

Jenni Sarviharju

Kauppakeskus Majakan ilmanvaihtokoneiden saneeraus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

18.4.2018

Tekijä Otsikko	Jenni Sarviharju Kauppakeskus Majakan ilmanvaihtokoneiden saneeraus
Sivumäärä Aika	31 sivua + 6 liitettä 18.4.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka, suunnittelupainotteinen
Ohjaajat	osaamisaluepäällikkö, lehtori Jorma Säteri DI Riku Bitter
<p>Työn tarkoituksena oli tutkia ja ratkaista liikekiinteistön ilmanvaihdossa ilmenneitä ongelmia ja pohtia eri ratkaisumalleja ilmanvaihtokoneiden saneeraukseen. Työn tilaaja on Kiinteistö Oy Kauppakeskus Majakka. Kohteena olevassa Kiinteistössä toimii ravintola, baari, yökerho ja tanssistudio.</p> <p>Rakennuksen ilmanvaihtokoneet ovat käyttökänsä päässä, eikä niissä ole lämmöntalteenottoa. Baarin ja ravintolan ilmanvaihto on yhteinen, ja ongelmia on useita, oman haasteensa lämmöntalteenoton suunnitteluun tuo sisällä tapahtuva tupakointi baarin tiloissa. Tanssistudion ilmanvaihto koetaan riittämättömäksi ja ohjaus epäkäytännölliseksi. Rakennuksen energiankulutus on erittäin korkea.</p> <p>Työssä tehtiin kartoitus ilmanvaihdon nykytilasta ja nykyhetken ilmanvaihdon laskennallisesta energiankulutuksesta. Tarkastettiin myös, että tilojen ilmamäärät ovat nykymääräysten mukaisia. Kohteeseen tehtiin luonnossuunnitelmat eri saneerausvaihtoehdoista. Vaihtoehtojen energiankulutuksesta tehtiin vertailu ja investoinneille tehtiin kustannusarviot. Arvioiden pohjalta tehtiin laskelma investoinnin takaisinmaksuajasta.</p> <p>Luonnossuunnitelmia ja laskelmia voidaan hyödyntää tehtäessä päätöstä konehuoneen saneerauksesta. Tanssistudion osalta tehtiin ehdotus ilmanvaihdon muutoksista ja uusista ilmamääristä sekä ilmanvaihtokoneen luonnossuunnitelma.</p>	
Avainsanat	ilmanvaihto, ilmanvaihtokone, lämmöntalteenotto, suunnittelu, korjausrakentaminen

Author Title	Jenni Sarviharju Renovation of Air Handling Units in a Shopping Centre
Number of Pages Date	31 pages + 6 appendices 18 April 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineerin
Specialisation option	HVAC Engineering, Desing Orientation
Instructors	Jorma Säteri, Head of department Riku Bitter, Master of Science in Engineering
<p>The purpose of the final year project was to investigate and solve problems detected in the ventilation of a commercial property, and to evaluate potential solutions for the modernisation of the ventilation system.</p> <p>The study mapped the current state of the ventilation system and calculated its current energy consumption. The air flow in each space was checked against current regulations. It was verified that the lack of heat recovery in the ventilation system results in high energy costs.</p> <p>Sketch plans of the modernisation options were made for the property. A comparison was made between the energy consumption for each option, and budget estimates were drawn for the investment. Based on these estimates, a calculation of the return-on-investment period was made.</p> <p>The sketch plans and calculations can be utilized when making a decision on the modernisation of the air handling units. The study included a recommendation on the changes required in the ventilation system.</p>	
Keywords	ventilation, air handling unit, heat recovery, design, renovation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Rakennuksen ilmanvaihdon suunnittelu ja energiankulutus	1
2.1	Suunnitteluperusteet	1
2.2	Energiankulutus	2
2.3	SFP-luku	3
3	Lämmön talteenotto poistoilmasta	3
3.1	Lämmön talteenottoon liittyvä lainsäädäntö	3
3.2	Pyörivä lämmönsiirrin	4
3.3	Levylämmönsiirtimet	5
3.3.1	Ristivirtalämmönsiirrin	6
3.3.2	Vastavirtalämmönsiirrin	7
3.4	Nestekiertoinen lämmöntalteenotto	7
4	Kohteen esittely	9
5	Kauppakeskus Majakan Martina-siiven Ilmanvaihto	10
5.1	Ilmanvaihtokoneet Kauppakeskus Majakan Martina siivessä	10
5.2	Kellarikerros	11
5.3	Ravintola Martina	12
5.4	Mainstreet baari	13
5.5	Mainstreet disko	14
5.6	Dance Art tanssistudio	14
5.7	IV-konehuone	15
6	Dance Art tanssistudion ilmavirtojen mitoitus	16
7	Energian kulutus	18
7.1	Rajaukset	18
7.2	Ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutuksen laskenta	19
7.3	Puhallinenergian kulutus	20

8	Saneerauksen luonnossuunnittelu	21
8.1	Ilmanvaihtokoneiden luonnossuunnittelu	21
8.1.1	TK1/PK1 Vaihtoehto 1: Pyörivä lämmönsiirrin	22
8.1.2	TK1/PK1 Vaihtoehto 2: Vastavirtalämmönsiirrin	23
8.1.3	TK1/PK1 Vaihtoehto 3: Nestekiertoinen lämmöntalteenotto	24
8.1.4	TK2/PK4 Vaihtoehto 1: Pyörivä lämmönsiirrin	25
8.1.5	TK2/PK4 Vaihtoehto 2: Vastavirtalämmönsiirrin	26
9	Energiansäästö-laskelmat	27
9.1	Ilmanvaihtokoneen TK1/PK1 energian kulutus ja investoinnin kannattavuus	27
9.2	Ilmanvaihtokoneen TK2/PK4 energian kulutus ja investoinnin kannattavuus	28
10	Yhteenveto	29
	Lähteet	31
	Liitteet	
	Liite 1. TK1/PK1 Vaihtoehto 1 Pyörivä lämmönsiirrin	
	Liite 2. TK1/PK1 Vaihtoehto 2 Vastavirtalämmönsiirrin	
	Liite 3. TK1/PK1 Vaihtoehto 3 Nestekiertoinen lämmönsiirrin	
	Liite 4. TK2/PK4 Vaihtoehto 1 Pyörivä lämmönsiirrin	
	Liite 5. TK2/PK4 Vaihtoehto 2 Vastavirtalämmönsiirrin	
	Liite 6. TK3/PK5 Pyörivä lämmönsiirrin	

Lyhenteet

IV ilmanvaihto

LTO lämmön talteenotto

PK poistoilmakone

SFP Specific Fan Power, ilmastointikoneen ominaissähköteho

TK tuloilmakone

1 Johdanto

Ilmanvaihdon merkitys on keskeinen rakennuksessa oleskelevien ihmisten terveydelle ja hyvinvoinnille ja itse rakennuksen kunnossa pysymiselle. Sisäilman laatu ja hyvä energiatehokkuus ovat tavoitteina, kun suunnitellaan ilmanvaihtojärjestelmiä. Tässä työssä tutustutaan esimerkkikohteen kautta ilmanvaihtojärjestelmän saneerausvaihtoehtoihin ja tutkitaan investoinnin kannattavuutta.

Yleisesti ilmastointikoneen käyttöikä on suunniteltu kohteensa peruskorjausjakson mukaan, joka on esimerkiksi 25 vuotta. Ikääntyneen laitteiston kunnossapito aiheuttaa kustannuksia, ja vanhentunut tekniikka voi aiheuttaa lisääntyntä energiankulutusta. Opinnäytetyön kohteena on rakennus, jonka ilmanvaihdossa on yleisesti havaittu ongelmia ja ilmanvaihtolaitteisto on jo yli 30 vuotta vanha. Laitteiston energiankulutus on huomattavan suuri, koska lämmöntalteenottoa ei ole ja ilmanvaihdon ilmamäärät ovat suuria. Opinnäytetyössä tutkin tilojen ilmanvaihdon toimivuutta, suunnittelen uuden laitteiston hankintaa ja investoinnin kannattavuutta. Työn tilaajana toimii rakennuksen omistava Kiinteistö Oy Kauppakeskus Majakka.

2 Rakennuksen ilmanvaihdon suunnittelu ja energiankulutus

Ilmanvaihdolla pyritään siihen, että rakennuksessa on hyvä sisäilma ja rakennuksen kannalta oikeanlaiset painesuhteet. Puhdas ilma on paitsi merkittävä osa hyvinvointia, se on tekijä, joka voi myös vähentää henkilöstön sairastavuutta. Ilmanvaihdolla vaikutetaan sisäilman laatuun, tuomalla tiloihin puhdasta ilmaa ja poistamalla sieltä kaasumaisia tai hiukkasmaisia epäpuhtauksia. Viihtyvyyteen vaikuttavat mm. ilman liike tilassa, ilman laatu ja lämpötilat. [8.]

2.1 Suunnitteluperusteet

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 sisältää ohjeita ja määräyksiä ilmanvaihtojärjestelmän rakentamiselle siten, että rakennuksessa saavutetaan kaikissa tavannomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto [7, s. 5].

Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan määritellään tiloihin riittävä ulkoilma-virta tilan koon käyttötarkoituksen ja henkilömäärän perusteella [7, s. 30]. Rakennuksen ja ilmanvaihtojärjestelmän painesuhteet on suunniteltava siten, että puhdas ilma virtaa puhtaammista tiloista niihin tiloihin, joissa syntyy runsaammin epäpuhtauksia kuten WC- ja märkätiloihin. Rakennus suunnitellaan erikoistilanteita lukuun ottamatta pääsääntöisesti ulkoilmaan nähden alipaineiseksi. [7, s. 19.]

2.2 Energiankulutus

Rakennuksen lämmityksen energiantarpeesta noin 30–50 % muodostuu tuloilman lämmittämiseen kuluva energiasta. Lämmöntalteenottolaitteesta riippuen tästä energiämäärästä noin 50–80 % voidaan kattaa lämmöntalteenottolaitteella. [14, s. 1.]

Ilmanvaihdon saneerauksella voidaan päästä merkittäviin kustannussäästöihin. Ilmanvaihtojärjestelmä tulisi suunnitella tarpeenmukaiseksi ja energiatehokkaaksi tinkimättä sisäilman laadusta. [7, s. 17.] Tähän tavoitteeseen päästään ottamalla poistoilmasta lämpöä talteen lämmöntalteenottolaitteen avulla. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 ja ympäristöministeriön monisteessa 122 annetaan laskentaohjeita ja määräyksiä liittyen energiatehokkuuteen.

Lämmöntalteenottolaitteistojen yhteydessä puhutaan yleisesti laitteiden hyötysuhteista, joilla tarkoitetaan lämmönsiirtimen lämpötilahyötysuhdetta. Lämmöntalteenoton tehokkuutta puolestaan mitataan vuosihyötysuhteella. Samalla laitteella voi vuosihyötysuhde vaihdella olosuhteista riippuen jopa yli 10 %. [12, s. 10.] Vuosihyötysuhteesta saadaan selvä käsitys rakennuksen ilmanvaihdon energiatehokkuudesta. Vuonna 2010 voimaan tulleen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan vuosihyötysuhteen tulee olla vähintään 45 %.

Rakentamismääräyskokoelman osan D5 ja monisteen 122 mukaan ilmanvaihdon vuosihyötysuhde määritellään tuloilman lämpötilasuhteen ja ulkolämpötilan pysyvyystietojen avulla [11, s. 7]. Laskelmissa pitää olla selvillä tulo- ja poistoilmavirtojen välinen suhde. Laittevalmistajat ilmoittavat lämmöntalteenottolaitteen tuloilman lämpötilasuhteen yhtä suurilla ilmavirroilla. Vuosihyötysuhteen laskennassa voidaan käyttää laskentaohjelmia, jotka helpottavat oleellisesti laskentatyötä.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lisäksi tarkastellaan myös ilmanvaihdon puhaltimien sähköenergiankulutusta. Puhallinenergian kulutuksen merkitys korostuu, kun järjestelmä on muuten energiatehokas. Nykyaikaiset puhaltimet kuluttavat huomattavasti vähemmän energiaa kuin alkuperäiset laitteet, ja lisäksi nykyaikaiset puhaltimet tarjoavat paremmat mahdollisuudet ilmanvaihdon tarpeenmukaiseen ohjaukseen. Puhaltimien sähkökulutuksen energiatehokkuutta laitteistojen suunnittelussa pyritään ohjaamaan SFP-luvun avulla.

2.3 SFP-luku

SFP-luku on ilmanvaihtolaitteiston ominaissähköteho. Se kuvaa puhaltimien sähkökulutusta suhteutettuna ilmavirtaan. SFP-luku on apuväline, jolla voidaan ennalta määrittellä suunniteltavan kohteen ominaissähkötehon tavoitetaso ja täten varmistua siitä, että suunnittelu- ja toteutusprosessi johtavat halutun tasoiseen lopputulokseen. Pieneen sähkökulutukseen ei pidä pyrkiä sisäilmaston kustannuksella tai yleisesti heikentämällä energiatehokkuutta. [13, s. 4.]

SFP-luku voidaan laskea koko järjestelmälle tai yksittäiselle koneelle. Laskentaperiaate on kuitenkin sama. Järjestelmän SFP-luku on puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho (kW) jaettuna ilmanvaihtojärjestelmän koko mitoitusjäteilmavirralla tai mitoitusulkoilmavirralla m^3/s (suurempi näistä). [13, s. 6.]

3 Lämmön talteenotto poistoilmasta

3.1 Lämmön talteenottoon liittyvä lainsäädäntö

Lämmöntalteenoton suunnittelua ohjataan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 määräyksillä ja ohjeilla. Määräysten mukaan rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava lämpöä talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä.

D2:n mukaan rakennuksen poistoilmavirrat jaetaan likaisuutensa mukaan neljään eri poistoilmaluokkaan. Likaisen poistoilman käyttöä rajoitetaan määräyksillä. Osassa lämmöntalteenottolaitteita ilmavirrat pääsevät hyvin vähäisessä määrin sekoittumaan. Tästä syystä keskitetyssä ilmanvaihtokoneessa luokan 3 poistoilmaa (D2) voidaan yhdistää

poistoilmavirtaan korkeintaan 5 % kokonaisilmavirrasta. Tämä rajoittaa wc-tilojen ilmanvaihdon kytkemistä keskitettyyn koneeseen. Koneen palvellessa vain yhtä tilaa ei suunnittelussa tarvitse huomioida epäpuhtauksien siirtymistä.

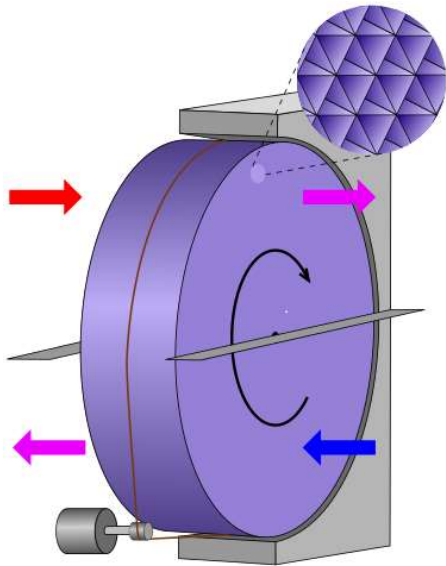
Lämmöntalteenottolaitteen valinnassa on huomioitava myös paloturvallisuus. Laite ei voi lisätä palovaaraa tai oleellisesti lisätä riskiä savukaasujen leviämiseen palotilanteessa. [7.]

3.2 Pyörivä lämmönsiirrin

Pyörivä lämmönsiirrin koostuu kiekkomaisesta roottorista ja käyttölaitteistosta, joka pyöriessään siirtää sekä tuntuvan lämmön että kosteuteen sitoutuneen lämmön poistoilmaasta tuloilmaan. Pyörivässä lämmönsiirtimessä yhdistyy korkean lämmöntalteenoton hyötysuhde pieneen tilantarpeeseen, myös suurilla ilmavirroilla. Lisäksi lämmönsiirtimen painehäviö on pieni, mikä pienentää puhaltimien sähkönkulutusta. [2.]

Ilmavirrat kulkevat pyörivän lämmönsiirtimen läpi vastavirtaperiaatteella (kuva 1). Lämpö sitoutuu roottorimateriaaliin ja kiekon pyörähtäessä sitoutunut lämpö siirtyy kylmään tuloilmaan. Materiaali on yleensä alumiinia ja kennon virtausaukot ovat kolmiomaiset. Rakenteella pyritään suureen lämmönsiirtopinta-alaan, joka parantaa laitteen hyötysuhdetta. Lämpötilahyötysuhde pyörivällä lämmönsiirtimellä on tyypillisesti 75–85 %. Virtaussuunnan vaihtuminen vaikuttaa siihen, että kiekkoon tarttuvat epäpuhtaudet puhaltuvat pois ilmavirran suunnan muuttuessa. Tämän ansiosta kiekko pysyy hyvin puhtaana. [1, s. 178–180.]

Ilmavirtojen sekoittumista ehkäistään ns. puhtaaksipuhallussektorilla, jossa ulkoilma huuhtelee kennon ennen sen siirtymistä tuloilman lämmityspuolelle. Ulkoilmavirta siirtyy kapealla sektorilla kammioiden rajapinnassa suoraan poistoilmaan. Tästä huolimatta voimakkaat hajut, esim. ruuanvalmistuksen käryt ja tupakansavu saattavat siirtyä poistoilmaasta tuloilmaan. [1, s. 178–180.]



Kuva 1. Pyörivä lämmönsiirrin

Käyttölaitteisto, joka säätelee kiekon pyörimistä, voi olla joko vakionopeuksinen tai säädettävä. Pyörintänopeudella vaikutetaan lämpötilahyötysuhteeseen. Se pienenee, kun laitteen pyörintänopeus pienenee. Normaalisti pyörintänopeus on 0,5–15 kierrosta minuutissa. Kennon huurteenpoisto hoidetaan myös pienentämällä pyörimisnopeutta, esimerkiksi 0,5 kierrokseen minuutissa. Huurteenpoiston ohjaus voi perustua joko paineromittaukseen tai olla säädetty kello-ohjauksella riippuen ulkolämpötilasta. Huurteenpoistoa tarvitaan riippuen poistoilman laadusta ja roottorin rakenteesta 15–25 pakkasasteesta lähtien. Lämmityspatterin mitoituksessa on huomioitava korkeampi tehontarve kiekon sulatustilanteessa. [1, s. 178–180.]

Pyörivässä lämmönsiirtimessä ilmavirtojen on kuljettava aina vastavirtaan. Samansuuntaiset ilmavirrat laskisivat hyötysuhteen 40–50 %:iin, ja myös epäpuhtaudet kerääntyisivät kiekkoon helpommin. [1, s. 178–180.]

3.3 Levylämmönsiirtimet

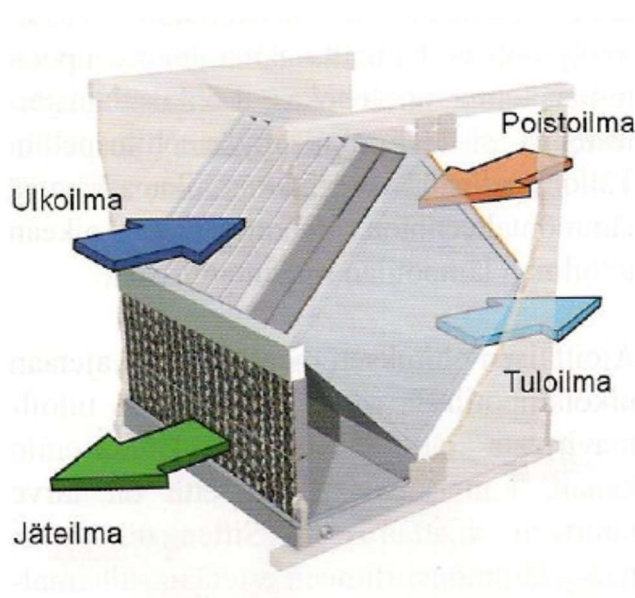
Levylämmönsiirrin on yleisin käytössä oleva lämmöntalteenottomenetelmä ilmanvaihtokoneissa. Levylämmönsiirtimessä ilmavirrat johdetaan kapeita kanavia pitkin toistensa ohi, jolloin kanavien välissä olevat levyt siirtävät lämmön toisella puolella olevaan ilmavirtaan. Levylämmönsiirrin valmistetaan ohuesta, hyvin lämpöä johtavasta materiaalista, yleensä alumiinista. [1, s. 180–185.]

Levylämmönsiirrin on rakenteeltaan hyvin tiivis, eikä suunnittelussa yleensä tarvitse huomioida epäpuhtauksien siirtymistä tuloilmaan. Laitteisto sopii hyvin esimerkiksi kerrostalojen keskitettyyn ilmanvaihtojärjestelmään. Levylämmönsiirrin on yksinkertaisuudessaan hyvin toimintavarma. [1, s. 180–185.]

Levylämmönsiirtimien käytössä tulee huomioida huurtuminen, erityisesti jos poistoilma sisältää runsaasti kosteutta. Huurtuminen alkaa ulkolämpötilan ollessa n. -7 astetta. Poistoilman kosteus jäätyy kohdatessaan tuloilman jäähdyttämän kylmän pinnan ja alkaa tukkia kennoa. [1, s. 180–185.] Huurtumiseneston tulee toimia automaattisesti. Huurtumisen estämiseksi voidaan käyttää peltejä, joilla talteenottokennoa voidaan sulattaa osissa ja näin järjestelmän toiminta häiriintyy mahdollisimman vähän. Erittäin kylmissä olosuhteissa levylämmönsiirtimellä varustettuun järjestelmään tarvitaan lisäksi ulkoilman esilämmitin. [3.]

3.3.1 Ristivirtalämmönsiirrin

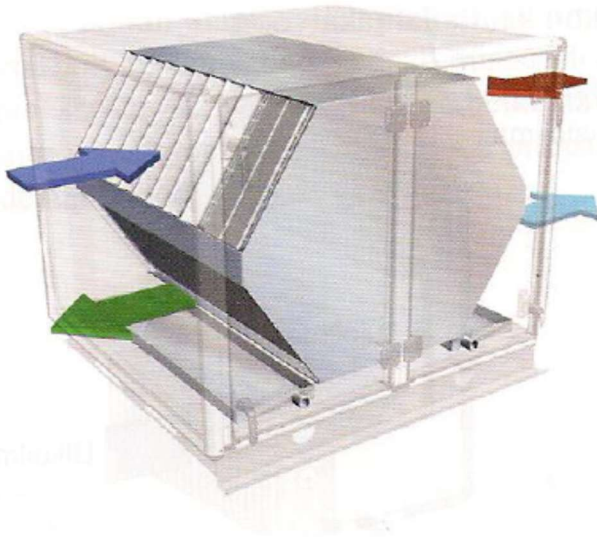
Ristivirtalämmönsiirtimessä (kuva 2) ilmavirrat kulkevat täysin ristikkäin, jolloin ilmavirtojen suunnalla ei ole merkitystä laitteen hyötysuhteeseen. Tällä lämmönsiirtimellä päästään yleisesti n. 60–70 %:n hyötysuhteeseen. Ristivirtalämmönsiirrin soveltuu hyvin myös suurien ilmamäärien koneisiin. Siirrin voidaan tarvittaessa tuoda saneerauskohteeseen osissa, jolloin oviaukkojen leveys ei ole este lämmönsiirtimen haalaukselle. [3.]



Kuva 2. Ristivirtalämmönsiirrin

3.3.2 Vastavirtalämmönsiirrin

Vastavirtalämmönsiirtimessä (kuva 3) ilmavirrat ohjataan kulkemaan toisiaan vastaan ja tällä lämmönsiirtimellä päästään erittäin hyvään hyötysuhteeseen, jopa 85 %. Vastavirtasiirrin soveltuu ilmavirroille noin 3 m³/s asti. Lämmönsiirtimen tilantarve on suuri verrattuna muihin lämmönsiirtimiin. Se sopii hyvin kuitenkin myös kapeiden kuljetusaukkojen saneerauskohteisiin, koska lämmönsiirrin voidaan jakaa osiin ja kuljettaa sisään 90 cm leveästä ovesta. [4]

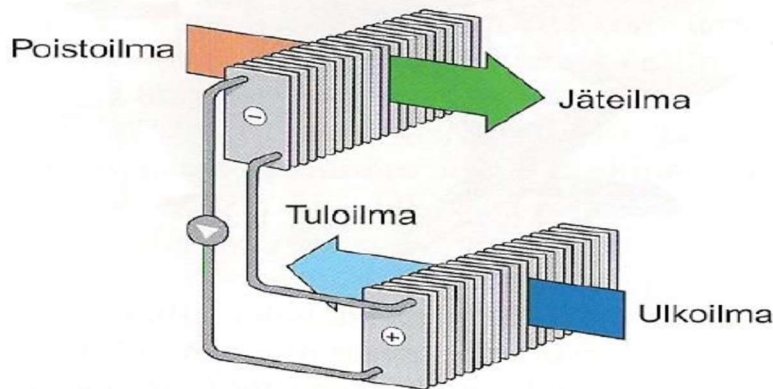


Kuva 3. Vastavirtalämmönsiirrin

3.4 Nestekiertoinen lämmöntalteenotto

Nestekiertoinen talteenottojärjestelmä (kuva 4) perustuu lämmön siirtoon väliaineen avulla. Tulo- ja poistoilmavirtaan asennetaan erilliset nestekiertoiset lämmönsiirtimet. Lämmönsiirrin voi olla rakenteeltaan samanlainen kuin perinteinen lämmitys- tai jäähdytyspatteri tai vaihtoehtoisesti neulaputkilämmönsiirrin. Pienistä lämpötilaeroista johtuen lämmönsiirtopintaa pitää olla paljon, jotta päästään hyvään hyötysuhteeseen. Myös lämmönsiirtonesteen ominaisuudet vaikuttavat järjestelmän hyötysuhteeseen. Tyypillisesti järjestelmässä käytetään lämmönsiirtonesteenä etyleeniglykolin ja veden seosta, jota kierrätetään pumpulla. [1, s. 184–185.]

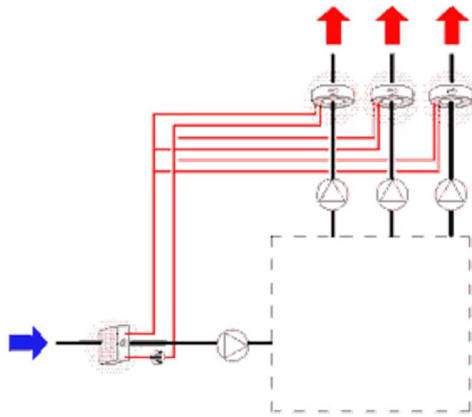
Nestekiertoisessa järjestelmässä käytettäviä patterityyppejä ovat neulaputki-, sileäputki-, ripaputki- ja lamelliputkipatterit. Näistä yleisimpiä ovat alumiinia ja kuparia olevat lamelliputkipatterit. [5, s. 5.]



Kuva 4. Nestekiertoinen lämmöntalteenotto

Nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän hyviä puolia ovat pieni tilantarve konehuoneessa ja mahdollisuus sijoittaa laitteiston osat hajautetusti, silloin kun ilmavirrat eivät ole lähellä toisiaan. Hygieenisyytensä ja paloturvallisuutensa takia järjestelmä soveltuu myös erityiskohteisiin, kuten sairaaloihin ja laboratorioihin, koska tulo- ja poistoilmavirrat ovat täysin erillä toisistaan ja mitään vaaraa ilmavirtojen sekoittumiselle ei ole. [5, s. 5.]

Nestekiertoisella järjestelmällä pystytään helposti rakentamaan järjestelmä, jossa otetaan talteen energiaa useilta eri poistopuhaltimilta tai huippuimureilta, jotka sijaitsevat erillä toisistaan ja keskitetään tuloilman lämmitys yhdelle lämmönsiirtimelle kuten tämän projektin ilmanvaihtokoneessa TK1/PK1. Kuvassa 5 on esitetty kytkentäperiaate tällaiselle järjestelmälle.



Kuva 5. Kytentäperiaate nestekiertoiselle järjestelmälle, jossa tuloilmakone ja useita huippuimureita

Huonoja puolia ovat järjestelmän monimutkaisempi rakenne verrattuna suoriin lämmönsiirtimiin, suurempi määrä mahdollisesti rikkoutuvia ja huoltoa tarvitsevia järjestelmän osia, tyypillisesti huonompi lämpötilahyötysuhde, pumppaukseen kuluva sähkönkulutus sekä yleisesti korkeammat hankintakustannukset. Patterien huurtuminen on huomioitava suunnittelussa. Nestekiertoinen lämmöntalteenottojärjestelmän lämpötilahyötysuhde tyypillisesti vain 40–60 %. [5, s. 5–6.]

Uudenaikaisilla järjestelmillä voidaan parantaa oleellisesti nestekiertoista järjestelmää ja saavuttaa lämmöntalteenoton hyötysuhteessa jopa 80 %. Järjestelmän tehokkuutta on pystytty parantamaan automatiikalla, optimoimalla järjestelmän nestevirtoja muuttuvissa tilanteissa ja kehittämällä entistä paremmin toimivia ratkaisuja jäätymissuojaukseen. [4]

4 Kohteen esittely

Kiinteistö Oy Kauppakeskus Majakka on Riihimäellä Hämeenkatu 25–27:ssä sijaitseva liikekiinteistö. Kiinteistön kokonaispinta-ala on 6 875,5 m². Kiinteistö koostuu eri aikoina rakennetuista osista, vanhin osa on valmistunut vuonna 1940 ja uusimmat osat 1987. Projektissa keskitytään tarkastelemaan kauppakeskuksen Martina-siiven aluetta, joka sijaitsee kauppakeskuksen vuonna 1940 valmistuneessa vanhassa osassa. Siiven ilmanvaihtokoneet ja kanavistot on suunniteltu ja asennettu vuonna 1985. Martina-siivessä on yksi IV-konehuone, jossa on kolme tuloilmakonetta. Ilmanvaihdon vaikutusalueella on viisi poistoilmakonetta.

Martina-siiven IV-koneiden toiminta-alueilla toimii ruokaravintola, baari, disko ja tanssi-studio. Ravintola ja baari ovat alun perin olleet saman yrittäjän hallinnassa, ja tilat ovat olleet yhteydessä toisiinsa. Myöhemmin tilat on erotettu kokonaan toisistaan väliseinällä, mutta tiloja palvelee kuitenkin yhteinen kanavisto ja ilmanvaihtokone. Ravintolan ja baarin yrittäjät ovat ilmanvaihdon toimintaan tyytymättömiä. Tanssistudion osalta ilmanvaihto koetaan riittämättömäksi ja ohjaus epäkäytännölliseksi. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, mistä ongelmat ilmanvaihtojärjestelmissä johtuvat ja miten ne olisivat korjattavissa.

Rakennuksen ilmanvaihdon lämmitysenergiankulutus on lisäksi hyvin korkea. Ilmanvaihtolaitteissa ei ole lämmöntalteenottoa, mikä aiheuttaa erittäin suuret tuloilman lämmityskustannukset. Rakennuksen lämmönlähde on kaukolämpö.

5 Kauppakeskus Majakan Martina-siiven Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon selvitystyö aloitettiin tutustumalla rakennuksesta löytyviin asiakirjoihin ja tekemällä katselmus tiloihin. Rakennuksesta on käytävissä joitakin alkuperäisiä suunnitelmia ja mittauspöytäkirjoja vuodelta 1985, jolloin ilmanvaihto on peruskorjattu. Vuonna 2007 rakennuksen kanavistosta on piirretty ajantasaiset IV-suunnitelmat, joissa näkyy kanavistot. Näissä suunnitelmissa ei kuitenkaan ole konehuoneen kuvia tai kytkentäkaavioita, eikä ilmamääriä tai päätelaitteiden mallia ole mainittu kaikista päätelaitteista. Kanavistoon on myös tehty joitakin muutoksia vuoden 2007 jälkeen. Päätelaitteiden ilmamäärät ja muuttuneet kanavistorakenteet selvitettiin vanhoista mittauspöytäkirjoista ja paikalla tehdyistä havainnoista.

5.1 Ilmanvaihtokoneet Kauppakeskus Majakan Martina siivessä

- TK1 on Ravintola Martinan ja Mainstreet baarin sekä kellarikerroksen tuloilmakone. Koneessa on ollut käytössä kiertoilma, mutta sen käyttö on estetty. Kone käy rinnan koneen PK1 kanssa ravintolan ja baarin toiminta-aikojen mukaan. TK1 tuloilmakoneen ilmamäärät ovat +3 000/+1 500. Tehon puolitus tapahtuu ulkoilman lämpötilan laskiessa alle $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$: n.
- TK2 on Mainstreet diskon tuloilmakone. Kone käy diskon toiminta-aikojen mukaan. Koneessa käytetään palautusilmaa poistoilmasta. Kone käy rinnan koneen

PK4 kanssa diskon toiminta-aikojen mukaan. Tuloilmakoneen TK2 ilmamäärät ovat +1 500/+750. Tehon puolitus tapahtuu ulkoilman lämpötilan laskiessa alle -8 °C:n .

- TK3 on tanssistudio Dance Artin tuloilmakone. Kone käy tanssistudion toiminta-aikojen mukaan. Tuloilmakoneen TK3 ilmamäärät ovat +350/+175. Tehon puolitus tapahtuu ulkoilman lämpötilan laskiessa alle -8 °C:n .
- PK1 on ravintola Martinan ja Mainstreet baarin poistoilmakone. Poistoilmakoneen PK1 ilmavirta on $-1\ 740/-870$. Tehon puolitus tapahtuu ulkoilman lämpötilan laskiessa alle -8 °C:n .
- PK2 on ravintolakeittiön oma huippuimuri. Käynti ohjataan normaalisti ravintolan toiminta-ajan mukaan. Poistoilmakoneen PK2 ilmavirta on $-750/-375$.
- PK3 on ravintolan ja baarin, sekä diskon alueiden wc-tilojen ja kellarikerroksen poistojen yhteinen huippuimuri. Poistoilmakoneen PK3 ilmavirta on $-827/-413$. PK3 käy aina. Tehon puolitusta ei käytetä.
- PK4 on Mainstreet diskon poistoilmakone. Käynti ohjataan diskon toiminta-ajan mukaan. Poistoilmakoneen PK4 ilmavirta on $-1\ 280/-640$. Tehon puolitus tapahtuu ulkoilman lämpötilan laskiessa alle -8 °C:n .
- PK5 on Dance Art tanssistudion oma huippuimuri. Käynti ohjataan toiminta-ajan mukaan. PK5 poistoilmakoneen ilmavirta on $-350/-175$. Tehon puolitus tapahtuu ulkoilman lämpötilan laskiessa alle -8 °C:n .

5.2 Kellarikerros

Kellarikerros kokonaisuudessaan kuuluu koneiden TK1 ja PK3 palvelualueeseen. Tilat ovat osittain ravintolan käytössä sosiaalityötiloina ja varastona ja osittain muina teknisinä ja varastotiloina. Kellarikerroksessa ei ole tehty merkittäviä muutoksia kanavistoon tai päätelaitteisiin vuoden 1985 saneerauksen jälkeen. Poistoilma johdetaan suoraan ulos huippuimurilla. Huippuimuri käy aina.

Kellarikerroksen tiloissa on tehty vuosien varrella pieniä muutoksia tilojen alkuperäisiin käyttötarkoituksiin, ja rakennuksen ilmanvaihdon suunnitelmiin olisi hyvä päivittää muutokset. Ilmanvaihdon kokonaisilmamäärät ovat kellarikerroksen osalta kuitenkin riittävät, eikä tarvetta muutoksiin kanaviston tai kokonaisilmamäärien osalta ole.

Ilmanvaihto pitää erittäin kovaa ääntä kellarikerroksessa, erityisesti sosiaalituloissa. Tuloilmahajottimet on mahdollisesti uusittu sosiaalituloihin, ja ilmavirrat saattavat poiketa tiloihin suunnitelluista alkuperäisistä arvoista. Ilmamäärät tulisi mitata ja säätää.

5.3 Ravintola Martina

Ravintola Martinassa on 60 asiakaspaikkaa ja ruoanvalmistukseen tarkoitettu keittiö sekä wc-tilat. Ravintolaa palvelevat ilmanvaihtokoneet TK1 ja PK1, wc-tiloja poistoilmakone PK3 sekä keittiötä poistoilmakone PK2. Ravintola Martinan ilmanvaihtokanavisto on pääosin olemassa olevien v. 2007 päivitettyjen suunnitelmien mukainen. Keittiöön on lisätty yksi tuloilmanhajotin suoraan ruoanvalmistuspisteen yläpuolelle. Ruoanvalmistuspisteessä on usein liian kuuma, erityisesti kesäaikaan ja ilmanvaihdon toimiessa puolitetulla teholla.

Ravintolan työntekijät kertoivat, että ilmanvaihto tuntuu riittämättömältä ruokasalin puolellakin ruuhkaisena aikana ja erityisesti puolitetulla teholla. Lämpötila muualla kuin keittiössä on sopiva. Ruoanvalmistuksen käryt leviävät salin puolelle, kun ilmanvaihto menee puoliteholle. Tähän ongelmaan on käytetty ratkaisuna poistokoneen PK2 pitämistä täysteholla talviaikaan. Tämä aiheuttaa sen, että poistokone ei sammu aikaohjelman mukaisesti ja energiaa menee hukkaan.

Ravintolan salin vanhat suunnitellut ilmamäärät täyttävät nykymääräykset sekä asiakaspaikkojen, että pinta-alan suhteen ja olemassa olevilla päätelaitteilla pystytään tilaan jakamaan riittävä ilmavirta. Uusi ilmanvaihtokone voidaan suunnitella vastaavilla ilmamäärillä ravintolan osalta.

Valmistuskeittiön tuloilmavirta ei ole nykyisten määräysten mukainen. Vaadittava tuloilmavirta on +750 l/s, kun nykyinen suunniteltu ilmavirta on +400 l/s. Keittiössä olevilla päätelaitteilla on mahdollista lisätä tuloilmavirtaa ja saavuttaa riittävä ilmanvaihto. Tuloil-

makoneelta TK1 lähtevän pääkanavan mitoitusta tarkistettaessa huomataan, että ilmapuhtaus tuloilmakanavassa on 11,4 m/s. Kanavakoko on valittu niin pieneksi, ettei suuria muutoksia tuloilmavirtoihin pystytä toteuttamaan.

Poistoilmavirta ja tuloilmavirta on aiemmin suunniteltu ravintolan alueella yhtä suuriksi. Mikäli keittiöön lisättäisiin tuloilmavirtaa, täytyisi poistoilmavirtaakin kasvattaa. Keittiön tulee olla alipaineinen verrattuna ravintolasaliin, jotta ruoanvalmistuksen käryt eivät siirry salin puolelle. Poistoilmavirtaa tulisi lisätä keittiöön yhtä paljon kuin tuloilmavirtaakin, mikä onnistuisi helposti lisäämällä keittiöön poistoilmaelimiä. Pääkanavan mitoituksen tarkastelussa kuitenkin huomattiin, että poistoilmakoneelle PK1 tulevan ilmapuhtaus kanavassa on 9,4 m/s. Ilmapuhtaus kyseisessä kanavakoossa ei ole syytä kasvattaa.

5.4 Mainstreet baari

Mainstreet baarissa 50 asiakaspaikkaa, baarissa on ainoastaan juomatarjoilua. Salin lisäksi tilojen yhteydessä on varasto- ja wc-tilat. Baaria palvelevat ravintola Martinan kanssa yhteiset ilmanvaihtokoneet TK1 ja PK1 ja wc-tiloja poistoilmakone PK3. Ilmanvaihtokanavistoon on tehty muutoksia v.2007 suunnitelmien päivittämisen jälkeen. Salista on mm. poistettu kokonaan poistoilmapalkki, jossa on ollut 14 kpl poistoilmaventtiilejä, tilassa on vain yksi poistoilma-aukko ilman päätelaitetta. Tilassa on ollut aiemmin tupakkakoppi, johon on liitetty poistoilmakanava. Tarkastushetkellä koppi oli purettu. Baarin omistaja kertoi, että tupakkakoppi siirretään toiselle puolelle salia. Tupakkakoppia varten oli asennettu uusi poistoilmakanava, ja kanavassa oli haarat neljälle 200 mm:n poistoilmaventtiilille. Haarojen päästä puuttuivat päätelaitteet.

Nämä muutokset vaikuttavat myös ravintolan ilmanvaihtoon. Baarin osalta ilmapuhtaus on suunniteltava uudelleen ja päätelaitteet asennettava paikoilleen. Poistettujen kanavosien tilalle täytyy asentaa uudet poistoelimet. Baarin ilmanvaihdon ilmapuhtaus on alkuperäisen suunnitelman mukaan riittävä. Mitoitettaessa uusia ilmanvaihtokoneita voidaan käyttää alkuperäisiä suunnitteluarvoja. Tupakkakopin ilmanvaihdon ollessa liitettyinä ravintolan kanssa yhteiseen koneeseen aiheutuu rajoitteita koskien lämmöntalteenottoa, mm. pyörivää lämmönsiirintä ei voi käyttää.

Työntekijät kertoivat, että ilmanvaihto aiheuttaa vedon tunnetta ja kylmyyttä erityisesti pakkasilmalla. Mittauksissa havaittiin, että tuloilmakoneen lämmityspatterin teho ei riitä

lämmittämään tuloilmaa pakkaskelillä kuin noin 16–19-asteiseksi, mikä aiheuttaa baarissa huoneilman lämpötilan laskun.

Baarin tuloilmavirta on vanhojen suunnitelmien mukaan +1 300 l/s. Tämä on riittävä ilmavirta saliin sekä asiakaspaikkojen lukumäärän että tilan koon huomioon ottaen.

Baarin poistoilmavirta on molempien poistokoneiden kautta yhteensä -1 340 l/s. Tästä ilmavirrasta -1 140 l/s menee PK1:lle. Tila on suunnitteluarvojen mukaisesti 3 % alipaineinen.

5.5 Mainstreet disko

Toisessa kerroksessa baarin ja ravintolan yläpuolella sijaitsee yökerho, jossa on 150 asiakaspaikkaa. Yökerholla on omat IV-koneet TK2 ja PK4, ja lisäksi mm. baarin ja ravintolan kanssa yhteinen poistokone PK3 palvelee wc-tilojen poistoa. Tilojen työntekijät olivat tyytyväisiä ilmanvaihdon toimintaan. Tilojen ilmanvaihtoon ei ole tehty merkittäviä muutoksia verrattuna alkuperäisiin suunnitelmiin. Ilmanvaihtokoneet TK2 ja PK4 käyvät yökerhon toiminta-aikojen mukaan. Ongelmia toiminnassa tai kanavistossa ei havaittu.

Yökerhon tuloilmavirta on +1 450 l/s ja poistoilmavirta yhteensä -1 500 l/s, josta PK4 koneelle -1 270 l/s ja PK3 koneelle -230 l/s. Ilmamäärä on riittävä tilaan ja asiakaspaikkoihin suhteutettuna. Kanavakokoja tarkasteltaessa todettiin, että runkokanavassa ilman nopeus alkuperäisillä ilmamäärillä oli 7,6 m/s. Ilmamääriä ei ole järkevää kasvattaa tälläkään iv-koneella.

5.6 Dance Art tanssistudio

Tanssistudio on rakennettu Kauppakeskus Majakan ylimpään kerrokseen kahden eri iv-koneen vaikutusalueille. Tanssistudion toinen pää on nyt selvitystyön alla olevien koneiden TK3 ja PK5 palvelualueella, toinen puoli tanssistudiota on liitetty kauppakeskuksen toisessa konehuoneessa olevaan ilmanvaihtokoneeseen. Tanssistudion käyttöajat ovat erilaiset kuin kauppakeskuksen aukioloajat, mikä hankaloittaa studion ilmanvaihdon käyttöä. Suurta osaa kauppakeskuksen ilmanvaihdosta täytyy pitää käynnissä tanssistudion aukioloaikoina iltaisin ja viikonloppuisin, vaikka kauppakeskus on muuten suljettu.

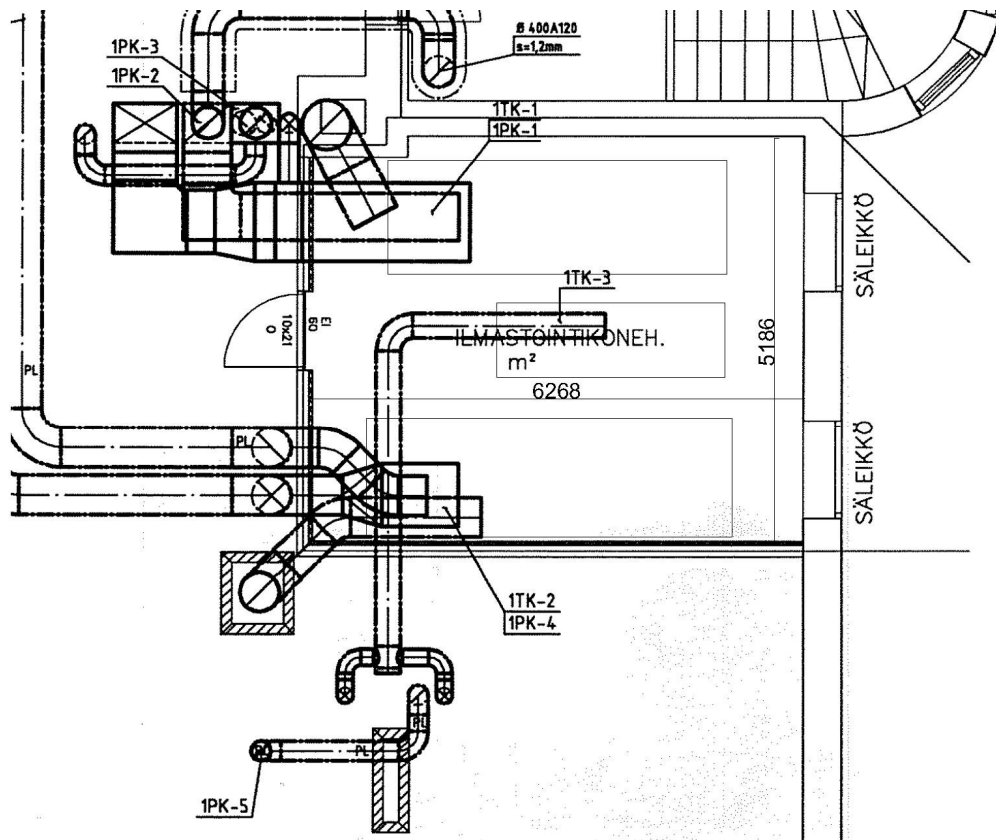
Tanssistudion tanssisalien käyttötarkoitusta ei ole alun perin suunniteltu liikuntasaliksi ja siksi ilmanvaihto on mitoitukseltaan riittämätön.

Konehuoneen muutostyön yhteydessä olisi järkevää muuttaa tanssistudion kanavisto sellaiseksi, että yksi IV-kone palvelisi koko tanssistudion tiloja. Tässä selvitystyössä ei ole järkevää käyttää alkuperäisten suunnitelmien mukaisia ilmavirtoja, vaan tanssistudion tiloihin suunnitellaan kokonaan tilojen muuttunutta käyttötarkoitusta vastaavat ilmamäärät.

Ilmanvaihdon saneerausvaihtoehtojen energiakustannusten vertailua ei pystytä järkevästi toteuttamaan koneiden TK3 ja PK5 osalta, koska koneiden palvelualue muuttuisi oleellisesti. Nämä koneet rajattiin ulos investoinnin takaisinmaksuajan laskennasta. Tanssistudiolle tehtiin kuitenkin ilmavirtojen mitoitus ja ilmanvaihtokoneen luonnossuunnitelma.

5.7 IV-konehuone

IV-konehuone sijaitsee rakennuksen sisällä ullakkokerroksessa. Ullakkotila on avointa tilaa ja konehuoneen ulkoseinät on rakennettu kevytsoraharkoista. Konehuoneen korkeus on 2,9 m. Konehuoneen seiniin tai aukkoihin on mahdollista tehdä muutoksia kohdallisilla kustannuksilla. Kaikille tuloilmakoneille tulee yhteinen raitisilmakanava konehuoneen takaseinällä. (Kuva 6)



Kuva 6. IV-konehuoneen pohjapiirros

6 Dance Art tanssistudion ilmavirtojen mitoitus

Tanssistudion vanha tuloilmakone TK3 on iv-konehuoneen katossa ja koneeseen ei tule poistokonetta samaan yhteyteen. Vanhan tuloilmakoneen ilmamäärä on +300 l/s. Poistoilmakone on huippuimuri PK5. Uudelle ilmanvaihto koneelle suunniteltiin ilmamäärät +1 135 l/s ja -1 250 l/s. Suunniteltu poistoilmavirta on 10 % suurempi kuin tuloilmavirta, ja tiloihin suunnitellut ilmamäärät ovat D2:n suunnitteluohjeen mukaisia. Taulukossa 1 on esitetty huonekohtaisesti tulo- ja poistoilmavirrat tanssistudion tiloihin.

Taulukko 1. Tanssistudion ilmavirtojen mitoitus

TANSSISTUDIO DANCE ART		mitoitusohje			suunniteltu ilmavirta	
	TILA	pinta- ala m ²	Tuloilma- virta l/s m ²	Poistoilma- virta l/s m ³	Tuloilma- virta l/s	Poistoilma- virta l/s
230	SALI 1	96	4		380	400
231	TOIMISTO	35	1,5		50	55
232	OPETTAJAN HUONE	4	5		20	20
233	PUKuhuone	5	5		25	25
234	PUKuhuone	6	5		30	30
235	WC	2		20		20
236	SIIVOUS	1		4		10
237	SALI 2	75	4		300	320
238	TULOAUULA	30	1		30	30
239	ODOTUSTILA 1	30	5		150	150
240	ODOTUSTILA 2	30	5		150	150
241	KÄYTÄVÄ 1	5	1			20
242	KÄYTÄVÄ 2	8	1			20
				YHTEENSÄ	1135	1250

Tanssistudion ilmavirrat muuttuvat niin paljon, että kanavistot pitää suunnitella uudelleen koko studion osalta. Ilmamäärien kasvaessa on otettava huomioon myös ilmanvaihtokoneen suurempi tilantarve. Uusi ilmanvaihtokone ei mahdu vanhaan iv-konehuoneeseen. Ullakkotilassa on kuitenkin runsaasti vapaata tilaa, ja vanhan konehuoneen rinnalle voidaan sijoittaa toinen ilmanvaihdon konehuone.

7 Energian kulutus

7.1 Rajaukset

Rakennuksen energiankulutuksen pienentäminen on yksi projektin tavoitteista. Ilmanvaihdon energiankulutus halutaan selvittää laskennallisesti, jotta voidaan arvioida muutostöiden vaikutus rakennuksen energiankulutukseen. Energiankulutuksen arvioinnissa huomioidaan ilmanvaihtokoneiden lämmitysenergian kulutus ja puhaltimien sähkönkulutus, muu energiankulutus kuten pumppujen ja säätölaitteiden sähkönkulutus jätetään huomiotta. Näiden oheislaitteiden energiankulutuksella on hyvin vähäinen merkitys koko järjestelmän energiankulutuksessa.

Tutkittavaa kohdetta tarkastellaan kahdessa osassa koneiden TK1/PK1 ja TK2/PK4 palvelualueiden mukaan. Saneerausvaihtoehtoja vertailtaessa joudutaan järjestelmien vertailmiseksi tekemään joitakin yksinkertaistuksia. Tarkastelussa keskitytään huomioimaan tuloilmakoneiden kautta siirtyvä energia. Tehtäessä vertailua eri luonnossuunnitelmavaihtoehtojen ja nykytilanteen välillä pyritään laskennalliset olosuhteet määrittämään mahdollisimman hyvin vastaamaan nykyistä käyttötilannetta. Järjestelmän energiankulutus riippuu paljon sen käyttöajoista ja -tavoista.

Ilmanvaihtokoneilla katsotaan olevan kolme käyntitilaa: täysteho, $\frac{1}{2}$ -teho ja yöaikainen käyntitila, jossa pelkkä hygieniapoisto on päällä. Yöaikaisen käyntitilan energiankulutus ei muutu, vaikka lämmöntalteenottoratkaisussa päädyttäisi vaihtoehtoon, jolla otetaan talteen nestekiertoiseen järjestelmään poistoilman energia, koska tuloilmakoneet eivät ole käytössä tuona aikana. Tutkin energiankulutusta eri käyntitiloissa ja eri saneerausvaihtoehdoilla.

Myös puhallinenergian kulutus taulukoidaan eri käyntitilojen suhteen, jotta vertailua voidaan suorittaa.

Energiankulutuksen laskentaa ei tehdä tanssistudion osalta, koska tanssistudion iv-koneen osalta palvelualue ja ilmamäärät muuttuvat oleellisesti verrattuna nykytilanteeseen. On kuitenkin selvää, että ilmanvaihtokoneen saneeraus ja ilmanvaihdon muutostyöt vaikuttavat sekä sisäilman laatuun, että rakennuksen energiatehokkuuteen myönteisesti.

7.2 Ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutuksen laskenta

Ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutus lasketaan yleisesti käyttämällä taulukoituja normivuoden säätietoja. Energiankulutuksen laskennassa sovelletaan rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeita rakennuksen ilmanvaihdon energiankulutuksen laskennasta. Nämä ohjeet soveltuvat tilanteisiin, joissa ilmanvaihdon ilmamäärät eivät ole muuttuvia ja ilmakehän lämmitysprosessina on ainoastaan lämmitystä. Tutkittavassa kohteessa käytetään paikkakunnan sijainnin mukaisia säävyöhykkeen 1 ilmastotietoja kaikissa energialaskennan vaiheissa.

Vertailuarvona käytettävä nykyhetken energiankulutus saadaan laskettua Acon-mitoitusohjelmalla. Käsien laskettuna rakentamismääräyskokoelman ohjeiden mukaan laskennallinen energiankulutus oli jonkin verran suurempi kuin mitoitusohjelman arvo. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että käsienlaskennassa käytetään kuukausittaisia lämpötilakeskiarvoja ja mitoitusohjelma laskee tarkemmilla säätiedoilla. Jotta päästiin paremmin vertailukelpoisiin tuloksiin, käytettiin mitoitusohjelman lukuarvoja vertailukohtana. Mitoitusohjelman käyttö parantaa tulosten vertailtavuutta ja pienentää virheiden mahdollisuutta, kunhan syöttötietoina käytetään kaikissa tilanteissa samoja arvoja. Kaikkien ilmanvaihtokoneiden energiankulutus tarkastellaan lämmitystarpeen ja puhallinenergiankulutuksen mukaan.

Energian hintatietoina käytetään tilastokeskuksen vuoden 2016 keskiarvoja kaukolämmön ja sähköhinnnoista. Kaukolämmön hinta on 78,28 €/MWh ja sähköenergian hinta 119,50 €/MWh. Työssä tutkitaan järjestelmän energiankulutusta yleisellä tasolla, joten energian hintataso on määritelty valtakunnallisen keskiarvon mukaan. Nämä hinnat sisältävät arvonlisäveron 24 %.

IV-koneiden käyntiajat on selvitetty koneiden ohjausjärjestelmästä ja esitetään taulukossa 2. Koneet käyvät aukioloaikojen mukaan. Ravintolalla ja baarilla on laajat aukioloajat klo 10.00–04.00 kuutena päivänä viikossa. Koneet käyvät lisäksi osateholla ennen aukioloaika ja aukiolon päättymisen jälkeen. Disko puolestaan on auki ainoastaan kahdena päivänä viikossa.

Taulukko 2. IV-koneiden käyntiajat

KÄYNTIAJAT	pvä/vko	1/1-teho h/vrk	1/2-teho h/vrk
TK1/PK1	7	18	3
TK2/PK4	2	6	3
PK2	7	18	3
PK3	7	24	0

Ilmanvaihdon lämmitysenergian tämänhetkinen laskennallinen kulutus TK1/PK1:n ja TK2/PK4:n palvelualueilla on 293 MWh vuodessa, jolloin verollinen lämmitysenergian hinta on noin 23 000 € vuodessa.

7.3 Puhallinenergian kulutus

Ilmanvaihtokoneiden puhaltimien energiankulutus tutkittavassa kiinteistössä selvitettiin mittaamalla puhaltimien ottama sähköteho. Sähkötehon mittauksessa käytettiin Fluke 376 AC/DC -pihtimittaria. Sähkönkulutus laskettiin virrankulutuksen, jännitteen avulla ja moottorin tehokertoimen eli $\cos \phi$ -arvon perusteella. Mittaustulokset esitetään taulukossa 3.

Taulukko 3. Puhaltimien ominaissähkökulutuksen mittaustulokset ja SFP-luvun laskentatulokset

MITATTU PUHALLINENERGIAN KULUTUS								
	ilmavirta m ³ /s	Virta A vaihe1	Virta A vaihe2	vaihe3	Virta U V	cos ϕ	Teho P kW	SFP-luku
TK1	3,00	7,6	7,6	7,8	392	0,9	4,68	1,56
TK1 (1/2)	1,50	1,45	1,43	1,42	392	0,9	0,88	0,58
PK1	1,74	2,39	2,39	2,4	392	0,9	1,46	0,84
PK1 (1/2)	1,13	1,02	1,18	2,4	392	0,9	0,94	0,83
TK2	1,50	4,09	4,09	3,98	392	0,9	2,48	1,65
TK2 (1/2)	0,75	2,02	2,04	2,05	392	0,9	1,24	1,66
PK4	1,28	1,68	1,68	1,65	392	0,9	1,02	0,80
PK4 (1/2)	0,64	0,81	0,84	0,84	392	0,9	0,51	0,79
PK2	0,75	0,94	0,94	0,89	392	0,9	0,56	0,75
PK3	0,83	0,89	0,89	0,84	392	0,9	0,53	0,65

Ilmavirtojen ja puhaltimien ottaman sähkötehon perusteella saadaan myös laskettua puhaltimille laitekohtainen SFP-luku, joka on esitetty myös taulukossa 3.

Puhallinenergian kulutus lasketaan käyttöaikojen ja -tehojen mukaan. Taulukossa 4 esitetään kunkin ilmanvaihtokoneen käyttämä sähköenergia ja sen kustannus.

Taulukko 4. Puhaltimien sähkönkulutus

kone	päivät	1/1 teho		1/2 teho		energiankulutus		energian hinta	
		d	h	h	kW	kW	kWh	Mwh	€/MWh
TK1	7	18	3	4,68	0,88	31652	31,7	119,5	3782
PK1	7	18	3	1,46	0,94	10605	10,6	119,5	1267
TK2	2	6	3	2,48	2,48	2318	2,3	119,5	277
PK4	2	6	3	1,02	0,51	795	0,8	119,5	95
PK2	7	18	3	0,56	0,56	4313	4,3	119,5	515
PK3	7	24		0,53		4662	4,7	119,5	557
YHTEENSÄ							54,3		6494

Tutkittavien ilmanvaihtokoneiden puhaltimien energian kulutus on 54,3 MWh vuodessa ja laskettu verollinen energian hinta 6 494 € vuodessa.

8 Saneerauksen luonnossuunnittelu

8.1 Ilmanvaihtokoneiden luonnossuunnittelu

Luonnossuunnittelussa käytettiin Fläkt Woodsin Acon-mitoitusohjelmaa. Ohjelma mitoittaa koneet ja laskee niiden energiankulutuksen. Liitteissä 1–5 on koottu koneiden mitoituksen ja energianlaskennan tulokset.

Luonnossuunnitelman perusteella tehtiin kustannusarvio investoinnista. Sähkö- ja automatiikkatöiden kustannuslaskennassa huomioitiin nykyisen automatiikan käyttö uuden laitteiston kanssa. Arviot toteutettiin lähettämällä luonnossuunnitelmat urakoitsijoille, joilla on kokemusta vastaavista hankkeista. Kustannusarvion ilmanvaihtotöiden ja tarvikkeiden hinnasta luonnossuunnitelmien pohjalta antoi Consti Talotekniikka Oy:n työnjohtaja Tenho Oinonen. Muiden LVI-töiden osalta kustannusarviota kysyttiin paikallisesta LV-urakoitsijalta. Kustannusarvio saatiin Riihimäen Öljypoltinhuolto Oy:n työnjohtaja Juhani Mäkelältä. Osa kustannuksista, mm. purkutyöt, jätteiden käsittely ja säätötyöt, on

laskettu puolittamalla koko konehuoneen saneeraukseen liittyvä kokonaiskustannus, koska oletetaan, että molemmat koneet vaihdetaan samalla kertaa. Kustannusten laskennassa on käytetty tarvikkeiden hinnassa urakoitsijoiden tekemiä alustavia laitevalintoja, niiltä osin kuin laitteita ei ollut määritelty esim. lämmityspumput ja venttiilit. Urakoitsijat ovat laskeneet hinta-arvioon mukaan normaalin katteen, jota tyypillisesti käytetään vastaavissa kohteissa.

8.1.1 TK1/PK1 Vaihtoehto 1: Pyörivä lämmönsiirrin

IV-koneen mitoitus tehtiin Fläkt Woodsin Acon mitoitusohjelmalla. Ilmanvaihtokone valittiin siten, että se mahtuu nykyisen koneen paikalle ilman muutostöitä konehuoneen rakenteisiin. Pyörivä LTO-laite ja muut koneen osat osiin purettuna pystytään kuljettamaan olemassa oleviaukoista ongelmitta. Kanavien järjestys on laitteelle sopiva ja konehuoneeseen mahtuvat myös ilmankäsittelykoneeseen suoraan asennetut äänenvaimenninyksiköt. Ongelman aiheuttaa baarin tupakointitila. Hajut siirtyvät tuloilmaan erittäin helposti, ja mikäli tupakointitila säilytetään, ei pyörivää lämmönsiirintä voida käyttää LTO-laitteena.

Mitoitukseen valittu konemalli on Fläkt Woodsin EQ Prime. Koneen mittapiirustus ja laskentatiedot ovat liitteessä 1. Tässä vaihtoehdossa lämmöntalteenottoa ei suunnitella poistokoneille PK2 ja PK3.

Ilmanvaihtokoneen muutostyön kustannusarvio saatujen kustannusarvioiden perusteella on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Kustannuslaskelma vaihtoehdolle 1

KUSTANNUKSET TK1/PK1	€ alv 0%	
Vaihtoehto 1: Pyörivä lämmönsiirrin	työkustannus	tarvikkeet
Ilmanvaihtokoneen hankintahinta		26500
Ilmanvaihtokoneen purkutyöt	1680	
Purkujäte, lava	700	
Ilmanvaihtokoneen asennus, kanavatyöt	1700	980
Putkityöt, lämmitys/lto	600	1438
Rakennustekniset muutostyöt	500	400
Ilmamäärien mittaus ja säätö	400	
Automatiikka-asennukset	1500	
YHTEENSÄ	36398	€ alv 0%
YHTEENSÄ	45134	€ alv 24%

Arvonlisäverollinen investointikustannus vaihtoehdolle 1 on 45134 €.

8.1.2 TK1/PK1 Vaihtoehto 2: Vastavirtalämmönsiirrin

Vaihtoehdon 2 ilmanvaihtokoneen koko on merkittävästi suurempi ulkomitoiltaan kuin pyörivällä lämmönsiirtimellä varustettu kone. Konehuoneeseen ei saada sopimaan minikäänlaisia äänenvaimentimia. Äänenvaimentimet on kuitenkin mahdollista asentaa kanaviin konehuoneen ulkopuolelle, tekemällä muutoksia ullakotilassa konehuoneen ulkopuolella. Vastavirtakennoa käytettäessä tuloilmaan saattaa siirtyä pieniä määriä poistoilman epäpuhtauksia. Tämä vaikuttaa siihen, että tupakointitilaa ei voisi tässäkään vaihtoehdossa kytkeä poistokanavistoon, kuten nyt on tehty. IV-koneen haalaus konehuoneeseen onnistuu tilaamalla kone sellaisena kokoonpanona, että se on purettavissa osiin, jotka on mahdollista kuljettaa oviaukoista. Vastavirtakennoa käytettäessä kanavien järjestys voidaan muuttaa käyttämällä erityistä vaihto-osaa, joka kääntää jäteilman koneen yläosaan ja tuloilman oton koneen alapuolelle. Käytettäessä vaihto-osaa on kanavajärjestys sellainen, että kone pystytään asentamaan konehuoneeseen ilman suurempia rakennusteknisiä töitä.

Valittu konemalli on Fläkt Woodsin EQ Prime. Koneen mittapiirustus ja laskentaraaportti on esitetty liitteessä 2. Vaihtoehdossa 2 lämmöntalteenottoa ei suunnitella poistokoneille PK2 ja PK3.

Ilmanvaihtokoneen muutostyön kustannukset arvioidaan laitekustannusten ja työn osuuden osalta. Sähkötöitä ja automatiikan muutostöitä ei huomioida kustannuksiin. Arvio on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Kustannuslaskelma vaihtoehdolle 2

KUSTANNUKSET TK1/PK1	€ alv 0%	
Vaihtoehto 2: Vastavirta lämmönsiirrin	työkustannus	tarvikkeet
Ilmanvaihtokoneen hankintahinta		35500
Ilmanvaihtokoneen purkutyöt	1680	
Purkujäte, lava	700	
Ilmanvaihtokoneen asennus, kanavatyöt	1700	980
Putkityöt, lämmitys/lto	600	1438
Kanavaäänenvaimentimet	1120	924
Rakennustekniset muutostyöt	800	620
Ilmamäärien mittaus ja säätö	400	
Automatiikka-asennukset	1500	
YHTEENSÄ	47962	€ alv 0%
YHTEENSÄ	59473	€ alv 24%

Arvonlisäverollinen investointikustannus vaihtoehdolle 2 on 59 473 €.

8.1.3 TK1/PK1 Vaihtoehto 3: Nestekiertoinen lämmöntalteenotto

Kolmannessa tarkasteltavassa vaihtoehdossa käytetään ilmanvaihtokonetta, jossa lämmöntalteenottolaitteena toimivat nestekiertoiset patterit poistokanavassa ja huippuimureilla PK2 ja PK3. Ilmanvaihtokoneena toimii Fläkt Woodsin Econet lämmöntalteenottojärjestelmällä varustettu eQ ilmanvaihtokone. IV-koneen mitoitus tehtiin Fläkt Woodsin Acon-mitoitusohjelmalla. Poistoilmavirtana käytetään poistokoneiden yhteenlaskettua poistoilmavirtaa. Tämä perustellaan tiedolla, että nestekiertoisten LTO-huippuimureiden lämpötilahyötysuhde on vastaava kuin poistokanavan talteenoton hyötysuhde ja liuospiirien häviöt lasketaan pieniksi lyhyiden etäisyyksien johdosta. Lisäksi keittiön poistoilma sisältää usein enemmän talteenotossa hyödynnettävää energiaa kuin normaali poistoilma. Näin laskettaessa voidaan käyttää samaa mitoitusohjelmaa kuin muille koneille eikä sitouduta vielä luonnosvaiheessa valitsemaan minkään yhden laitetoimittajan LTO-huippuimuriratkaisua. Luonnossuunnitteluvaiheessa arvioitiin tällä menetelmällä päästävän riittävään tarkkuuteen vaihtoehtojen vertailussa.

Tässä vaihtoehdossa kustannuksia tulee iv-koneen asennuksen lisäksi mm. huippuimurien asennuksesta, liuosputkistojen asennuksesta, viemäröinnin ja vesijohdon asennuksesta katolle huippuimureiden huoltoa varten. Koko elinkaarta tarkasteltaessa ilmanvaihtokoneiden huoltokustannukset ovat korkeammat kuin muissa vaihtoehdoissa. Elinkaarilaskennassa huoltokustannusten arvioissa on huomioitu myös lto-huippuimureiden pesutarve 1-2 kertaa vuodessa. Laskelma nestekiertoisen järjestelmän kustannuksista on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Kustannuslaskelma vaihtoehdolle 3

KUSTANNUKSET TK1/PK1	€ alv 0%	
Vaihtoehto 3: Nestekiertoinen lämmönsiirrin	työkustannus	tarvikkeet
Ilmanvaihtokoneen hankintahinta		37800
Ilmanvaihtokoneen purkutyöt	1680	
Purkujäte, lava	700	
Ilmanvaihtokoneen asennus, kanavatytöt	1700	980
LTO-huippuimurit	2800	4400
Putkityöt, lämmitys/lto eristys	1800	3450
Putkityö vesi ja viemäröinti (LTO-huippuimurit)	400	525
Rakennustekniset muutostytöt	970	620
Ilmamäärien mittaus ja säätö	400	
Automatiikka-asennukset	1500	
YHTEENSÄ	59752	€ alv 0%
YHTEENSÄ	74059	€ alv 24%

Arvonlisäverollinen investointikustannus vaihtoehdolle 3 on 74 059 €.

8.1.4 TK2/PK4 Vaihtoehto 1: Pyörivä lämmönsiirrin

IV-koneen mitoituksessa käytettiin Fläkt Woodsin Acon-mitoitusohjelmaa. Ilmanvaihtokone mahtuu nykyisen koneen ja koneen osien haalaus aukoista onnistuu koneen ollessa purettuna. Kanavien järjestys on suunniteltu koneelle sopivaksi, ja konehuoneeseen mahtuvat myös ilmankäsittelykoneeseen suoraan asennetut äänenvaimenninyksiköt. Kustannuslaskelma investoinnille on esitetty taulukossa 8.

Mitoitukseen valittu konemalli on Fläkt Woodsin EQ Prime. Koneen mittapiirustus ja las-kenttaraportti on esitetty liitteessä 4.

Taulukko 8. Kustannuslaskelma vaihtoehdolle 1

KUSTANNUKSET TK2/PK4	€ alv 0%	
Vaihtoehto 1: Pyörivä lämmönsiirrin	työkustannus	tarvikkeet
Ilmanvaihtokoneen hankintahinta		19843
Ilmanvaihtokoneen purkutyöt	1680	
Purkujäte, lava	700	
Ilmanvaihtokoneen asennus, kanavatyöt	1700	980
Putkityöt, lämmitys/lto	600	1438
Rakennustekniset muutostyöt	500	400
Ilmamäärien mittaus ja säätö	400	
Automatiikka-asennukset	1500	
YHTEENSÄ	29741	€ alv 0%
YHTEENSÄ	36879	€ alv 24%

Arvonlisäverollinen investointikustannus vaihtoehdolle 1 on 36 879 €.

8.1.5 TK2/PK4 Vaihtoehto 2: Vastavirtalämmönsiirrin

Vaihtoehdon 2 ilmanvaihtokoneen koko on merkittävästi suurempi ulkomitoiltaan kuin pyörivällä lämmönsiirtimellä varustettu kone, tämä kone kuitenkin saadaan sopimaan tilaan. IV-koneen haalaus konehuoneeseen onnistuu purettuna. Kanavalähdöt koneessa saadaan oikeaan järjestykseen, eikä huomattavia rakennusteknisiä töitä tarvita asennuksessa. Kustannuslaskelma on esitetty taulukossa 9.

Valittu konemalli on Fläkt Woodsin EQ Prime. Koneen mittapiirustus ja laskentaraaportti ovat liitteessä 5. Ilmanvaihtokoneen muutostyön kustannukset arvioitiin laitekustannusten ja työn osuuden osalta.

Taulukko 9. Kustannuslaskelma vaihtoehdolle 2

KUSTANNUKSET TK2/PK4	€ alv 0%	
Vaihtoehto 1: Vastavirta lämmönsiirrin	työkustannus	tarvikkeet
Ilmanvaihtokoneen hankintahinta		28840
Ilmanvaihtokoneen purkutyöt	1680	
Purkujäte, lava	700	
Ilmanvaihtokoneen asennus, kanavatyöt	1700	980
Putkityöt, lämmitys/lto	600	1438
Rakennustekniset muutostyöt	800	620
Ilmamäärien mittaus ja säätö	400	
Automatiikka-asennukset	1500	
YHTEENSÄ	39258	€ alv 0%
YHTEENSÄ	48680	€ alv 24%

Arvonlisäverollinen investointikustannus vaihtoehdolle 2 on 48 680 €.

9 Energiansäästö-laskelmat

9.1 Ilmanvaihtokoneen TK1/PK1 energian kulutus ja investoinnin kannattavuus

Ilmanvaihtokoneen TK1/PK1 energian kulutusta vertailtiin eri saneerausvaihtoehdoilla. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla arvioidaan saatavan merkittäviä säästöjä. Järjestelmien hankintakustannusten perusteella voidaan yksinkertaistetusti laskea järjestelmälle takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuaikaan vaikuttavat myös järjestelmän ylläpitoon liittyvät kustannukset. Käytännössä kuitenkin uuden järjestelmän huoltokustannukset ovat pienemmät kuin nykyisen yli 25 vuotta vanhan järjestelmän. Nestekiertoisen järjestelmän huollontarve on hiukan suurempi kuin muiden vertailtavien järjestelmien, laitteita on enemmän ja lämmönsiirtimien pesu tulee suorittaa vähintään kerran vuodessa. Taulukossa 10 esitetään lasketut energiakustannukset ja investoinnin takaisinmaksuaika eri vaihtoehdoille.

Taulukko 10. Ilmanvaihtokoneen TK1/PK1 energiankulutuksen vertailu

RAVINTOLA/BAARI TK1/PK1				
Vuotuisen energian kulutuksen vertailu				
	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3	Nykytilanne
Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	66,60 %	72,90 %	78,00 %	0 %
Talteenotettu energia	195755	205631	221906	0
Lämmitysenergian kulutus kWh	98135	88259	61365	293890
Sähköenergian kulutus kWh	36090	33954	47262	46570
Lämmitysenergian kulutus EUR	7655	6884	4786	23006
Sähköenergian kulutus EUR	4296	3396	5624	5565
Yhteensä EUR	11951	10280	10410	28571
Investointikustannus	45134	59473	74059	
Takaisinmaksuaika, vuotta	2,7	3,3	4,1	

Ilmanvaihtokone pyörivällä lämmöntalteenottolaitteella on laskennan mukaan kannattavin ratkaisu. Takaisinmaksuaika investoinnille on ainoastaan 2,7 vuotta.

9.2 Ilmanvaihtokoneen TK2/PK4 energian kulutus ja investoinnin kannattavuus

Toisen ilmanvaihtokoneen osalta laskelmien tulos on esitetty taulukossa 11. Investoinnin kannattavuus on huono. Investoinnin takaisinmaksuajaksi paremmassa pyörivän lämmöntalteenottolaitteen vaihtoehdossa muodostuu 29,7 vuotta.

Taulukko 11. Ilmanvaihtokoneen TK2/PK4 energiankulutuksen vertailu

DISCO TK2/PK4			
Vuotuisen energian kulutuksen vertailu			
	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Nykytilanne
Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	93,30 %	89,00 %	0 %
Talteenotettu energia	13203	12176	0
Lämmitysenergian kulutus kWh	840	1490	14043
Sähköenergian kulutus kWh	1855	1940	3113
Lämmitysenergian kulutus EUR	66	74	1099
Sähköenergian kulutus EUR	222	194	372
Yhteensä EUR	288	268	1471
Investointikustannus	36898	48680	
Takaisinmaksuaika, vuotta	29,7	40,5	

Huono kannattavuus selittyy ilmanvaihdon käyttöajoilla. Pieni käyttö ei pysty tuomaan suuria säästöjä energiankulutuksessa.

10 Yhteenveto

Rakennuksen ilmanvaihdon saneeraus on tullut ajankohtaiseksi. Ongelmat ilmanvaihtokoneiden toiminnassa ja runsas energiankulutus tukevat hanketta. Tämän työn pohjalta saimme kattavan vertailun eri ratkaisujen soveltuvuudesta kohteeseen. Tuloksia tulee tarkastella palvelualueittain, koska tiloilla on hyvin erilaiset käyttötarkoitukset ja ongelmat.

Ilmanvaihtokoneen TK1/PK1 kohdalla saneerauksen takaisinmaksuaika muodostui verrattain lyhyeksi kaikilla vaihtoehdoilla. Pyörivä lämmönsiirrin ratkaisuna vaikuttaa tilan ja energiatehokkuuden puolesta järkevimmältä. Tämän projektin aikana ei saatu tilaajan puolelta tietoa siitä, ollaanko tiloissa valmiit tekemään tarvittavia muutoksia, jotta pyörivä lämmönsiirrin voitaisi asentaa TK1/PK1 koneeseen. Mikäli tupakoinnista ei luovuta baarin tiloissa, tulee valita nestekiertoinen järjestelmä lämmön talteenottolaitteeksi.

Ilmanvaihtokoneella TK2/PK4 tutkitut vaihtoehdot antavat kaikki hyvin pitkän takaisinmaksuajan investoinnille. Tähän on syynä ainoastaan tilojen tämänhetkinen hyvin pieni käyttöaste. Tehtäessä päätöstä saneerauksesta ei kuitenkaan voida tuijottaa vain lukuja, vaan tulee huomioida kokonaisuus. Koko ilmanvaihtokonehuone kannattaa uusida yhdellä kertaa, eikä tilojen käyttöaste välttämättä pysy muuttumattomana vuosia eteenpäin.

Ilmanvaihtokoneen TK3/PK3 palvelualueella havaittiin monenlaisia ongelmia sekä käytössä että viihtyvyydessä. Tanssistudion ilmanvaihdon ongelmiin ratkaisuksi esitän ilmanvaihdon muutostyötä, jossa kanavisto ja konehuone rakennetaan uudelleen palvelemaan vain tanssistudion tiloja. Ratkaisulla saataisi monia hyötyjä, kuten käyttömukavuus, säätömahdollisuudet, energiatehokkuus, määräystenmukainen ilmanvaihto ja parempi viihtyvyys. Ilmanvaihtokoneen mittapiirustus ja laskentaportti esitetään liitteessä 6.

Tämä työ toimii tukena tehtäessä päätöstä ilmanvaihdon saneerauksesta. Kaikkien laitteiden luonnossuunnitelmat ja tekniset tiedot ovat liitteenä työssä. Saneerauksen edut ovat kiistattomat sekä rakennukselle itselleen, sen työntekijöille ja asiakkaille. Rakennuksen ilmanvaihdon huolto- ja ylläpitokustannukset sekä energiakustannukset tulisivat laskemaan.

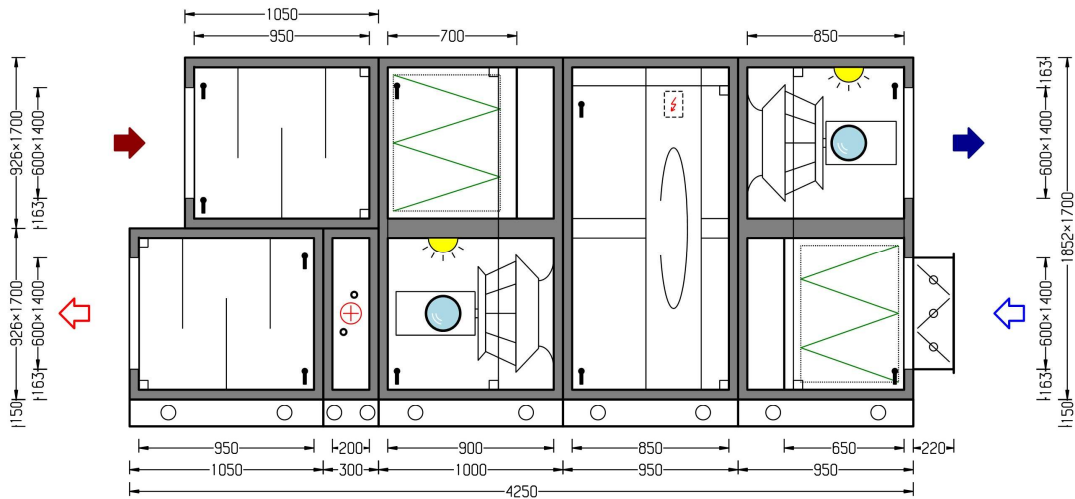
Uudet ilmanvaihtokoneet ja nykyaikainen järjestelmä mahdollistavat myös entistä paremmat mahdollisuudet ilmanvaihdon tarpeenmukaiseen säätöön. Tiloissa voitaisi mm. ottaa käyttöön ilmanvaihdon ohjaus hyödyntäen hiilidioksidiantureita.

Lähteet

- 1 Sandberg Esa (toim.). 2014. Sisäilmasto ja Ilmastointijärjestelmät. Tampere. Talotekniikkajulkaisut Oy
- 2 Pyörivä lämmönsiirrin. 2017. Verkkoaineisto. Fläkt Woods Oy. <http://www.flaktwoods.fi/products/air-treatment/energy-recovery/semco-rotary-heat-exchanger/>. Luettu 9.3.2017
- 3 Ristivirtalämmönsiirrin. 2017. Verkkoaineisto. Fläkt Woods Oy. <http://www.flaktwoods.fi/products/air-treatment/energy-recovery/recuterm-cross-flow/>. Luettu 9.3.2017
- 4 Vastavirtalämmönsiirrin. 2017. Verkkoaineisto. Fläkt Woods Oy. <http://www.flaktwoods.fi/products/air-treatment/energy-recovery/recuterm-counterflow/>. Luettu 9.3.2017
- 5 Econet Nestekiertoisen lämmöntalteenotto. 2017. Verkkoaineisto. Fläkt Woods Oy. <http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=0733ff56-c823-4751-bd8b-fb9683f76d07lähdr>. Luettu 9.3.2017
- 6 Heinilä Harri. 2013. Nestekiertoisen lämmöntalteenoton hankinta- ja käyttökustannusten optimointi, Insinööriyö. Metropolia ammattikorkeakoulu
- 7 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D2. Helsinki. ympäristöministeriö
- 8 Puolueetonta tietoa sisäilmasta. 2017. Sisäilmasto. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys Ry. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Perustietoa>. Luettu 10.3.2017
- 9 Asumisterveysohje. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. Helsinki. Sosiaali- ja terveysministeriö
- 10 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5. Helsinki. ympäristöministeriö.
- 11 Moniste 122 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. 2003. Helsinki. Ympäristöministeriö
- 12 Myllykoski Thomas. 2011. Rakennuksen ilmanvaihdon energiaselvitys, Opinnäytetyö. Mikkelin Ammattikorkeakoulu
- 13 SFP-opas, Opas ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon määrittämiseen, laskentaan ja mittaamiseen. 2009. Helsinki. LVI-talotekniikkateollisuus ry
- 14 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto, ohje. 2010. LVI 38-10454. Rakennustieto Oy.

TK1/PK1 Vaihtoehto 1 Pyörivä lämmönsiirrin

Ilmanvaihtokoneen perustiedot, mittakuva ja energialaskennan tulokset



ENERGIALASKENTA

Ilmankäsittelykone

TK1/PK1 pyörivä LTO

Perustiedot

Koneen tyyppi	eQ Prime - 023
Tuloilma	3,00 m ³ /s
Poistoilma	1,74 m ³ /s
Lämmöntalteenotto	RHE, Non hygro
SFP	1,68 kW/(m ³ /s)
Hyötysuhde, EN308	51,70 %
Lämmitys	77,4 kW
Jäähdytys	0,00 kW
Tuloilmapuhallin	3,76 kW
Poistoilmapuhallin	1,73 kW

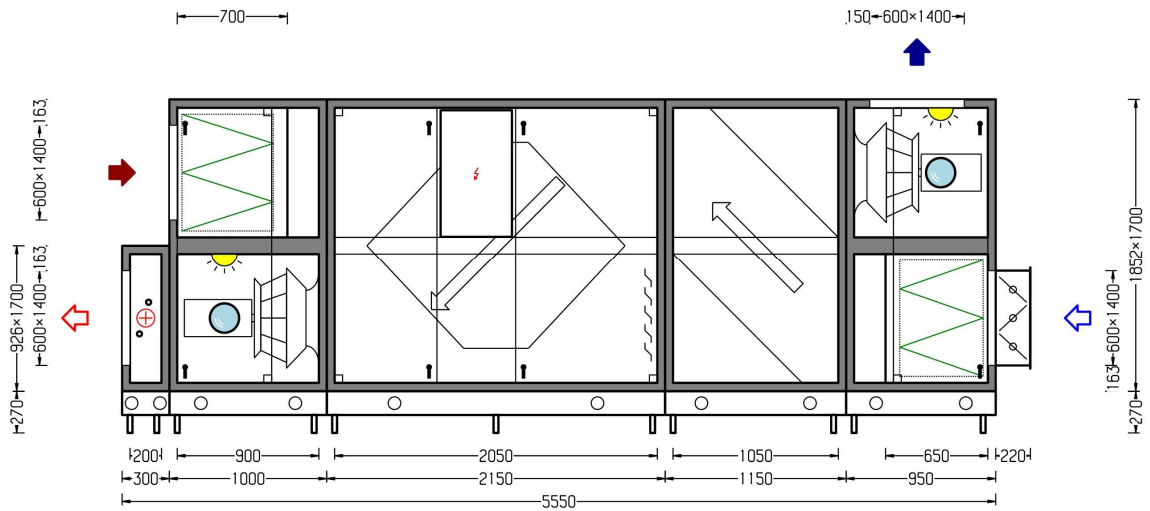
Tulokset

Lämmöntalteenotto vuositasolla	Energy recovery
Tuloilmalle laskettu lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	67 %
Lämmön talteenotto	195755 kWh
Tuloilmapuhaltimen lämmitysvai- kutukset	19006 kWh
Yhteensä	214761 kWh

Energiankulutus vuositasolla	Energian kulutus	Energiakus- tannus
Lämmitys	98135 kWh	7655 EUR
Tuloilmapuhallin	23786 kWh	2831 EUR
Poistoilmapuhallin	10912 kWh	1299 EUR
Muu sähkönkulutus	1392 kWh	166 EUR
Yhteensä	134225 kWh	11949 EUR

TK1/PK1 Vaihtoehto 2 Vastavirtalämmönsiirrin

Ilmanvaihtokoneen perustiedot, mittakuva ja energialaskennan tulokset



Ilmankäsittelykone

TK1/PK1 vastavirta LTO

Perustiedot

Koneen tyyppi	eQ Prime - 023
Tuloilma	3,00 m ³ /s
Poistoilma	1,74 m ³ /s
Lämmöntalteenotto	PHE, recuterm
SFP	1,63 kW/(m ³ /s)
Hyötysuhde, EN308	57,30 %
Lämmitys	73,3 kW
Tuloilmapuhallin	3,78 kW
Poistoilmapuhallin	1,62 kW

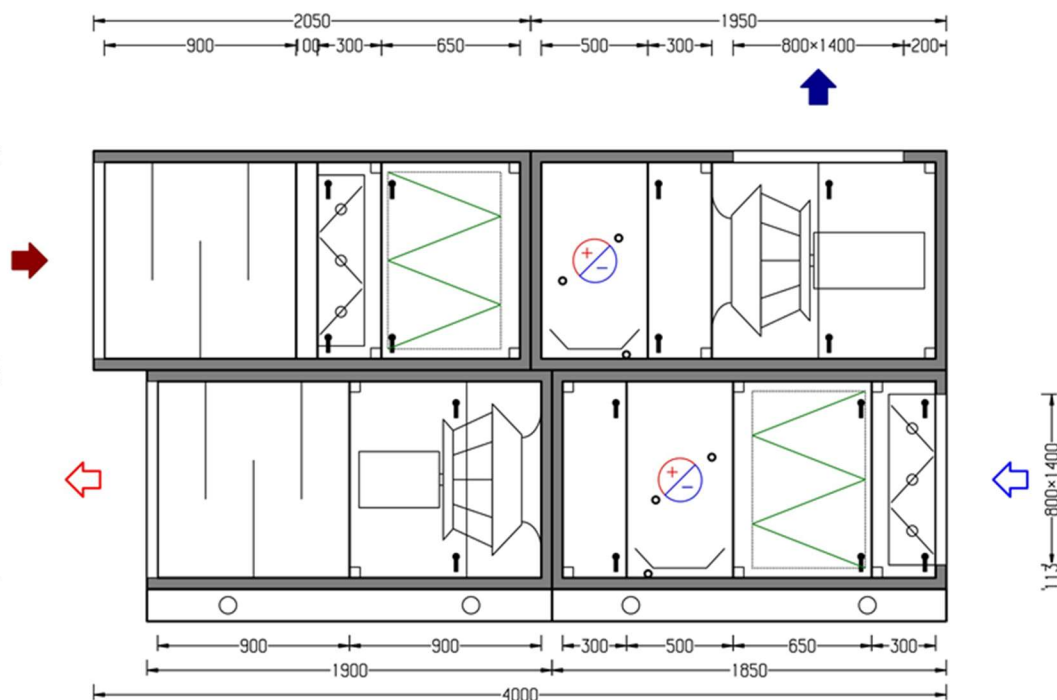
Tulokset

Lämmöntalteenotto vuositasolla	Energy recovery
Tuloilmalle laskettu lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	73 %
Lämmön talteenotto	205631 kWh
Tuloilmapuhaltimen lämmitysvai- kutuset	18415 kWh
Yhteensä	224046 kWh

Energiankulutus vuositasolla	Energian kulutus	Energiakus- tannus
Lämmitys	88259 kWh	6884 EUR
Tuloilmapuhallin	23482 kWh	2348 EUR
Poistoilmapuhallin	10416 kWh	1042 EUR
Muu sähkönkulutus	56 kWh	6 EUR
Yhteensä	33954 kWh	10280 EUR

TK1/PK1 Vaihtoehto 3 Nestekiertoinen lämmönsiirrin

Ilmanvaihtokoneen perustiedot, mittakuva ja energialaskennan tulokset



ENERGIALASKENTA

Ilmankäsittelykone

TK1/PK1 nestekiertoinen
LTO

Perustiedot

Koneen tyyppi	eQ tulo/poistoilma
Tuloilma	3,00 m ³ /s
Poistoilma	3,10 m ³ /s
Lämmöntalteenotto	
SFP	2,06 kW/(m ³ /s)
Hyötysuhde, EN308	64,40 %
Lämmitys	55,7 kW
Tuloilmapuhallin	3,41 kW
Poistoilmapuhallin	3,64 kW

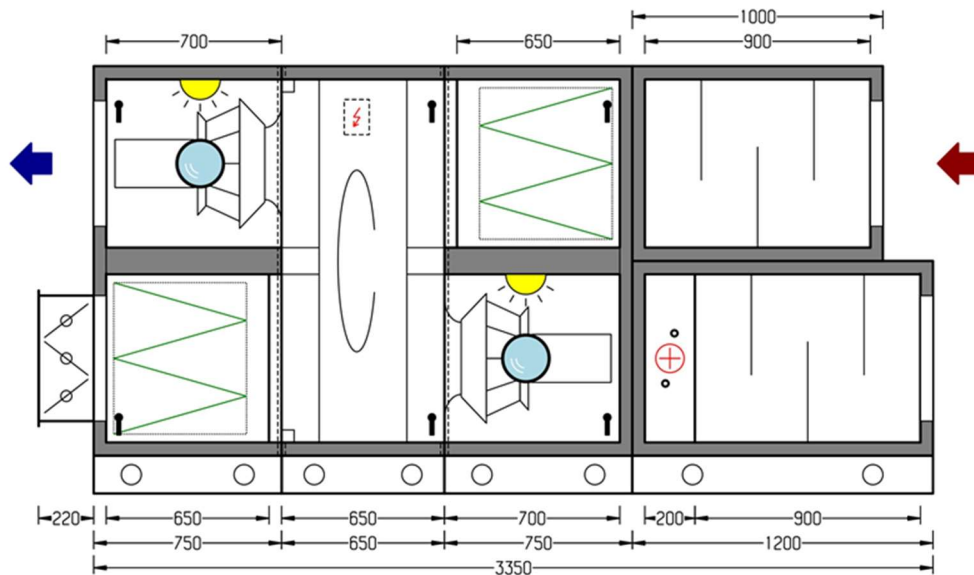
Tulokset

Lämmöntalteenotto vuositasolla	Energy recovery
Tuloilmalle laskettu lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	78 %
Lämmön talteenotto	221906 kWh
Tuloilmapuhaltimen lämmitys vaikutus	17348 kWh
Yhteensä	239963 kWh

Energiankulutus vuositasolla	Energian kulutus	Energiakustannus
Lämmitys	61365 kWh	4786 EUR
Tuloilmapuhallin	21679 kWh	2580 EUR
Poistoilmapuhallin	23171 kWh	2757 EUR
Muu sähkönkulutus	2412 kWh	287 EUR
Yhteensä	108659 kWh	10431 EUR

TK2/PK4 Vaihtoehto 1 Pyörivä lämmönsiirrin

Ilmanvaihtokoneen perustiedot, mittakuva ja energialaskennan tulokset



ENERGIALASKENTA

Ilmankäsittelykone

TK2/PK4 pyörivä LTO

Perustiedot

Koneen tyyppi	eQ Prime - 018
Tuloilma	1,50 m ³ /s
Poistoilma	1,28 m ³ /s
Lämmöntalteenotto	RHE, Non hygro
SFP	1,73 kW/(m ³ /s)
Hyötysuhde, EN308	75,9 %
Lämmitys	13,3 kW
Tuloilmapuhallin	1,56 kW
Poistoilmapuhallin	1,27 kW

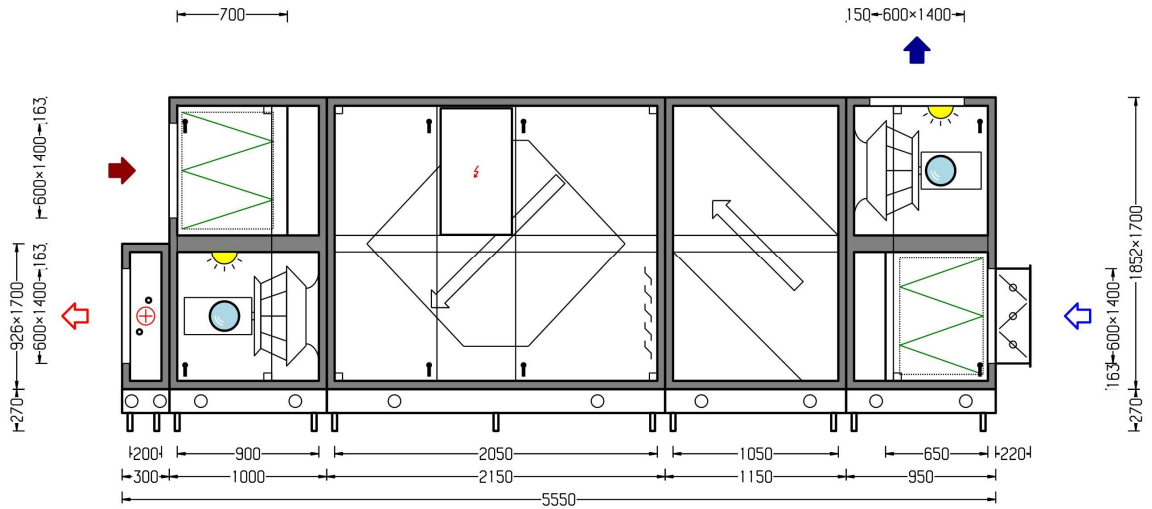
Tulokset

Lämmöntalteenotto vuositasolla	Energy recovery
Tuloilmalle laskettu lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	93 %
Lämmön talteenotto	13203 kWh
Tuloilmapuhaltimen lämmitysvoikutus	776 kWh
Yhteensä	13979 kWh

Energiankulutus vuositasolla	Energian kulutus	Energiakustannus
Lämmitys	840 kWh	42 EUR
Tuloilmapuhallin	1026 kWh	103 EUR
Poistoilmapuhallin	89 kWh	83 EUR
Muu sähkönkulutus	49 kWh	5 EUR
Yhteensä	134225 kWh	232 EUR

TK2/PK4 Vaihtoehto 2 Vastavirtalämmönsiirrin

Ilmanvaihtokoneen perustiedot, mittakuva ja energialaskennan tulokset



Ilmankäsittelykone

TK1/PK1 vastavirta LTO

Perustiedot

Koneen tyyppi	eQ Prime - 018
Tuloilma	1,50 m ³ /s
Poistoilma	1,28 m ³ /s
Lämmöntalteenotto	PHE, recuterm
SFP	1,79 kW/(m ³ /s)
Hyötysuhde, EN308	76,2 %
Lämmitys	35,5 kW
Tuloilmapuhallin	1,69 kW
Poistoilmapuhallin	1,29 kW

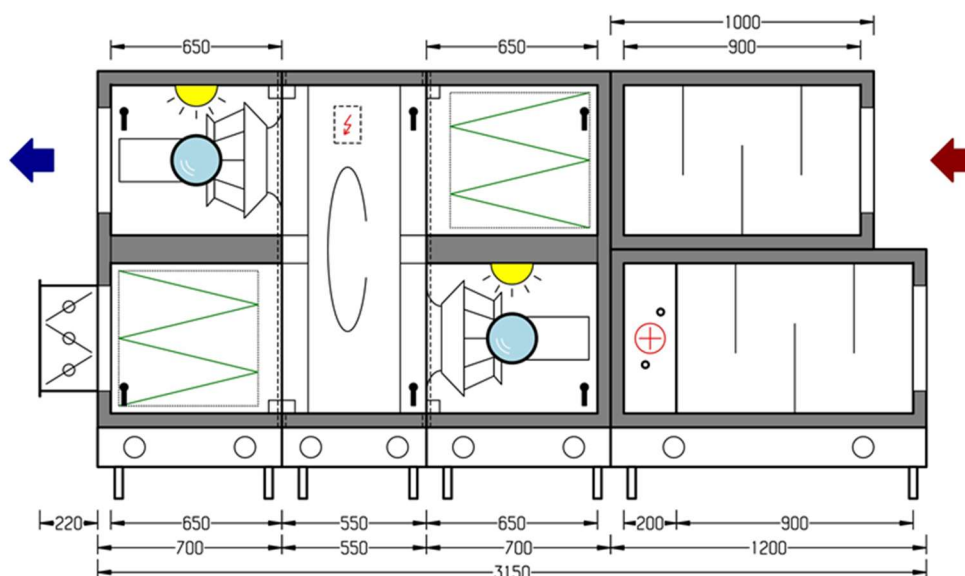
Tulokset

Lämmöntalteenotto vuositasolla	Energy recovery
Tuloilmalle laskettu lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	89 %
Lämmön talteenotto	12176 kWh
Tuloilmapuhaltimen lämmitys vaikutus	829 kWh
Yhteensä	13005 kWh

Energiankulutus vuositasolla	Energian kulutus	Energiakustannus
Lämmitys	1490 kWh	74 EUR
Tuloilmapuhallin	1089 kWh	109 EUR
Poistoilmapuhallin	845 kWh	84 EUR
Muu sähkönkulutus	6 kWh	1 EUR
Yhteensä	3430 kWh	268 EUR

TK3/PK5 Pyörivä lämmönsiirrin

Ilmanvaihtokoneen perustiedot, mittakuva ja energialaskennan tulokset



ENERGIALASKENTA

Ilmankäsittelykone

TK3/PK5 pyörivä LTO

Perustiedot

Koneen tyyppi	eQ Prime - 011
Tuloilma	1,14 m ³ /s
Poistoilma	1,25 m ³ /s
Lämmöntalteenotto	RHE, Non hygro
SFP	2,04 kW/(m ³ /s)
Hyötysuhde, EN308	84,7 %
Lämmitys	4,88 kW
Tuloilmapuhallin	1,29 kW
Poistoilmapuhallin	1,49 kW

Tulokset

Lämmöntalteenotto vuositasolla	Energy recovery
Tuloilmalle laskettu lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	98 %
Lämmön talteenotto	52713 kWh
Tuloilmapuhaltimen lämmitysvoikutus	3308 kWh
Yhteensä	56021 kWh

Energiankulutus vuositasolla	Energian kulutus	Energiakustannus
Lämmitys	977 kWh	49 EUR
Tuloilmapuhallin	4299 kWh	430 EUR
Poistoilmapuhallin	4951 kWh	495 EUR
Muu sähkönkulutus	238 kWh	24 EUR
Yhteensä	10462 kWh	997 EUR