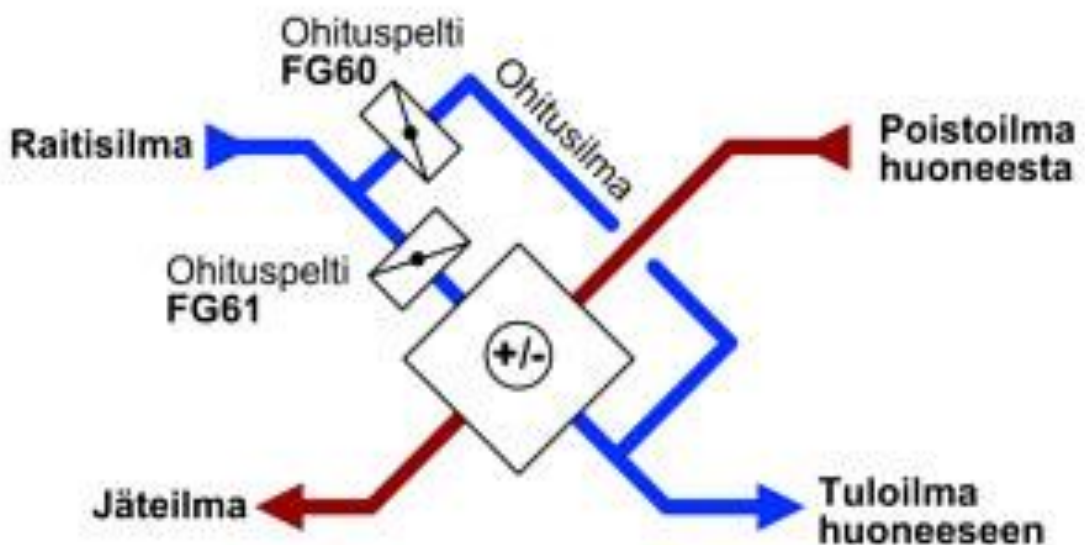
Tässä opinnäytetyössä tutkitaan ja vertaillaan glykoli- ja vastavirtalevyllämmöntalteenottoa. Vertailu tehdään neljällä eri ilmavirralla $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$, $1 \text{ m}^3/\text{s}$, $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ja $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Työssä vertaillaan glykoli- ja vastavirtalevyllämmöntalteenoton takaisinmaksuaikoja, investointi- ja elinkaarikustannuksia, ilmanvaihdon lämmitysenergian kustannuksia sekä lämpötila- ja vuosihyötysuhteita.

Ilmanvaihtokoneiden energiasimuloinneissa on käytetty IDA ICE (Indoor Climate and Energy) -simulointiohjelmaa. Ilmanvaihtokoneet mitoitettiin konevalmistajien mitoitusohjelmilla. Konevalmistajien mitoitusohjelmista saaduilla tiedoilla luotiin IDA ICE:n ilmanvaihtokoneet. Simuloitava kohde on noin 2000 m^2 rakennus Kuopiossa, josta simuloitiin vain ilmanvaihdon lämmittämiseen tarvittava energia. Energiasimuloinnit ja konemitoitukset on tehty Kuopiossa käytettävän säävyöhykkeen 3 mukaan.

2 Lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenotosta käytetään usein lyhennettä LTO. Lämmöntalteenotto tarkoittaa, että rakennuksesta pois johdettavasta, pumpattavasta tai puhallettavasta kaasusta tai aineesta otetaan lämpöenergiaa takaisin rakennuksen käyttöön. Lämmöntalteenoton käytöllä saadaan merkittävä määrä ulos johdettavasta lämpöenergiasta talteen, lämmöntalteenotolla saadaan merkittävä lämmitysenergian ja kustannuksien säästö. Lämmöntalteenottojärjestelmiä on monia, lämmitysenergiaa voidaan ottaa talteen esimerkiksi jätevedestä ja ilmanvaihdosta. Rakennuksen poistoilmasta talteen otettu lämpöenergia käytetään usein tuloilman lämmittämiseen. Talteen otetulla lämpöenergialla voidaan myös lämmittää käyttövettä tai lämmitysjärjestelmässä kiertävää nestettä. Kuvassa 1 on periaate levylämmöntalteenotosta. [1, 87.]

Puhuttaessa lämmöntalteenotosta tässä opinnäytetyössä tarkoitetaan ilmanvaihdonlämmöntalteenottoa. Ilmanvaihdon lämmöntalteenottomenetelmiä on useita. Tässä opinnäytetyössä vertaillaan vastavirtalevylämmöntalteenottoa ja glykoli- lämmöntalteenottoa.



Kuva 1. Levylämmöntalteenoton periaate.

2.1 Perusteet

Kaikki lämmöntalteenotto perustuu fysiikan termodynamiikan lakeihin lämmön-siirtymisestä. Lämpöenergia pyrkii aina tasaantumaan korkeammasta lämpötilasta matalampaan. Ilmanvaihdon lämmöntalteenottojärjestelmän tarkoitus on siirtää rakennuksesta poistettavan ilman sisältämä lämpöenergia takaisin rakennukseen. Lämmöntalteenotossa poistoilmassa oleva lämpöenergia siirretään takaisin tuloilmaan, erilaisten lämmöntalteenottojärjestelmien avulla. Yleisin tapa ottaa poistoilman sisältämää lämpöenergiaa talteen, on koneellisen ilmanvaihdon tulo- ja poistopuhaltimien yhteyteen asennettu lämmönvaihdin. Rakennuksesta poistettava lämmin ilma kulkee poistokanavaa pitkin ja ulkoilma rakennukseen tulokanavaa pitkin. Tulo- ja poistokanavat ovat lämmönvaihtimen metallirajapinnan välityksellä yhteydessä toistensa kanssa. Poistoilman lämpöenergia siirtyy lämmönvaihtimen metallirajapinnan kautta rakennuksen tuloilmaan, tällä tavoin järjestelmä säästää tuloilman lämmityskustannuksissa. Poistoilmasta saatavaa lämpöenergia voidaan käyttää rakennuksessa muuhunkin, kuten lämmitys- ja käyttöveden lämmittämiseen. [2, 34.]

Lämmöntalteenotto tapoja on rekuperatiivinen ja regeneratiivinen lämmönsiirrin. Näiden kahden lisäksi nestekiertoista lämmöntalteenottoa kutsutaan epäsuoraksi rekuperatiiviseksi lämmöntalteenotoksi. Rekuperatiiviseksi lämmönvaihtimeksi kutsutaan sitä, kun lämpö siirtyy poistoilmasta sisään otettavaan ulkoilmaan ilma-
virtoja erottavan levyn lävitse. Regeneratiiviseksi lämmönvaihtimeksi kutsutaan, kun lämpöä siirtävä aine varaa itseensä lämpöä poistoilmasta ja vuorotellen lämpenee ja jäähtyy. [3, 73.]

2.2 Lainsäädäntö

Ympäristöministeriön rakentamismääräyskokoelmat D2, D3 ja D5, ovat vanhentuneita kokoelmia rakennuksien sisäilmastolle, ilmanvaihdolle, tiloille ja ilmanvaihdon energiatehokkuudelle. Uudet asetukset ovat tulleet voimaan vuoden 2018 alusta. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja

ilmanvaihdosta 1009/2017 korvaa vanhan D2:n teknisen ohjetekstin. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017, korvaa vanhat D3 ja D5. Vanhentuneita rakennusmääräyskokoelmia käytetään yleisesti suunnittelun tukena edelleenkin. Sisäilmaluokitus 2018 -ohjekortti on tehty rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin sekä rakennusteollisuuden käyttöön. Ohjekortista löytyvät sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenottojärjestelmän energiavaatimukset löytyvät Ympäristöministeriön asetuksesta uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017. Kaikki ilmanvaihtokoneet paitsi kaksitoimiset, on varustettava nopeussäädöllä, taajuusmuuttajalla tai moninopeusohjauksella. Kaikissa uusissa kaksi-ilmavirtaisissa ilmanvaihtokoneissa pitää olla lämmöntalteenottojärjestelmä. Lämmöntalteenottojärjestelmissä täytyy olla lämmöntalteenoton ohitusmahdollisuus. Kaikkien lämmöntalteenottojärjestelmien lämpötilahyötysuhteen tulee olla vähintään 73 %. Poikkeus on kaksi-ilmavirtaisten ilmanvaihtokoneiden nestekiertoiset lämmöntalteenottojärjestelmät, joissa lämpötilahyötysuhteen tulee olla 68 %. Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen vertailuarvo on 55 %. Yksittäisen tilan vuosihyötysuhde on nolla prosenttia, jos tilassa ei voida käyttää lämmöntalteenottoa. [4, 26§; 5, Liite 2-Liite 3.]

Ympäristöministeriön asetus uudenrakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017 mukaan lämmöntalteenotto on suunniteltava niin ettei poistoilmaa pääse merkittävässä määrin sekoittumaan tuloilman sekaan, ilmanvaihtokanavien tai laitteiden kautta. Rakennuksesta poistettava ilma luokitellaan 1-4 poistoilmaluokkaan taulukon 1 mukaan. Luokasta 1 lämpöä talteen otettaessa tulo- ja poistoilman väliselle paine-erolle ja vuotoilman virtaussuunnalle ei ole vaatimuksia. Luokassa 2 poisto- ja tuloilmavirtojen paine-erot on suunniteltava niin, että vuotoilman virtaussuunta on pääosin tuloilmasta poistoilmaan. Luokassa 3 on lämmöntalteenottolaitteet suunniteltava niin että vuotoilman virtaussuunta on tuloilmapuolelta poistoilmaan. Sellaisia regeneratiivisia lämmöntalteenottolaitteita voidaan käyttää, joissa tulo- ja poistoilmavirrat vuorotellen kulkevat samassa virtausreitissä, vain jos luokan 3 poistoilmaa on enintään 5 %, mutta ei yhtään luokan 4 poistoilmaa. Poikkeuksena tähän on yhdenperheen

asunnot, joissa voidaan käyttää regeneratiivista lämmöntalteenottoa luokan 3 poistoilmassa. Luokan 4 poistoilmasta lämpöä talteen otettaessa on yleensä käytettävä virtaavaa väliainetta. [6, 5-7; 7, 17.]

Poistoilma- luokka	Kuvaus ja käytön rajoitus	Tilaesimerkki
1	Poistoilma, joka sisältää vain vähän epäpuhtauksia. Epäpuhtaudet ovat pääasiassa lähtöisin ihmisistä tai rakenteista. Ilma soveltuu palautus- ja siirtoilmaksi.	Toimistotilat ja niiden yhteydessä olevat pienet varastotilat, yleisöpalvelutilat, opetustilat, eräät kokoontumistilat sekä liiketilat, joissa ei ole hajukuormitusta.
2	Poistoilma, joka sisältää jonkin verran epäpuhtauksia. Ilmaa ei käytetä muiden tilojen palautusilmana, mutta se voidaan johtaa siirtoilmana esimerkiksi WC- ja pesutiloihin.	Asuinhuoneet, ruokailutilat, kahvikeittiöt, myymälät, toimistorakennusten varastot, pukuhuoneet sekä ravintolatilat, joissa tupakointi on kielletty
3	Poistoilma tiloista, joissa kosteus, prosessit, kemikaalit ja hajut oleellisesti huonontavat poistoilman laatua. Ilmaa ei käytetä palautus- tai siirtoilmana.	WC- ja pesutilat, saunat, asuinhuoneistojen keittiöt, jakelu- ja opetuskeittiöt, piirustuksien kopiointitilat.
4	Poistoilma, joka sisältää pahanhajuisia tai epäterveellisiä epäpuhtauksia huomattavasti enemmän kuin sisäilman hyväksyttävät pitoisuudet. Ilmaa ei käytetä palautus- tai siirtoilmana.	Ammattimaisessa käytössä olevat: -vetokaapit, grillit ja keittiöiden kohdepoistot, - pesuloiden likapyykkutilat. Autosuojat ja ajotunnelit, maalien ja liuottimien käsittelyhuoneet, elintarviketehtäville, kemialliset laboratoriot, tupakointitilat sekä hotellitilat, joissa tupakointi on sallittu.

Taulukko 1. Poistoilmaluokat [7, s.12].

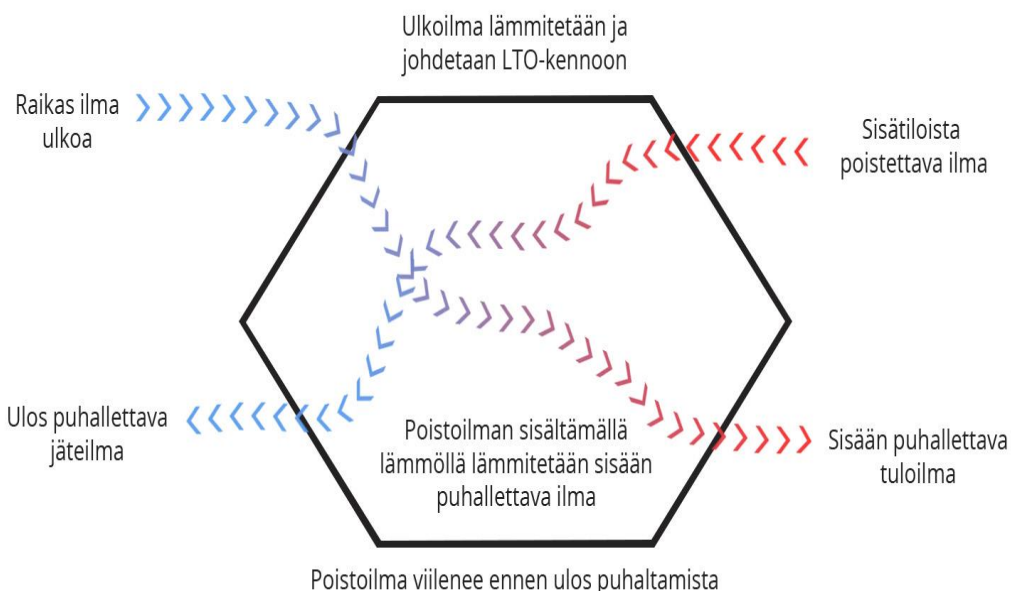
Sisäilmaluokitus 2018:n mukaan poistoilma on suodatettava tuloilman suodattavasta vastaavalla suodattimella ennen regeneratiivista lämmöntalteenottoa. Regeneratiivista lämmöntalteenottoa saa käyttää vain, kun poistoilmassa ei ole terveydelle haitallisia aineita, tai kun laite palvelee yhtä tilaa. Painesuhteet regeneratiivisessa lämmöntalteenotossa tulee olla tuloilmasta poistoilmaa. Lämmöntalteenoton jälkeisen tuloilman lämpötilan tulee olla rajoitettavissa kesäaikana, siten että kesäaikainen huoneiden jäähdytys mahdollistuu. Poistopuolen ilmankosteus ei saa olla yli 2,3 m/s jos on mahdollista, että ilmankosteus tiivistyy

patteriin. Lämmöntalteenottolaitteistoon tiivistyvä vesi sekä sulava huurre ja jää on viemäritävä pois, ettei vettä pääse ilmanvaihtokoneeseen tai muihin rakenteisiin. Huurteen ja toimintahäiriöiden poistamiseksi lämmöntalteenoton jäätymsuojaus on tehtävä toimintavarmalla tavalla. [8, 18-19.]

2.3 Vastavirtalevylämmöntalteenotto

Vastavirtalevylämmöntalteenottoa valmistetaan eri materiaaleista ja erityyppisinä. Vastavirtalevylämmönsiirtimet soveltuvat monenlaiseen käyttöön omakotitaloista teollisuuslaitoksiin. Käyttöä rajoittavia tekijöitä voivat olla suurehko tilantarve ja puhdistettavuus. Lämmönsiirtimen käyttö edellyttää, että poisto- ja tuloilmavirrat keskitetään samaan paikkaan. Lämmönsiirrin soveltuu myös erikoisvalmisteisena korkeille lämpötiloille ja olosuhteisiin, joissa ilma sisältää korroosiota aiheuttavia aineita. [9, 65.]

Lämpö siirtyy alumiinilevyistä kootussa paketissa, jossa ilmavirrat kulkevat ristiin joka toisessa välissä. Vastavirtalämmönvaihdin on hyvä lämpötilahyötysuhteeltaan, koska ilmavirrat kulkevat pitkän matkan ristiin levyväleissä. Vastavirtalämmönsiirtimien lämpötilahyötysuhteet ovat 70-85 %. Levylämmönsiirtimien jäätyminenesto tai tehonsäätö toteutetaan yleensä ohitussäätönä, jossa kylmä ulkoilma ohjataan siirtimen ohi. Kun kylmä ulkoilma ohjataan levylämmönsiirtimen ohi, lämmin poistoilma sulattaa vaihtimen. Joissakin tapauksissa tarvitaan esilämmityspatteria lämmittämään tuloilmaa ennen vastavirtasiirrintä haluttuun lämpötilaan. Vastavirtalämmönsiirrin täytyy aina viemäroidä, koska ilman vesihöyry tiivistyy lämmönsiirtimen pinnalla vedeksi. Vastavirtalevylämmöntalteenoton toiminta on kuvattu kuvassa 2. [3, 73.]



Kuva 2. Vastavirtalämmöntalteenoton toimintaperiaate.

2.3.1 Esilämmityspatteri

Esilämmityspatteria käytetään yleisesti vastavirtalämmöntalteenotossa, koska sen jäteilmanlämpötila laskee hyvin alhaiseksi hyvän lämpötilahyötysuhteen ansiosta. Esilämmityspatterin tarkoituksena on lämmittää kylmää ulkoilmaa, ennen lämmöntalteenottokennoa. Kylmän ulkoilman lämmittäminen ennen lämmöntalteenottokennoa parantaa lämmöntalteenottoa estäen huurteen ja jään muodostumisen kennossa. Esilämmitys vähentää lämmöntalteenottokennon sulatuksentarvetta ja pitää ilmanvaihtokoneen normaalissa käyntitilassa, myös äärimmäisissä ulkoilman kylmäpiikeissä. [10, 159; 11, 2.]

Esilämmityspatteri voidaan asentaa kanavaan tai ilmanvaihtokoneeseen, esilämmityspatterin asentaminen raitisilmakanavaan vaatii suodattimen ennen patteria. Esilämmityspatterit voivat olla sähkötoimisia tai nestekiertoisia. Nestekiertoisessa patterissa virtaa jäätymätön liuos, yleisesti käytetty liuos on veden ja etyleeniglykolin sekoitus. Nestekiertoista esilämmityspatteria voidaan käyttää keuhkolla viilennykseen. Kuvassa 3 on esitetty nestekiertoisen esilämmityspatterin.

Sähköisen esilämmityspatterin käyttö voi vaikuttaa suurissa koneissa sähköliittymän kokoon ja perusmaksuun. Suurien koneiden esilämmityspatterin teho on kymmeniä kilowatteja. [10, 159; 11, 2.]



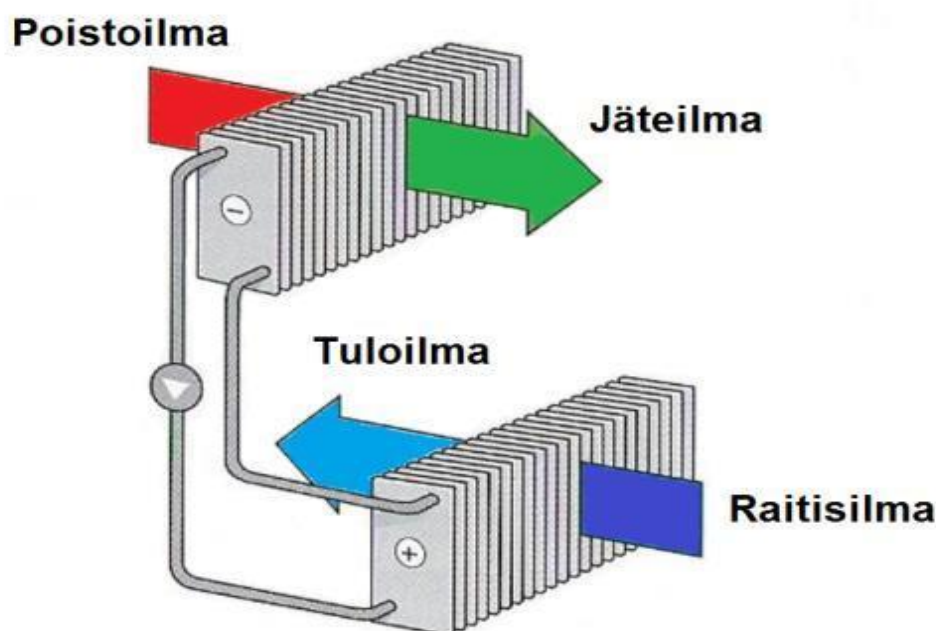
Kuva 3. Kanavaan asennettava nestekiertoinen esilämmityspatteri.

2.4 Nestekiertoinen lämmöntalteenotto

Nestekiertoisessa lämmöntalteenottojärjestelmässä lämpöenergia siirtyy väliaineen välityksellä poistoilmasta tuloilmaan, yleensä aina nesteen avulla. Poisto- ja tuloilmavirrassa on lämmönsiirrin, joka on perusrakenteeltaan samanlainen kuin ilmanvaihdon lämmitys- ja jäähdytyspatterit. Lämmönsiirtimien välissä on putkisto, joka sisältää kolmitieventtiilin ja pumpun. Neste lämpenee poistoilmapuolen siirtimessä, josta se pumpataan tuloilmapuolelle, jossa siirtimen läpi menevä kylmä tuloilmavirta lämpenee. Lämmönsiirtonesteinä ei käytetä vettä, vaan veden ja jäätymisenestoaineen seosta kylmän ulkoilman takia. Lämmöntalteenoton lämmityspatteri valmistetaan kupariputkista ja alumiinilamelleista, niiden lämmönjohtavuuksien takia. Lämmönsiirtyminen tapahtuu pienillä lämpötilaeroilla, jonka takia tarvitaan paljon lämmönsiirtopinta-alaa patterissa. Pattereiden

lämmönsiirtopinta-alaa kasvatetaan perinteisesti tiheämmällä alumiinilamellivälillä. Yleensä käytetty lamellijako on 2 mm, mutta jos poistoilmassa on paljon epäpuhtauksia, kasvatetaan lamelliväliä yleensä 4 mm niiden pesun helpottamiseksi. Nestekiertoisen lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde on noin 68-75 %. [10, 184.]

Nestekiertoisessa lämmöntalteenotossa poisto- ja tuloilmat ovat kokonaan toisistaan eritelty, joten ilmavirrat eivät pääse sekoittumaan keskenään. Tästä syystä nestekiertoisia järjestelmiä käytetään tarkoin määritellyissä paikoissa esim. sairaaloiden leikkaushuoneissa ja laboratorioissa. Nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmä on yksinkertainen asentaa ilmanvaihtokoneisiin saneerauksen yhteydessä. Lisätilan tarve on pieni ja koneiden ja kanavoiden paikkaa ei tarvitse muuttaa. Lisäksi nestekiertoistajärjestelmää voidaan käyttää kaukana toisistaan olevien poisto- ja tuloilmakoneiden välillä. Kuvassa 4 on esitetty nestekiertoisen lämmöntalteenoton toimintaperiaate. [10, 184.]



Kuva 4. Nestekiertoisen lämmöntalteenotto.

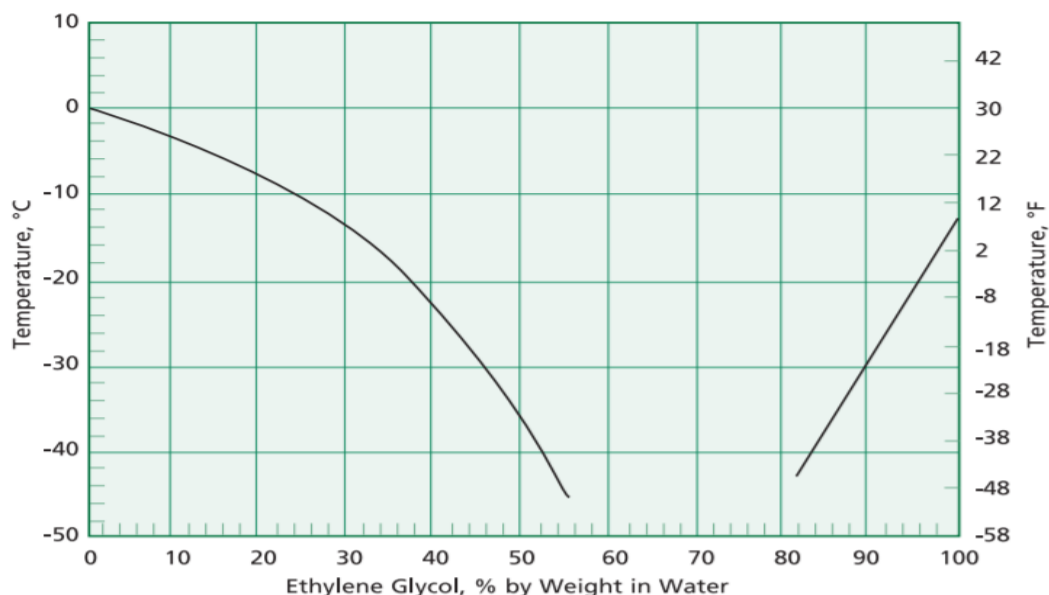
Nestekiertoisen lämmöntalteenoton säädettävyys on tärkeä ominaisuus. Lämmöntalteenoton tehonsäätö on tärkeää kahdesta syystä. Tuloilman lämpötila halutaan matalammaksi kuin maksimaalinen lämmöntalteenotto antaa. Lämpötilan

säädön lisäksi on tärkeää huolehtia säätämisen avulla, ettei poistoilmapatteri pääse huurtumaan. Lämmöntalteenoton säätö tapahtuu, nestevirtaa säätämällä kolmitieventtiilin avulla. Kolmitieventtiilillä ohjataan osa nestevirrasta toisen patterin ohitse. Nestevirta pienenee patterissa, myös lämmöntalteenotto pienenee ja haluttu tuloilmanlämpötila saavutetaan. Huurtumisenesto tehdään samalla periaatteella kolmitieventtiiliä säätämällä. Poistoilmapatterille tulevan nesteen lämpötilan ei anneta laskea niin alas, että lamellien lämpötila menee 0 asteeseen, täten estetään lamellien huurtuminen. [10, 184-185.]

2.5 Lämmönsiirtonesteet

Nestekiertoisissa lämmöntalteenottojärjestelmissä käytetään veden ja jäätyminenestoaineen seosta. Jäätyminenestoaineen tehtävänä on estää pattereiden rikkoutuminen ja varmistaa lämmönsiirto myös matalissa ulkolämpötiloissa. Jäätyminen estoaineita on monia, kuten propyleeniglykoli, betaiiniliuos, kaliumformiaattiliuos ja monoetyleeniglykoli. Jokaisella aineella on omat ominaisuudet ja siten myös käyttökohteet. Monoetyleeniglykolilla on parhaat ominaisuudet lämmöntalteenotossa, jota kutsutaan usein etyleeniglykolina. Jäätyminen estämiseksi yleisesti käytetään veden ja etyleeniglykolin sekoitusta, mikäli myrkyllisyyden suhteen ei ole asetettu vaatimuksia. [10, 185-186.]

Lämmönsiirtonestettä lisätessä ei jäätyminenestoainetta saa vaihtaa, vaan aina on lisättävä liuosta, jolla verkosto on mitoitettu. Jäätyminenestoaineiden viskositeetissä on eroa, jonka vuoksi nestevirtaus voi muuttua. Etyleeniglykolin pitoisuus nesteessä on tyypillisesti 25-35 %. Käytettäessä mitä tahansa seosta on seoksen oikealla pitoisuudella iso merkitys. Valittaessa etyleeniglykolin pitoisuutta liuoksessa täytyy huomioida, mitä enemmän liuoksessa on vettä sen paremman lämmönsiirto-ominaisuuden se omaa. Liian suurella jäätyminenestoaine pitoisuudella menetetään lämmönjohtavuutta. Suurella glykolipitoisuudella on myös merkitys pumppuun, suurempi glykolipitoisuus tekee liuoksesta tiheämpää. Kuvassa 5 on esitetty etyleeniglykolin ja veden seoksen jäätympisteet. [10, 186.]



Kuva 5. Etyleeniglykoli ja veden seoksen jäätymispisteet.

Liuoksen jäätymisenestoaineen valintaan vaikuttaa käyttötarkoitus. Taulukossa 2 on esitetty eriaineiden ominaisuuksia.

Ominaisuus	Etyleeniglykoli	Propyleeniglykoli	Kaliumformiaatti	Betaiini
Lämmönsiirto- ominaisuudet normaali LTO- lämpötilassa	Hyvä, kun pitoisuus ei ylitä 30 %:a	Huono. Seoksen viskositeetti korkea ja lämmönsiirto heikko	Hyvä	Hyvä
Toiminta matalassa lämpötilassa	Kohtuullinen, viskositeetti kasvaa ja läm- mönsiirto heikkenee	Huono. Seoksen viskositeetti kasvaa ja lämmönsiirto heikkenee	Hyvä	Kohtuullinen, viskositeetti kasvaa ja lämmönsiirto heikkenee
Toiminta korkeassa lämpötilassa	Hyvä	Hyvä	Lämpöteknisesti hyvä. Korrosio kasvaa. Huomioitava materiaalivalinnoissa	Hyvä
Myrkyllisyys	Myrkyllinen	Ei-myrkyllinen	Ei-myrkyllinen	Ei- myrkyllinen
Korrosio	Ei aiheuta kor- roosiota	Ei aiheuta kor- roosiota	Aiheuttaa korroosio- ta. Huomioitava ma- teriaalivalinnoissa	Ei aiheuta korroosiota

Taulukko 2. Veden kanssa seoksissa käytettävien aineiden ominaisuuksia [10, 186].

2.6 Lämpötilahyötysuhde

Lämmöntalteenottojärjestelmien hyötysuhdetta ilmaistaan lämpötilahyötysuhteella. Lämpötilahyötysuhde kertoo ulkolämpötilaan suhteutettujen tuloilman lämpenemisen ja poistoilman viilenemisen välistä suhdetta. Ilmanvaihtokoneiden valmistajat ilmoittavat koneidensa lämpötilahyötysuhteet, jotka ovat mitanneet standardin EN 308 mukaisesti. Halutessa määrittää tilannekohtaisia lämpötilahyötysuhteita voidaan ne laskea kaavalla 1.1 poistoilmalle ja kaavalla 1.2 tuloilmalle. Nestekiertoisen lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhdetta laskiessa suositellaan käytettäväksi poistoilman lämpötilahyötysuhteen kaavaa 1.1. [12, 14.]

Lämpötilahyötysuhde mitataan kuivissa olosuhteissa ja standardin mukaisissa ilmaolosuhteissa, massavirran ollessa tasapainossa tulo- ja poistopuolella. Omakotitaloissa sisä- ja ulkolämpötila eron ollessa 13 kelviniä, muissa kuin asuinrakennuksissa lämpötilaeron ollessa 20 kelviniä. [5, 1.6.]

2.6.1 Poistoilman lämpötilahyötysuhteen laskenta

Poistoilman lämpötilahyötysuhde lasketaan alla esitetyllä kaavalla 1.1.

$$\eta_p = \frac{t_s - t_j}{t_s - t_u} \quad (1.1)$$

Missä:

η_p	Poistoilman lämpötilahyötysuhde
t_s	Sisäilman lämpötila
t_j	Jäteilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen
t_u	Ulkoilman lämpötila

[12, 49]

2.6.2 Tuloilman lämpötilahyötysuhteen laskenta

Tuloilman lämpötilahyötysuhde lasketaan alla esitetyllä kaavalla 1.2.

$$\eta_t = \frac{t_{tLTO} - t_u}{t_s - t_u} \quad (1.2)$$

Missä:

η_t	Tuloilman lämpötilahyötysuhde
t_s	Sisäilman lämpötila
t_u	Ulkoilman lämpötila
t_{tLTO}	Tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen

[12, 49]

2.7 Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

Ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitteistolla hyödynnettävä lämpöenergia voidaan laskea lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen avulla. Vuosihyötysuhteen laskennassa käytetään ilmanvaihtokoneen lämpötilahyötysuhdetta, jonka ilmanvaihtokoneen valmistaja ilmoittaa standardin SFS-EN 308 mukaan mitattua tai tyyppihyväksyttyä lämpötilahyötysuhdetta. Vuosihyötysuhde kertoo rakennuksesta lämmöntalteenottolaitteistolla vuodessa takaisinotettavan ja hyödynnetyn lämpöenergian suhdetta rakennuksen ilmanvaihdon lämmitykseen käytettävään lämpöenergiaan, kun lämmöntalteenottoa ei ole. Vuosihyötysuhteella ei tarkoiteta yhden ilmanvaihtokoneen hyötysuhdetta. [12, 34-35]

Rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritellään talteen otetun lämpöenergian (Q_{LTO}) ja kaikkien lämmöntalteenottovaatimusten piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen mukana rakennuksesta poiskulkeutuvan lämpöenergian (Q_{iv}) suhteena [13, 57]. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde lasketaan kaavalla 1.3, laskelmat tehdään vain lämmityskaudelta, kun ulkolämpötila on alle 12°C. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta määrittäessä täytyy laskea ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve ilman

lämmöntalteenottoa Q_{iv} kaavalla 1.4 ja talteen otettu lämpöenergia Q_{LTO} kaavalla 1.5 tai 1.6.

2.7.1 ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde lasketaan alla esitetyllä kaavalla 1.3.

$$\eta_a = \frac{Q_{LTO}}{Q_{IV}} \quad (1.3)$$

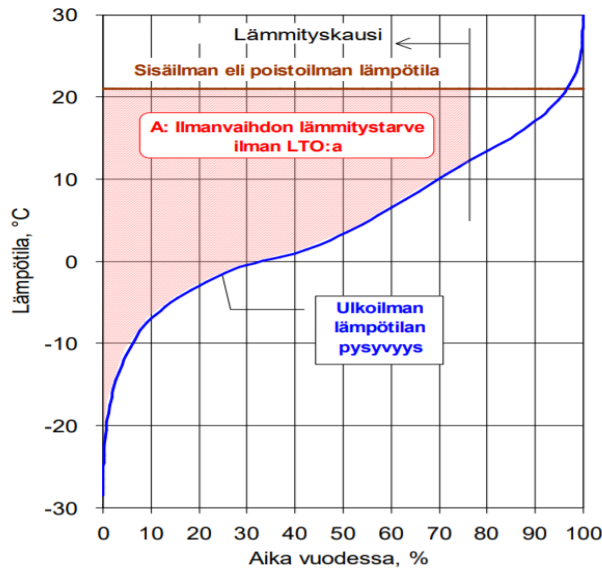
η_a	Vuosihyötysuhde
Q_{LTO}	Talteen otettu lämpöenergia lämmöntalteenotolla
Q_{iv}	Ilmanvaihdon lämmityksen energiatarve
[12, 57]	

Ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve lasketaan alla esitetyllä kaavalla 1.4.

$$Q_{iv} = c_p \rho q_p \sum (t_s - t_u) \Delta \tau \quad (1.4)$$

Q_{iv}	Ilmanvaihdon lämmityksen energiatarve
c_p	Ilman ominaislämpökapasiteetti, J/kg K
ρ	Ilman tiheys, kg/m ³
q_p	Lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen summa, m ³ /s
t_s	Sisälämpötila, °C
t_u	Ukolämpötila, °C
$\Delta \tau$	Aikajakso vuodesta, jolloin lämpötilaero ($t_s - t_u$) esiintyy, d
[12, 51]	

Kuvassa 6 on esitetty ilmanvaihdon lämmitystarve ilman lto:a.



Kuva 6. Sisä- ja ulkoilman väliin jäävä alue (A) on ilmanvaihdon lämmitystarve, kun lämmöntalteenottoa ei ole. [12, 52]

2.7.2 Ilmanvaihdosta talteen otettu lämpöenergia

Poistoilmasta talteen saatava lämpöenergia voidaan laskea kaavalla 1.5, jokaisen poistoilmakoneen summana. Jos rakennuksesta koneellisesti poistettavassa jäteilmassa ei ole lämmöntalteenottoa on sen talteen otettu lämpöenergia laskennassa 0. Yleisemmin käytetty tapa on ilmaista yksittäisen tulo- ja poistoilmanvaihtokoneen talteen otettu lämpöenergia tuloilman lämmitysenergiana kaavalla 1.6. [12, 53, 55.]

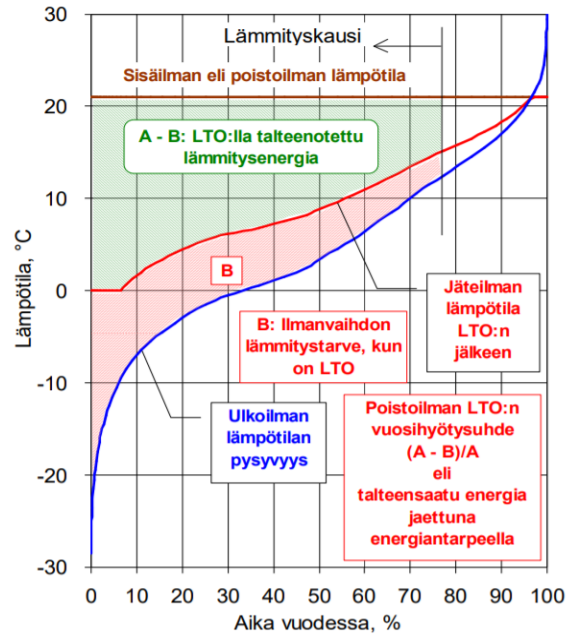
Poistoilmasta talteen otettu energia lasketaan alla esitetyllä kaavalla 1.5.

$$Q_{LTO} = c_p \rho q_p \sum (t_s - t_j) \Delta \tau \quad (1.5)$$

Q_{LTO}	Ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla otettu lämpöenergia
c_p	Ilman ominaislämpökapasiteetti, J/kg K
ρ	Ilman tiheys, kg/m ³
q_p	Lämmöntalteenoton vaatimuksen piiriin kuuluva poistoilmavirta, m ³ /s
t_s	Sisälämpötila, °C

t_j Jäteilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen, °C
 ΔT Aikajakso vuodesta, jolloin lämpötilaero ($t_s - t_u$) esiintyy, d
 [12, 53.]

Kaavalla 1.5 laskettu poistoilmasta talteen otettu lämpöenergia näkyy kuvassa 7.



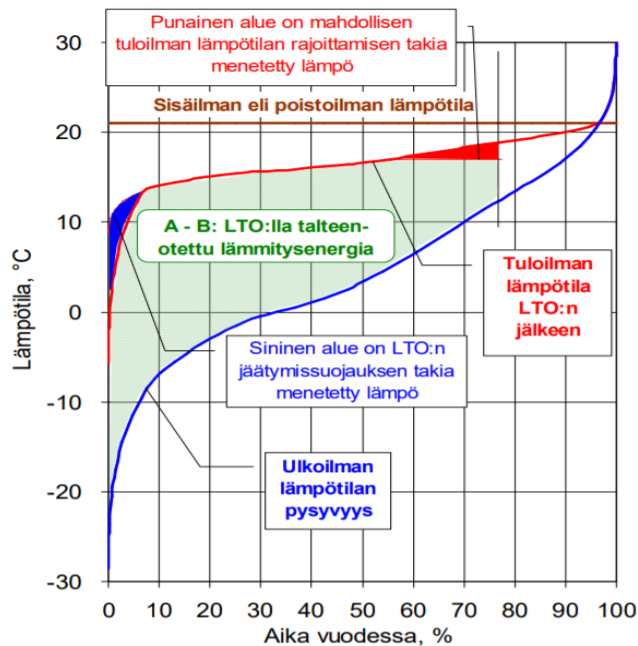
Kuva 7. Sisä- ja jäteilman väliin jäävä alue (A-B) on poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia. Kuvassa jäteilman lämpötila on rajoitettu 0°C, huurtumisen estämiseksi. [12, 54.]

Tuloilmasta talteen otettu lämmitysenergia lasketaan alla esitetyllä kaavalla 1.6.

$$Q_{LTO} = c_p \rho q_{tLTO} \sum (t_{tLTO} - t_u) \Delta \tau \quad (1.6)$$

Q_{LTO} Ilmanvaihdon lämmöntalteenotosta saatu lämmitysenergia
 c_p Ilman ominaislämpökapasiteetti, J/kg K
 ρ Ilman tiheys, kg/m³
 q_{tLTO} Lämmöntalteenoton läpi kulkeva tuloilmavirta, m³/s
 t_{tLTO} Tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen, °C
 t_u Ulkoilman lämpötila °C
 ΔT Aikajakso vuodesta, jolloin lämpötilaero ($t_{tLTO} - t_u$) esiintyy, d
 [12, 55]

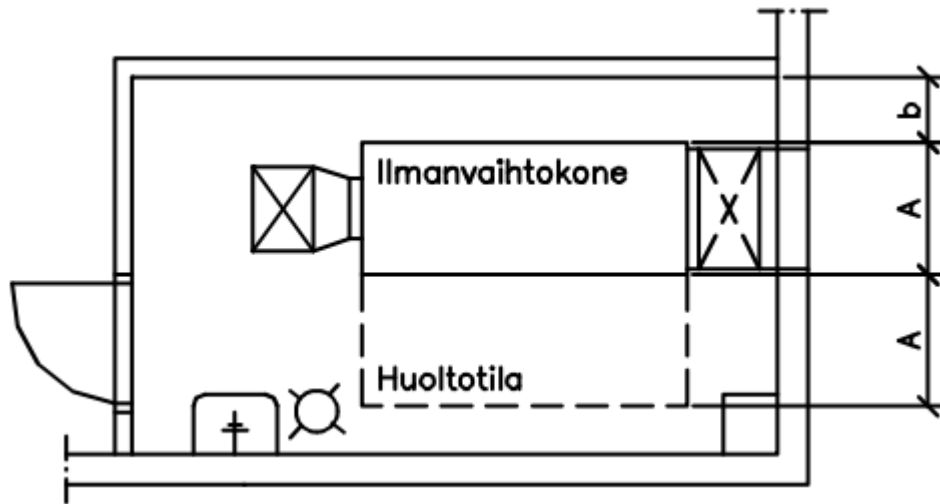
Kaavalla 1.6 laskettu tuloilmasta talteen otettu lämpöenergian näkyvä kuvassa 8.



Kuva 8. Ulko- ja tuloilman välinen alue (A-B) on poistoilmasta tuloilmaan talteen otettu lämpöenergia. Kuvassa jäteilman lämpötila on rajoitettu 0°C ja tuloilma 17°C. [12, 56.]

2.8 Ilmanvaihtokoneiden tilavaraukset

Ilmanvaihtojärjestelmä tarvitsee tilaa rakennuksesta, että sitä on helppo ja turvallista huoltaa ja puhdistaa. Huoltoa varten on varattava vähintään huollettavan laitteen mittainen tila huoltosuunnassa. Koteloitujen ilmanvaihtolaitteiden tilavarauksen määrittämiseen on esitetty perusperiaate Suomen rakentamismääräyskokoelmassa D2 2012. Käytetyssä periaatteessa huoltopuolelle varataan tilaa ilmanvaihtokoneen kokoine huoltotila, ilmanvaihtokoneen taakse 0.4 kertaa ilmanvaihtokoneen korkeus tai vähintään 400 mm. Ilmanvaihtokoneen päälle on jätettävä tilaa reilusti kanaville. Ilmanvaihtokoneen tilavarauksen laskenta on esitetty kuvassa 9. Ilmanvaihtokoneen tilavarauksella on vaikutus konehuoneen kokokoon, sitä kautta rakennuskustannuksiin. Uudiskohteen konehuoneen rakennuskustannus on noin 2000 €/m². [7, 21.]



Kuva 9. Koteloidun ilmanvaihtokoneen tilavarauksen esimerkki. A ilmanvaihtokoneen leveys ja b 0.4 kertaa ilmanvaihtokoneen korkeus tai vähintään 400 mm [7, 21].

3 Ilmanvaihtokoneet

Ilmanvaihtokoneet mitoitetaan konevalmistajien ilmanvaihtokoneiden mitoitusohjelmilla. Jokainen valittu glykoli- ja vastavirtakone samoilla ilmavirroilla on mitoitettu samalta valmistajalta. Koneet on kaikki mitoitettu samoilla mitoituslämpötiloilla ja kanavapaineilla, mitoituksessa käytetyt lämpötilat ja kanavapaineet kuvataan taulukossa 3. Ilmanvaihtokoneiden hintatiedot on saatu mitoitusohjelmista ja konevalmistajilta.

	Ulkoilma °C	Poistoilma °C	RH %	Kanavapaine Pa
Kesä	27	22	55/30	200
Talvi	-32	22	60/30	200

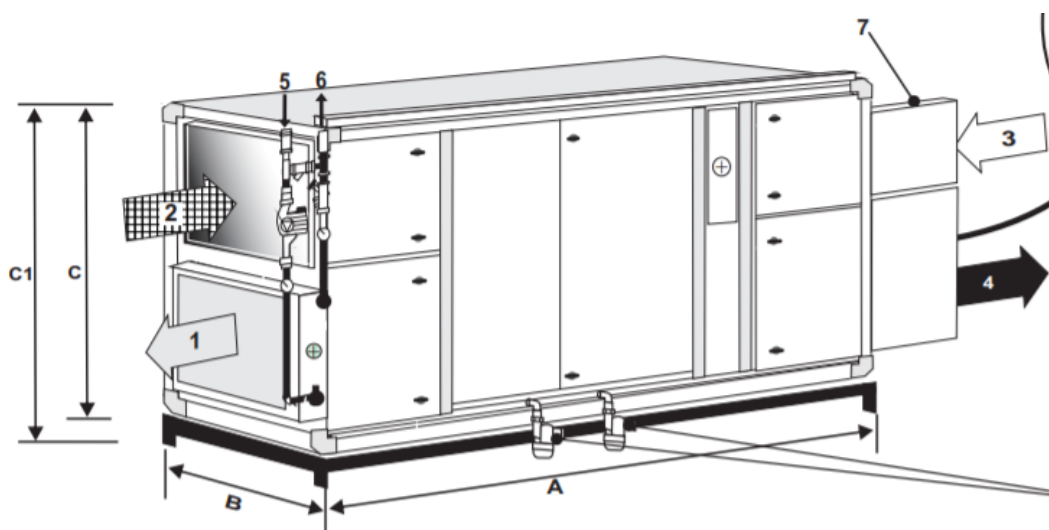
Taulukko 3. Ilmanvaihtokoneiden mitoituslämpötilat.

3.1 Ilmanvaihtokone 0,3 m³/s

0.3 m³/s ilmanvaihtokoneet on mitoitettu Enervent Oy:n Presimer-mitoitusohjelmalla. Näin pieniin ilmanvaihtokoneisiin ei ollut saatavana valmistajilta nestekiertoista lämmöntalteenottoa. Mitoitusohjelmalla mitoitettiin siten vain vastavirtalämmöntalteenotolla oleva kone esilämmityksellä ja ilman esilämmitystä. Mitoitusohjelman mitoittama kone on Rtek RVM VVE 28 Ventier, ohjelmantekemä lämmöntalteenoton mitoitus löytyy liitteestä 1. Ilmanvaihtokoneen mittatiedot näkyvät kuvassa. Lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde ilman esilämmitystä 84.1 % ja esilämmittimellä 82.6 %. Ilmanvaihtokoneiden hankintahinnat on esitetty taulukosta 4.

Vastavirta-lto, esilämmittimellä	8550 €
Vastavirta-lto, ilman esilämmitystä	7400 €

Taulukko 4. Ilmanvaihtokoneiden hinnat.



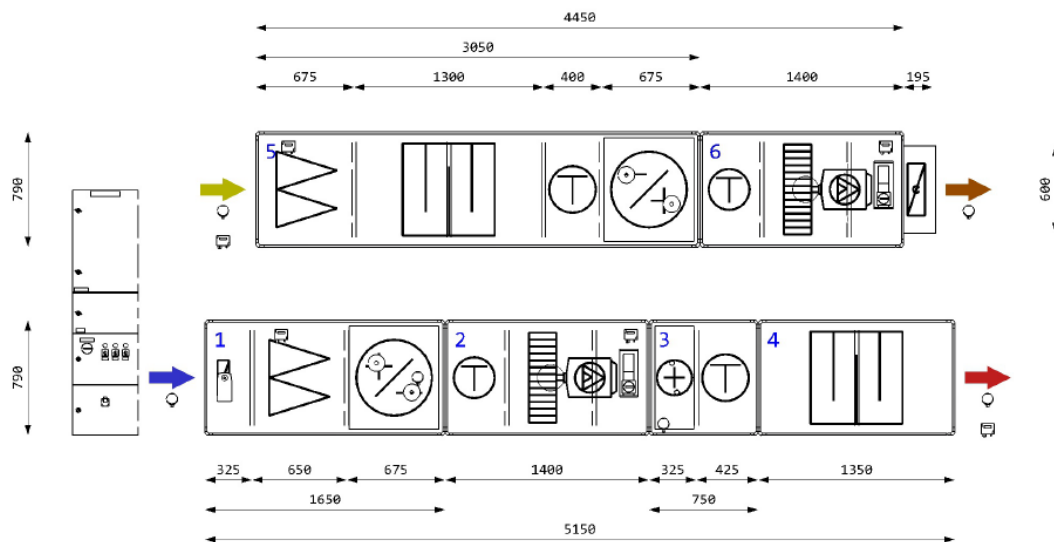
Kuva 10. Rtek RVM VVE 28 Ventier ilmanvaihtokone. Koneen mitat A=3010 mm, B=1100 mm, C=1300 mm ja C1=1520. C1 mitta sisältää jalustan 150 mm ja johdotourun korkeuden 70 mm.

3.2 Ilmanvaihtokone 1 m³/s

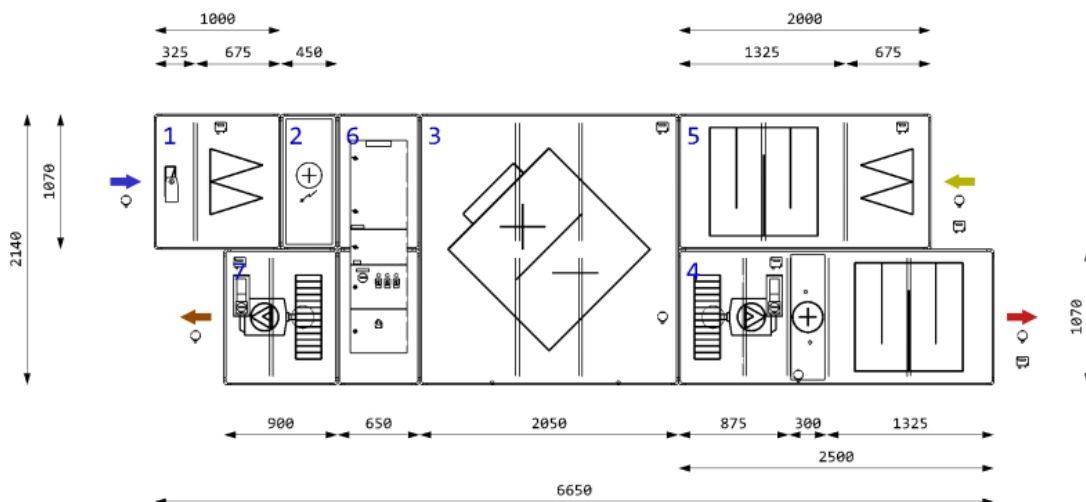
1 m³/s ilmanvaihtokoneet on mitoitettu Koja Oy:n Future++ -mitoitushjelmalla. Ilmanvaihtokoneet mitoitettiin nestekiertoisella ja vastavirtalämmöntalteenotolla. Mitoitushjelmalla mitoitettiin vastavirtalämmöntalteenotolla oleva kone esilämmityksellä ja ilman esilämmitystä. Ilmanvaihtokoneiden mittatiedot löytyvät kuvista 11, 12 ja 13. Lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde ilman esilämmitystä 76 %, esilämmittimellä 76 % ja glykoli 68.2 %. Ohjelmantekemä lämmöntalteenoton mitoitukset löytyvät liitteestä 2. Ilmanvaihtokoneiden hankintakustannukset löytyvät taulukosta 5.

Vastavirta-lto, esilämmittimellä	28393 €
Vastavirta-lto, ilman esilämmitystä	24497 €
Glykoli-lto	27003 €

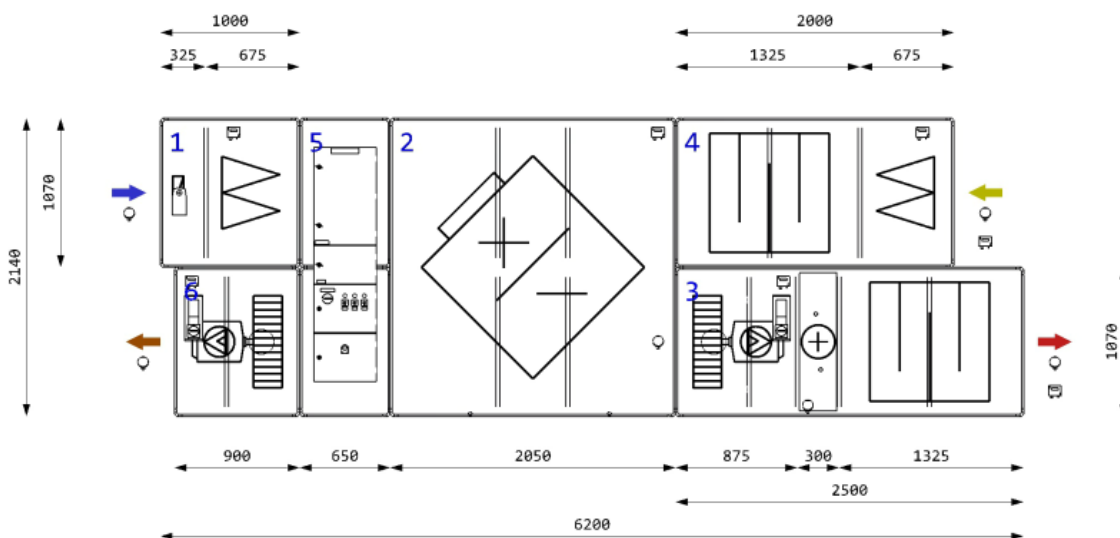
Taulukko 5. Ilmanvaihtokoneiden hinnat.



Kuva 11. 1 m³/s ilmanvaihtokone nestekiertoisella lämmöntalteenotolla. Kuva ja mitat ovat koneen edestä huoltopuolelta, koneiden leveys on 1670 mm.



Kuva 12. 1 m³/s ilmanvaihtokone vastavirtalämmöntalteenotto esilämmittimellä. Kuva ja mitat ovat koneen edestä huoltupuolelta, koneen leveys on 1070 mm.



Kuva 13. 1 m³/s ilmanvaihtokone vastavirtalämmöntalteenotto. Kuva ja mitat ovat koneen edestä huoltupuolelta, koneen leveys on 1070 mm.

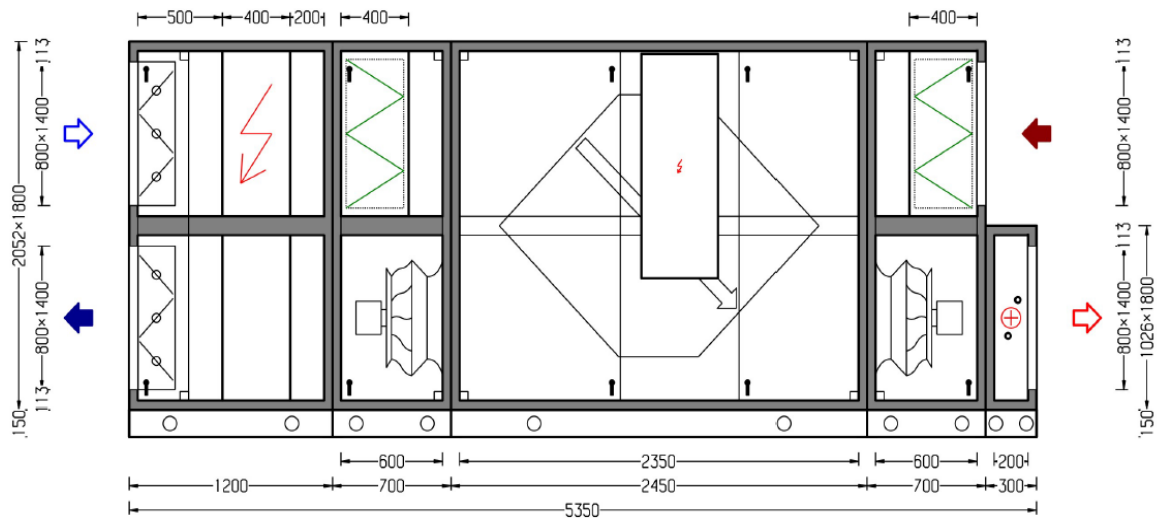
3.3 Ilmanvaihtokone 2,5 m³/s

2.5 m³/s ilmanvaihtokoneet on mitoitettu Koja Oy:n Future++ -mitoitushjelmalla ja FläktGroup:n Acon -mitoitushjelmalla. Nestekiertoisella lämmöntalteenotolla oleva ilmanvaihtokone mitoitettiin Future++ -mitoitushjelmalla, vastavirtalämmöntalteenotolla oleva kone mitoitettiin Acon -mitoitushjelmalla. Koja Oy:llä ei ole ilmanvaihtokonetta vastavirtalämmöntalteenotolla 2.5 m³/s kokoisena,

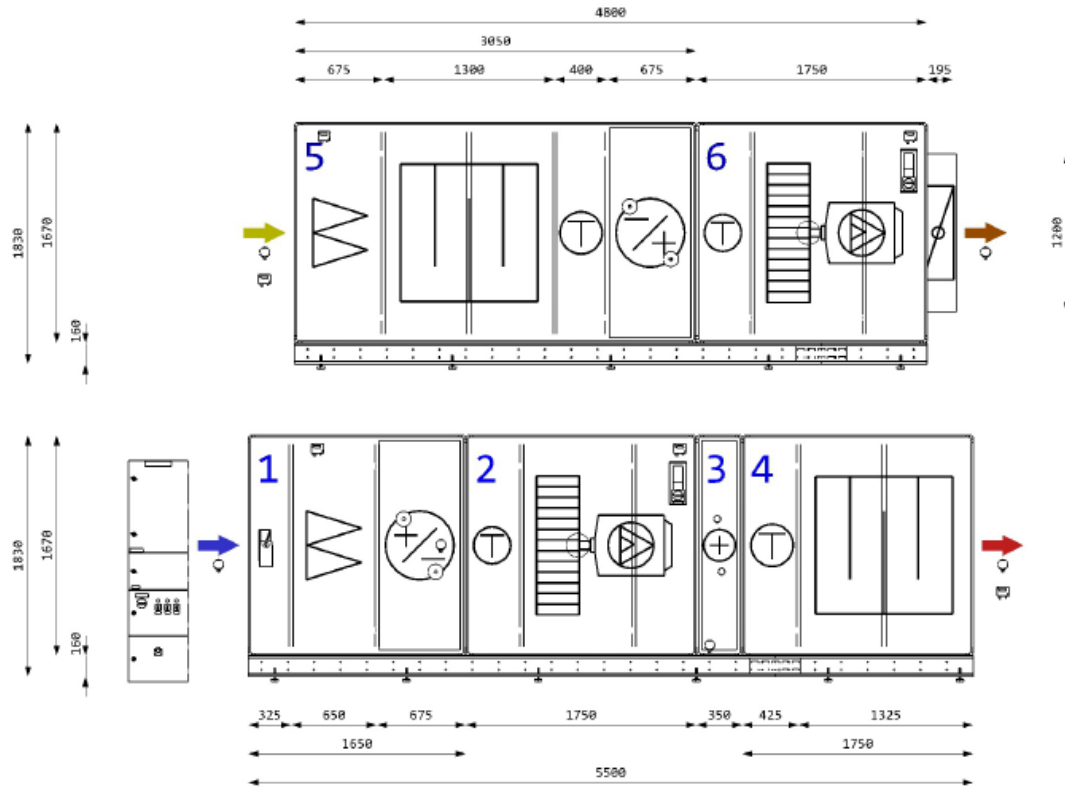
FläktGroup:lta sellainen löytyi. Koneiden lämmöntalteenoton mitoitukset löytyvät liitteestä 3. Kuvissa 14 ja 15 löytyvät ilmanvaihtokoneiden mittatiedot. Vastavirtalämmöntalteenottoa ei ole mahdollista saada FläktGroup:lta ilman esilämmitys. Esilämmitys on välttämätön huurteensulatuksen kannalta näin suurissa koneissa. Lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde vastavirta 83.7 % ja glykoli 68.1 %. Ilmanvaihtokoneiden hankintakustannukset on esitetty taulukossa 6.

Vastavirta-lto, esilämmittimellä	31200 €
Glykoli-lto	43288 €

Taulukko 6. Ilmanvaihtokoneiden hinnat.



Kuva 14. 2.5 m³/s ilmanvaihtokone vastavirtalämmöntalteenotolla. Kuva ja mitat ovat koneen edestä huoltopuolelta, koneen leveys on 1800 mm.



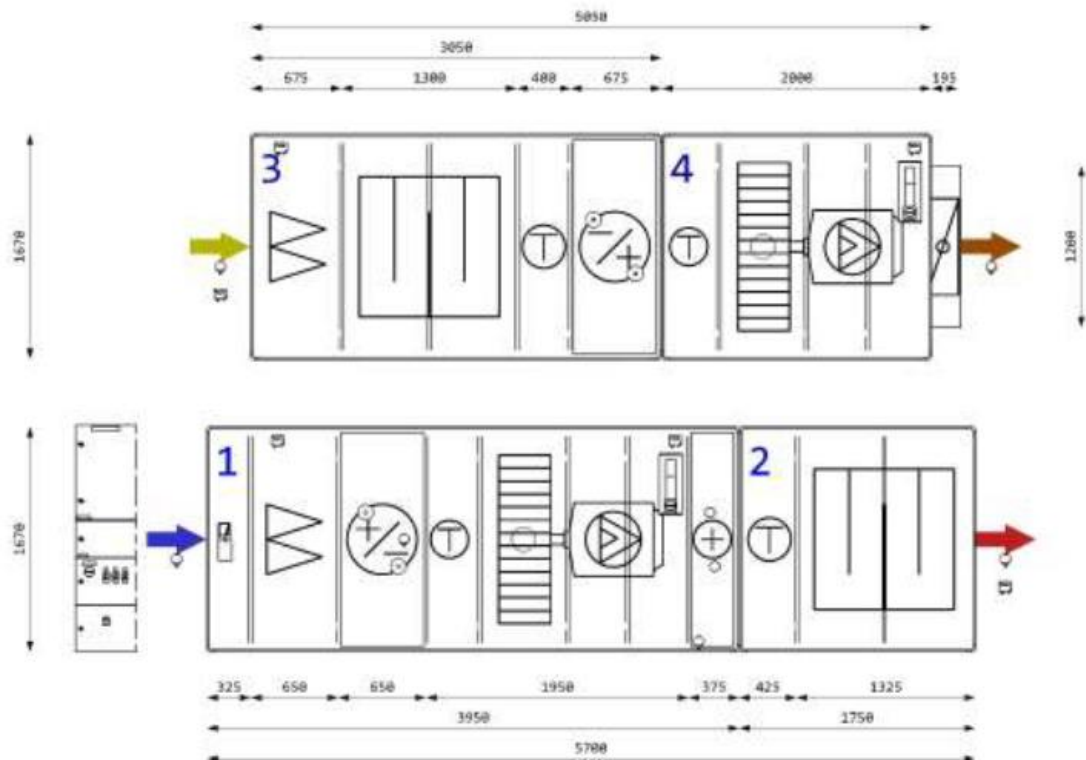
Kuva 15. 2.5 m³/s ilmanvaihtokone nestekiertoisella lämmöntalteenotolla. Kuva ja mitat ovat koneen edestä huoltopuolelta, koneiden leveys on 1670 mm.

3.4 Ilmanvaihtokone 5 m³/s

5m³/s ilmanvaihtokoneet on mitoitettu Koja Oy:n Future++ -mitoitushjelmalla. Näin suuriin ilmanvaihtokoneisiin ei ollut saatavana valmistajilta vastavirtalämmöntalteenottoa. Mitoitushjelmalla mitoitettiin siten vain nestekiertoisella lämmöntalteenotolla oleva kone. Mitoitushjelman tekemä lämmöntalteenoton mitoitutus löytyy liitteessä 4. Ilmanvaihtokoneen mittatiedot ovat esitetty kuvassa 16. Lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde on 68.9 %. Ilmanvaihtokoneen hankintakustannus on esitetty taulukosta 7.

Glykoli-lto	70879 €
-------------	---------

Taulukko 7. Ilmanvaihtokoneen hinta.



Kuva 16. 5 m³/s ilmanvaihtokone nestekiertoisella lämmöntalteenotolla. Kuva ja mitat ovat koneen edestä huoltopuolelta, koneiden leveys on 3189 mm.

4 Ilmanvaihdon energiasimulointi

Ilmanvaihdon energiasimulointiin käytettiin IDA ICE dynaamista simulointiohjelmaa. IDA ICE:llä voidaan tarkastella rakennuksen energiankulutusta ja lämpötaetta. Ohjelmassa on normaalisti englanninkielinen käyttöliittymä, 2000 paikkatapakettia ja 3000 säädätapakettia. Erikseen ladattavissa on usealle maalle omat lokalisatiopaketit, niiden mukana tulee valitulle kielelle käännetty käyttöliittymä, sijainti- ja säädät. Lokalisatioiden mukana on alueelliset määräykset ja räätälöityjä raportteja, mahdollistaen energiatodistuksen tekemisen simulointidatasta ja viemisen ARA-järjestelmään XML-koodina. IDA ICE:llä on SFS-EN 15265 standardi, joka on eurooppalaisen standardijärjestön CEN standardi. Standardi määrittää energiasimuloinnissa ja energiatarvelaskelmissa käytettävät rakennuksen- ja olosuhteidentiedot. Standardissa määritetään myös validointitesti, jonka perusteella simulointiohjelmit testataan. [14;15.]

Energiasimulointiin käytettiin valmista IFC-mallia, kohteessa on noin 2000 m². Simulointiohjelmaan luotiin ilmanvaihtokoneet koneajojen perusteella ja simuloitiin energiat tuntikohtaisesti vuodenajalle. Paikka- ja säädatatietona käytettiin Jyväskylän 2012 tuntikohtaista säätä.

4.1 Ostoenergian hinnat

Energiahintojen tiedot on saatu Kuopion Energia Oy:n ja Väre Oy:n internet-sivuilta. Kaukolämmön-, sähkön- ja sähkönsiirtohinnot ovat tulleet voimaan 1.1.2020, hinnat sisältävät arvolisäveroa 24 %. Kaukolämmön hintoina käytetään Kuopion Energian vuoden keskiarvohintaa. Perusmaksuhintoja ei oteta huomioon laskelmissa, kaukolämpöä ja sähköä tarvitaan rakennuksessa muuhunkin kuin ilmanvaihdon lämmitykseen. Ostoenergian hinnat ovat esitetty taulukossa 8.

Ostoenergian hinnat	€/MWh
Sähkö+ siirto+ sähkövero	81.10
Kaukolämpö	55.26

Taulukko 8. Ostoenergian hinnat

4.2 0.3 m³/s energiasimulointi

Simulointiohjelmaan luotiin ilmanvaihtokoneet koneajojen perusteella. Sisään puhallus lämpötila asetettiin 20 °C. Puhaltimissa on huomioitu 1 °C lämpötilan nousu. Esilämmittimellä varustetun ilmanvaihtokoneen kylmä tuloilma lämmitetään -16 °C, huurteen ja jään muodostumisen ehkäisemiseksi. Energiasimulointin tulokset löytyvät taulukosta 9.

	Esilämmittimellä	ilman esilämmitystä
Esilämmitys	0.6 MWh	
Lämmitys	7.7 MWh	6.2 MWh
Lämmöntalteenotto	43.0 MWh	44.7 MWh
Puhaltimet+ apulaitteet	4.0 MWh	3.9 MWh
Vuosihyötysuhde	83.8 %	87.8 %

Taulukko 9. Ilmanvaihdon energiasimuloinnin tulokset.







Ilmanvaihdon lämmitysenergiat on laskettu sähköllä lämmitettynä ja kaukolämmöllä. Lämmitysenergian laskennassa on käytetty taulukossa 8 olevia hintoja. Taulukosta 10 löytyvät energiasimuloinnin perusteella lasketut energiakustannukset vuodessa.

	Esilämmittimellä		Ilman esilämmitystä	
	Sähkö	Kaukolämpö	Sähkö	Kaukolämpö
Esilämmitys	48.7 €	33.2 €		
Lämmitys	624.5 €	425.5 €	503.0 €	342.6 €
Puhaltimet+ apulaitteet	324.4 €	324.4 €	316.3 €	316.3 €
Yhteensä	997.6 €	783.1 €	819.3 €	658.9 €

Taulukko 10. Ilmanvaihtokoneen ilman lämmityksen kustannukset vuodessa.




Taulukoissa 11 ja 12 löytyvät energiasimulointi tulokset kuukausittain.

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
						
1	1356.0	0.0	5433.0	0.0	0.0	324.5
2	1566.0	0.0	5330.0	0.0	0.0	291.5
3	992.4	0.0	5017.0	0.0	0.0	326.0
4	628.6	0.0	4111.0	0.0	0.0	318.2
5	308.4	0.0	2693.0	6.7	0.0	334.5
6	110.9	0.0	1553.0	11.0	0.0	327.7
7	40.1	0.0	1003.0	60.2	0.0	340.9
8	98.2	0.0	1479.0	29.4	0.0	339.1
9	278.4	0.0	2546.0	0.0	0.0	323.9
10	538.9	0.0	3811.0	0.0	0.0	330.4
11	722.2	0.0	4425.0	0.0	0.0	317.0
12	1146.0	0.0	5191.0	0.0	0.0	325.4
Yhteensä	7786.1	0.0	42592.0	107.2	0.0	3899.1

Taulukko 11. Kuukausikohtaiset ilmanvaihdon lämmitysenergiat, vastavirtalämmöntalteenotto esilämmityksellä. Lämpötilahyötysuhde 82.6 %.

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
						
1	1428.0	0.0	5496.0	0.0	0.0	319.9
2	1812.0	0.0	5371.0	0.0	0.0	287.5
3	923.6	0.0	5092.0	0.0	0.0	321.4
4	556.3	0.0	4184.0	0.0	0.0	313.7
5	262.3	0.0	2739.0	6.7	0.0	330.0
6	87.3	0.0	1577.0	10.9	0.0	323.4
7	28.9	0.0	1015.0	61.4	0.0	336.6
8	76.0	0.0	1501.0	29.9	0.0	334.7
9	235.8	0.0	2589.0	0.0	0.0	319.6
10	471.3	0.0	3879.0	0.0	0.0	325.8
11	647.7	0.0	4499.0	0.0	0.0	312.6
12	1150.0	0.0	5258.0	0.0	0.0	320.8
Yhteensä	7679.2	0.0	43200.0	108.9	0.0	3846.0

Taulukko 12. Kuukausikohtaiset ilmanvaihdon lämmitysenergiat, vastavirtalämmöntalteenotto ilman esilämmitystä. Lämpötilahyötysuhde 84.1 %.

4.3 1 m³/s energiasimulointi

Simulointiohjelmaan luotiin ilmanvaihtokoneet koneajojen perusteella. Sisäänpuhallus lämpötila asetettiin 20 °C ja lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila on rajoitettu ilmanvaihtokoneiden koneajojen perusteella. Puhaltimissa on huomioitu 1 °C lämpötilan nousu. Esilämmittimellä varustetun ilmanvaihtokoneen kylmä tuuloilma lämmitetään -15 °C, huurteen ja jään muodostumisen ehkäisemiseksi. Energiasimuloinnin tulokset löytyvät taulukosta 13.

	Esilämmittimellä	Ilman esilämmitystä	Glykoli
Esilämmitys	1.4 MWh		
Lämmitys	35.7 MWh	33.8 MWh	104.0 MWh
Lämmöntalteenotto	132.8 MWh	135.5 MWh	65.7 MWh
Puhaltimet+ apulaitteet	7.2 MWh	7.2 MWh	7.64 MWh
Vuosihyötysuhde	78.1 %	80.0 %	38.7 %

Taulukko 13. Ilmanvaihdon energiasimuloinnin tulokset.

Ilmanvaihdon lämmitysenergiat on laskettu sähköllä lämmitettynä ja kaukolämmöllä. Lämmitysenergian laskennassa on käytetty taulukossa 8 olevia hintoja. Taulukosta 14 löytyvät energiasimuloinnin perusteella lasketut energiakustannukset vuodessa.

	Esilämmittimellä		Ilman esilämmitystä		Glykoli	
	Sähkö	Kaukolämpö	Sähkö	Kaukolämpö	Sähkö	Kaukolämpö
Esilämmitys	113.5 €	77.4 €				
Lämmitys	2895.1 €	1972.8 €	2741.2 €	1867.8 €	8434.4 €	5747.0 €
Puhaltimet+ apulaitteet	583.9 €	583.9 €	583.9 €	583.9 €	619.6 €	619.6 €
Yhteensä	3592.5 €	2634.1 €	3325.1 €	2451.7 €	9 054 €	6366.6 €

Taulukko 14. Ilmanvaihtokoneen kustannukset vuodessa.

Taulukoista 15, 16 ja 17 löytyvät ilmanvaihtokoneiden kuukausikohtaiset energiasimulointi tulokset.

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	14392.0	0.0	8712.0	0.0	0.0	508.1
2	14969.0	0.0	8999.0	0.0	0.0	457.0
3	12444.0	0.0	7622.0	0.0	0.0	509.9
4	9721.0	0.0	6094.0	0.0	0.0	495.6
5	6010.0	0.0	4003.0	9.3	0.0	516.0
6	3207.0	0.0	2345.0	13.8	0.0	502.0
7	1932.0	0.0	1548.0	79.4	0.0	520.3
8	3029.0	0.0	2235.0	39.0	0.0	519.1
9	5638.0	0.0	3785.0	0.0	0.0	499.5
10	8875.0	0.0	5640.0	0.0	0.0	513.2
11	10594.0	0.0	6575.0	0.0	0.0	494.8
12	13276.0	0.0	8106.0	0.0	0.0	509.1
Yhteensä	104087.0	0.0	65664.0	141.5	0.0	6044.6

Taulukko 15. Kuukausikohtaiset ilmanvaihdon lämmitysenergiat, glykolilämmöntalteenotolla. Lämpötilahyötysuhde 68.2 %.

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	5458.0	0.0	17321.0	0.0	0.0	605.9
2	6019.0	0.0	17243.0	0.0	0.0	544.0
3	4438.0	0.0	15626.0	0.0	0.0	609.4
4	3241.0	0.0	12569.0	0.0	0.0	595.1
5	1764.0	0.0	8245.0	19.9	0.0	624.9
6	751.4	0.0	4799.0	32.0	0.0	611.5
7	351.6	0.0	3125.0	181.6	0.0	636.0
8	691.3	0.0	4568.0	89.5	0.0	632.9
9	1615.0	0.0	7805.0	0.0	0.0	605.1
10	2872.0	0.0	11640.0	0.0	0.0	617.7
11	3596.0	0.0	13569.0	0.0	0.0	593.0
12	4910.0	0.0	16312.0	0.0	0.0	608.0
Yhteensä	35707.3	0.0	132822.0	323.0	0.0	7283.5

Taulukko 16. Kuukausikohtaiset ilmanvaihdon lämmitysenergiat, vastavirtalämmöntalteenotto esilämmittimellä. Lämpötilahyötysuhde 76 %.

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	5093.0	0.0	17957.0	0.0	0.0	594.4
2	5495.0	0.0	18415.0	0.0	0.0	532.4
3	4234.0	0.0	15781.0	0.0	0.0	598.8
4	3142.0	0.0	12633.0	0.0	0.0	584.8
5	1706.0	0.0	8280.0	19.6	0.0	614.3
6	732.3	0.0	4801.0	31.0	0.0	601.2
7	324.5	0.0	3147.0	169.2	0.0	625.2
8	662.5	0.0	4587.0	80.6	0.0	622.1
9	1569.0	0.0	7833.0	0.0	0.0	594.8
10	2774.0	0.0	11707.0	0.0	0.0	607.1
11	3500.0	0.0	13630.0	0.0	0.0	582.8
12	4575.0	0.0	16754.0	0.0	0.0	596.8
Yhteensä	33807.3	0.0	135525.0	300.5	0.0	7154.7

Taulukko 17. Kuukausikohtaiset ilmanvaihdon lämmitysenergiat, vastavirtalämmöntalteenotto ilman esilämmitystä. Lämpötilahyötysuhde 76 %.

4.4 2.5 m³/s energiasimulointi

Simulointiohjelmaan luotiin ilmanvaihtokoneet koneajojen perusteella. Sisäänpuhallus lämpötila asetettiin 20 °C ja lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila on rajoitettu ilmanvaihtokoneiden koneajojen perusteella. Puhaltimissa on huomioitu 1 °C lämpötilan nousu. Esilämmittimellä varustetun ilmanvaihtokoneen kylmä tuulilma lämmitetään -18 °C, huurteen ja jään muodostumisen ehkäisemiseksi. Energiasimuloinnin tulokset löytyvät taulukosta 18.

	Vastavirta	Glykoli
Esilämmitys	3.1 MWh	
Lämmitys	60.0 MWh	263.6 MWh
Lämmöntalteenotto	360.1 MWh	162.3 MWh
Puhaltimet+ apulaitteet	27.3 MWh	36.1MWh
Vuoshiyötysuhde	85.0 %	38.1 %

Taulukko 18. Ilmanvaihdon energiasimuloinnin tulokset.

Ilmanvaihdon lämmitysenergiat on laskettu sähköllä lämmitettynä ja kaukolämmöllä. Lämmitysenergian laskennassa on käytetty taulukossa 8 olevia hintoja. Taulukosta 19 löytyvät energiasimuloinnin perusteella lasketut energiakustannukset vuodessa.

	Vastavirta		Glykoli	
	Sähkö	Kaukolämpö	Sähkö	Kaukolämpö
Esilämmitys	251.4 €	171.3 €		
Lämmitys	4866.0 €	3315.6 €	21377.9 €	14566.5 €
Puhaltimet+ apulaitteet	2214.0 €	2214.0 €	2927.7 €	2927.7 €
Yhteensä	7331.4 €	5700.9 €	24305.6 €	17494.2 €

Taulukko 19. Ilmanvaihtokoneen kustannukset vuodessa.

Taulukoista 20 ja 21 löytyvät ilmanvaihtokoneiden kuukausikohtaiset energiasimulointi tulokset.

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	10721.0	0.0	46205.0	0.0	0.0	2265.0
2	12961.0	0.0	45271.0	0.0	0.0	2035.0
3	7473.0	0.0	42600.0	0.0	0.0	2276.0
4	4646.0	0.0	34803.0	0.0	0.0	2223.0
5	2248.0	0.0	22746.0	49.8	0.0	2339.0
6	751.8	0.0	13098.0	73.8	0.0	2292.0
7	226.9	0.0	8453.0	419.6	0.0	2385.0
8	623.0	0.0	12505.0	196.1	0.0	2372.0
9	2022.0	0.0	21493.0	0.0	0.0	2265.0
10	3998.0	0.0	32213.0	0.0	0.0	2309.0
11	5343.0	0.0	37500.0	0.0	0.0	2214.0
12	8986.0	0.0	44034.0	0.0	0.0	2272.0
Yhteensä	59999.7	0.0	360921.0	739.3	0.0	27247.0

Taulukko 20. Kuukausikohtaiset ilmanvaihdon lämmitysenergiat, vastavirtalämmöntalteenotto esilämmittimellä. Lämpötilahyötysuhde 83.7 %.

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	36419.0	0.0	21546.0	0.0	0.0	3026.0
2	37888.0	0.0	22245.0	0.0	0.0	2724.0
3	31492.0	0.0	18851.0	0.0	0.0	3035.0
4	24617.0	0.0	15058.0	0.0	0.0	2947.0
5	15261.0	0.0	9869.0	19.6	0.0	3064.0
6	8175.0	0.0	5765.0	21.5	0.0	2978.0
7	4869.0	0.0	3870.0	141.4	0.0	3084.0
8	7661.0	0.0	5552.0	66.2	0.0	3079.0
9	14328.0	0.0	9316.0	0.0	0.0	2966.0
10	22489.0	0.0	13930.0	0.0	0.0	3051.0
11	26825.0	0.0	16251.0	0.0	0.0	2943.0
12	33611.0	0.0	20035.0	0.0	0.0	3031.0
Yhteensä	263635.0	0.0	162288.0	248.7	0.0	35928.0

Taulukko 21. Kuukausikohtaiset ilmanvaihdon lämmitysenergiat, glykolilämmöntalteenotolla. Lämpötilahyötysuhde 68.1 %.

4.5 5 m³/s energiasimulointi

Simulointiohjelmaan luotiin ilmanvaihtokone koneajojen perusteella. Sisäänpuhallus lämpötila asetettiin 20 °C ja lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila on rajoitettu ilmanvaihtokoneiden koneajojen perusteella. Puhaltimissa on huomioitu 1 °C lämpötilan nousu. Energiasimuloinnin tulokset löytyvät taulukosta 22.

	Glykoli
Lämmitys	580.2 MWh
Lämmöntalteenotto	244.5 MWh
Puhaltimet+ apulaitteet	72.7 MWh
Vuosihyötysuhde	42.1 %

Taulukko 22. Ilmanvaihdon energiasimuloinnin tulokset.

Ilmanvaihdon lämmitysenergiat on laskettu sähköllä lämmitettynä ja kaukolämmöllä. Lämmitysenergian laskennassa on käytetty taulukossa 8 olevia hintoja. Taulukosta 23 löytyvät energiasimuloinnin perusteella lasketut energiakustannukset vuodessa.

	Glykoli	
	Sähkö	Kaukolämpö
Lämmitys	46474.0 €	32061.9 €
Puhaltimet+ apulaitteet	5823.3 €	5823.3 €
Yhteensä	52297.3 €	37885.2 €

Taulukko 23. Ilmanvaihtokoneen kustannukset vuodessa.

Taulukosta 24 löytyy ilmanvaihtokoneen kuukausikohtaiset energiasimulointi tulokset.

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	79775.0	0.0	32448.0	0.0	0.0	6109.0
2	82909.0	0.0	33468.0	0.0	0.0	5504.0
3	69118.0	0.0	28407.0	0.0	0.0	6122.0
4	54193.0	0.0	22677.0	0.0	0.0	5940.0
5	33804.0	0.0	14860.0	24.4	0.0	6167.0
6	18264.0	0.0	8700.0	23.1	0.0	5987.0
7	11008.0	0.0	5868.0	164.6	0.0	6197.0
8	17143.0	0.0	8400.0	72.4	0.0	6188.0
9	31763.0	0.0	14020.0	0.0	0.0	5969.0
10	49584.0	0.0	20973.0	0.0	0.0	6147.0
11	58970.0	0.0	24480.0	0.0	0.0	5935.0
12	73715.0	0.0	30166.0	0.0	0.0	6116.0
Yhteensä	580246.0	0.0	244467.0	284.5	0.0	72381.0

Taulukko 24. Kuukausikohtaiset ilmanvaihdon lämmitysenergiat, glykolilämmöntalteenotolla. Lämpötilahyötysuhde 68.9 %.

5 Ilmanvaihdon elinkaarikustannukset ja takaisinmaksuajat

Laskentaan käytetään hintoina ilmanvaihtokoneiden valmistajien ilmoittamia hintoja. Hinnat sisältävät ilmanvaihtokoneen sähköllä ja automatiikalla varusteltuina. Asennuskustannuksia ei huomioida laskennoissa. Glykoli -lämmöntalteenoton apulaitteiden ja putkien hintoina käytetään, 1 m³/s 3000 €, 2,5 m³/s 5000 € ja 5 m³/s 7000 €. Esilämmityspatterin glykolipiirin apulaitteiden ja putkien hintoina käytetään 0,3 m³/s 1000 €, 1 m³/s 3000 € ja 2,5 m³/s 5000 €. Ilmanvaihdon lämmitysenergian hintoina käytetään kaukolämmönhintaa. Sähköisen esilämmityspatterin vaikutus sähköliittymän hintaan on huomioitu sähköenergia kustannuksiin, Kuopion energian hinnaston mukaan 43,4 €/A. Rakentamiskustannuksiin on laskettu tilantarve tilavarausten mukaan, hintana käytetään 2000 €/m². Ylläpito- ja huoltokustannuksiin on huomioitu koneiden puhdistus ja suodattimien vaihdot kaksi kertaa vuodessa.

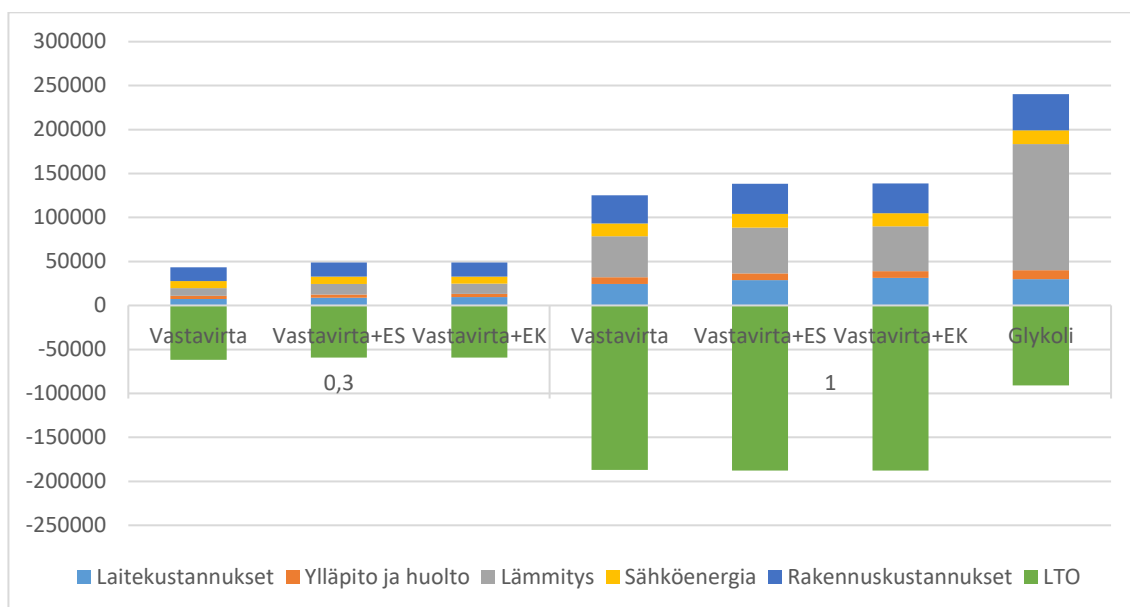
5.1 Elinkaarikustannukset

Elinkaarilaskennan tarkoituksena on ennakoida tietyn järjestelmän elinkaaren aikana muodostuvia kustannuksia. Elinkaarilaskelmien avulla voidaan tarkastella periteisen investointikustannuksien sijaan elinkaarikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto. Lasketun laskentajakson pituus on 25 vuotta. Elinkaarilaskelman tarkat euromääräiset summat on esitetty liitteessä 5.

Elinkaarilaskelmiin on otettu huomioon seuraavat kustannukset:

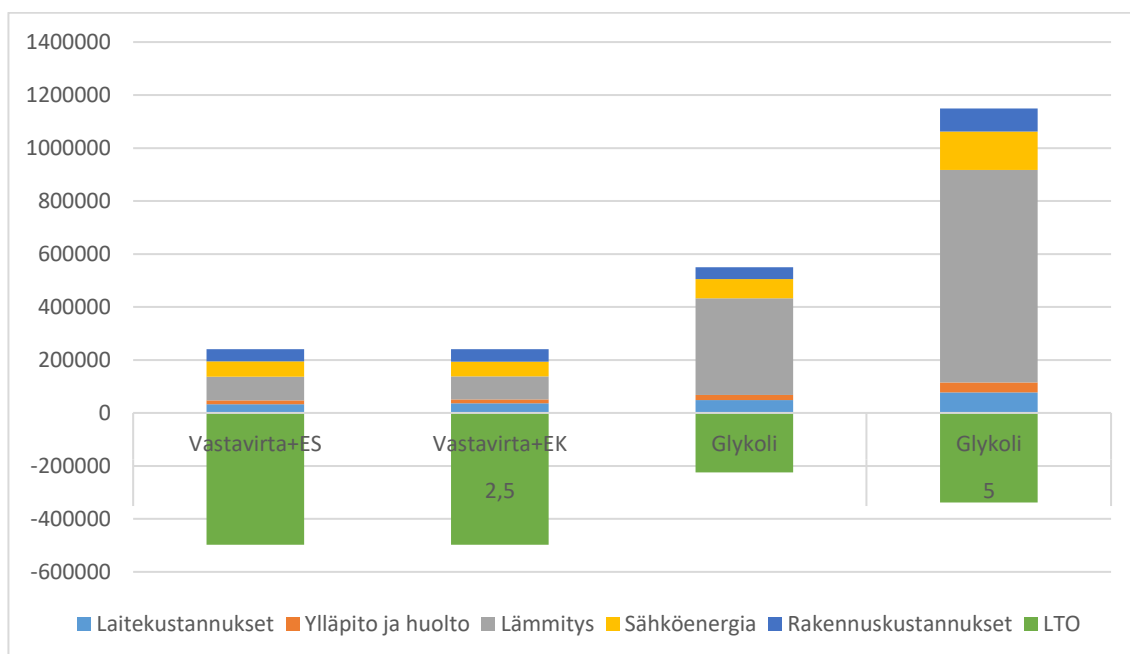
- laiteinvestoinnit
- ylläpito- ja huoltokustannukset
- lämmitysenergia kustannukset
- sähköenergian kustannukset
- rakentamiskustannukset.

Elinkaarilaskelmat 0,3 m³/s ja 1 m³/s ilmanvaihtokoneille on esitetty kuviossa 1.



Kuvio 1. Elinkaarilaskelmat 0,3 m³/s ja 1 m³/s koneille. Vastavirta+ES = esilämmitys sähköisenä. Vastavirta+EK = esilämmitys kaukolämmöllä. Vastavirta= ilman esilämmitystä. Glykoli = glykoli-lto.

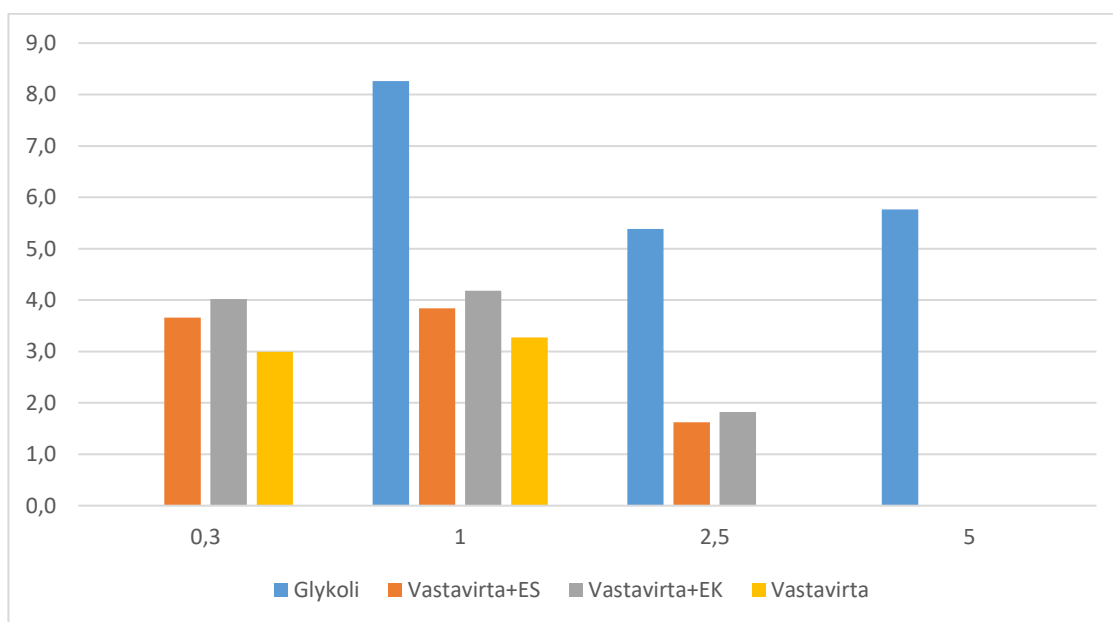
Elinkaarilaskelmat 2,5 m³/s ja 5 m³/s ilmanvaihtokoneille on esitetty kuviossa 2.



Kuvio 2. Elinkaarilaskelmat 2,5 m³/s ja 5 m³/s koneille. Vastavirta+ES = esilämmitys sähköisenä. Vastavirta+EK = esilämmitys kaukolämmöllä. Vastavirta= ilman esilämmitystä. Glykoli = glykoli-lto.

5.2 Takaisinmaksuajat

Takaisinmaksuaika perustuu ilmanvaihtokoneen kokonaishankinta kustannuksien vertaamisesta lämmöntalteenoton vuotuisen rahalliseen säästöön. Ilmanvaihtokoneen kokonaishankintahinta koostuu itse ilmanvaihtokoneesta, automaattikalaitteista, lämmöntalteenoton apulaitteista sekä sähkö-, putki- ja automatiikka asennuksista. Kuvio 3 löytyy takaisinmaksuajat vuosina.



Kuvio 3. Ilmanvaihtokoneiden takaisinmaksuajat. Vastavirta+ ES = esilämmitys sähköisenä. Vastavirta+ EK= esilämmitys kaukolämmöllä. Vastavirta= ilman esilämmitystä. Glykoli= glykoli-LTO.

6 Pohdinta

6.1 Tulosten luotettavuus

Ilmanvaihdon lämmitysenergian tarpeiden simulointi tehtiin IDA ICE -simulointiohjelmistolla. Opinnäytetyön energiasimuloinnit on tehty pelkästään ilmanvaihdon lämmitysenergioita varten, mitoitetuille ilmanvaihtokoneille. IDA ICE simulointiohjelmistolla on SFS-EN 15265 standardi, jonka on eurooppalainen

standardijärjestö CEN vahvistanut ja määritellyt validointitestin. IDA ICE ohjelmistoa käytetään yleisesti energiatodistuksen laatimisessa ja talotekniikan suunnittelutoimistoissa. Energiasimulointeja voidaan pitää näin ollen luotettavina, työssä käytetyillä arvoilla.

Energiasimuloinnin oikeellisuuteen vaikuttaa suuresti käytetyt arvot simulointi ohjelmistoissa. Tässä työssä simuloitiin ilmanvaihdon lämmitysenergioita, joten merkittävimpinä asioina olivat sää- ja sijaintidata, sekä ilmanvaihdon ja primaarijärjestelmän arvot. Sää- ja sijaintidatana käytettiin Jyväskylän 2012 tuntikohtaista säädataa, joka on ympäristöministeriön vaatimukset täyttävä. Ilmanvaihtokoneiden mitoitus tehtiin valmistajien mitoitusohjelmistoilla. Mitoittavana säävyöhykkeenä käytettiin vyöhykkeen 3 mitoitusarvoja, jossa mitoittava ulkolämpötila on -32 °C, joka on sama kuin Jyväskylän 2012 säätieta. Ilmanvaihtokoneiden mitoitusarvot ovat taulukossa 3. Konevalmistajien mitoitusohjelmista saatiin koneiden hinnat ja tekniset tiedot.

6.2 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus vertailla glykoli- ja vastavirtalevyllämmönlämmöntäteenoton takaisinmaksuaikoja, investointi- ja elinkaarikustannuksia, ilmanvaihdon lämmitysenergian kustannuksia sekä lämpötila- ja vuosihyötysuhteita. Vertailu toteutettiin mitoittamalla ilmanvaihtokoneet valmistajien mitoitusohjelmilla, ilmavirroille 0,3 m³/s, 1 m³/s, 2,5 m³/s ja 5 m³/s. Ilmanvaihdon energia simuloinnit toteutettiin IDA ICE -simulointiohjelmistolla, jossa käytettiin Kuopiossa olevan rakennuksen IFC-mallia.

Ilmanvaihtokoneiden mitoitukset tehtiin kaikille koneille samoilla mitoitustiedoilla taulukon 2 mukaan, säävyöhykkeelle 3 jossa mitoituslämpötila on -32°C. 0,3 m³/s ilmanvaihtokoneet mitoitettiin Enervent Oy:n mitoitusohjelmistolla. Valmistajilta ei löytynyt tämän kokosiin koneisiin glykoli-lämmönlämmöntäteenotolla ilmanvaihtokoneita, siten koneet mitoitettiin vastavirtakoneiksi esilämmityksellä ja ilman esilämmitystä. 1m³/s ilmanvaihtokoneet mitoitettiin Koja Oy:n mitoitusohjelmalla, tässä

kokoluokassa koneisiin löytyy glykoli- ja vastavirtalevylämmöntalteenotto. Vastavirtalämmöntalteenotto mitoitettiin ilman esilämmitystä. 2,5 m³/s ilmanvaihtokoneet mitoitettiin Koja Oy:n ja FläktGroup:n mitoitusohjelmilla, glykoli-lämmöntalteenotolla olevan ilmanvaihtokoneen mitoitus tehtiin Koja Oy:n ja vastavirtalevylämmöntalteenoton FläktGropi:n mitoitusohjelmalla. Näin suuritehoisia vastavirtalevylämmöntalteenottoa ei valmisteta ilman esilämmityspatteria, esilämmitys vaaditaan helpottamaan koneen mahdollista huurteensulatusta. 5 m³/s ilmanvaihtokoneita vastavirtalevylämmöntalteenotolla ei valmistajilta löytynyt, suurin vastavirtalevylämmöntalteenotto löytyi FläktGroup:lta joka oli 2,9 m³/s. 5 m³/s ilmanvaihtokone mitoitettiin vain glykoli-lämmöntalteenotolla, Koja Oy:n mitoitusohjelmalla.

Ilmanvaihdon lämmitysenergian tarpeeseen vaikuttaa suuresti ilmanvaihtokoneen lämpötilahyötysuhteet. Glykoli-lämmöntalteenotossa lämpötilahyötysuhteet mitoitettujen koneiden osalla olivat 68,1 % - 68,9 % kun vastavirtalevylämmöntalteenotossa lämpötilahyötysuhteet olivat 76 % - 84,1 %. Simuloitujen lämmitysenergioiden perusteella lasketut vuosihyötysuhteet, olivat glykoli-lämmöntalteenotossa 38,1 % - 42 % ja vastavirtalevylämmöntalteenotossa 78 % - 85 %. Vuosihyötysuhteen laskennoista voidaan todeta, esilämmityspatterin madaltavan vuosihyötysuhdetta parilla prosentilla. Glykoli-lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteet ei täyttäisi yksistään energiavaatimuksia tulosten perusteella. Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen vertailuarvo 55% ei täyty.

Takaisinmaksuajoissa vastavirtalevylämmöntalteenotto on huomattavasti järkevämpi investointi. Glykoli-lämmöntalteenoton matala vuosihyötysuhde ja kalliimmat hankintakustannukset nostavat takaisinmaksuaikaa huomattavasti suuremmaksi kuin vastavirtalevylämmöntalteenotossa. Vastavirtalevylämmöntalteenottoa kannattaa tulosten mukaan käyttää glykoli-lämmöntalteenoton sijasta aina kun se on mahdollista. Huurteen muodostumisen takia, ilman esilämmitystä oleva vastavirtalevylämmöntalteenotto on pitkiä aikoja sulatuksella ääriolosuhteissa. Sulatusaika pienentää suuresti lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta, joka kasvattaa takaisinmaksuaikaa. Ilmanvaihtokoneiden valmistajat suosittelevat esilämmityksen käyttöä kylmissä olosuhteissa.

Elinkaarilaskelmien tulosten perusteella glykoli-lämmöntalteenotto on selvästi kalliimpi kuin vastavirtalevylämmöntalteenotto. Vastavirtalevylämmöntalteenotossa sähköinen esilämmityspatteri on takaisinmaksuajoissa järkevämpi investointi, verrattuna nestekiertoiseen. 25 vuoden ajalle tehtyjen elinkaarilaskelmien mukaan, sähkötoiminen esilämmityspatteri $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ja $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ilmavirroilla on kannattavampi. $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ilmavirralla olevan vastavirtalevylämmöntalteenoton esilämmitys on järkevämpää toteuttaa nestekiertoisena esilämmityksellä, vaikka takaisinmaksuajoissa sähköisellä esilämmityksellä oleva ilmanvaihtokone on kannattavampi. Sähkötoimisen esilämmityspatterin teho kasvaa suuremmissa koneissa kymmeniin kilowatteihin, se vaikuttaa sähköliittymän kokoon ja siten myös hintaan nostavasti.

Nestekiertoisen esilämmityksen hankintakustannukset ovat kalliimmat, mutta energian hinta pienempi. Suuremmissa koneissa esilämmityksen energiatarve kasvaa isoksi, vaikka se on vain pienen osan vuodessa käytössä kovien pakkasten aikaan. Pienemmissä vastavirtalämmöntalteenotolla olevien ilmanvaihtokoneiden esilämmityksessä on kannattavaa käyttää sähköistä esilämmitystä ja suuremmissa koneissa nestekiertoista.

Opinnäytetyö prosessissa haastavinta oli energiasimuloinnit, aiempaa kokemusta ei ollut IDA ICE simulointiohjelmista, jäähdytysjärjestelmät opintojaksolla käytimme energiasimulointeihin Riuska -ohjelmistoa. IDA ICE:llä simuloimiseen kului paljon aikaa ohjelmiston opiskeluun, tulosten simulointi kuitenkin onnistui hyvin. Työtä voisi kehittää simuloimalla ilmanvaihtokoneet pienemmillä ilmavirtojen erolla. Pienemmillä ilmavirtojen erolla saataisiin tarkemmin selville missä ilmavirrassa esilämmitys nestekiertoisena on järkevämpää.

Lähteet

1. Korkkala, T. & Laksola, J. 2012. Ilmastointi Hoito ja huolto. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy.
2. Isosaari, K. 2012. Mistä energiaa taloon? Omakotiasujan energia- ja ympäristöopas. Helsinki: Otavamedia.
3. Harju, P. 2008. Ilmastointitekniikan oppikirja 1. Kouvola: Penan tieto-opus.
4. Ympäristöministeriö. 2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017. Helsinki: Oikeusministeriö.
5. Komission asetus N:1253/2014. 2014. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/125/EY täytäntöönpanosta ilmanvaihtokoneiden ekologisen suunnittelun vaatimuksien osalta. Bryssel: Euroopan komissio
6. Ympäristöministeriö. 2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Helsinki. Oikeusministeriö.
7. Ympäristöministeriö. 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennuksen sisäilma ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet. Helsinki: Ympäristöministeriö.
8. Rakennustietosäätiö. 2018. Sisäilmaluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Espoo: Rakennustieto Oy
9. Lappalainen, M. 2010. Energia- ja ekologiakäsikirja suunnittelu ja rakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.
10. Sandberg, E. 2014. Sisäilma ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka osa 1. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
11. Enervent. 2018. Esilämmitys ja -jäähdytys ilmanvaihtolaitteelle. Porvoo: Enervent Oy.
12. Ympäristöministeriö. 2003. Ympäristöministeriön moniste 122. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. Helsinki: Ympäristöministeriö
13. Ympäristöministeriö. 2011. Tasauslaskentaopas 2012. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. Helsinki: Ympäristöministeriö
14. Equa. 2020. Suomi-lokalisaatio. <https://www.equa.se/fi/ida-ice/localization/finland>. Luettu 15.10.2019.
15. Equa. 2020. Validointi ja sertifikaatit. <https://www.equa.se/fi/ida-ice/validation-certifications>. Luettu 15.10.2019.

Ilmanvaihtokoneiden LTO:n mitoitus 0,3m³/s

VASTAVIRTALÄMMÖNSIIRIN, ESILÄMMITYS 0.3m³/s	
	Lämpötilahyötysuhde 82.6 %
	Lämpötilahyötysuhde EKO 79.4 %
	SFS-EN 308
	Lämpötilahyötysuhde vaatimus 2018 73 %
	Teho 10.98 kW
Talvi:	
	TULOILMA
	Tuloilmavirta 0.30 m ³ /s
	Tuloilman lämpötila -18.0 °C
	Tuloilma LTO:n jälkeen 15.4 °C
	Otsapintanopeus 0.94 m/s
	Painehäviö ulkoilma 66 Pa
	POISTOILMA
	Poistoilmavirta 0.30 m ³ /s
	Poistoilman lämpötila 22.0 °C
	Poistoilma LTO:n jälkeen -3.9 °C
	Otsapintanopeus 1.09 m/s
	Painehäviö poistoilma 68 Pa
Kesä:	
	TULOILMA
	Tuloilmavirta 0.30 m ³ /s
	Tuloilman lämpötila 27.0 °C
	Tuloilma LTO:n jälkeen 23.0 °C
	Otsapintanopeus 1.09 m/s
	Painehäviö ulkoilma 72 Pa
	POISTOILMA
	Poistoilmavirta 0.30 m ³ /s
	Poistoilman lämpötila 22.0 °C
	Poistoilma LTO :n jälkeen 26.0 °C
	Otsapintanopeus 1.11 m/s
	Painehäviö poistoilma 72 Pa
	LTO:n ohitus Lohkopelti
ILMANVAIHDON VUOSIHYÖTYSUHDE	
	Ilmavirtojen suhde (tulo/poisto) 1.00
	Poistoilmavirtojen suhde (kone/rakennus) 0.98
	Jäätymissuoja 0.0 °C
	LTO:n poistoilman vuosihyötysuhde 75.5 %
	Säävyöhyke Jyväskylä (TRY 2012)
LÄMMITIN	
	ETULÄMMITYSPATTERI, SÄHKÖ LYS2-8,5

Valmistaja pidättää oikeuden muutoksiin.

Ilmanvaihtokoneiden LTO:n mitoitus 0,3m³/s

Teho	5.76 kW
Lämpötila ennen patteria	-32.0 °C
Lämpötila patterin jälkeen	-16.0 °C
Ilman painehäviö	10.0 Pa
Sähköteho	5.95 kW
Maksimi teho	8.50 kW
LÄMMITYSPATTERI, NESTE	EC-LÄMM-640-420-1-1.6-25K-1-V-15
Teho	6.70 kW
Lämpötila ennen patteria	1.4 °C
Lämpötila patterin jälkeen	20.0 °C
Ilman nopeus	1.12 m/s
Ilman painehäviö	8 Pa
Rivit	1
Reitit	1
Tulevan nesteen lämpötila	50.0 °C
Lähtevän nesteen lämpötila	30.0 °C
Nestevirtaus	0.08 l/s
Nesteen virtausnopeus	0.49 m/s
Nestepainehäviö	1.6 kPa
Putkiyhde	25 DN
VASTAVIRTALÄMMÖNSIIRRIN, ILMAN ESILÄMMITYSTÄ 0.3m³/s	
Lämpötilahyötysuhde	84.1 %
Lämpötilahyötysuhde EKO SFS-EN 308	79.4 %
Lämpötilahyötysuhde vaatimus 2018	73 %
Teho	15.57 kW
Talvi:	
TULOILMA	
Tuloilmavirta	0.30 m ³ /s
Tuloilman lämpötila	-32.0 °C
Tuloilma LTO:n jälkeen	13.4 °C
Otsapintanopeus	0.88 m/s
Painehäviö ulkoilma	64 Pa
POISTOILMA	
Poistoilmavirta	0.30 m ³ /s
Poistoilman lämpötila	22.0 °C
Poistoilma LTO:n jälkeen	-13.8 °C
Otsapintanopeus	1.09 m/s
Painehäviö poistoilma	67 Pa
Kesä:	
TULOILMA	

Valmistaja pidättää oikeuden muutoksiin.

Ilmanvaihtokoneiden LTO:n mitoitus 0,3m³/s

Tuloilmavirta	0.30 m ³ /s
Tuloilman lämpötila	27.0 °C
Tuloilma LTO:n jälkeen	23.0 °C
Otsapintanopeus	1.09 m/s
Painehäviö ulkoilma	72 Pa
POISTOILMA	
Poistoilmavirta	0.30 m ³ /s
Poistoilman lämpötila	22.0 °C
Poistoilma LTO:n jälkeen	26.0 °C
Otsapintanopeus	1.11 m/s
Painehäviö poistoilma	72 Pa
LTO:n ohitus	Lohkopelti
ILMANVAIHDON VUOSIHYÖTYSUHDE	
Ilmavirtojen suhde (tulo/poisto)	1.00
Poistoilmavirtojen suhde (kone/rakennus)	0.98
Jäätymissuoja	0.0 °C
LTO:n poistoilman vuosihyötysuhde	75.5 %
Säävyöhyke	Jyväskylä (TRY 2012)

Valmistaja pitää oikeuden muutoksiin.

Ilmanvaihtokoneiden LTO:n mitoitus 1m³/s

Future++
Ohjelmaversio 2020-01-28

9.1.2020
Sivu: 3 / 29
Oppari TK1 G / PK1 G

1m³/s Glykolikone

Lämmöntalteenotto toiminto, patteri	FRTG-1506-R-8-1-2.0-3-2-30-T-S
Patterin riviluku	8
Patterin reittiluku	3
Lamellijako	2 mm
Lamellipaksuus	0.18 mm
Putkien ja lamellien materiaali	Cu/Al
Putkiyhteet	L25/28.0
Ilmapuolen painehäviö	37 Pa
Ilman lämpötila ennen LTO:a	-32.0 °C
Ilman lämpötila LTO:n jälkeen huurtumistilanteessa	-10.1 °C
Lämmitysteho	26.5 kW
Nestetyyppi	Etyleeniglykoli (Pitoisuus 30)
Nesteen painehäviö	127.2 kPa
Nestevirta	0.37 kg/s
Nesteen nopeus	0.97 m/s
Nestetilavuus	24.4 l
Lämpötilahyötysuhde, EN308	68.2 %
Lämpötilahyötysuhde, EN308 tasailmavirrin	68.2 %

Teho ilman rajoitusta:

Ulkoilman lämpötila	-32.0	-21.3	-10.7	0.0	10.7 °C
Lämpötila ulos	3.9	7.9	11.4	14.9	18.4 °C
Tuloilman lämpötilahyötysuhde	66	67	68	68	69 %
Teho	43.3	35.3	26.7	18.0	9.5 kW
Huurtumisen esto alkaa ulkolämpötilassa					-10.4 °C
Huurtumissuojatermostaatin asetusarvo nesteelle					-3.3 °C
Tulopatteri	FROG-1506-R-8-1-2.0-3-2-30-T-S-L25/28.0				
Keskiarvolämpötila-anturi	TEKA NTC 10				
Putkilaippa	FPZL-DN25-*4				

Koja Oy
PL 351
Lentokentänkatu 7
33101 Tampere

Puhelinnumero

Telefax

Email
etunimi.sukunimi@koja.fi

Oppari 1m3_koneet.kft

Ilmanvaihtokoneiden LTO:n mitoitus 1m³/s

Future++
Ohjelmaversio 2020-01-28

9.1.2020
Sivu: 4 / 29
Oppari TK1 G / PK1 G

Lämmöntalteenotto toiminto, patteri	FRTG-1506-R-10-1-2.4-3-2-30-P-S	
Patterin riviluku		10
Patterin reittiluku		3
Lamellijako		2.4 mm
Lamellipaksuus		0.18 mm
Putkien ja lamellien materiaali		Cu/Al
Putkiyhteet		L25/28.0
Ilmapuolen painehäviö		38 Pa
<hr/>		
Ilman lämpötila ennen LTO:a		22.0 °C
Ilman lämpötila LTO:n jälkeen huurtumistilanteessa		2.1 °C
Lämmitysteho		-26.3 kW
Nestetyyppi	Etyleeniglykoli (Pitoisuus 30)	
Nesteen painehäviö		158.9 kPa
Nestevirta		0.37 kg/s
Nesteen nopeus		0.97 m/s
Nestetilavuus		30.5 l
Lämpötilahyötysuhde, EN308		68.2 %
Lämpötilahyötysuhde, EN308 tasailmavirroin		68.2 %
Poistopatteri	FJOV-1506-R-10-1-2.4-3-2-30-S-L25/28.0	
Putkilaippa	FPZL-DN25-*4	

Ilmanvaihtokoneiden LTO:n mitoitus 1m³/s

Future++
Ohjelmaversio 2020-01-28

19.3.2020
Sivu: 11 / 29
Oppari TK2 V+E / PK2 V+E

1m³/s Vastavirta+esilämmitys

2. Vaippamoduuli

Tyyppi
Vaipan materiaali (sisä/ulko)

Sähkölämmitystoiminto

Kokonaisteho
Lämmitysteho
Lämpötila ennen patteria
Lämpötila patterin jälkeen
Painehäviö
Jännite
Suojausluokka
Min. ilmavirta
Lämmityspatteri, sähkö

FMOD-0909-R-1-450-1-S

Future
Kuumasinkitty/Kuumasinkitty
FLTE-0909-R-1-N-400
24.5 kW
20.5 kW
-32.0 °C
-15.0 °C
3 Pa
3~400V
IP43
0.87 m³/s
FnEZ-0909-R-A024.5-3400-43-C-V

3. Vaippamoduuli

Tyyppi
Vaipan materiaali (sisä/ulko)

Lämmöntalteenotto toiminto, levy

Levypankan materiaali
Pellistö
Pellistön materiaali
Painehäviö, tulo/poisto
Tuloilman lämpötila / suhteellinen kosteus ennen LTO:a talvella
Tuloilman lämpötila / suhteellinen kosteus LTO:n jälkeen talvella
Poistoilman lämpötila / suhteellinen kosteus ennen LTO:a talvella
Poistoilman lämpötila / suhteellinen kosteus LTO:n jälkeen talvella
Tuloilman lämpötila / suhteellinen kosteus ennen LTO:a kesällä
Tuloilman lämpötila / suhteellinen kosteus LTO:n jälkeen kesällä
Poistoilman lämpötila / suhteellinen kosteus ennen LTO:a kesällä
Poistoilman lämpötila / suhteellinen kosteus LTO:n jälkeen kesällä

Lämpötilahyötysuhde, tulo/poisto
Lämpötilahyötysuhde, EN308
Lämpötilahyötysuhde, EN308 tasailmavirroin
Lämmöntalteenotto, levysiirrin
Keskiarvolämpötila-anturi
Vesilukko
Vesiyhde
Paine-erolähetin

FMOD-0909-R-1-N-2-205-L-1-02-240

Future
Kuumasinkitty/Kuumasinkitty
FRTL-0909-R-1-N-2-LP-RV-E
Alumiini
Ohitus- ja lohkosulatuspellistö
Alumiini
97 / 99 Pa
-15.0 °C / 13 %
14.2 °C / 1 %
22.0 °C / 30 %
-2.5 °C / 100 %
27.0 °C / 55 %
23.3 °C / 69 %
22.0 °C / 30 %
25.7 °C / 24 %

78.9 / 66.2 %
76.0 %
76.0 %
FROL-1190-0810-0960-S0E-AL-00
TEKA NTC 10
FVZL-VL1-25/32
FYZY-VY1-25
DPT2500-R8-AZ-D

Koja Oy
PL 351
Lentokentänkatu 7
33101 Tampere

Puhelinnumero

Telefax

Email
etunimi.sukunimi@koja.fi

Oppari 1m3_koneet.kft

Ilmanvaihtokoneiden LTO:n mitoitus 1m³/s

Future++
Ohjelmaversio 2020-01-28

19.3.2020
Sivu: 21 / 29
Oppari TK2 IlmanE / PK2 IlmanE

1m³/s Vastavirta

2. Vaippamoduuli

FMOD-0909-R-1-N-2-205-L-1-02-240

Tyyppi	Future
Vaipan materiaali (sisä/ulko)	Kuumasinkitty/Kuumasinkitty
Lämmöntalteenotto toiminto, levy	FRTL-0909-R-1-N-2-OP-RV-E
Levyypakan materiaali	Alumiini
Pellistö	Ohituspellistö
Pellistön materiaali	Alumiini
Painehäviö, tulo/poisto	94 / 99 Pa
Tuloilman lämpötila / suhteellinen kosteus ennen LTO:a talvella	-32.0 °C / 60 %
Tuloilman lämpötila / suhteellinen kosteus LTO:n jälkeen talvella	10.4 °C / 2 %
Poistoilman lämpötila / suhteellinen kosteus ennen LTO:a talvella	22.0 °C / 30 %
Poistoilman lämpötila / suhteellinen kosteus LTO:n jälkeen talvella	-11.4 °C / 100 %
Tuloilman lämpötila / suhteellinen kosteus ennen LTO:a kesällä	27.0 °C / 55 %
Tuloilman lämpötila / suhteellinen kosteus LTO:n jälkeen kesällä	23.3 °C / 69 %
Poistoilman lämpötila / suhteellinen kosteus ennen LTO:a kesällä	22.0 °C / 30 %
Poistoilman lämpötila / suhteellinen kosteus LTO:n jälkeen kesällä	25.7 °C / 24 %
Lämpötilahyötysuhde, tulo/poisto	78.6 / 61.9 %
Lämpötilahyötysuhde, EN308	76.0 %
Lämpötilahyötysuhde, EN308 tasailmavirrin	76.0 %

Ilmanvaihtokoneiden LTO:n mitoitus 2,5m³/s

Future++
Ohjelmaversio 2019-04-09

5.2.2020
Sivu: 3 / 1
TK1 / PK1

2.5m³/s Glykolikone

Lämmöntalteenotto toiminto, patteri (tulo)	FRTG-1515-R-8-1-2.0-7-2-30-T-S
Patterin riviluku	8
Patterin reittiluku	7
Lamellijako	2 mm
Lamellipaksuus	0.18 mm
Putkien ja lamellien materiaali	Cu/Al
Putkiyhteet	L32/35.0
Ilmapuolen painehäviö	39 Pa
Ilman lämpötila ennen LTO:a	-32.0 °C
Ilman lämpötila LTO:n jälkeen huurtumistilanteessa	-10.1 °C
Lämmitysteho	65.9 kW
Nestetyyppi	Etyleeniglykoli (Pitoisuus 30)
Nesteen painehäviö	146.4 kPa
Nestevirta	0.91 kg/s
Nesteen nopeus	1.04 m/s
Nestetilavuus	58.0 l
Lämpötilahyötysuhde, EN308	68.1 %
Lämpötilahyötysuhde, EN308 tasailmavirrin	68.1 %

Teho ilman rajoitusta:

Ulkoilman lämpötila	-32.0	-21.3	-10.7	0.0	10.7 °C
Lämpötila ulos	4.0	7.9	11.4	14.8	18.4 °C
Tuloilman lämpötilahyötysuhde	67	67	67	67	69 %
Teho	108.5	88.3	66.6	45.0	23.7 kW
Huurtumisen esto alkaa ulkolämpötilassa					-10.3 °C
Huurtumissuojatermostaatin asetusarvo nesteelle					-3.2 °C
Tulopatteri	FROG-1515-R-8-1-2.0-7-2-30-T-S-L32/35.0				
Keskiarvolämpötila-anturi	TEKA NTC 10				
Putkilaiippa	FPZL-DN32-*4				

Koja Oy

Puhelinnumero

Telefax

Email

PL 351
Lentokentänkatu 7
33101 Tampere

etunimi.sukunimi@koja.fi

Oppari 1m3_koneet.kft

Ilmanvaihtokoneiden LTO:n mitoitus 2,5m³/s

Future++
Ohjelmaversio 2019-04-09

5.2.2020
Sivu: 7 / 1
TK1 / PK1

2.5m³/s Glykolikone

Lämmöntalteenotto toiminto, patteri	FRTG-1515-R-10-1-2.4-7-2-30-P-S
Patterin riviluku	10
Patterin reittiluku	7
Lamellijako	2.4 mm
Lamellipaksuus	0.18 mm
Putkien ja lamellien materiaali	Cu/Al
Putkiyhteet	L32/35.0
Ilmapuolen painehäviö	41 Pa
Ilman lämpötila ennen LTO:a	22.0 °C
Ilman lämpötila LTO:n jälkeen huurtumistilanteessa	2.2 °C
Lämmitysteho	-65.4 kW
Nestetyyppi	Etyleeniglykoli
Nesteen painehäviö	182.7 kPa
Nestevirta	0.91 kg/s
Nesteen nopeus	1.04 m/s
Nestetilavuus	72.5 l
Lämpötilahyötysuhde, EN308	68.1 %
Lämpötilahyötysuhde, EN308 tasailmavirrin	68.1 %
Poistopatteri	FJOV-1515-R-10-1-2.4-7-2-30-S-L32/35.0
Putkilaippa	FPZL-DN32-*4

Koja Oy

Puhelinnumero

Telefax

Email

PL 351
Lentokentänkatu 7
33101 Tampere

etunimi.sukunimi@koja.fi

Oppari 1m3_koneet.kff

Ilmanvaihtokoneiden LTO:n mitoitus 2,5m³/s
FläktGroup
ILMANKÄSITTELYKONE
eQ Prime

 Projekti 50 () / Oppari
 Acon 2.45.17029.19905

 ACON-tunnus ACON-02584937
 Kone 1 (01) / TK/PK
 Konekoko 032

 2020-02-05
 Sivu 11/18

Vastavirtalevyllämmönsiirrin 2.5m³/s
EQRM-032-1-3-2-1-5-0-2-1-8-1-2

Konekoko: 32

Tehovaihtoehto: Vakio

 Huuhteensulatus ja tehonsäätö: Taso 3. Lohkosulatusjärjestelmä+ohitus+esilämm. sähkö. Mitoitettava
 ulkolämpötila < -22°C

Lamellimateriaali: Alumiini

Pisanerotin: Ilman

Liitäntä sähkö/säätö : eQ Prime

Materiaali: Aluzink teräs

Huoltoapuoli: Oikea

Lämpötilahyötysuhde

Hyötysuhde standardin EN 308 mukaan

83,7 %

Hyötysuhde talvitilanteessa ilman huurtumisen

87,5 / 83,7 %

estoa. Märkä / Kuiva

Lämpötilahyötysuhde 0°C ulkolämpötilassa

83,7 %

Jäähdytyksen talteenotto

0,0 %

Huurtumisen esto

Huurtumisen esto käynnistyy ulkolämpötilassa:

-4 °C

Hyötysuhde mitoittavassa talvitilanteessa.

55,1 %

Huurtumisen esto toiminnassa

Tuloilma
Kesä
Talvi

Painehäviö

128

101 Pa

Ilman lämpötila

27 / 27

-18 / 4 °C

Suhteellinen kosteus

55 / 55

14,9 / 2,3 %

Teho mitoitusasteessa

68 kW

Otsapintanopeus

1,4

1,4 m/s

Poistoilma
Kesä
Talvi

Painehäviö

125

135 Pa

Ilman lämpötila

22 / 22

22 / 3,7 °C

Suhteellinen kosteus

30 / 30

30 / 71,1 %

Otsapintanopeus

1,4

1,2 m/s

Ilmanlämmitin, sähkö (esilämmitin tai jälkilämmitin)
EQEK-032-043-4-6-3-1-1-1-1-1-1

Käyttö: Esilämmitin Recuterm

Konekoko: 32

Tehovaihtoehto, kW: 43 kW

Tehonsäätö: Tehonsäätövarustelu (porraskytin sekä portaaton säädin)

Jännite: 3 x 400 V + neutraali

Materiaali: Sinkitty teräs

Huoltoapuoli: Oikea

Liitäntä sähkö/säätö : Pikaliittimellä M12

IP-luokka: IP43

Kaapeliäpivienti: Osan katossa

Minimi ilmavirta

 2,30 m³/s

Nimellisteho

43 kW

Teho

42,2 kW

Mitoitettava painehäviö

1 Pa

Ilman lämpötila

-32 / -18 °C

Tehojako

43

Ilmanvaihtokoneen LTO:n mitoitus 5m³/s

Future++
Ohjelmaversio 2019-04-09

1:1.2020
Sivu:3 / 1:
Oppari 5m3/s TK1 / PK1

5m³/s Glykolikone
Lämmöntalteenotto toiminto, patteri
(tulo)

Patterin riviluku	8
Patterin reittiluku	12
Lamellijako	2 mm
Lamellipaksuus	0.18 mm
Putkien ja lamellien materiaali	Cu/Al
Putkiyhteet	L50/54.0
Ilmapuolen painehäviö	39 Pa
Ilman lämpötila ennen LTO:a	-32.0 °C
Ilman lämpötila LTO:n jälkeen huurtumistilanteessa	-10.1 °C
Lämmitysteho	132.1 kW
Nestetyyppi	Etyleeniglykoli
Nesteen painehäviö	204.4 kPa
Nestevirta	1.83 kg/s
Nesteen nopeus	1.21 m/s
Nestetilavuus	113.8 l
Lämpötilahyötysuhde, EN308	68.9 %
Lämpötilahyötysuhde, EN308 tasailmavirrin Teho ilman rajoitusta:	68.9 %
Ulkoilman lämpötila	-32.0 -21.3 -10.7 0.0 10.7 °C
Lämpötila ulos	4.9 8.5 11.7 15.0 18.5 °C
Tuloilman lämpötilahyötysuhde	68 69 69 68 70 %
Teho	222.4 180.2 135.5 91.2 48.0 kW
Huurtumisen esto alkaa ulkolämpötilassa	-9.9 °C
Huurtumissuojaterrmostaatin asetusarvo nesteelle	-3.1 °C

Koja Oy
PL 351
Lentokentänkatu 7
33101 Tampere

Puhelinnumero

Telefax

Email
etunimi.sukunimi@koja.fi

Oppari 1m3_koneet.kft

Ilmanvaihtokoneen LTO:n mitoitus 5m³/s

Future++
Ohjelmaversio 2019-04-09

1:1.2020
Sivu: 8 / 1:
Oppari 5m³/s TK1 / PK1

5m³/s Glykolikone

Lämmönlähteenotto toiminto, patteri (Poisto)

Patterin riviluku	10
Patterin reittiluku	13
Lamellijako	2.4 mm
Lamellipaksuus	0.18 mm
Putkien ja lamellien materiaali	Cu/Al
Putkiyhteet	L50/54.0
Ilmapuolen painehäviö	40 Pa
Ilman lämpötila ennen LTO:a	22.0 °C
Ilman lämpötila LTO:n jälkeen huurtumistilanteessa	2.2 °C
Lämmitysteho	-130.8 kW
Nestetyyppi	Etyleeniglykoli (Pitoisuus 30)
Nesteen painehäviö	206.1 kPa
Nestevirta	1.83 kg/s
Nesteen nopeus	1.12 m/s
Nestetilavuus	142.2 l
Lämpötilahyötysuhde, EN308	68.9 %
Lämpötilahyötysuhde, EN308 tasaimavirrin	68.9 %

Koja Oy
PL 351
Lentokentänkatu 7
33101 Tampere

Puhelinnumero

Telefax

Email
etunimi.sukunimi@koja.fi

Oppari 1m³_koneet.kff

Elinkaarilaskemat ja takaisinmaksuajat

Elinkaarilakselma 25 vuotta.

m ³ /s	0,3			1			
	Vastavirta	Vastavirta+ES	Vastavirta+EK	Vastavirta	Vastavirta+ES	Vastavirta+EK	Glykoli
Laitekustannukset	7400	8692	9550	24498	28827	31393	30003
Ylläpito ja huolto	3750	3750	3750	7500	7500	7500	10000
Lämmitys	8565	11855	11468	46695	52158	51255	143675
Sähköenergia	7908	8510,582	8110	14598	15815	14598	15490
Rakennuskustannukset	15892	15892	15892	31820	34000	34000	41200
LTO	-61753	-59405	-59405	-187193	-187746	-187746	-90765
Yhteensä	43515	48699,582	48770	125111	138300	138745,5	240368

m ³ /s	2,5			5
	Vastavirta+ES	Vastavirta+EK	Glykoli	Glykoli
Laitekustannukset	32266	36200	48288	77879
Ylläpito ja huolto	15000	15000	20000	37500
Lämmitys	89175	87173	364163	801547,5
Sähköenergia	58336	55350	73193	145582,5
Rakennuskustannukset	46460	46460	44064	87200
LTO	-497478,15	-497478,15	-224217,45	-337776,75
Yhteensä	241236,92	240183	549707	1149709

Takaisinmaksuaikalaskelma.

m ³ /s	Glykoli	Vastavirta+ES	Vastavirta+EK	Vastavirta
0,3		3,7	4,0	3,0
1	8,3	3,9	4,2	3,3
2,5	5,4	1,6	2	
5	5,8			