

Mika Sinkko

Ilmanvaihtokoneiden suunnitteluohje +4...+6 °C:n lämpöisiin tiloihin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

26.3.2014

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Mika Sinkko Ilmanvaihtokoneiden suunnitteluohje +4...+6 °C:n lämpöisiin tiloihin 40 sivua 26.3.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaaja(t)	tutkintovastaava Jorma Säteri diplomi-insinööri Kai Lindgren
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Sipoon Logistiikkakeskukseen sijoitettava +4...+6 °C:n lämpöisiä alueita palveleva ilmanvaihtokone. Työn tavoitteena oli ilmanvaihtokoneen suunnittelun ohella rakentaa työ siten, että kirjoitusta pystyttäisiin käyttämään eräänlaisena suuntaa antavana suunnitteluohjeena ja siten hyväksi käyttää myös tulevaisuuden suunnittelu kohteissa.</p> <p>Opinnäytetyössä suunniteltiin ilmanvaihtokone niin sanottuihin HEVI-tiloihin, joiden sisäilmastolliset vaatimukset olivat tavanomaista korkeammat. Tilojen käyttötarkoituksen edellyttämänä ilmanvaihtokone jouduttiin suunnittelemaan tavanomaisista ratkaisuista poikkeavaksi paketiksi.</p> <p>Työssä pyrittiin dokumentoimaan ilmanvaihtokoneen suunnittelu- ja mitoitusprosessi kone-osa kohtaisesti siten, että lopputuloksena on toimiva ilmanvaihtokone. Suunnitteluun tarvittavat lähtötiedot kerättiin kasaan tilaajan antamien tietojen ja laitetoimittajien kanssa käytyjen neuvotteluiden tuloksena. Tämän lisäksi hyväksi käytettiin rakennusmääräyskokoelmia ja SFS-standardeja.</p> <p>Työn tulokseksi saatiin ilmanvaihtokoneratkaisu, jonka suunnitteluprosessi osoittaa, kuinka oleellista yksittäisten osien tarkka tarkastelu on ja kuinka tärkeää on hyväksi käyttää laitevalmistajien asiantuntemusta. Ilmanvaihtokoneeseen suunniteltiin peruskomponenttien lisäksi esilämmityspatteri, hygroskooppinen lämmöntalteenotto ja kennokostutin.</p> <p>Ilmanvaihtokoneen suunnittelu tiloihin, joiden sisäilmastolliset vaatimukset ovat tiukat ja tavallisuudesta poikkeavat, edellyttää paljon esitutkimusta ja myös hyvin tarkkoja lähtötietoja tilaajalta. Koneen eri osa-alueet ovat hyvin paljon riippuvaisia toisistaan, joten suunnittelussa täytyy pitää kokonaisratkaisu mielessä yksittäisiä osia mitoitettaessa.</p>	
Avainsanat	kostutus, ilmanvaihtokone, hygroskooppinen lämmöntalteenotto

Author Title Number of Pages Date	Mika Sinkko Manual for designing an air handling unit for temperature range +4...+6°C 40 pages 26 March 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor	Jorma Säteri, Senior lecturer Kai Lindgren, M.Sc
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to design an air handling unit for a logistics center in Sipoo. The air handling unit had to be designed so that it would be able to handle cold and humid indoor climates.</p> <p>The goal of this final year project was to document and explain how to design the parts of the air handling unit so that the end result would be a working unit which can handle the climate that it was designed for. The initial data that was needed was collected during meetings with the manufacturer's experts and also by consulting the clients for more information about the building and how it is planned to be used.</p> <p>As a result, it was found out that more precise and careful planning is needed when designing an air handling unit which controls difficult indoor climates than for the planning of a basic air handling unit. The Bachelor's thesis was written to be used as manual for the design of air handling units.</p>	
Keywords	air handling unit, manual, humid,

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	1
1.2	Työn tavoitteita	2
2	Rakennuksen ilmanvaihto	2
2.1	Miksi rakennuksessa vaihdetaan ilmaa?	3
2.1.1	Kosteudenhallinta	3
2.1.2	Epäpuhtauksien poisto	4
2.1.3	Lämpötila ja veto	4
2.2	Tilakohtaiset vaatimukset ilmanvaihdolle kylmissä tiloissa	5
2.2.1	Toiminnalliset vaatimukset	5
2.2.2	Käyttötarkoitukset tuomat vaatimukset	6
2.3	Etyleeni	7
2.3.1	Mitä etyleeni on?	7
2.3.2	Etyleenin aiheuttamat ongelmat kasvien ja vihannesten varastointiin PTDC:ssä	8
2.3.3	Etyleenin haitat ihmisille	9
2.3.4	Etyleenin hallinta	9
2.4	Kausiaikaiset haasteet	10
2.4.1	Kesäkausi	10
2.4.2	Talvikausi	11
3	Ilmanvaihtokoneen kokoaminen	12
3.1	Yleistä	12
3.2	Suodattimet	13
3.2.1	Tuloilmasuodattimen valinta	15
3.2.2	Poistoilmasuodattimen valinta	16
3.3	Esilämmityspatteri	16
3.3.1	Esilämmitys ja sen tarve	16
3.3.2	Mitoitus	17
3.4	Lämmöntalteenotto	19
3.4.1	LTO-typin valinta	20
3.4.2	Kosteuden siirto	20
3.4.3	Mitoitus	21

3.5	Puhaltimet	25
3.5.1	Tuloilmapuhallin	25
3.5.2	Poistoilmapuhallin	26
3.6	Lämmitys- ja jäähdytyskombipatteri	27
3.6.1	Lämmityspatterin mitoitus	29
3.6.2	Jäähdytyspatterin mitoitus	31
3.7	Kostutin	32
3.7.1	Kostutintyytit	32
3.7.2	Kostuttimen valinta ja mitoitus	33
3.8	Äänenvaimennus	34
3.8.1	Äänenvaimennuksen tarve kohteessa PTDC	35
3.8.2	Äänenvaimentimien valinta	35
3.9	Ilmanvaihtokoneen vaippa	35
3.9.1	Olosuhteiden aiheuttamat haasteet vaipalle	PTDC 35
3.9.2	Vaipan materiaalin valinta	36
3.10	SFP	36
3.10.1	Mikä on SFP?	36
3.10.2	SFP-luvun laskenta	37
4	Yhteenveto	38
	Lähteet	39

Lyhenteet

HTP-arvo haitalliseksi tunnettu pitoisuus

LTO lämmöntalteenottolaite

regeneratiivinen lämpöä varaava

TATE talotekniikka

1 Johdanto

1.1 Tausta

Tämä insinööriyö on tehty Metropolia AMK:lle, tilaajana on Pöyry Finland Oy:n Ota-niemen toimipiste. Ohjaajana Pöyryllä on DI Kai Lindgren ja koululta Jorma Säteri.

Ilmanvaihdon suunnittelu on yksi osa rakennuksen taloteknistä suunnittelua ja merkittävä osa mietittäessä rakennuksen käyttötarkoitusta ja toimivuutta. Ilmanvaihdon suunnittelu on hyvin paljon riippuvainen rakennuksen käyttötarkoituksesta. Esimerkiksi toimistorakennuksen ilmanvaihto on hyvin erilainen verrattuna teollisuushallien tai varastojen ilmanvaihtoon. Ilmanvaihdon tavoitteena on luoda rakennukseen hyvä sisäilmasto, joka täyttää vähintään käyttötarkoituksen edellyttämät vaatimukset sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman määrittelemät vaatimukset ilmanvaihdolle. Ilmanvaihdon rakentamismääräyskokoelma sisältyy Suomen rakentamismääräyskokoelman osaan D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto.

Ilmanvaihtokoneita suunniteltaessa ja valittaessa on muistettava ottaa huomioon suunniteltavan rakennuksen ja tilojen sisäilmastolliset vaatimukset. Nämä kyseiset vaatimukset siten määrittelevät ilmanvaihtokoneen rakenteen, esimerkiksi lämmöntalteenoton tyypin, lämmitys- ja jäähdytyspatterien valinnan sekä mitoituksen, mahdollisen palautusilman käytön, kostutuksen tarpeen ja niin edelleen. Lisäksi on tärkeää pysyä rakentamaan ilmanvaihtokone mahdollisimman energiatehokkaaksi, jotta rakennuksen energiankulutus pysyy mahdollisimman alhaisena.

Ilmanvaihtoa suunniteltaessa ilmanvaihtokoneen lisäksi kanavoinneilla ja ilmanjaolla on suuri merkitys sisäilmastoon. Ilmanvaihtokanavisto voi olla hyvinkin haasteellinen suunnitella johtuen rakenteista ja muista rakennuksessa kulkevista järjestelmistä. Ilmanjakoa mietittäessä tulee etsiä sopivat päätelaitteet ja niiden sijoittelu tiloihin siten, että esimerkiksi heittopituudet ovat oikeat eikä mahdollisten työpisteiden kohdalla ilmanvaihto aiheuta vedon tunnetta.

1.2 Työn tavoitteita

Insinööriyön tavoitteena on suunnitella ilmanvaihtokone, joka palvelee logistiikkakeskuksessa sijaitsevia päivittäistavaravarastoja, joiden sisäilman lämpötilan tulee pysyä +4...+6 asteessa. Tiloissa vallitsevan kylmän sisäilmaston lisäksi haasteita ilmanvaihdon ja koneen suunnitteluun tuovat varastoitavat tuotteet, jotka tuottavat etyleeniä, jonka pitoisuus on pystyttävä pitämään riittävän alhaisena ilmanvaihdon avulla. Edellä mainittujen seikkojen lisäksi tila vaatii tasaisen sisäilmankosteuden, joten tavoitteena on suunnitella ilmanvaihtokone, joka pystyy ylläpitämään myös sopivaa kosteustasapainoa läpi vuoden.

Tavoitteena on myös tarkastella eri koneen osiin kohdistuvia vaatimuksia ja niiden mahdollisesti aiheuttamia ongelmia sekä etsiä toimivia ratkaisuja löydettyihin ongelmiin. Työssä tarkastellaan mm. kylmästä sisäilmastosta johtuvia haasteita ilmanvaihtokoneen lohkoihin, kostutuksen tarvetta kesä- ja talvitilanteissa sekä lämmitys- ja jäähdytys kombipatterin toimintaa näissä aikajaksoissa. Tavoitteena on käydä ilmanvaihtokoneen suunnittelun vaiheet läpi riittävän yksityiskohtaisesti, jotta työtä voi käyttää soveltaen ohjeena ja apuna myös muunlaisia tiloja palvelevia ilmanvaihtokoneita suunniteltaessa.

2 Rakennuksen ilmanvaihto

Ilmanvaihto on yksi osa-alue LVI-suunnittelua. Rakennuksen käyttötarkoitus määrittelee, millaisia ilmanvaihtojärjestelmiä rakennukseen tulee suunnitella. Pelkkä käyttötarkoituksen kartoitus ei kuitenkaan vielä riitä, jotta ilmanvaihdon suunnittelun voisi suorittaa vaan lisäksi tarvitsee selvittää mm. rakenteelliset haasteet, mahdolliset tilakohtaiset vaatimukset ja kesä- ja talvikauden tuomat ongelmat. Seuraavissa osioissa on tarkoitus käydä läpi edellä mainittuja haasteita koskien Sipooseen rakennettavaa PTDC Logistiikkakeskusta ja erityisesti sen kylmätilojen ilmanvaihtoa. Rakennuksen on tarkoitus käsitellä ja varastoida iso osa Suomen päivittäistavarasta, joten rakennukseen tulee useita erilaisia sisäilmastovyöhykkeitä, joista kylmätilojen ilmanvaihto ja erityisesti ilmanvaihtokoneet ovat tarkastelussa.

Kesällä rakennukseen ulkoa tuotavan ilman vesisisältö on suuri, ja veden määrää on poistettava kuivaamalla. Yleensä ilmankuivaus tapahtuu ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterissa, jossa lämmin ilma jäähdytetään haluttuun lämpötilaan, jolloin ylimääräinen vesi poistuu kondensiona ja näin ollen ei pääse huoneilmaan.

Talvella tilanne on taas päinvastainen kesään nähden. Talvella ulkoa tuotava kylmä ilma on hyvinkin kuivaa eikä pysty sitomaan paljoakaan kosteutta. Ilmanvaihtokoneessa ilmaa lämmitetään, jolloin ilman kosteuden sitomiskyky kasvaa, mutta vesimäärä ei kasva. Tällöin tulee ottaa huomioon tilojen käyttötarkoitukset ja kosteusvaatimukset. Jos kosteusprosentti jää liian alhaiseksi, joudutaan ilmanvaihtokoneeseen lisäämään kostutin yksikkö. Talvella tuloilman liian suuri kosteusprosentti onkin harvemmin ongelma vaan, tilanne on päinvastainen. Talvella kärsitään usein liian kuivasta sisäilmasta, joka ärsyttää ja kuivaa limakalvoja.

2.1.2 Epäpuhtauksien poisto

Ilmanvaihdon yksi päätavoitteista kosteudenhallinnan ohella on poistaa huoneilmasta rakennusmateriaalien, prosessin ja ihmisten tuottamia epäpuhtauksia ja hajuja. Oikein suunniteltu ilmanvaihto takaa sen, että epämiellyttävät hajut ja epäpuhtaudet ohjataan ulos rakennuksesta ja pois oleskeluvyöhykkeiltä. Tässä onnistutaan siten, että tiloihin joissa työskennellään, oleskellaan tai tarvitaan muusta syystä hyvää sisäilmastoa, tuodaan puhdasta raitista ilmaa ja likainen ilma imetään pois tilasta poistoilmaventtiileiden kautta tai johdetaan tiloihin, joissa poistoilmaventtiilit sijaitsevat. Paljon epäpuhtauksia tuottavat tilat suunnitellaan useimmiten alipaineisiksi, jotta hajut ja epäpuhtaudet eivät pääse kulkeutumaan ympäröiviin tiloihin. [5, s. 20.]

2.1.3 Lämpötila ja veto

Ilmanvaihdolla pyritään myös tarvittaessa takaamaan haluttu tasainen lämpötila joko oleskeluvyöhykkeellä tai mahdollisesti jopa koko tilassa. Ilma käyttäytyy lämmitessään siten, että lämmin ilma nousee ylös ja kylmä ilma painuu alas. Ilmanvaihtoa suunniteltaessa tämä tulee ottaa huomioon. Yleensä ilmanvaihto suunnitellaankin siten, että ympäröivää ilmaa viileämpää ilmaa puhalletaan oleskeluvyöhykkeelle, jolloin kyseinen ilma laskeutuu kohti lattiaa ja näin ollen lämpimämpi ja likaisempi ilma nousee katonrajaan, josta se imetään pois poistoilmajärjestelmällä. [5, s. 9–15.]

Esimerkiksi toimistotiloissa ihmiset ovat paljon paikoillaan työpisteidensä ääressä, jolloin tuloilmaa puhallettaessa tulee huomioida päätelaitteiden sijainti ja heittopituudet. Liian suurella nopeudella ja liiallisella heittopituudella aiheutetaan oleskeluvyöhykkeelle mahdollinen vedon tunne. Vedon tunne syntyy, kun ilma viileä ilma liikkuu liian suurella nopeudella ihmisen ohi.

2.2 Tilakohtaiset vaatimukset ilmanvaihdon kylmissä tiloissa

Seuraavissa kohdissa tarkastellaan suunnittelun ja tämän työn kohteena olevien kylmätilojen tilakohtaisia vaatimuksia ilmanvaihdon osalta. Vaatimukset on koottu alle jaoteltuihin rakenteellisiin vaatimuksiin ja käyttötarkoituksen tuomiin vaatimuksiin.

Lisäksi perehdytään hieman etyleeniin, joka on huomioitava ilmanvaihtoa suunniteltaessa kyseisiin kylmiin tiloihin, koska varastoitavien tuotteiden seassa on paljon erilaisia kasviksia ja vihanneksia. Kasvit tuottavat varastoituina etyleeniä, ja eri kasvit reagoivat liian suuriin etyleenipitoisuuksiin eri lailla.

2.2.1 Toiminnalliset vaatimukset

Toiminnallisiin vaatimuksiin ilmanvaihdon osalta kuuluvat pääasiassa kanavoinnit ja päätelaitteiden sijoittelu. Itse ilmanvaihtokoneeseen eivät nämä rakenteista johtuvat vaatimukset paljoa vaikuta, mahdollisesti lukuun ottamatta hallin suuresta koosta johtuvaa suurta kanavoinnin määrää ja tästä johtuvaa normaalia suurempaa puhaltimen painetuottoa.

Rakenteellisesti kyseessä on hyvin suuri ja korkea halli, joka on jaettu lohkoihin varastoitavien tuotteiden ja vaadittujen lämpötilaolosuhteiden perusteella. Halliin tulee sisälle suuri varastohyllyjärjestelmä, johon tavarat varastoidaan lähes täysin automatisoidusti. Edellä mainitut hyllyköt ja automatisointi lisäävät haasteita kanavointien ja päätelaitteiden sijoitteluun, johtuen tuotteista ja niiden varastoinnin edellyttämistä vaatimuksista. Hallin katossa kulkee suuri huoltokelkka läpi hallin, mikä rajoittaa päätelaitteiden ja kanavien sijoittelua. Ilma joudutaan puhaltamaan katosta kelkan päältä alas hallin alosaan. Hallin ollessa 22 metriä korkea ja tilan lämpötila huomioiden joudutaan ilmaa puhaltamaan hyvinkin suurella nopeudella päätelaitteista. Tämä lisää tarvittavaa painetta ennen päätelaitetta ja näin ollen on huomioitava puhaltimen painetuotossa. Li-

säksi tuotteiden laatuvaatimukset rajoittavat päätelaitteiden sijoittelun sellaiseksi, ettei päätelaitteita voida sijoittaa siten, että ne puhaltavat suoraan tuotteisiin vaan joudutaan ne sijoittamaan hyllyväleihin.

Myös ilmanvaihdon säädettävyyks on yksi seikka, johon rakenteet vaikuttavat. Halliin joudutaan puhaltamaan suuria ilmamääriä jolloin päätelaitteiden määrä tulee olemaan suuri, joten säädettävyyks on mietittävä tarkasti. Hallin korkeus ja automatisoidut hyllyjärjestelmät luovat ongelman siinä, kuinka kanavoiteihin, säätöpelteihin ja puhdistusluukkuihin tullaan pääsemään käsiksi. Huoltokelkka on ainut keino päästä kattopinnassa sijaitseviin laitteisiin käsiksi, joten ilmanvaihto täytyy suunnitella siten, että se on huollettavissa ja säädettävissä kelkasta käsin. [5, s. 245–246.]

2.2.2 Käyttötarkoitukset tuomat vaatimukset

Suunnittelun kohteena ovat logistiikkakeskuksen kylmävarastot, joten suurin osa ilmanvaihdon suunnittelun vaatimuksista tulee näin ollen varastoitavien tuotteiden osalta ja näiden edellyttämistä tiukoista lämpötilaolosuhteista. Varastossa säilytettävät tuotteet ovat hedelmiä, kasviksia, vihanneksia ja kukkia ja myös liha- ja kalatuotteita, joten varastot joudutaan pitämään kylminä, jotta tuotteet eivät pilaannu tai kylmäketjut katkea ja näin ollen estä tuotteiden edelleen välittämistä. [16]

Kuten aikaisemmissa osioissa jo hiukan sivuttiin, on varastot jaettu omiin lohkoihinsa tuotteiden ja niiden edellyttämien olosuhteiden mukaan. Hallien lämpötilat on määritelty +4...+6 asteeseen riippuen siitä, mistä varaston osasta on kyse. Lämpötilaolosuhteiden lisäksi hallin koko ja siitä johtuvat suuret ilmamäärät, tuotteet ja niiden tuottamat epäpuhtaudet, kuten etyleeni, rajoittavat ilmanvaihdon sellaiseksi, että jokainen hallin osa varustetaan sille erikseen suunnitellulla koneella.

Kosteuden hallinta nousee myös suureen osaan ilmanvaihdossa. Jokaiselle hallin osalle on määritelty sisäilman suhteellisen kosteuden arvo, joka täytyy pystyä ylläpitämään. Tilojen jäähdytys suoritetaan erillisillä jäähdyttimillä, joten ilmanvaihdolla ei ole tarkoitus jäähdyttää tilaa vaan ainoastaan ylläpitää sisäilmastoa. Nämä suuret erillisjäähdyttimet kuitenkin kuivaavat ilmaa, joten kondenssin muodossa poistuva ilmankosteus on palautettava tilaan ja tämä tulee tapahtumaan erillisten ilmankostuttimien ja ilmanvaihdon yhteistyöllä. Kesäkauden aikana ei ilmankosteus aiheuta ongelmia, koska lämmin kesäilma sisältää paljon vettä, mutta talvikauden takia joudutaan hallien ilmanvaihtoko-

neet varustamaan ilmankostuttimella. Lisäksi ilmanvaihtokoneet varustetaan kosteutta siirtävällä pyörivällä lämmöntalteenotolla, jolloin osa poistoilman kosteudesta voidaan palauttaa LTO:n avulla tuloilmaan.

Suurimman haasteen ilmanvaihtokoneen suunnitteluun luo kuitenkin hallissa tarvittava hyvin viileä sisäilmasto. Lämpötilojen ollessa niinkin alhaiset kuin +4 °C tai +6 °C tulee eteen hyvin merkitsevä jäätymisriski ilmanvaihtokoneessa. Talvella ulkoilman ollessa pakkasen puolella ja poistoilman ollessa +4...+6 astetta tulee eteen tilanne, jossa kosteutta siirtävä lämmöntalteenotto jäätyy. Jäätymisen estämiseksi talvella varustetaan kylmätilojen ilmanvaihtokoneiden raitisilmakanavat esilämmityspattereilla, joilla ilma lämmitetään ennen lämmöntalteenottoa.

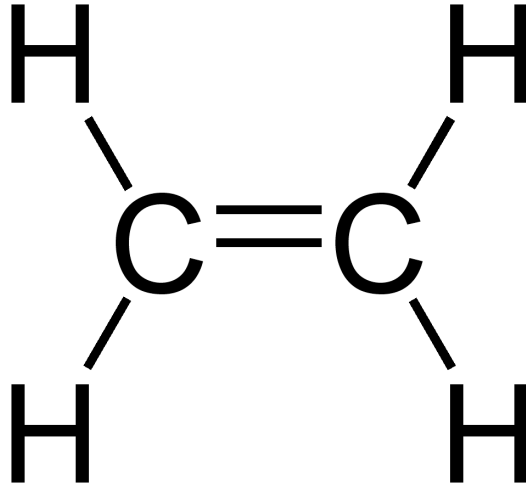
Ilmanvaihtokoneen kokoamisesta ja mitoittamisesta kerrotaan tarkemmin luvussa 4 Ilmanvaihtokoneen kokoaminen.

2.3 Etyleeni

Seuraavassa on tarkoitus hieman perehtyä kaasuun nimeltä etyleeni. Tämä kaasu on otettava huomioon suunniteltaessa kohteen ilmanvaihtoa ja ilmanvaihtokonetta, koska tarkasteltavat alueet on tarkoitettu kasvikunnan tuotteiden säilytykseen ja etyleeni on kaasu jota kyseiset tuotteet tuottavat kypsyessään. Kaikki kasvit eivät reagoi samalla tavalla etyleeniin, vaan jotkin ovat herkempiä kuin toiset, joten varasto on jouduttu jakamaan tuotteiden osalta siten, että enemmän etyleeniherkät tuotteet sijaitsevat erillään runsaasti etyleeniä tuottavista tuotteista. Ilmanvaihdon suunnitteluun tämä vaikuttaa siten, että etyleenipitoisuuksien hallinta varaston eri osissa tapahtuu ilmanvaihdon avulla [7].

2.3.1 Mitä etyleeni on?

Eteeni (etyleeni) ($C_2H_4/CH_2=CH_2$) on väritön ja miedosti hajultaan makea kaasu, joka on erittäin helposti syttyvää. Se on yksinkertaisin alkeeni. Yksi etyleenimolekyyli koostuu kahdesta hiiliatomista ja neljästä vetyatomista, jotka ovat sidoksissa toisiinsa kaksoissidoksella (kuva 1). Tämän kaksoissidoksen johdosta etyleeni on tyydyttymätön hiilivety.



Kuva 1. Etyleenimolekyyli

Etyleeni on useiden kemianteollisuudessa tuotettavien tuotteiden raaka-aine. Erityisesti sitä käytetään muovien valmistukseen. Esimerkiksi polyeteeniä, maailman käytetyintä muovia, valmistetaan polymeroimalla etyleeniä.

Etyleeni toimii myös kasvihormonina, ja näin ollen kasveissa se saa aikaan hedelmien kypsymistä ja lehtien vanhenemista. Kasvit tuottavat etyleeniä kypsyessään, ja eri kasvit tuottavat etyleeniä eri määriä. Myös ylikypsät, vioittuneet sekä homeiset kasvit ja tuotteet tuottavat paljon etyleeniä. Säätelemällä etyleenin määrää tiloissa voidaan esimerkiksi hedelmien kypsymistä nopeuttaa ja siten ajoittaa useiden hedelmien kypsymisen samoihin aikoihin. [6; 7; 8.]

2.3.2 Etyleenin aiheuttamat ongelmat kasvien ja vihannesten varastointiin PTDC:ssä

Tarkasteltaessa suunnittelun kohteena olevaa logistiikkakeskusta ja sen kylmäsäilytystiloja etyleenin osalta tulee eteen muutamia ongelmia, jotka tulee ratkaista, jotta tuotteiden laatu säilyy kaappoihin asti riittävän korkeana. Osa tuotteista on erittäin herkkiä etyleenin vaikutuksille, kun toiset taas kestävät tai tuottavat sitä runsaasti. Tällaiset tuotteet on pidettävä erillään toisistaan, ja tämä on siitä syystä huomioitava ilmanvaihdossakin. Varasto osastoidaan siten, että rakennukseen pystytään luomaan omat sisäilmasto-olosuhteet tuotteille, joiden varastointi sitä edellyttää. Ilmanvaihdon suunnittelun osalta esimerkiksi siirtoilman käyttö näiden osastojen välillä on kiellettyä, ja tiloissa on oltava riittävä ilmanvaihto, jotta kasvien ja hedelmien tuottamien ylimääräinen etyleeni saadaan poistettua tiloista.

2.3.3 Etyleenin haitat ihmisille

Etyleeni on suurina pitoisuuksina haitallista ihmiselle, koska se on happea syrjäyttävä kaasu. Etyleenikaasun hengittäminen aiheuttaa uneliaisuutta ja tajunnantason alenemista ja suurina määrinä hengitettynä se saattaa aiheuttaa tukehtumisen. Etyleeni on hajuton kaasu, joten sitä ei voi haistaa, ja näin ollen saattaa sen määrä päästä sulje- tuissa tiloissa muodostumaan uhkaksi. Nämä uhkat koskevat kuitenkin lähinnä tiloja ja rakennuksia, joissa varastoidaan ja käsitellään etyleeniä ja näin ollen vuodon sattuessa tilaan saattaa päästä suuriakin määriä etyleeniä. Kohteessa ei käsitellä tai varastoida etyleeniä, joten kasvien tuottama kaasu on ainoa etyleenin lähde tiloissa. Rakennuksen tilavuuden ja tuotteiden omat etyleenirajoitukset huomioiden eivät etyleenipitoisuudet pääse nousemaan niin suuriksi, että ihmiselle aiheutuisi vaaraa. Tuotteiden varastoin- nissa sallitut etyleenipitoisuudet tiloissa ovat välillä 0,1 ppm–0,5 ppm, kun sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön rajaama HTP-arvo on 200 ppm 8 h:n aikajaksolla mitattuna, joten etyleenin hallintaa suunniteltaessa tuotteiden vaatimat rajat ovat tiukemmat, ja näin ollen niiden toteutuessa toteutuu myös ihmisen työskentelylle turvalliset arvot. [9]

2.3.4 Etyleenin hallinta

Etyleenin hallinta ja poisto tiloista toteutetaan ilmanvaihdolla. Ilmanvaihdon suunnite- luun tämä tarkoittaa sitä, että tilassa täytyy olla riittävän suuri ilmanvaihto, jotta ylimää- räinen etyleeni poistuu tilasta. Ilmamäärien mitoituksessa tulee siis huomioida tämä ja tarkistaa, täytyvätkö rakentamismääräyskokoelman osan D2 määrittelemät ilmanvaihtokertoimet perustapauksille ja mikä on riittävä ilmanvaihtokerroin. Alueella jota ilman- vaihtokone palvelee, etyleenin tuotto on 19,6 l/h ja sallittu raja arvo on 0,5 ppm. Ilman- vaihtokoneen ilmamäärän selvittämiseksi täytyi verrata D2:n ilmanvaihtokertoimia ja etyleenin tuottoon perustuneita laskelmia. Etyleeni laskelmien pohjalta saadut ilma- määrät olivat suuremmat kuin D2:n määrittelemät ilmamäärät, joten mitoituksissa käy- tettiin etyleenin tuottoon pohjautuvia ilmamääriä. [2]

Perusilmanvaihdon lisäksi tulee huomioida jo aikaisemmin mainittu siirtoilmankäyttö- kielto. Siirtoilmaa ja palautusilmaa ei voida käyttää tilojen välillä, koska ilman mukana myös etyleeni siirtyisi toiseen tilaan. Tämä on myös yksi syistä, miksi ilmanvaihtokonei- siin ei lisätä palautusilmaominaisuutta.

2.4 Kausiaikaiset haasteet

Suomen ilmastossa vallitsee neljä vuodenaikaa: kesä, syksy, talvi ja kevät. Tämä luo omat haasteensa LVI-suunnittelulle. Kesän ja talven lämpötilaerot ovat suuret, ja tämä on huomioitava suunnitellessa ja mitoitettaessa laitteistoja ja järjestelmiä. Toinen suuri ero kesän ja talven välillä on raitisilman vesisisällössä. Lämmin ja kostea kesäilma sisältää huomattavan määrän vettä, kun talven kylmä ilma on lähes kuivaa. Seuraavissa kohdissa tullaan käymään läpi kesä- ja talvikauden ongelmia PTDC Logistiikkakeskuksen kylmätilojen osalta hieman aikaisempaa tarkastelua tarkemmin niin ilmanvaihdon kuin ilmanvaihtokoneen suunnittelunkin osalta.

2.4.1 Kesäkausi

Kesäkaudella ulkoa otettava ilma on lämmintä, ja näin ollen se tulee jäähdyttää ennen kuin se puhalletaan tiloihin. Varastojen lämpötila tulee olla tilasta riippuen +4...+6 astetta. Ilmanvaihdon tavoitteena ei ole hoitaa tilojen jäähdytystä, vaan se suoritetaan erillisillä jäähdyttimillä, jotka on sijoitettu varastoihin, ja näin ollen ilmanvaihdon vastuulle jää ylläpitää lämpötilaa omalta osaltaan. Tilan ollessa jo jäähdytetty haluttuun lämpötilaan tulee jäähdytyspatterin silti pystyä jäähdyttämään, mahdollisesti hyvinkin lämmin ilma, niinkin alhaiseksi kuin +4 astetta, ja tästä seuraa suurehko jäähdytystehon tarpeet, jotka patterien täytyy pystyä tuottamaan. Ilmanvaihtokoneisiin tulee pyörivä lämmöntalteenottoalaite, joten osa jäähdytystehosta pystytään siirtämään kiekolla tuloilmaan ja näin ollen pienentämään jäähdytystehontarvetta patterilla.

Tilojen ilmankosteudelle on myös määritelty raja-arvot, joiden sisällä täytyy pysyä. Kesällä ei ilman kuivuminen tule niin suureksi uhaksi kuin talvella, koska kuten aikaisemmin kirjoitin, lämmin ilma sisältää suurehkon määrän kosteutta jo valmiiksi ja näin ollen sitä ei tarvitse lisätä ilmaan kostuttimella. Lisäksi tuotteista itsestään siirtyy ilmaan kosteutta. Ilmanvaihtokoneiden jäähdytyspatterit ja tiloihin sijoitettavat jäähdytyskojeet vastapainoisesti kuivaavat ilmaa, ja näin ollen ei ilman kosteus pääse nousemaan liian korkeaksi kesällä, jolloin ulkoilman kosteusprosentti on suuri.

2.4.2 Talvikausi

Talvi tuo ilmanvaihdon, erityisesti ilmanvaihtokoneen, suunnitteluun kesää paljon enemmän haasteita. Talvella ilmanvaihtokoneen ulkoa ottama raitisilma on hyvin kylmää ja kuivaa. Tämä kylmä ilma täytyy sitten lämmittää +4...+6 asteeseen tilasta riippuen. Suoraan tarvittavaa lämmitystehoa tarkasteltaessa matala sisäänpuhallusilman lämpötila tarkoittaa pienempää lämmitystehon tarvetta patterilla, mutta todellinen ongelma talvikaudella ei muodostu tehontarpeista vaan lämmöntalteenottolaitteen jäätymisriskistä. Ulkoa otettavan ilman ollessa reilusti pakkasen puolella tämä tarkoittaa sitä, että tämä kylmä ilma kulkiessaan tuloilmakoneen läpi jäädyttäisi kosteat pinnat koneessa. Erityisesti kovan jäätymisriskin alla on lämmöntalteenottokiekko, joka kohteen kosteusvaatimusten mukaan on kosteutta siirtävä. Raittiin ilman saapuessa koneeseen on LTO tavallisesti ensimmäinen laite, jonka se kohtaa. Jos tämän pakkasella olevan ilman annetaan päästä kosketuksiin märän kiekon kanssa, kiekko tulee jäätymään hyvin nopeasti ja rikkomaan LTO:n. Estääksemme tämän tullaan kylmiä tiloja palveleviin koneisiin sijoittamaan raitisilmakanavaan esilämmityspatteri, jonka tehtävä on estää liian kylmän ilman pääsy kosketuksiin lämmöntalteenoton kanssa. Haittana tästä esilämmityksestä seuraa LTO:sta saatavan hyödyn pieneneminen.

Seuraavan ongelman talvikausi tuo kuivan ilman muodossa. Talvella kylmä pakkasen puolella oleva ilma sisältää hyvin vähän vettä. Kylmän ilman suhteellinen kosteus talvella voi olla 100 %. Ilman suhteellinen kosteus on prosenttiluku, joka kertoo kuinka monta prosenttia ilmassa on vesihöyryä siitä määrästä, jonka ilma voi tietyssä lämpötilassa sitoa itseensä tiivistymättä. Ilman lämmitessä sisälle tullessaan sen suhteellinen kosteusprosentti laskee, koska lämmin ilma kykenee sitomaan suuremman määrän vesihöyryä sen tiivistymättä. Koneisiin asennettavat kosteutta siirtävät lämmöntalteenotot siirtävät osan poistoilman kosteudesta raittiiseen ilmaan, mutta tämän lisäksi joudutaan kylmätilojen koneisiin asentamaan ilmankostuttimet, jotka kostuttavat ilmaa lisää, jotta päästäisiin tavoite lukemaan 80 % RH. [15]

Kylmä ilma niin koneissa kuin kanavistoissakin tuo eteen myös kondenssiongelmat. Kondenssilla tarkoitetaan aineen olomuodon muutosta kaasusta nesteeksi. Kosteassa ilmassa vesi on sitoutuneena ilmaan vesihöyrynä eli kaasuna. Tämän kostean ilman kohdatessa kylmän pinnan laskee ilman kyky sitoa vettä, ja tämä näkyy kylmiin pintoihin tiivistyvänä vetenä eli kondenssina.

Kanavointien kohdalla on kondenssiongelma helposti ratkaistavissa kondenssi eristämällä kanava, mutta ilman ollessa kylmää läpi koko järjestelmän on kondensoituminen huomioitava koneen rakentamisessakin. Kylmä ilma jäädyttää myös itse ilmanvaihtokoneen lämpötilan alle konehuoneessa vallitsevan lämpötilan, ja näin ollen on riski että ilmanvaihtokoneen pinnalle alkaa muodostua kondensoitumista. Tämä on ratkaistavissa joko eristämällä ilmanvaihtokone tai rakentama koneen runko ja kotelo kondensoimattomaksi esimerkiksi käyttämällä muovipinnoitettuja materiaaleja.

3 Ilmanvaihtokoneen kokoaminen

Ilmanvaihtokoneita voi, toimittajasta riippuen, tilata joko moduuleista kasattuina paketeina tai toimintakonepaketteina, joissa on jo kaikki komponentit tehtaalla valmiiksi asennettuna. Toimintavalmiit paketit ovat yleensä tarkoitettu omakotitaloihin ja muihin vastaaviin kohteisiin, joissa ilmamäärät ovat pieniä ja koneelta ei edellytetä mitään perusilmanvaihdosta poikkeavaa. Tässä työssä suunniteltavana oleva kone rakennetaan moduuleista ja seuraavissa osioissa käydään läpi kone moduuleittain siten, että aluksi kerrotaan hieman moduulista itsestään ja mitä siltä edellytetään kohteessa ja tämän jälkeen suoritetaan moduulien valinta ja mitoitus.

3.1 Yleistä

Ilmanvaihtokonetta koottaessa tulee tietää, millaista aluetta se tulee palvelemaan, mitä erityisvaatimuksia siltä odotetaan sekä ilmanlämpötila ja ilmamäärät, joita tilaan tai tiloihin puhalletaan. Lisäksi tarvitaan lähtötiedot lämmitys- ja jäädytysjärjestelmiltä. Näitä lähtötietoja ovat esimerkiksi tieto siitä mitä nestettä verkostoissa kiertää ja nesteiden lämpötilat. Edellä mainittujen tietojen avulla pystytään sitten kasaamaan ilmanvaihtokone.

Suunnittelun alla oleva ilmanvaihtokone tulee sisältämään seuraavat moduulit;

- Ilmanvaihtokoneen vaippa
- tulo- ja poistoilmasuodattimet
- raitisilmapuolelle sijoitettava esilämmityspatteri

- lämmöntalteenottolaite
- tulo- ja poistoilmapuhaltimet (taajuusmuuttajilla)
- kombipatteri (lämmitys/jäähdytys)
- kostutin
- tulo- ja poistupuolen äänenvaimentimet
- sulkupellit.

3.2 Suodattimet

Ilmanvaihtokoneeseen, erityisesti tuloilmapuolelle, asennettavilla suodattimilla on tarkoitus omalta osaltaan luoda ja ylläpitää miellyttävää ja terveellistä sisäilmasto olosuhteita kaikkina vuodenaikoina. Sisäilmastandardi SFS – EN 13779 määrittelee ulkoilman kolmeen eri luokkaan, jotka ovat ODA1–ODA3 [3, s. 18]. Taulukko 1 sisältää luokkien ODA1–ODA3 hiukkas- ja pitoisuusraja-arvoja.

Taulukko 1. ODA-ulkoilmaluokitusten hiukkas- ja pitoisuusraja-arvoja [9, s. 7].

Ilmanlaadun kuvaus	Pitoisuus *)					Ulkoilmaluokitus
	CO ₂ (ppm)	CO (mg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µm/m ³)	PM ₁₀ (mg/m ³)	
Maaseutualueet	350	<1	5–35	<5	<20	ODA1
Pikkukaupungit	400	1–3	15–40	5–15	10–30	ODA2
Kaupunkien keskustat	450	2–6	30–80	10–50	20–50	ODA3

Rakennuksen sijainti määrittelee sen mihin ulkoilmaluokkaan rakennuksen ulkopuolella vallitseva ilma kuuluu. Suodattimia valittaessa ei riitä pelkästään tieto ulkoilman laadusta, vaan meidän tarvitsee tietää myös haluttu sisäilman laatu. Standardi SFS – EN 13779 määrittelee sisäilmalle luokat IDA1–IDA4 [3, s. 19]. Taulukkoon 2 on koottu standardin määrittelyt näille luokituksille.

Taulukko 2. Sisäilman laatuluokitukset (IDA) [9, s. 7].

Luokka	Kuvaus	CO ₂ -pitoisuus ulkoilmantasoa korkeampi (ppm)	Ulkoilmamäärä (m ³ /h/henkilö)
IDA 1	Hyvä sisäilman laatu	<400	<54
IDA 2	Tyydyttävä sisäilman laatu	400–600	36–54
IDA 3	Välttävä sisäilman laatu	600–1000	22–36
IDA 4	Heikko sisäilman laatu	>1000	>22

Sisäilmanlaadun määrittämiselle on pari perinteistä menetelmää, joista ensimmäinen on hiilidioksidipitoisuuksien määrittäminen ja toinen menetelmä on määritellä henkilöiden tarvitsema ulkoilman määrä henkilöä kohden. Ilmanvaihtokonetta mitoittaessamme kohteeseen käytimme D2:n määrittelemiä arvoja sekä etyleenipitoisuuksien aiheuttamia ilmanvaihdollisia vaatimuksia, jotta tilojen etyleenipitoisuudet saadaan pysymään annettujen raja-arvojen alla.

Taulukkoon 3 on koottu SFS – EN 13779:n avulla rakennettu taulukko vaadituista suodattimista joilla, saavutetaan haluttu ilmanlaatu. [3, s. 41.]

Taulukko 3. Suodatinsuosituksen SFS-EN 13779:2007:n mukaisesti [9, s. 7].

Ulkoilman laatu	Sisäilman laatu			
	IDA 1 (hyvä)	IDA 2 (tyydyttävä)	IDA 3 (välttävä)	IDA 4 (heikko)
ODA 1 (maaseutualueet)	F9	F8	F7	M5
ODA 2 (pölyä)	F7/F9	M6/F8	M5/F7	M5/M6
ODA 3 (korkeita pitoisuuksia pölyä tai kaasuja)	F7/GF/F9	F7/GF/F9	M5/F7	M5/M6

3.2.1 Tuloilmasuodattimen valinta

Rakennus, johon ilmanvaihtokoneet tulevat, on logistiikkakeskus, joten rakennuksen ulkopuolella on paljon raskasta ajoneuvoliikennettä. Tämä aiheuttaa melko suurta pöly- ja pienhiukkaskuormaa ympäröivään ilmaan. Ilmanottoaukot sijaitsevat joko rakennuksen katolla tai ulkoseinällä noin 16–17 metrin korkeudessa maanpinnasta. Raskaiden ajoneuvojen aiheuttamat pakokaasupäästöt ja niiden maan pinnasta nostattama pöly ovat suurin epäpuhtauden lähde. Rakennuksen korkeus auttaa tässä asiassa siinä mielessä, että epäpuhtaudet ehtivät hiukan hajaantua ennen kuin ne saavuttavat raittiin ilman ottoaukot.

Sipoon ilmanlaatututkimuksia ei ollut käytettävissä suunnitelmaa tehtäessä, joten ilmanlaatua tarkasteltaessa käytin Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymän suorittamia mittauksia pääkaupunkiseudulla vuonna 2012. Ilmanlaatuun suuntautuvaa tarkempaa tarkastelua ei edellytetty konetta suunniteltaessa, mutta varmistimme mittauksista sen, ettei alueella ollut mitään keskiarvoista suuresti poikkeavia arvoja. Alue sijoittuu mittaustulosten perusteella keskiarvojen alueelle, ja kun itse rakennus ei sijaitse kaupunkialueella, valittiin ulkoilmaluokitukseksi ODA 2 taulukon 1 mukaisesti. [10]

Rakennuksessa on paljon työpisteitä sisältäviä alueita ja täten tiukemmat suodatusvaatimukset sisäilmastollisesta näkökulmasta. Suunniteltavan koneen palvelualueilla ei edellä mainittuja työpisteitä ole, koska hallissa suurin osa toiminnasta on lähes täysin automatisoitua. Automatisoinnista johtuen ei alueella ole kuin muutamia vakituisia työpisteitä.

Laatuvaatimusten lisäksi on suodattimia valittaessa hyvä huomioida energiatehokkuus. Suodatin aiheuttaa painehäviötä, ja tarpeettoman korkea suodatusluokka aiheuttaa sen, että ilmanvaihtokoneen energiatehokkuus kärsii. Vastaavasti liian alhainen suodatusluokka yleensä merkitsee sitä, että suodatin päästää epäpuhtauksia läpi sallittua enemmän vaikka onkin energiatehokkaampi. [6, s. 73.]

Käyttäen taulukkoa 3 saadaan valittua tarvittava suodatinluokka, joka on F7. Kohteeseen on valittu konetoimittajaksi FläktWoods Oy, joten heidän suodatinvalikoimastaan valitsimme suodattimeksi EQPB-pussisuodattimen.

3.2.2 Poistoilmasuodattimen valinta

Poistoilmapuolella suodattimen päätarkoitus on lähinnä estää epäpuhtauksien kulkeutuminen ilmanvaihtokoneen sisälle ja täten estää epäpuhtauksien aiheuttamat haitat esimerkiksi lämmöntalteenoton toiminnalle.

Yleensä poistopuolen suodatin on karkea suodatin eli kuuluu luokkiin G1–G4. Suunniteltavaan koneeseen valitsimme kuitenkin saman mallin suodattimen poistopuolelle kuin tulopuolelle. Syy tähän löytyy koneeseen sijoitettavasta kosteutta siirtävästä lämmöntalteenotosta ja tilan käytöstä aiheutuvasta mahdollisesta suuresta pölykuormasta. Suureen pölykuormaan varauduttiin, koska tilassa liikutellaan suuria määriä tuotteita ja niiden säilytyksessä käytettävistä laatikoista on mahdollista irrota liikuteltaessa pölyä.

3.3 Esilämmityspatteri

Ilmanvaihtokoneeseen asennetaan lähes aina lämmityspatteri, mutta tämä asennetaan yleensä lämmöntalteenoton jälkeen, jotta saataisiin mahdollisimman energiatehokas kone. Suunnittelun alla olevaan ilmanvaihtokoneeseen jouduimme kuitenkin tekemään poikkeuksen tähän ja lisäämään patterin myös ennen lämmöntalteenottoa. Tämä on poikkeuksellista siinä mielessä, että se heikentää lämmöntalteenotosta saatavaa hyötyä.

3.3.1 Esilämmitys ja sen tarve

Esilämmityspatterin tarve aiheutuu tilojen olosuhdevaatimuksista. Kohteen alueet, joita ilmanvaihtokoneet tulevat palvelemaan, edellyttävät matalaa ilmanlämpötilaa (+4...+6 °C) ja samalla tilan kosteustasapainon ylläpitoa. Kosteuden ylläpitämiseksi on koneeseen valittu kosteutta siirtävä pyörivä lämmöntalteenotto ja ilmankostutin. Matalasta poistoilmanlämpötilasta johtuen on suuri riski sille, että lämmöntalteenotto tulee jäätymään talvella, jos ulkolämpötila on kovin alhainen. Kosteuden siirto lisää kyseistä riskiä, koska kiekon pinta on kostea ja jo valmiiksi viileä tullessaan kosketuksiin kylmän ulkoilman kanssa. Esilämmityspatterin tarkoituksena on lämmittää ilmaa talvella raitisilma puolella siten, että joutuessaan kosketuksiin lämmöntalteenoton kanssa kostea kiekko ei pääse jäätymään.

3.3.2 Mitoitus

Esilämmityspatterin mitoitus aloitetaan selvittämällä tehontarve. Tehon tarpeen saamme laskettua kaavalla 1. [5, s. 90.]

$$P = q_{vi} \times \rho_i \times c_{pi} \times (t_{epj} - t_u) \quad (\text{Kaava 1})$$

P	on lämmityspatterin teho, kW
q_{vi}	on ilman tilavuusvirta, m ³ /s
ρ_i	on ilman tiheys, kg/m ³ , ~1,37 kg/m ³ (-15 °C)
c_{pi}	on ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C, 1,0 kJ/kg°C
t_{epj}	on lämpötila esilämmityspatterin jälkeen, °C
t_u	on ulkolämpötila mitoitustilanteessa, °C

Lämpötilaeron laskemiseen tarvitsemme mitoitettavan ulkolämpötilan t_u ja lämpötilan t_{epj} esilämmityspatterin jälkeen. Ulkolämpötilan saamme Suomen rakentamismääräyskoelmasta D3 (2012), liite 2. Rakennus sijaitsee Sipoossa, vyöhykkeellä 1 ja näin ollen on mitoitettava ulkolämpötila talvella -26 °C. Tarvittavan lämpötilan, johon esilämmityspatterin tulisi ilma lämmittää, tutkimme Fläktwoodsien asiantuntijoiden kanssa. Asiantuntijoiden kanssa käytyjen neuvotteluiden ja valmistajan mitoitusohjelman koneajojen jälkeen saimme lämpötilaksi -15 °C. Tämä lämpötila on riittävän korkea, jotta lämmöntalteenotto ei jäädy joutuessaan kosketuksiin kostean ja kylmän poistoilman kanssa, mutta riittävän alhainen, jotta LTO:sta saadaan silti tilanteeseen nähden maksimaalinen hyöty. [11]

Esimerkitapauksessamme voimme laskea esilämmityspatterin tehon tarpeen P.

$$\begin{aligned} P &= q_{vi} \times \rho_i \times c_{pi} \times \Delta t_i = 7 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1,37 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (-26^\circ\text{C} - (-15^\circ\text{C})) \\ &= 105.49 \text{ kW} \approx 106 \text{ kW} \end{aligned}$$

Patterin tehon tarpeen jälkeen on laskettava patterin nestevirtaamat. Useimmissa tapauksissa ilmanvaihdon lämmitykseen on varattu oma putkiverkostonsa, jossa virtaavan veden lämpötilat ovat menopuolella +70 °C ja paluupuolella +40 °C. Ilmanvaihtokoneen patterin läpi kiertävän nesteen lämpötilat ovat kuitenkin 60/40, joten patteri va-

rustetaan ns. suntti-piirillä. Lämpötilojen 60/40 valintaperusteena on riittävän lämmönsiirtopinnan saavuttaminen lämmityspatterissa ja jäätyksen estäminen käynnistystilanteissa.

Suunniteltavassa kohteessa ilmanvaihtoverkoston lämpötilat ovat kuitenkin alhaisemmat (50/20). Tavanomaista alhaisemmat lämpötilat ovat seurausta kohteessa hyödynnettävästä vapaalämmityksestä, jossa käytetään hyväksi maaperään varautuvaa lämpöä. Nesteiden alhaisten lämpötilojen ja patterin sijainnista raitisilmapuolella johtuvan jäätymisriskin vuoksi turvauduimme hieman tavanomaisesta poikkeavaan kytkentäratkaisuun. Rakensimme patterin kytkennän siten, että lisäsimme ilmanvaihtolämmitysverkoston ja itse patterin väliin pienen lämmönsiirtimen, ja näin ollen eristimme patterin täysin omaan piiriinsä. Ilmanvaihdon lämmitysverkossa kiertää nesteenä vettä, mutta patterille menevään verkostoon vaihdoimme nesteeksi 30 %:n etyleeniglykoli-vesiliuoksen.

Ensimmäisenä selvitetään ensiöpuolen eli siirtimen tarvitsema virtaama q_{ve} kaavalla 3.

$$q_{ve} = \frac{P}{\rho \times c_p \times \Delta t} = \frac{106 \text{ kW}}{988 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,181 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (50 - 20)} \approx 0,86 \frac{\text{l}}{\text{s}} \quad (\text{Kaava 3})$$

q_{ve}	on ensiöpuolen vesivirta, dm^3/s
P	on lämpöteho, W
ρ	on veden tiheys, $988 \text{ kg}/\text{m}^3$ (+50 °C)
c_p	on veden ominaislämpökapasiteetti, $4,181 \text{ kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$
Δt	on lämpötilaero

Seuraavaksi laskemme käyttäen kaavaa 3 toisiopuolen virtaaman samalla tavalla kuin ensiöpuolella sillä erotuksella, että nesteenä on 30 %:n etyleeniglykoli-vesiliuos ja lämpötiloina menopuolella +45 °C ja paluupuolella +15 °C.

$$q_{ve} = \frac{P}{\rho \times c_p \times \Delta t} = \frac{106 \text{ kW}}{1034 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 3,747 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (45 - 15)} \approx 0,91 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

q_{ve}	on ensiöpuolen vesivirta, dm^3/s
----------	--

poistoilmasta lämpötehoa tuloilmaan, jolloin ilmanvaihtokoneen lämmityspatterissa vaadittava tehon tarve pienenee. Vastaavasti kesällä lämmöntalteenoton avulla voidaan siirtää lämpimästä ulkoilmasta lämpöä poistoilmaan, jolloin lämmin ulkoilma jäähtyy ja näin ollen jäähdytyspatterin tehontarve pienenee.

3.4.1 LTO-tyyppien valinta

Lämmöntalteenottolaitteita on neljää eri tyyppiä, ja nämä tyypit ovat ns. vesiglykoli-LTO, jossa lämmönsiirto tapahtuu virtaavan väliaineen välityksellä, ristivirtalevylämmönsiirrin, vastavirtalevylämmönsiirrin ja pyörivä eli regeneratiivinen LTO. Kaikilla edellä mainituilla lämmöntalteenottoilla on omat lämpötilahyötysuhteensa mutta hyötysuhteeltaan paras laite on yleensä regeneratiivinen lämmöntalteenotto eli ns. pyörivä lämmöntalteenotto. Pyörivän lämmöntalteenoton kuten muidenkin LTO-tyyppien hyötysuhde on aina hiukan valmistaja- ja laitekohtainen, mutta se on tyypillisesti 60–80 %. [5, s. 96.]

Valitsimme kohteeseen pyörivän lämmöntalteenoton sen hyvän hyötysuhteen ja kosteudensiirto-ominaisuuksien vuoksi. Pyörivä lämmöntalteenottolaitte on hyvä valinta aina silloin kun tarvitaan hyvää hyötysuhdetta ja pieni tulo- ja poistoilmojen sekoittuminen on sallittua.

3.4.2 Kosteuden siirto

Regeneratiivinen LTO on ainut edellä mainituista lämmöntalteenottolaitteista, joka pystyy siirtämään lämpöenergian lisäksi myös kosteutta. Kosteuden siirtoa tapahtuu pyörivässä lämmön siirtimessä silloin kun ulkoilman lämpötila laskee alhaiseksi ja näin ollen jäähdyttää siirtimen lämpötilan poistoilmapuolella kastepisteeseen. Lämpimän ja kostean poistoilman tällöin kohdatessa viileän LTO:n kondensoituu poistoilmasta kosteutta kiekon pinnalle. Tämä kondensoitunut vesi kulkeutuu kiekon pyöriessä tuloilmapuolelle, josta kondensoitunut vesi sitten haihtuu kuivaan tuloilmaan. Kosteuden siirtoa voidaan tehostaa siirtimessä päällystämällä siirtimen pinnat aineella, joka imee ilmasta kosteutta. Tällaisia aineita kutsutaan hygroskooppisiksi aineiksi. Tällä tavalla pinnoitetuista siirtimistä käytetäänkin termiä hygroskooppinen siirrin. [6, s. 121.]

3.4.3 Mitoitus

3.4.3.1 Kesäkausi

Lämmöntalteenoton mitoittaminen aloitettiin selvittämällä LTO:n hyötysuhde. Kosteutta siirtävällä lämmöntalteenotolla on kaksi hyötysuhdetta: lämpötilahyötysuhde ja kosteushyötysuhde. Näistä hyötysuhteista kosteushyötysuhde on hiukan lämpötilahyötysuhdetta heikompi. Pyöriviä lämmöntalteenottoja mitoitettaessa käytetään hyötysuhteena yleensä 75. Tarkastelimme toimittajan (Fläktwoods Oy) lämmöntalteenottokiekkaja ja huomasimme, että molemmat hyötysuhteet olivat itseasiassa paremmat kuin 75 %, mutta varmuuden vuoksi laskelmat on suoritettu 75 %:n arvolla.

Hyötysuhteen selvittämisen jälkeen tuli selvittää lämpötila, johon kiekolla päästään kyseisellä hyötysuhteella. Tämän laskimme siten, että selvitimme ensin lämpötilaeron soveltaen kaavaa 2.

$$\Delta t_{kesä} = t_u - t_p = 26^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C} = 22^{\circ}\text{C}$$

t_u on ulkoilman lämpötila kesällä, +26 °C, Rh 55 %

t_p on poistoilman lämpötila ennen LTO:ta, +4 °C, Rh 80 %

Lämpötilaeron avulla pystyimme selvittämään tuloilman lämpötilan LTO:n jälkeen laskemalla, kuinka paljon 75 % on $\Delta t_{kesä}$ ja vähentämällä saadun arvon ulkolämpötilasta t_u .

$$t_{jt\ LTO} = t_u - (\Delta t_{kesä} \times \eta_{kost}) = 26^{\circ}\text{C} - (22^{\circ}\text{C} * 0,75) = 9,5^{\circ}\text{C}$$

Selvitettyjen lämpötilojen ja Mollier-diagrammin avulla saimme siten selville entalpiaeron $\Delta h_{kesä}$, joka on laskettu kaavalla 4.

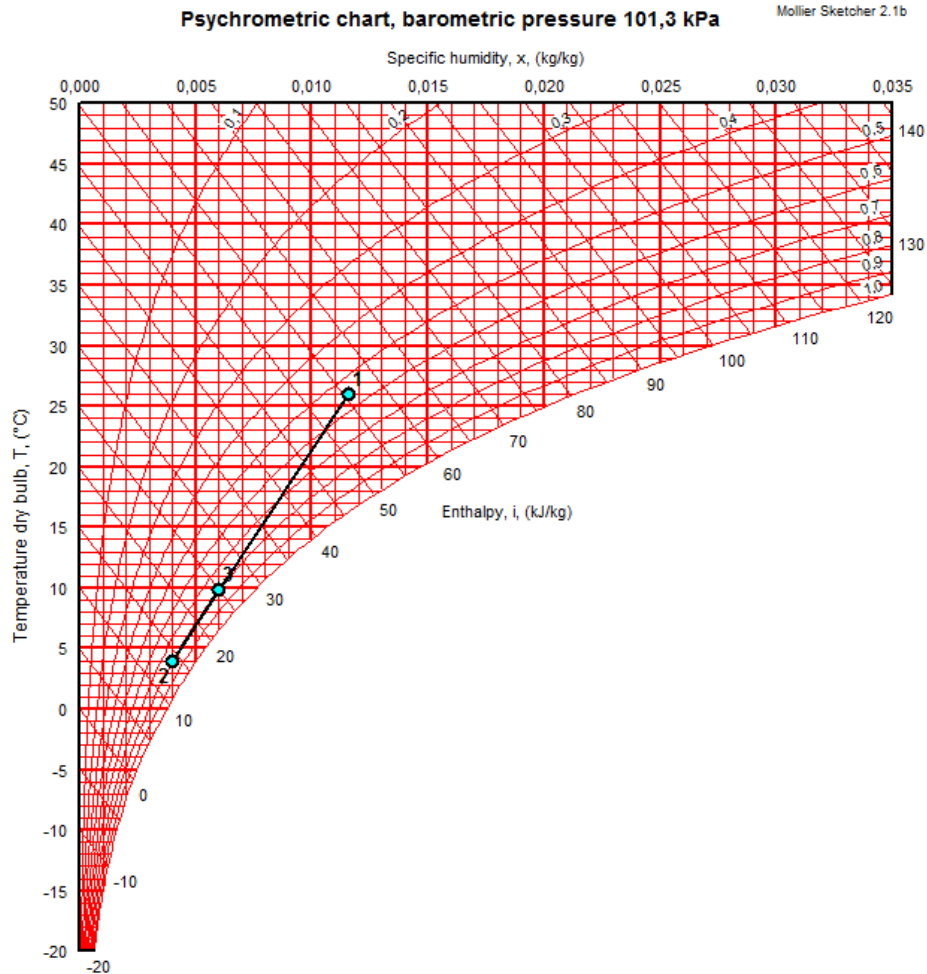
$$\Delta h_{kesä} = h_u - h_{jLTO} = 57 \frac{\text{kJ}}{\text{kg k.i}} - 25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg k.i}} = 32 \frac{\text{kJ}}{\text{kg k.i}} \quad (\text{Kaava 4})$$

$\Delta h_{kesä}$ on kesäkauden entalpiaero

h_u on ulkoilman entalpia, +26 °C, Rh 55 %

h_{jLTO} on tuloilman entalpia LTO:n jälkeen, +9,5 °C

Kuvassa 3 on esitetty Mollier-diagrammi, jossa on kuvattu edellä mainitut toimenpiteet.



Kuva 3. Lämmöntalteenoton Mollier-diagrammi kesäkaudella

Kuvaan 3 on merkitty ulkoilman ominaisuudet numerolla 1, poistoilman ominaisuudet numerolla 2 ja tuloilman olosuhteet LTO:n jälkeen numerolla 3.

Näiden tietojen avulla pystyimme laskemaan lämmöntalteenoton tehon kesätilanteessa käyttäen kaavaa 5.

$$P = q_{vi} \times \rho_i \times \Delta h_{kesä} = 7 \frac{m^3}{s} \times 1,2 \frac{kg}{m^3} \times 32 \frac{kJ}{kg \cdot K} = 268,8 kW \quad (\text{Kaava 5})$$

Kesäkaudella lämmöntalteenotolla saadaan siis 268,8 kW jäähdystystehoa talteen.

3.4.3.2 Talvikausi

Talvikaudella lämmöntalteenoton mitoitus etenee samalla tavalla kuin kesäkaudella. Kesäkaudella lämmöntalteenottolaitteella saadaan talteen jäähdystystehoa, mutta talvi-

kaudella lämmöntalteenottoa käytetään lämmitykseen ja kosteuden siirtoon. Hyötysuhteena talvikaudella käytämme samaa kosteushyötysuhdetta 75 %. Ensin laskimme lämpötilaeron Δt_{talvi} .

$$\Delta t_{talvi} = t_{uESP} - t_p = -15^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C} = -19^{\circ}\text{C}$$

t_{uESP} on ulkoilman lämpötila esilämmityspatterin jälkeen, -15°C

t_p on poistoilman lämpötila ennen LTO:ta, $+4^{\circ}\text{C}$, Rh 80 %

Tämän jälkeen laskimme lämpötilan, johon lämmöntalteenotto pystyy ilman lämmittämään.

$$t_{jt\ LTO} = t_{uESP} - (\Delta t_{talvi} \times \eta_{kost}) = -15^{\circ}\text{C} - (-19^{\circ}\text{C} * 0,75) = -0,75^{\circ}\text{C}$$

Selvitettyjen lämpötilojen ja Mollier-diagrammin avulla saimme edelleen entalpiaeron Δh_{talvi} .

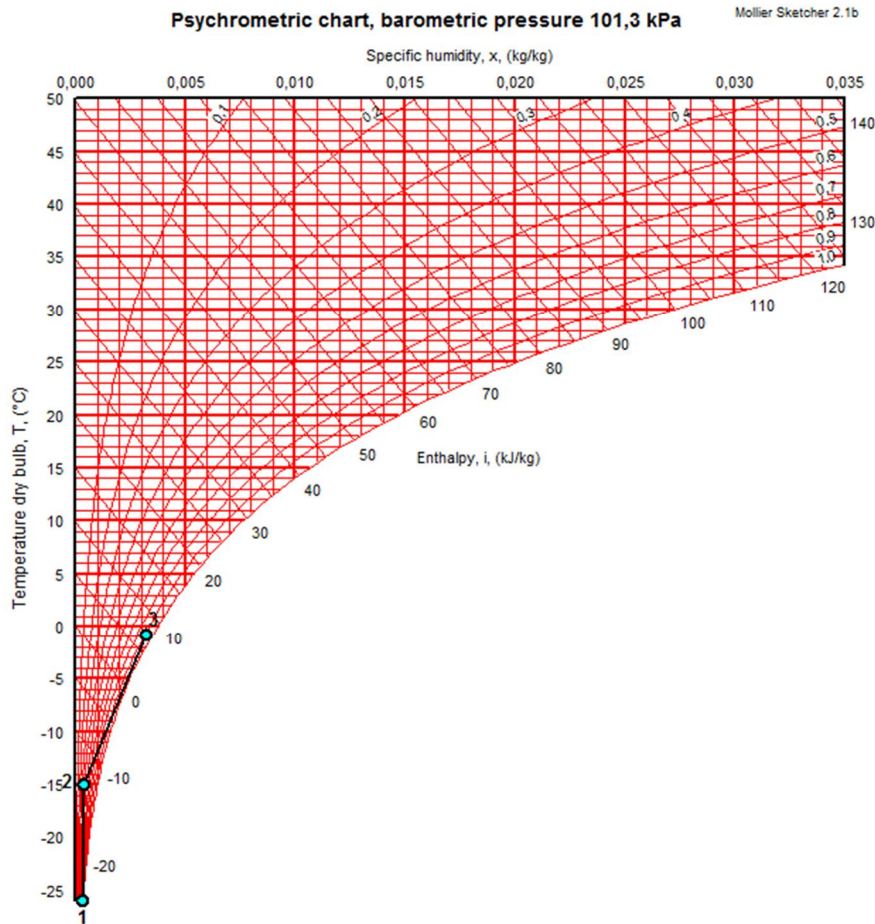
$$\Delta h_{talvi} = h_u - h_{jLTO} = -14 \frac{\text{kJ}}{\text{kg k.i}} - 8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg k.i}} = 22 \frac{\text{kJ}}{\text{kg k.i}}$$

Δh_{talvi} on talvikauden entalpia ero

h_u on ulkoilman entalpia

h_{jLTO} on tuloilman entalpia LTO:n jälkeen

Kuvaan 4 on piirretty Mollier-diagrammiin lämmöntalteenoton toiminta talvikaudella.



Kuva 4. Lämmöntalteenoton Mollier-diagrammi talvikaudella

Kuvassa 4 numerolla 1 on merkitty ulkoilman tilanne ennen esilämmityspatteria, numerolla 2 on esitetty ilman olosuhdetta esilämmityspatterin jälkeen lämmöntalteenotolle tultaessa ja numerolla 3 on kuvattu pistettä, joka saavutetaan lämmöntalteenoton jälkeen.

Näiden tietojen avulla pystyimme laskemaan lämmöntalteenoton tehon talvitilanteessa käyttäen kaavaa 5.

$$P = q_{vi} \times \rho_i \times \Delta h_{talvi} = 7 \frac{m^3}{s} \times 1,2 \frac{kg}{m^3} \times 22 \frac{kJ}{kg \cdot K} = 184,8 kW$$

Talvikaudella lämmöntalteenoton tehoksi saadaan näin ollen 184,8 kW.

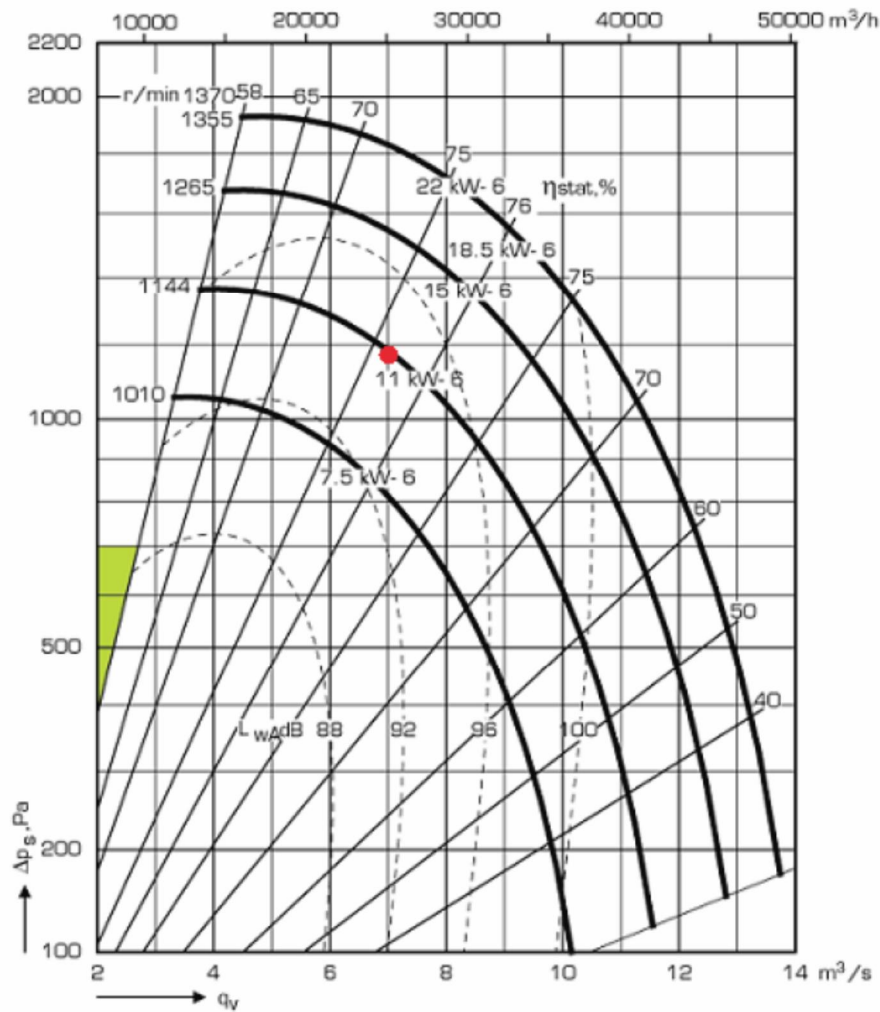
3.5 Puhaltimet

Ilmanvaihtokone pitää sisällään muiden osien lisäksi tulo- ja poistoilmapuhaltimet. Puhaltimia valittaessa on huomioitava puhaltimien paineen tuotot, ilmavirtojen suuruudet, puhaltimien aiheuttamat äänitekniset haitat sekä energiatehokkuus. Puhaltimien valinta tapahtuu useimmiten puhallinvalmistajan diagrammien avulla, jotka on laadittu kyseisille puhaltimille. [6, s. 85.]

3.5.1 Tuloilmapuhallin

Tuloilmakoneen puhaltimen valinta suoritettiin käyttämällä valmistajan valintaohjelmaa ACON. Puhallinta valittaessa tulee tietää kokonaisilmamäärä ja paineenkorotuksen tarve. Painetta tarkasteltaessa tulee huomioida ilmanvaihtokoneen osien lisäksi myös kanavisto ja sen laitteet. Ilmanvaihtokoneen laitteiden painehäviöt saadaan valmistajalta, mutta kanaviston paine häviö joudutaan arvioimaan. Arviointia tehdessämme meillä oli apuna jo aikaisemmin suunnittelemamme saman kohteen aikeisemmat rakennusvaiheet ja niiden ilmanvaihtoratkaisut. Puhaltimen ilmamäärä on $7 \text{ m}^3/\text{s}$, ja painehäviöksi kanavistoissa arvioimme 400 Pa. Arvioitu kanaviston painehäviö perustuu mitoitusarvoihin, joihin olemme päätyneet rakennuksen aikaisemman vaiheen ratkaisuissa. Näiden tietojen avulla etsimme puhaltimen valintaohjelman avulla. Kuvassa 5 on valitun puhaltimen puhallinkäyrä, johon on sijoitettu puhaltimen toimintapiste.

Puhallinkäyrät - Tuloilma - EQLK-079-3-0-1-1-3-1-1-2-1-1-2

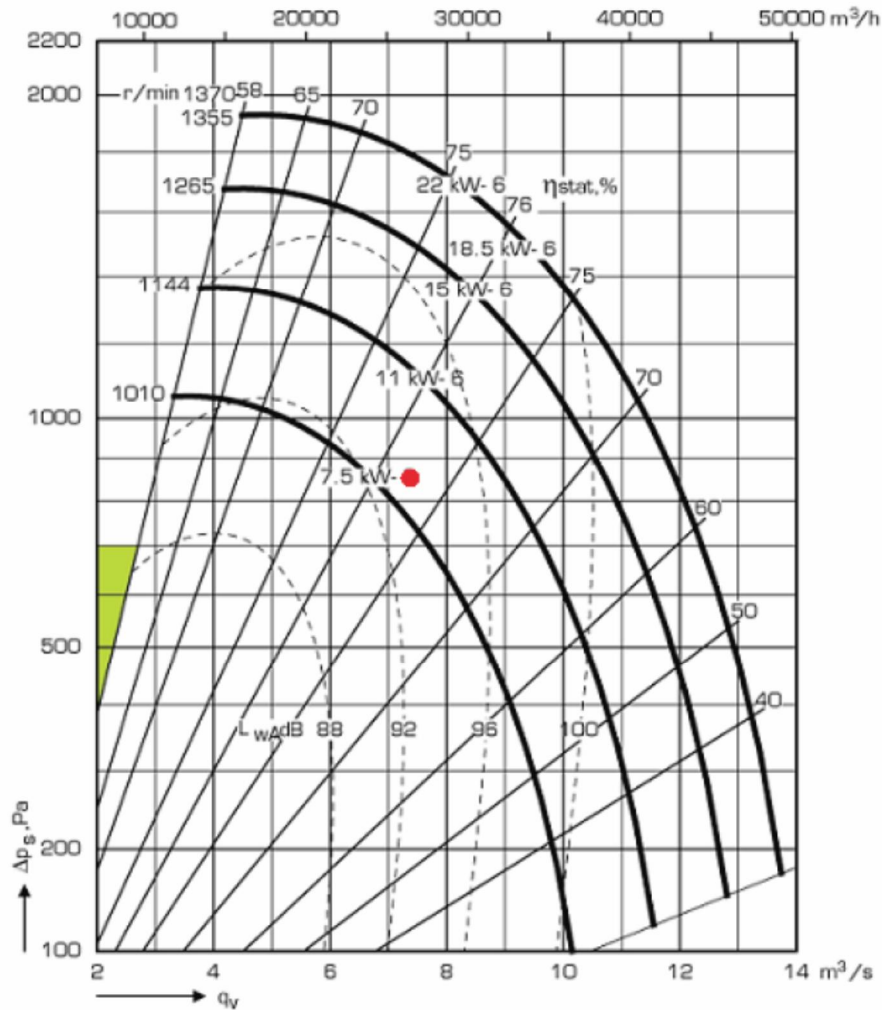


Kuva 5. Tuloilmapuhaltimen puhallinkäyrä (Fläkt Woods Oy)

3.5.2 Poistoilmapuhallin

Poistoilmapuhaltimen valinta etenee samalla tavalla kuin tuloilmapuhaltimen kohdalla. Ilmamääränä käytämme samaa 7 m^3/s mutta kanaviston painehäviöksi arvioimme 300 Pa. Kuvassa 6 on valitun poistoilmapuhaltimen puhallinkäyrä.

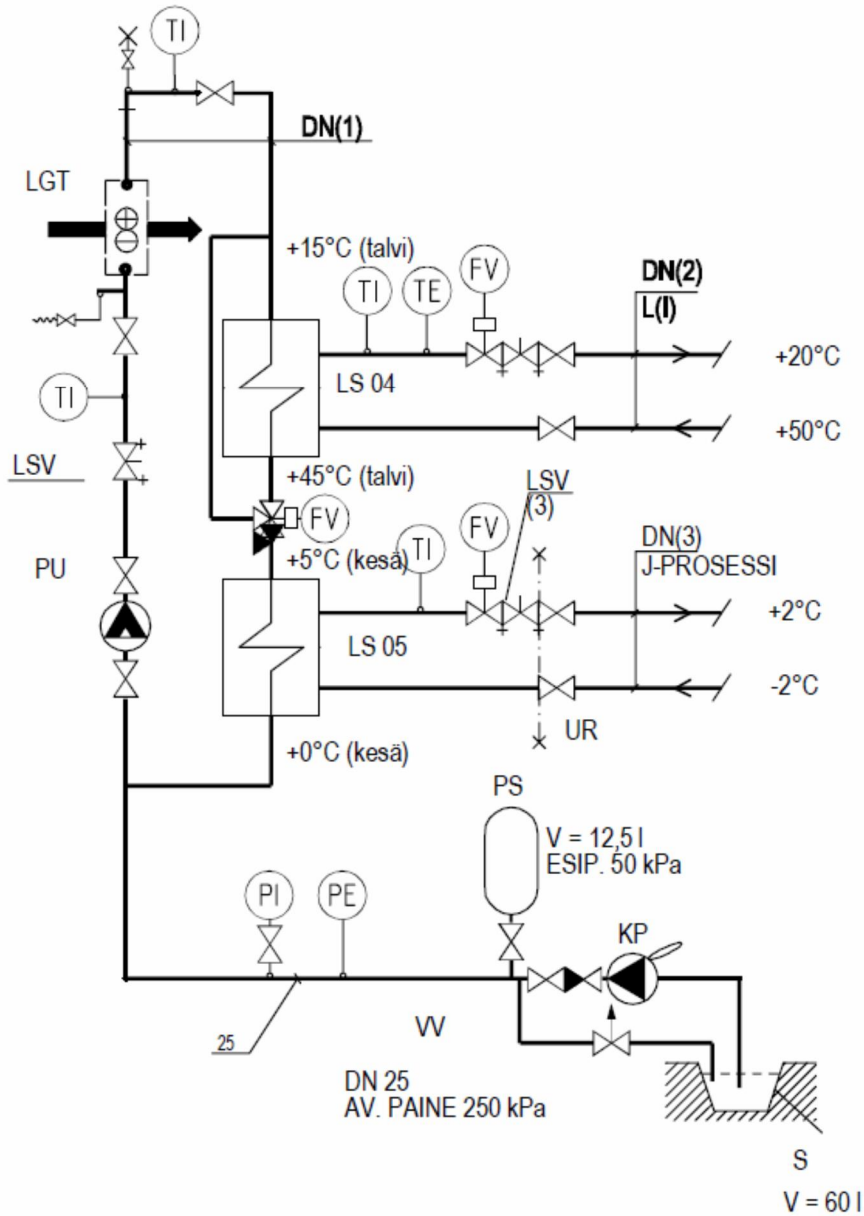
Puhallinkäyrät - Poistoilma - EQLK-079-3-6-1-1-2-1-2-2-1-2-2



Kuva 6. Poistoilmapuhaltimen puhallinkäyrä (Fläkt Woods Oy)

3.6 Lämmitys- ja jäähdytyskombipatteri

Seuraavaksi vuorossa on lämmitys- ja jäähdytyspatterien mitoitus. Valitsimme koneeseen asennettavaksi kombipatterin. Kombipatterilla tarkoitetaan ilmanvaihtokoneeseen asennettavaa patterijärjestelmää, jossa yhdellä patterilla hoidetaan sekä lämmitys että jäähdytys. Kombipatteri toimii siten, että patterin läpi virtaavan nesteen lämpötilaa säädetään kahdella lämmönsiirtimellä, joista toinen on lämmitystä varten ja toinen jäähdytystä varten. Kuvassa 7 on esitetty tällaisen järjestelmän putkikytkennät.



Kuva 7. Kombipatterin putkikytkennät

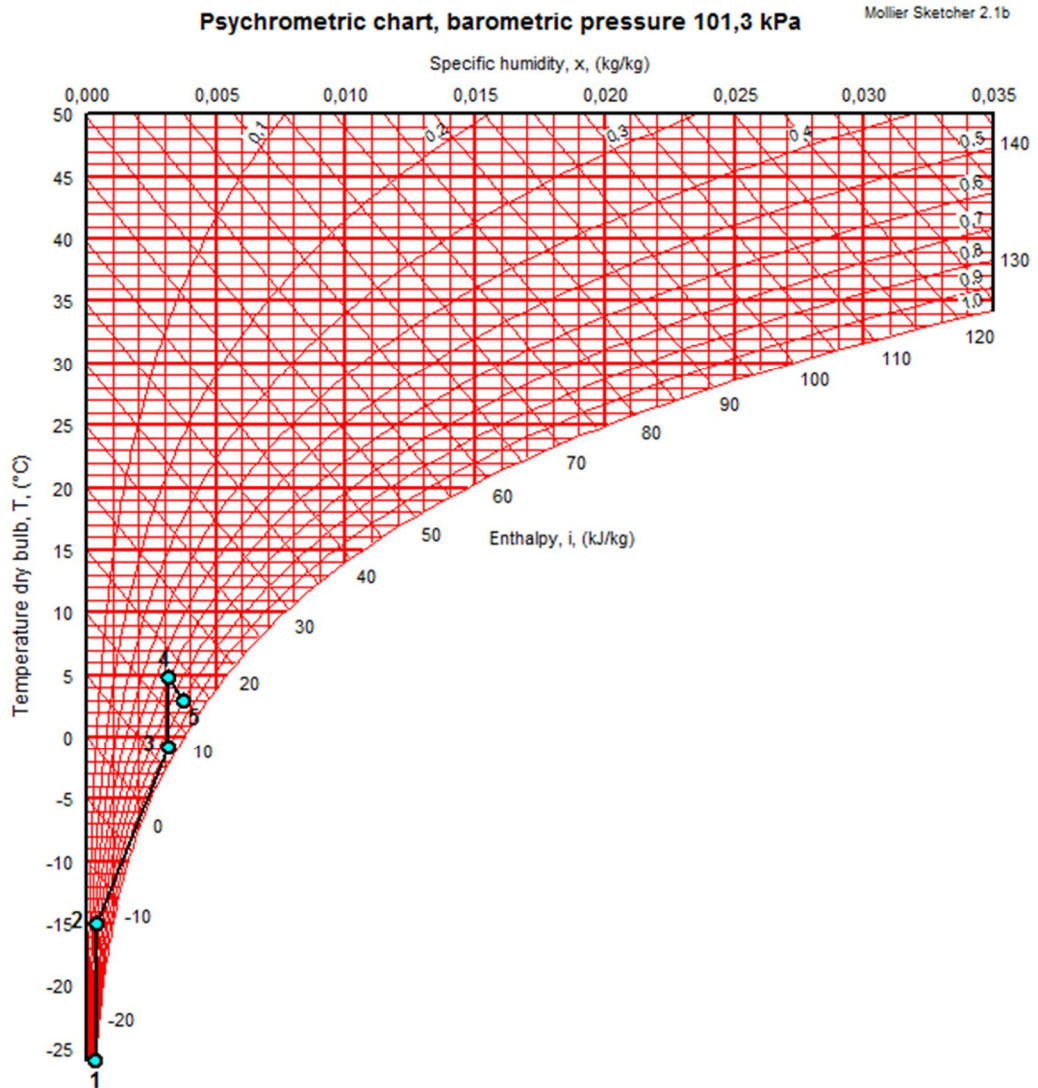
Kuvan 7 lämmönsiirtimet LS04 ja LS05 ovat siirtimiä, jotka määrittelevät, käytetäänkö kombipatteria LGT lämmitys- vai jäähdytystarkoitukseen. Lämmönsiirrin LS04 on käytössä talvikaudella, jolloin ilmanvaihdossa tarvitaan lämmitystä, ja vastaavasti lämmönsiirrin LS05 on käytössä kesällä, jolloin tarvitaan jäähdytystä.

3.6.1 Lämmityspatterin mitoitus

Lämmityspatterin mitoitus suoritetaan samalla tavalla kuin esilämmityspatterin mitoitus, joka on esitetty luvussa 3.3.2 Mitoitus. Ensin lasketaan lämmityspatterin tehontarve kaavalla 1.

$$P = q_{vi} \times \rho_i \times c_{pi} \times \Delta t_i = 7 \frac{m^3}{s} \times 1,2 \frac{kg}{m^3} \times 1,000 \frac{kJ}{kg^\circ C} \times (-4,75^\circ C - (4,8^\circ C)) = 80,2 kW$$

Laskennassa on käytetty ilmantiheydelle ρ_i likiarvoa $1,2 \text{ kg/m}^3$ ($+10^\circ C$). Lämpötilaeron laskennassa käytetty tuloilman lämpötila ennen patteria on lämpötila, jossa on huomioitu 5 asteen limitys lämmöntalteenoton kanssa ja myös yhden asteen lämpötilan nousu, joka tapahtuu valmistajan mukaan puhaltimessa. Myös kanavistossa tapahtuva yhden asteen lämpeneminen on huomioitu laskennassa samoin kuin ilman jäähtyminen kenokostuttimessa. Kostuttimessa tapahtuvan ilmanjäähdytymisen johdosta tulee ilma lämmitteä tavoitteena olevan $3^\circ C$:n sijasta $4,8^\circ C$:seen. Kuvan 8 Mollier-diagrammiin on piirretty ilmankäsittelyprosessi talvikaudella.



Kuva 8. Ilmankäsittelyprosessi kokonaisuudessaan talvitilanteessa

Kuvaan 8 merkityt pisteet 1–5 tarkoittavat seuraavia prosessin vaiheita

- 1 Ulkoilma mitoitustilanteessa ($-26\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- 2 Tilanne esilämmityspatterin jälkeen ($-15\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- 3 Tilanne lämmöntalteenoton jälkeen ($-0,75\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- 4 Tilanne lämmityspatterin jälkeen ($+4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- 5 Tilanne kennokostuttimen jälkeen ($+3\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Seuraavaksi selvitimme ensiöpuolen eli siirtimen LS04 tarvitseman virtaaman q_{ve} kaavalla 3.

$$q_{ve} = \frac{P}{\rho \times c_p \times \Delta t} = \frac{80,2kW}{988 \frac{kg}{m^3} \times 4,181 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \times (50 - 20)} \approx 0,65 \frac{l}{s}$$

Siirtimen LS04 virtaamaksi saatiin 0,65 l/s.

Tämän jälkeen on vuorossa toisiopuolen virtaaman laskenta. Toisiopuolella nesteenä on 30 %:n vesiglykoli-liuos.

$$q_{ve} = \frac{P}{\rho \times c_p \times \Delta t} = \frac{80,2kW}{1034 \frac{kg}{m^3} \times 3,747 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \times (45 - 15)} \approx 0,69 \frac{l}{s}$$

Patterin LGT virtaamaksi saatiin 0,69 l/s.

3.6.2 Jäähdytyspatterin mitoitus

Jäähdytyspatteria mitoittaessa tulee muistaa, että lämpötilaeron sijaan käytetään entalpiaeroa. Mitoitus aloitetaan laskemalla jäähdytystehon tarve kaavalla 5. [5, s. 93.]

$$P = q_{vi} \times \rho_i \times \Delta h_{kesä} = 7 \frac{m^3}{s} \times 1,2 \frac{kg}{m^3} \times 11 \frac{kJ}{kg \cdot i} = 92,4kW$$

Jäähdytystehon tarpeen jälkeen lasketaan siirtimen LS05 virtaama. Ensiöpiirissä kiertävä neste on 30 %:n vesiglykoli-liuosta ja meno-paluulämpötilat $-2...+2$ °C.

$$q_{ve} = \frac{P}{\rho \times c_p \times \Delta t} = \frac{92,4kW}{1034 \frac{kg}{m^3} \times 3,747 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \times (-2 - 2)} \approx 5,96 \frac{l}{s}$$

Siirtimen LS05 virtaamaksi tuli 5,96 l/s. Tämän jälkeen lasketaan patterin LGT virtaama samalla vesiglykoli-liuoksella, mutta piirin meno-paluulämpötilat ovat $0...+5$ astetta.

$$q_{ve} = \frac{P}{\rho \times c_p \times \Delta t} = \frac{92,4kW}{1034 \frac{kg}{m^3} \times 3,747 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \times (0 - 5)} \approx 4,77 \frac{l}{s}$$

Patterin LGT virtaamaksi tuli 4,77 l/s.

3.7 Kostutin

Ilmanvaihtokoneen kostuttimella tarkoitetaan laiteyksikköä, jolla puhallettavaan tuloilmaan lisätään vettä. Ilmanvaihtokoneeseen tarvitaan kostutin silloin kun käsiteltävän ilman kosteus on liian alhainen sisäilmaston vaatimuksiin nähden. Useimmiten kostutuksen tarve on suurin talvikaudella, jolloin ulkoilman sisältämä vesimäärä on hyvin alhainen.

3.7.1 Kostutintyypit

Ilman kostutus voidaan suorittaa lisäämällä ilmaan vesihöyryä ns. höyrykostuttimella, tai tuomalla ilma kosketuksiin märän pinnan kanssa siten, että kosteasta pinnasta vesi höyrystyy ilmaan. Tätä jälkimmäistä kostutustapaa kutsutaan haihduttavaksi kostutukseksi.

Haihduttavia kostuttimia on kahta tyyppiä, jotka ovat suihku- ja kontaktikostutin. Kontaktikostuttimen toimintaperiaate perustuu suuren kosketuspinnan luomiseen ilman ja veden välille käyttäen märkiä kostutuskennoja. Haihduttavissa kostuttimissa on huomioitava ilman jäähtyminen kostuttimessa, koska veden höyrystysenergia otetaan ilmastasta. [6, s. 132.]

Kontaktikostuttimissa on kaksi eri järjestelmää kennoston kasteluun. Nämä ovat suorakastelujärjestelmä ja kiertovesijärjestelmä. Suorakastelujärjestelmässä vesi valuu kennoista poistuttuaan suoraan viemäriin. Suorakastelujärjestelmän etuna on se, että se täyttää korkeat hygieniavaatimukset, mutta tämän kustannuksella tulee haitaksi suhteellisen suuri vedenkulutus. Kiertovesijärjestelmässä ei kennostosta poistuvaa vettä johdeta viemäriin vaan kennostojen alapuolella sijaitsevaan altaaseen, josta se altaassa sijaitsevan pumpun avulla pumpataan takaisin suihkutupkiin ja siten kennostoihin. Kiertovesijärjestelmässä on huomioitava mineraalien ja suolojen kertyminen kostuttiin vaihtamalla tietty määrä vettä koko ajan. Tätä toimenpidettä kutsutaan ylijouksu-

tukseksi. Kontaktikostuttimia käytettäessä on huomioitava myös ilmannopeedet kostuttimessa, koska liian suurilla ilman nopeuksilla kennojen pinnasta lähteä pisaroita ilmanvirran mukaan. Maksimi ilmannopeedus on 4,0 m/s, ja yli 3 m/s ylittävillä ilmannopeeduksilla on kostutin varustettava pisaranerotimella. [6, s. 132.]

Suihkukostuttimien toimintaperiaate perustuu suuttimiin, joiden avulla ruiskutetaan hienoja suihkuja ilmanvirran vastaisesti, päin kostuttimen kammiossa sijaitsevaa veden erotuskennoa. Nämä pisarat sitten höyrystyvät kostuttimen läpi kulkevaan ilmaan. Suihkukostuttimissa on suuttimien jälkeen, ilmanvirrankulkusuuntaan nähden, oltava pisaranerotin, jossa höyrystymättömät pisarat poistuvat ilmasta eivätkä näin ollen kulkeudu kanavistoon. [6, s. 133.]

3.7.2 Kostuttimen valinta ja mitoitus

Valitsimme kostutintyyppiä kontaktikostuttimen, ns. kennokostuttimen ja siihen kierto-vesijärjestelmän. Kostuttimen mitoittaminen aloitetaan selvittämällä massasuhteiden erotus Δx käyttämällä kuvan 8 Mollier-diagrammia ja siihen piirrettyä ilmankäsittelyprosessia. Diagrammista saamme massasuhteet x_1 ja x_2 lukemalla pisteiden 4 ja 5 massasuhteiden arvot diagrammin alareunalla sijaitsevalta asteikolta.

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 0,0039 \frac{kg}{kg \text{ k.i}} - 0,0031 \frac{kg}{kg \text{ k.i}} = 0,0008 \frac{kg}{kg \text{ k.i}}$$

Massasuhteiden erotuksen jälkeen on ilmanvirta q_{vi} muutettava massavirraksi m_i . Massavirran saamme laskettua kaavalla 6.

$$\dot{m}_i = q_{vi} \times \rho_i = 7 \frac{m^3}{s} \times 1,2 \frac{kg}{m^3} = 8,4 \frac{kg}{s} \quad (\text{Kaava 6})$$

m_i on ilman massavirta, kg/s

q_{vi} on ilmanvirta, m³/s

ρ_i on ilman tiheys, kg/m³, ~1,2 kg/m³

Kostuttimen kostutustehontarve m_p saadaan näin ollen laskettua kaavalla 7. [5, s. 94.]

$$\dot{m}_p = \dot{m}_i \times \Delta x = 8,4 \frac{m^3}{s} \times 0,0008 \frac{kg}{kg \text{ k.i}} \times 3600 = 24,2 \frac{kg}{h} \quad (\text{Kaava 7})$$

Kostuttimen kostutustehontarpeeksi saatiin 24,2 kg/h.

3.8 Äänenvaimennus

Ilmanvaihtokoneessa äänenvaimennuksella pyritään vaimentamaan ilmanvaihtokoneen aiheuttama ääntä, joka kulkeutuu kanavia muihin tiloihin. Kanavistojen lisäksi ilmanvaihtokoneen aiheuttama ääni saattaa edetä rakennuksen muihin osiin rakennusrungon kautta, ja tämä edellyttää toimenpiteitä äänenvaimennuksen suhteen. Ääni on yhdessä lämpötilan ja ilmannopeuden kanssa tärkeimpiä tekijöitä, jotta rakennukseen saadaan hyvä sisäilmasto. [6, s. 53–54.]

Ilmanvaihtokoneessa puhaltimet ovat yksi suurimmista äänenlähteistä. ja yksi keskeisimmistä ilmastoinnin ääniteknisessä suunnittelussa vastaan tulevista tehtävistä onkin estää puhaltimien äänen kulkeutuminen huonetiloihin.

Äänenvaimennusta suunniteltaessa on otettava huomioon useita eri äänen siirtymisreittejä [5, s. 200]:

- puhaltimien värinästä aiheutuvat runkoäänet
- rakenteita pitkin siirtyvät äänet
- rakenteiden läpi kulkeutuvat äänet
- kanavien seinämien ja päätelaitteiden kautta kulkeutuvat äänet
- äänen siirtyminen naapurirakennuksiin tai viereisiin tiloihin ulkokautta
- äänen kulkeutuminen kanavointeja pitkin huoneista toiseen.

Ääniteknisessä suunnittelussa on huomioitava koko ilmanvaihdon toteutus. Tämän työn tavoitteena on kuitenkin keskittyä ilmanvaihtokoneen suunnitteluprosessiin, joten en mene syvemälle aiheeseen kanavointien ilmannopeuksien, päätelaitteiden etc. suhteen.

Ilmanvaihtokoneessa äänenvaimennusta voidaan parantaa hyvin mitoitetuilla puhaltimilla, oikealla kotelon valinnalla sekä äänenvaimentimilla tulo- ja poistoilmapuolella. Lisäksi ilmanvaihtokoneen alustan materiaali- ja rakenneratkaisuilla saadaan vaimennettua ilmanvaihtokoneen aiheuttamaa kuormaa äänitekniiseen suunnitteluun.

3.8.1 Äänenvaimennuksen tarve kohteessa PTDC

Kohteena olevassa logistiikkakeskuksessa ei ole mitään erityisiä äänitekniisiä vaatimuksia suunniteltavan koneen osalta, koska vaikutusalueella on hyvin vähän oleskelu tai työskentelyalueita ja lisäksi varastoautomaatiikka ja muu tekniikka aiheuttavat niin suuren taustamelun tiloihin, ettei ilmanvaihdon äänitekniinen suunnittelu ole tärkeää.

3.8.2 Äänenvaimentimien valinta

Ilmanvaihtokoneeseen tulee konetoimittajan (Fläktwoods) 900 mm:n äänenvaimentimet tuloilma- ja poistoilmapuolelle estämään ilmanvaihtokoneesta kanavistoon kulkeutuvaa ääntä. Tarkempia äänitekniisiä laskelmia ei kohteessa tämän koneen osalta suoriteta.

3.9 Ilmanvaihtokoneen vaippa

Ilmanvaihtokoneen vaipan tarkoituksena on eristää koneen komponentit ympäröivästä tilasta omaksi kokonaisuudekseen. Koneen vaipan on kestettävä suurimman sallitun käyttöpaineen, kuitenkin vähintään $\pm 1\ 000$ Pa koestuspaineen aiheuttama kuormitus.

Vaipan liitosten tiiviysluokan tulee olla luokkaa korkeampi kuin koneen tiiviysluokka. Koneen vaipan on kestettävä puhaltimen tuottama yli- tai alipaine silloin, kun ilmanvaihtokoneen sulkupellit ovat kiinni. Tästä johtuva painerasitus ei saa pysyvästi heikentää vaipan tiivyyttä. [5, s. 74.]

3.9.1 Olosuhteiden aiheuttamat haasteet vaipalle PTDC Logistiikkakeskuksessa

Ilmanvaihtokoneen vaipan valinnassa keskityimme vaipan eristävyysluokkaan ja kylmistä ilmanlämpötiloista johtuvaan kosteuden kondensoitumisen estämiseen vaipan pinnalle. Kosteuden kondensoituminen vaipan pinnalle aiheuttaisi pidemmällä aikavälillä

kosteusongelmia konehuoneessa, koska koneenpinnalle tiivistyvä kosteus aikaa myöten valuisi lattialle ja sieltä rakenteisiin. Vaipan sisäpuolisen materiaalin tulee vuorostaan kestää kosteutta ruostumatta.

3.9.2 Vaipan materiaalin valinta

Vaipan materiaalien valinnassa käytimme hyödyksi konetoimittajan asiantuntijoita, joiden kanssa keskustelimme vaatimuksista, joita kyseisen koneen vaipalle tulee johtuen sisäilmastosta, jota kone palvelee. Laitetoimittajan ohjeiden mukaan päädyimme sitten ratkaisuun, jossa vaipan sisäkuoreksi tulee ruostumatonta terästä ja ulkopinnalle tulee muovipinnoitettua terästä.

3.10 SFP

3.10.1 Mikä on SFP?

SFP-luku on lukuarvo, jota käytetään ilmapuhaltajajärjestelmien tehokkuuden määrittämiseen. Kirjaimet SFP tulevat englanninkielisestä määritelmästä Specific Fan Power, jolla tarkoitetaan ilmapuhaltajajärjestelmän ominaissähkötehoa. Ominaissähköteho kertoo, kuinka paljon sähkötehoa tarvitaan yhden ilmapuhaltajan liikuttamiseen ilmanvaihtojärjestelmässä. [6, s. 102.]

Hyvän ilmanvaihdon sähkötehokkuuden saavuttamiseksi ei riitä pelkästään ilmanvaihtokoneen tarkastelu, vaan se tulee ottaa huomioon koko ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelussa. Ilmanvaihtokoneen osalta tulee mitoitukset tehdä matalan painehäviön pohjalta ja siten, että valitut puhaltimet toimivat hyvällä hyötysuhteella. Matalan SFP-luvun saavuttamiseksi on kanavisto ja sen säätö ja päätelaitteet suunniteltava mahdollisuuksien mukaan pienellä painehäviöllä toimiviksi. [6, s. 103.]

SFP-luvusta ja sen laskennasta on paljon tietoa ja ohjeita useilta eri tahoilta. Esimerkiksi LVI-kortistossa on ohje numerolla LVI 30-10529, Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP. (2013)

3.10.2 SFP-luvun laskenta

SFP-lukua laskettaessa pitää ensin selvittää, halutaanko laskea SFP-luku koko rakennuksella vai yksittäiselle ilmanvaihtokoneelle ja valita tavoitetaso. Suomen rakentamismääräyskokoelman D2 (2012) ohjeen mukaan ominaissähkötehon tulee yleensä olla alle 2,0 kW/(m³/s). Tämä ohje kuitenkin koskee tavanomaisia järjestelmiä ja antaa mahdollisuuden korkeampiin lukemiin, jos rakennuksen ilmanvaihto edellyttää tavanomaisesta poikkeavia ratkaisuja. Suunniteltavan kohteen ja varsinkin kylmätilojen koneiden rakentaminen ei ole mahdollista siten, että pysyttäisiin arvossa 2,0 kW/(m³/s), mikä johtuu koneen monimutkaisuudesta ja lisäksi suurista kanaviston painetarpeista. [11, s. 15.]

Koko rakennuksen SFP-luvun laskenta ei vielä tässä vaiheessa työtä ole mahdollista, mutta tarkastelun alla olevan ilmanvaihtokoneen alustavan ominaissähkötehon laskenta voidaan suorittaa. Ilmanvaihtokoneen SFP-luvun laskenta tapahtuu kaavalla 8. [6, s. 102.]

$$SFP = \frac{P_{tulo} + P_{poisto}}{q_{max}} = \frac{12,7kW + 8,76kW}{7 \frac{m^3}{s}} = 3,06 \quad (\text{Kaava 8})$$

jossa

SFP on ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho

P_{tulo} on tuloilmapuhaltimen ottama sähköteho, kW

P_{poisto} on poistoilmapuhaltimen ottama sähköteho, kW

q_{max} on koneen ilmavirroista suurempi (tulo tai poisto), m³/s.

Puhaltimien sähkötehot saimme käyttämällä konetoimittajan (Fläktwoods) mitoitus- ja valintaohjelmaa Acon. Laskennan tulokseksi saatu SFP 3,06 on korkea arvo ja selvästi yli D2:n määrittelemän raja-arvon 2,0. Syynä tähän on se, että ilmanvaihtokoneen rakenne on hieman tavanomaista ilmanvaihtokonetta monipuolisempi ja tarvitsemamme paineet kanavistoja varten ovat suuret ahtaiden tilojen ja suurten etäisyyksien vuoksi. Korkea SFP-luku on ollut myös keskustelun aiheena konetoimittajan kanssa, ja sen palautteen mukaan koneen todellinen SFP-arvo tulee olemaan matalampi.

Korkeaa SFP-lukua tarkastellessa tulee muistaa kohteen laajuus. Kohteeseen tulee alustavien laskelmien mukaan yli 100 ilmanvaihtokonetta. Työssä tarkasteltavia koneita

tulee rakennukseen 8–10 kappaletta ja näistä vain 4 tarkasteltavan koneen suuruisia. Suunnitelluista koneista suurimman osan olemme onnistuneet rakentamaan siten, että SFP-arvot ovat pysyneet välillä 1,9–2,5. Suuren konemäärän johdosta ei muutaman koneen suuri SFP-arvo aiheuta kokorakennuksen energiakulutuksen suurta nousua ilmanvaihdon osalta.

4 Yhteenveto

Insinööriyön tarkoituksena oli dokumentoida Sipooseen rakennettavaan logistiikkakeskus PTDC asennettavan kylmätilojen ilmanvaihtokoneen suunnitteluprosessia ja ratkaisuja, joihin eri osapuolien kanssa päädyimme. Kohteeseen suunnitellaan useita ilmanvaihtokoneita, joten valitsimme valvojan kanssa ilmanvaihtokoneen, jonka suunnittelussa joudutaan läpikäymään useita ilmanvaihtokoneen suunnittelun osa-alueita ja haasteellisten sisäilmastovaatimusten tuomia haasteita. Tavoitteena oli rakentaa insinööriyö siten, että sitä voitaisiin hyväksi käyttää muiden ilmanvaihtokoneiden suunnittelussa myös tulevaisuudessa.

Insinööriyön ja samalla projektin edetessä havaitsimme, kuinka oleellista on koneenosien tarkastelu yksittäisinä osina kokonaisuuden ohella, kun kyseessä on ilmanvaihtokone, jonka sisäilmaston vaatimukset ovat suuret. On hyvin tärkeää tarkastella osien vaikutusta toisiinsa ja tehdä mitoitusmahdollisimman tarkkaan heti alusta, koska jälkikäteen muuttaminen osoittautui työlääksi ja aikaa vieväksi. Täysin valmiiden suunnitelmien tekeminen ei tietenkään ollut mahdollista projektin tässä vaiheessa, koska itse rakennusvaihe oli insinööriyön aikana alustavien suunnitelmien tekovaiheessa.

Laitevalmistajien kanssa käydyt keskustelut ja neuvottelut olivat erittäin suureksi avuksi ja monilta osin lähes välttämättömiä, jotta toimivan ilmanvaihtokonekokonaisuuden kokoaminen oli edes mahdollista. Onkin hyvä muistaa aina käyttää mahdollisimman paljon valmistajien tietoutta ja taitoa avuksi, koska valmistajat tietävät eniten juuri omista laitteistoistaan ja niiden suunnittelussa huomioon otettavista haasteista.

Lähteet

- 1 HTP-arvot 2012. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. 2012. Verkkodokumentti. Sosiaali- ja terveysministeriö.
<http://www.stm.fi/c/document_library/get_file?folderId=5197397&name=DLFE-19904.pdf>. Luettu 6.1.2014
- 2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 3 EN 13779:2007, Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems. 2007. European committee for standardization.
- 4 EN 779:2012, European Air Filter Test Standard. 2012. European committee for standardization.
- 5 Seppänen Olli. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Forssan Kirjapaino Oy.
- 6 Ilmankäsittelykoneet. 2010. Tekninen käsikirja. Fläkt Woods Oy
- 7 Etyleeni. 2014. Verkkodokumentti. Kotimaiset Kasvikset ry.
<<http://www.kasvikset.fi/WebRoot/1033640/Oletussivu.aspx?id=1047599>>. Luettu 5.1.2014.
- 8 Ethylene: The Ripening Hormone. 2010. Verkkodokumentti. Washington State University. <<http://postharvest.tfrec.wsu.edu/pages/PC2000F>>. Luettu 5.1.2014.
- 9 Camfil:n pohjoismainen tuoteluettelo 2013. 2013. Verkkodokumentti. Camfil Oy.
<http://www.camfil.fi/FileArchive/Product%20Detailed%20Info/Product%20catalogue/Product_Catalogue_FI.pdf>. Luettu 7.2.2014
- 10 Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2012. 2013. Verkkodokumentti. Helsingin seudun ympäristöpalvelut kuntayhtymä.
<http://www.hsy.fi/tietoahsy/Documents/Julkaisut/5_2013_ilmanlaatu_paakaupunkiseudulla_vuonna_2012_web.pdf>. Luettu 7.2.2014.
- 11 Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet. 2011. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 12 Ilmanvaihdon perusteet. 2014. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys ry.
<<http://www.sisailmayhdistys.fi/paasivuista-toinen/ilmanvaihdon-perusteet/>>. Luettu 7.2.2014.

- 13 Huono ilmanvaihto aiheuttaa ongelmia. 2014. Verkkodokumentti. Suomen Terveysilma Oy. <http://www.terveysilma.fi/index.php?browser_id=71>. Luettu 7.2.2014.
- 14 Fysikaaliset tekijät. 2014. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys ry. <<http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/sisailmasto/fysikaaliset-tekijat/>>. Luettu 7.2.2014.
- 15 Ilman kosteus. 2014. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos. <<http://ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus>>. Luettu 7.2.2014.
- 16 Kasvisten säilytysolosuhteet. 2014. Verkkodokumentti. Kotimaiset Kasvikset ry. <<http://www.kasvikset.fi/WebRoot/1033640/Oletussivu.aspx?id=1047491>>. Luettu 8.2.2014.