

Mika Ylitalo

KONSERTTISALIN ILMANJAON SUUNNITTELU

Opinnäytetyö
Talotekniikka

2018



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Mika Ylitalo	LVI-insinööri (AMK)	Huhtikuu 2018
Opinnäytetyön nimi		53 sivua 4 liitesivua
Konserttisalin ilmanjaon suunnittelu		
Toimeksiantaja		
PP Kiinteistötekniikka Oy		
Ohjaaja		
Marianna Luoma		
Tiivistelmä		
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli saada suunniteltua sopiva ilmanjakotapa tulevaan Jyväskylän helluntaiseurakunnan toimintakeskuksen konserttisaliin. Tästä aiheesta kerättiin mahdollisimman paljon teoretietoa kirjallista tutkielmaa varten, jotta saatiin hyvä suunnitteluohje tehtyä kyseisen tilan ilmanjakotavan valintaan ja suunnitteluun. Tätä teoriaa esiteltiin aluksi työssä. Samalla, kun pyrittiin esittämään tarpeellista tietoa ilmanjaon suunnitteluun, pyrittiin myös perustelemaan esille tuotuja seikkoja, jotta ne olisivat käyttökelpoisia työvälineitä tämän opinnäytetyön ongelman ratkaisemiseen.</p> <p>Aluksi työssä kerättiin pohjatietoa ilmanvaihtojärjestelmien suunnittelusta, ilmanvaihdon suunnittelun normeista eli esim. mitkä normit ohjaavat hyvän ilmanlaadun suunnittelua. Tämän jälkeen kerättiin pohjatietoa ilmanjaosta ja sen suunnittelusta.</p> <p>Tässä työssä oli tarkoitus tuoda esille vain tarpeelliset tiedot ja seikat konserttisalin ilmanjaon suunnitteluun ja kaikki epäolennainen karsittiin pois. Työssä selkiytyikin sopiva ilmanvaihtojärjestelmä ja ilmanlaadun säätötapa kohdetilaan. Samalla valikoitui eri ilmanjakotavoista syrjäyttävä ilmanjako. Nämä valinnat myös perusteltiin ja valittiin eri vaihtoehdoista.</p> <p>Tämän jälkeen työssä keskityttiin antamaan mahdollisimman kattavasti tietoa syrjäytysilmanvaihdon toteutukseen konserttisaliin. Erilaisia seikkoja tuotiin esiin mm. tuloilmalaitteiden valintaan syrjäytysilmanjakoon ja niiden sijoitteluun tilassa, jotta viihtyisyysolot olisivat käyttäjille mahdollisimman optimaaliset.</p> <p>Lopuksi työssä esitettiin suositus ilmanjakolaitteiksi kohdetilaan. Tuloilmalaitteiksi suositeltiin katsomon alle sijoitettavat penkkien alta puhaltavat laitteet, jotka kytketään pyöreisiin tuloilmakanaviin penkkirievien alla. Katsomon reunoille kulmakohtiin palkkien viereen suositeltiin lattiaan asennettavat neljännessylinterin muotoiset tuloilmalaitteet ja esiintymislavan alle sen etu reunaan tuloilmalaitteet, jotka puhaltavat katsomon edestä ilmaa.</p> <p>Kaikki valinnat perusteltiin työssä ja esitetty teoretieto tukee myös valintoja. Näitä ratkaisuja käyttämällä päästäisiin siis hyvään ilmanlaatuun käyttäjien kannalta.</p>		
Asiasanat		
Ilmanjako, syrjäytysilmanjako, muuttuvilmavirtajärjestelmä, tuloilmalaitte, konserttisali		

Author (authors)	Degree	Time
Mika Ylitalo	Bachelor of Engineering	April 2018
Thesis title Air distribution of concert hall		53 pages 4 pages of appendices
Commissioned by PP Kiinteistötekniikka Oy		
Supervisor Marianna Luoma		
<p data-bbox="140 723 1461 768">Abstract</p> <p data-bbox="140 790 1461 902">The subject of this thesis was to make a good introduction of air distribution of a concert hall. In the concert hall there can be 600 users at the same time. One of the goals of this thesis was to collect a lot of information on how to design the air distribution to the space.</p> <p data-bbox="140 925 1461 1193">First in this thesis information of ventilation systems was collected, how to control air quality and what is the best air distribution for concert hall. After that the displacement ventilation was chosen. The variable air volume system and carbon dioxide sensor were chosen to adjust indoor quality. Then the flows were calculated for indoor devices. Simulation was also made of the concert hall's indoor devices. The simulated indoor devices was Fläkt Woods DVQA and DVCA devices. The simulation and calculations were also made. The risk of draft of air was also analysed.</p> <p data-bbox="140 1216 1461 1305">Finally all the information for designing the good air distribution to concert hall was collected and presented in this thesis.</p>		
<p data-bbox="140 1350 1461 1395">Keywords</p> <p data-bbox="140 1417 1461 1525">Air distribution, displacement ventilation, variable air volume system, indoor device, concert hall</p>		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TAUSTATIETOA ILMANVAIHDOSTA.....	5
2.1	Lämpöolot.....	6
2.1.1	Veto.....	8
2.2	Ilman laatu.....	9
2.2.1	Epäpuhtauslähteet.....	10
2.2.2	Sisäilmaluokitus 2008.....	11
2.3	Ilmastointijärjestelmät.....	11
2.3.1	Ilmajärjestelmät.....	11
2.3.2	Muut järjestelmät.....	13
3	TAUSTATIETOA ILMANJAOSTA.....	14
3.1	Ilmanjako ja sen tehokkuus.....	15
4	KOHTEEN ILMANJAKOTAVAN KARTOITUS.....	18
4.1	Sekoittava ilmanjako.....	19
4.2	Syrjäyttävä ilmanjako.....	20
4.3	Laminaarinen ilmanjako.....	21
4.4	Ilmanjaon valinta.....	22
5	TIETOA SYRJÄYTTÄVÄN ILMANJAON SUUNNITTELUA VARTEN.....	22
5.1	Syrjäytysilmanjaon perusta.....	23
5.2	Ilmanjakolaitteet syrjäytysilmanjaossa.....	27
5.2.1	Yleisesti käytettyjä tuloilman päätelaitetyyppejä.....	30
5.2.2	Teknisten tietojen esittäminen.....	33
5.2.3	Yleisiä virheitä tuloilmalaitteiden suunnittelussa.....	34
5.3	Lisätietoa suunnittelun tueksi.....	36
6	VALITUN ILMANJAON ESITTELY KOHTEESEEN.....	40
7	POHDINTA.....	48
	LÄHTEET.....	51

1 JOHDANTO

Hyvä sisäilma ja oikein toimiva ilmanvaihto rakennuksessa on yksi tärkeimmistä ominaisuuksista ja luo edellytykset rakennuksen käyttäjien viihtyvyydelle tiloissa sekä hyvälle työteholle esim. toimistorakennuksissa ja ehkäisee mm. sairusrakennusoireiden syntyä tilojen käyttäjille. Hyvän ilmanvaihdon voi myös pilata huonolla ilmanjaolla ja on määriteltä, että ilmanvaihto on korkeintaan niin hyvä kuin sen ilmanjako.

Ilmanjakotapoja taas on neljä pääperiaatetta, jotka ovat: sekoittava-, kerrostuma-, vyöhyke- ja mäntäperiaate. Kerrostumaperiaatteesta käytetään usein nimeä syrjäyttävä ilmanjako tai ilmanvaihto. Sekoittava ja syrjäyttävä ilmanjako ovat yleisimpiä käytössä olevia tavanomaisissa rakennuksissa ja tiloissa, mutta jos halutaan mm. päästä ilmanvaihdolla erittäin puhtaisiin olosuhteisiin, kuten puhdastiloissa tai leikkaussaleissa, niin käytetään yleensä mäntäperiaatetta ilmanjaossa. Tällöin tilassa käytetään suuria ilmavirtoja.

Mitään tiettyä parasta ilmanjakotapaa kaikkiin tiloihin ei ole olemassa, vaan se täytyy suunnitella tilaan aina tapauskohtaisesti. Tämän opinnäytetyön aiheena on Jyväskylään vuonna 2019 valmistuvan Jyväskylän Helluntaiseurakunnan uuden toimintakeskuksen konserttisalin ilmanjaon suunnittelu. Työssä pyritään esittämään paras vaihtoehto kyseisen tilan ilmanjaon toteutukselle. Työssä käydään läpi eri ilmanjakotapoja ja valitaan niistä paras kohdetilaan. Samalla esitellään eri ilmanvaihtojärjestelmiä ja ehdotetaan parasta järjestelmää kohteeseen sekä esitellään eri säätötapoja ilmanvaihdolle ja ehdotetaan parasta ratkaisua kohteeseen. Valintoja perustellaan teoriaosioilla ja lopuksi kokonaisuus esitellään ehdotukseksi, jonka avulla kohteeseen saataisiin mahdollisimman hyvät sisäilmaolot, ilmanvaihto ja ilmanjako.

2 TAUSTATIETOA ILMANVAIHDOSTA

Sisäilmasto käsittää ihmisen terveyteen ja rakennuksessa viihtyvyyteen vaikuttavia tekijöitä, jotka voivat olla fysikaalisia, mikrobiologisia tai kemiallisia. Nämä tekijät yleensä jaetaan lämpöoloihin ja sisäilman laatuun. Nykyään käytetään myös termiä sisäympäristö, johon kuuluu edellä mainittujen lisäksi myös akustiikka, valaistus, sisustukseen liittyvät tekijät ja tilasuunnitteluun vaikuttavat asiat. /1, s. 37./

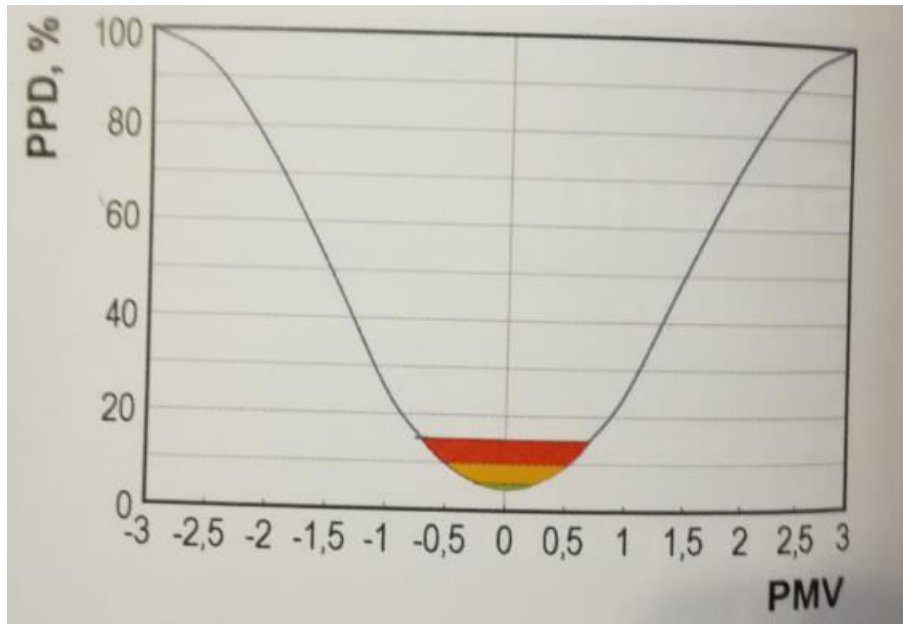
2.1 Lämpöolot

Ihmisen viihtyvyydelle rakennuksessa ovat sopivat lämpöolot avainasemassa. Niiden saavuttamiseksi tarvitaan rakennuksiin mm. seinät, katto ja lämmitys- sekä ilmanvaihtojärjestelmät ja energiankulutuksen kannalta suurin osa siitä menee näiden olosuhteiden saavuttamiseen. Ihmisten työtehoon ja viihtyvyyteen sekä terveyteen nämä lämpöolot vaikuttavat todella paljon, joten tavoitteet rakennuksen ominaisuuksiksi pitää valita huolella ja katsoa, että näihin tavoitteisiin myös päästään. /1, s. 37./

Tekijöitä lämpöviihtyvyyteen on tutkittu pitkään, mutta ei olla päästy sellaisiin tuloksiin vielä, jotka olisivat täysin oikeita. Veto- ja lämpöoloihin tyytymättömiä vastaajia on useissa tutkimuksissa ollut henkilöistä yli 50 %. Myös modernilla ilmastointitekniikalla toteutetuissa tiloissa vetovalitukset ovat yleisimpiä. Korkeasta lämpötilasta johtuvat valitukset ovat myös yleistyneet, koska ikkunoiden pinta-alat ovat kasvaneet. Vetovalitusten takia on nostettu lämpötiloja rakennuksissa myös talvikaudella ja tästä johtuen ne ylittävät usein silloinkin tavoitearvot. /1, s. 37./

SFS-EN ISO 7730 -standardin lämpöolomallissa oikea lämpötila perustuu kehon lämpötasapainon säilymiseen. Kehosta on poistuttava aineenvaihdunnan tuottamaa lämpöä, jotta sen sisäosien lämpötila ei nousisi liian korkeaksi eli yli 37°C. Lämpöä syntyy sitä enemmän, mitä enemmän työtä tehdään tai liikutaan. Tämän takia, jotta kasvanut lämpömäärä saadaan siirrettyä ympäristöön, on huonelämpötilaa alennettava. Oikea huonelämpötila onkin sellainen, jota ei juuri huomioda tai, josta ei osata sanoa onko se liian kuuma tai viileä. /1, s. 38./

PMV (Predicted Mean Vote) arvioi lämpöaistimusta 7-pisteisellä asteikolla, kuten seuraavassa kuvassa on esitetty, jossa on lisäksi PPD-indeksi (Predicted Percentage of Dissatisfied), joka esittää tyytymättömien osuutta aistimuksista. /1, s. 38/.



Kuva 1. Lämpöaistimus, PMV asteikko ja sitä vastaavat tyytymättömien osuudet, PPD

PMV-mallin kuusi keskeistä suuretta ovat vaatetuksen lämmöneristävyys, aineenvaihduksen energiantuotto, ympäröivän ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus, ilman liikenopeus ja ympäristön keskimääräinen säteilylämpötila. Tässä mallissa on nämä suureet yhdistävä viihtyisyysyhtälö, jolla voidaan suuren ihmisjoukon lämpöaistimus ja tyytymättömien osuus ennustaa. Tämän yhtälön perusteet on johdettu vakio-olosuhteissa tehdyissä koesarjoissa, joissa on käsitelty yhtä tekijää kerrallaan. /1, s. 38/

Viihtyisyysyhtälöä voidaan käyttää esim. tarkasteltaessa optimilämpötilaa eri työtehtävissä ja eri vaatetuksilla. Lisäksi sillä voidaan arvioida eri tekijöiden vaikutusta toisiinsa ja arvioida termistä ympäristöä liittyen tyytyväisten osuuteen. Standardissa SFS-EN ISO 7730 käytetään kolmea laatuluokkaa, jotka ovat tyytymättömien osuus 6 %, 10 % tai 15 % ja tämä on myös monien kansallisten lämpöolosuhteiden perusta. /1, s. 38./

Edellinen kuva myös osoittaa, että jos pyritään pääsemään alhaiseen tyytymättömien osuuteen (alle 6 %), on se käytännössä lähes mahdotonta. Tämä vaatisi, että noudatettaisiin vaatetuksen ja aineenvaihduksen mukaan erittäin tarkkaa lämpöolosuhteiden säätelyä ja tämän takia todellisuudessa tyytymättömiä on aina yleensä enemmän kuin PMV-mallilla ennustettu määrä. /1, s. 38-39./

2.1.1 Veto

Ihmisellä esiintyy vedontunnetta, kun lämpöaistimus koetaan viileänä, tai se muuttuu viileämpään /1, s. 47/. Vedon tunteeseen vaikuttavat ilman liike, lämpösäteily ja ilman lämpötila. Jos lämpöneutraalia vastaava optimilämpötila on korkeampi kuin huoneen lämpötila, vetoa koetaan herkemmin. /1, s. 47/.

Kun ilman keskinopeus kasvaa, se tehostaa lämmön siirtymistä ja saa aikaan vedontunteen. Samoin vaikuttaa myös ilman liikkeen vaihtelu. Mitä suurempi se on, sen helpommin vedon tuntemus syntyy. Turbulenssiasteella ilmaistaan juuri tuota ilman nopeuden vaihtelua. Mitä suurempi se on, sitä helpommin ilman liike aiheuttaa vetoa. Myös ilmavirtauksen lämpötila vaikuttaa asiaan. /1, s. 47./

Keskinopeus, ilmavirtauksen lämpötila ja turbulenssiaste on yhdistetty kaavaan, josta saadaan tyytymättömien osuus DR (Draft Rating), jota sanotaan vetokriteeriksi. Se on muotoa /1, s. 48./:

$$DR = (0,37vTu + 3,14)(34 - T_i)(v - 0,05)^{0,62} \quad (1)$$

jossa:

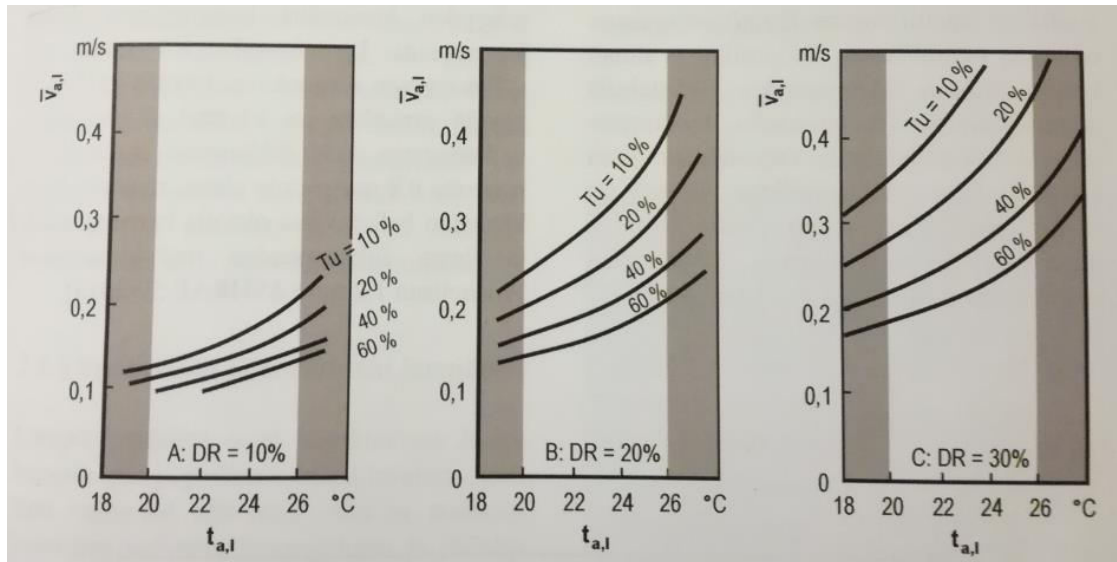
DR = tyytymättömien osuus (drafting rating), %

T_i = ilmavirtauksen lämpötila, °C

Tu = ilmavirtauksen turbulenssiaste = nopeuden keskihajonnan suhde keskinopeuteen %

v = ilman keskinopeus m/s

Seuraavassa kuvassa on esitetty lämpöaistimukseltaan neutraalille henkilölle sallittuja ilman liikenopeuksia eri liikkuvan ilman lämpötiloilla ja turbulenssiasteilla. Sekoittavassa ilmanjaossa turbulenssiaste on 30...60 % ja syrjäyttävällä ilmanjaolla se on 10...30 %. Syrjäyttävää ilmanjakoa käytettäessä voidaan siis sallia vähän suurempia ilman nopeuksia kuin sekoittavassa ilmanjaossa. /1, s. 48./



Kuva 2. Suurin sallittu ilman keskimääräinen liikenopeus liikkuvan ilman lämpötilan ja turbulenssiasteen funktiona laskettuna 10 %, 20 % ja 30 % tyytymättömien osuuksille

Kaikilla ihmisillä on oma yksilöllisistä tekijöistä, kuten vaatetuksesta ja aktiviteetista, muodostuva optimilämpötila. Jo tämä asia estää käytännössä löytämästä sellaisia lämpöolosuhteita, joihin kaikki olisivat tyytyväisiä. /1, s. 53./

2.2 Ilman laatu

Ihmiset viettävät suurimman osan päivittäin sisätiloissa ja hengittävät vuorokaudessa 15...20 m³ sisäilmaa. Ilman mukana liikkuu epäpuhtauksia, jotka aiheuttavat merkittäviä haittoja ihmisille. Viimeaikaisten tutkimusten perusteella voidaan sanoa, että kyseessä on merkittävä ympäristön kemikaalien ja saasteiden aiheuttama terveysriski ihmisille. /1, s. 56./

Vakavien sairauksien lisäksi sisäilmaongelmat aiheuttavat ihmisille myös epäspesifisiä oireita, ärsytystä, viihtyvyysongelmia ja yleisoireita. Näiden oireiden aiheuttajia ei ole pystytty selvittämään vielä tarkasti, joten ne eivät näy vakavien sairauksien tapaan tautitakassa. Lievätkin oireet voivat aiheuttaa oireilua ja työpoissaoloja ja on arvioitu, että kosteus- ja homevaurioista aiheutuvat haitat aiheuttavat n. 450 miljoonan euron kustannukset vuosittain. /1, s. 56./

Ilmanvaihdolla on merkittävä vähentävä vaikutus näille terveyshaitoille, kun se toimii oikein, koska se voi poistaa näitä oireita aiheuttavia epäpuhtauksia.

Siksi ilmanvaihdon vaikutuksia sisäilmaongelmiin ollaankin tutkittu vuosikymmeniä, vaikka lopullisia vastauksia ei olla saatu. Sen lisäksi, että ilmanvaihdolla poistetaan epäpuhtauksia sisäilmasta, on myös lähteisiin, jotka näitä aiheuttavat keskittyttävä ja pyrittävä poistamaan myös ne. Ilmanvaihto tulee kuitenkin olemaan jatkossakin avainasemassa, jotta epäpuhtaudet saadaan hyvin sisäilmasta pois. /1, s. 57./

Maailman terveysjärjestö WHO onkin vuonna 1982 luokitellut seuraavat sisäilman ongelmien aiheuttamat oireet sairusrakennusoireiksi: silmien ja ylähengitysteiden oireet, limakalvojen kuivuus, ihon kutina, ihon punaläikkäisyys, käheä ääni, päänsärky ja henkinen väsymys, pahoinvointi ja huimaus sekä erilaiset yliherkkyysoireet. /1, s. 58./

Näitä yleisiä oireita pidetään sairusrakennusoireina, jos ne heikkenevät rakennuksesta poistuttaessa ja alkavat taas sinne palatessa. On myös tutkittu, että ilmanvaihdon ollessa alle 10 l/s henkeä kohden kielteiset terveysvaikutukset lisääntyvät voimakkaasti ja aistittu ilmanlaatu huononee. /1, s. 58./

2.2.1 Epäpuhtauslähteet

Sisäilman epäpuhtauspäästöt vaihtelevat ajallisesti ja niihin vaikuttavat ihmisten toimet ja monet olosuhdetekijät. Hiilidioksidi kuuluu kaasumaisiin epäpuhtauslähteisiin ja sen pääasiallinen lähde sisäilmassa on ulohengitysilma. Hiilidioksidin tuotto toimistotyössä on n. 24 l/h, mikä on 6,7 cm³/s. Hiilidioksidi ei reagoi elimistön kanssa. Huoneilman liian korkea hiilidioksidipitoisuus kertoo kuitenkin ilmanvaihdon riittämättömyydestä. Siksi voidaankin hiilidioksidipitoisuutta pitää huoneilman laadun mittarina, koska hengityksen ja ihon kautta vapautuvien epäpuhtauksien tuotto on likimain verrattavissa hiilidioksidin tuottoon. /1, s. 63./

Työsuojeluvaatimusten mukaan hiilidioksidin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on 0,5 % eli 5000 ppm. Ympäristöministeriön asetuksen (uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta) mukaan sisäilman hiilidioksidipitoisuus ei saa nousta yli 800 ppm /5/. Sisäilmasto luokan S1 raja on 750 ppm. Ulkoilman pitoisuus on nykyään Suomessa noin 400 ppm. /1, s. 64./

2.2.2 Sisäilmaluokitus 2008

Keväällä 2018 ilmestyy uusi päivitetty versio sisäilmaluokituksesta. Tässä luokituksessa sisäilmasto on jaettu kolmeen eri luokkaan, jotka ovat: S1 (yksilöllinen sisäilmasto), S2 (hyvä sisäilmasto) ja S3 (tydyttävä sisäilmasto). /6, s. 7./ Tämän opinnäytetyön kohde-tilassa noudatetaan sisäilmaluokitus S2:sta.

2.3 Ilmastointijärjestelmät

Ilmastointijärjestelmien tunnistamiseen voidaan käyttää tavanomaista ilmastointijärjestelmien luokitusta. Se perustuu siihen, miten jäähdytysteho tuodaan huoneeseen. Tämän luokittelutavan mukaan käytetään nimityksiä: ilmajärjestelmät, ilma-vesijärjestelmät, vesijärjestelmät sekä hajautetut järjestelmät. /1, s. 129-130./

2.3.1 Ilmajärjestelmät

Näissä järjestelmissä ilmavirran mitoitusperuste on usein jäähdytystehon tarve. Tällaisissa järjestelmissä ilmanvaihto, jäähdytys ja joskus myös lämmitys toteutetaan samalla ilmavirralla. Tässä järjestelmätyypissä huoneeseen tuotavan ilmavirran määrää ja lämpötilaa säädetään kone-, vyöhyke- tai huonekohtaisesti. Yleisimmin käytettyjä järjestelmätyyppejä tässä kategoriassa ovat vakioilmavirtajärjestelmä eli CAV-järjestelmä ja muuttuvailmavirtajärjestelmä eli VAV-järjestelmä. /1, s. 130./

CAV-järjestelmä (Constant Air Volume System) huolehtii sisäilman puhtaudesta ja lämpöolosuhteista ja siihen kuuluvat järjestelmän keskusyksikössä olevat suodatus, lämmöntalteenotto, lämmitys- sekä jäähdytystoiminnot. Tässä järjestelmässä ilmavirrat mitoitetaan yleensä kesäajan jäähdytystarpeen mukaan. Peruskorjaustapauksissa CAV-järjestelmässä voivat olla erikseen talvi- sekä kesäilmavirrat. /1, s. 131-132./

CAV-järjestelmä on edullinen ja tyypillisiä käyttökohteita ovat vierekkäin sijaitsevat samankaltaiset tilat ja suuret tilat. Silloin kun vierekkäisten huoneiden lämpökuormat poikkeavat käytön aikana paljon toisistaan, ei CAV-järjestelmä sovellu tilanteeseen. /1, s. 132./

VAV-järjestelmä (Variable Air Volume System) eli muuttuvilmavirtajärjestelmä on yleensä huonekohtainen, jossa jokaisesta huoneesta voidaan säätää ilmavirtaa. Tämä järjestelmä voidaan tehdä myös vyöhykekohtaiseksi, jos pääasialliset lämpökuormat tulevat auringosta ja sisäiset lämpökuormat ovat pieniä. Ilmavirta on konekohtainen, jos järjestelmä palvelee vain yhtä tilaa. /1, s. 133./

Korkeatasoinen huonekohtainen ilmastointi voidaan siis järjestää tällä VAV-järjestelmällä, josta käytetään Suomessa myös nimityksiä: MIV (muuttuvilmavirta), IVS (ilmavirtasäätin) ja IMS (ilmavirtasäätin). /1, s. 133./

VAV-järjestelmä muodostuu keskuslaitteistosta, siirtolaitteistosta ja huonelaitteista. Kaikkien järjestelmän komponenttien on täytettävät vaatimukset, jotta järjestelmä toimii parhaalla mahdollisella tavalla. VAV-järjestelmä sopii hyvin tiloihin, joissa lämpökuormaa on paljon, ja joissa tarvitaan suuria ilmavirtoja. Tyypillistä näille tiloille on myös se, että niiden kuormitukset vaihtelevat paljon eri käyttötilanteissa. Tyypillisiä kohteita VAV-järjestelmän käytölle ovat kokoontumistilat, kuten kokous- ja neuvottelutilat. Parhaiten järjestelmä toimii, kun lämpökuorma riippuu tilassa ihmisten lukumäärästä. VAV-järjestelmiksi voidaan lukea järjestelmät, joissa huonetilojen tuloilman määrää ohjataan ilmanlaatuanturin, henkilötunnistimen, rakennusautomaation aikaohjelman tai paikallisen kellon avulla. /1, s. 134./

Silloin, kun tämä ohjaus tehdään hiilidioksidianturin avulla, soveltuu tämä tapa erityisesti tiloihin, joissa ihmiset ovat pääasiallinen epäpuhtauslähde, kuten konserttisaleissa, teattereissa ja luentosaleissa. /1, s. 136./

Tässä järjestelmässä keskuskoneen ilmavirran säätöalue riippuu tilojen kuormituksista ja käyttöajoista. Normaalisissa toimistorakennuksissa säätöalueeksi riittää 50-100%, jos ei ole tarpeita työajan ulkopuoliseen

käyttöön, ja jos taas on, niin tulee keskuskoneen ilmavirran minimi olla 15-30% maksimista. Yleensä VAV-järjestelmällä tarkoitetaan sitä, että ilmavirtaa säädetään lämpötilan perusteella. Suurimman jäähdytystarpeen aikana tuloilman alilämpötila on n. 8-10 °C huonelämpötilaan verrattuna. Tätä alilämpötilan suuruutta rajoittaa vetoriski. Tuloilman lämpötila voi olla päätelaitteella alimmillaan +16-18 °C ilmanjakotavan mukaan.

Ilmanjakolaitteiden valinnassa pitää ottaa huomioon, että ilmavirta vaihtelee usein. Erityisesti, kun valitaan tuloilmalaitteita, tulee ottaa huomioon maksimi-ilmavirran ja minimi-ilmavirran vaikutukset heittokuvioon. Siksi järjestelmässä käytetään usein aktiivisia päätelaitteita, jotka estävät viileän tuloilman putoamisen oleskeluvyöhykkeelle. /1, s. 134-135./

Lämpötila-anturin sijoittelussa on muistettava VAV-järjestelmässä, että se ei saa sijaita suurien lämmönlähteiden lähellä eikä altistua suoralle auringon säteilylle. Tuloilmalaitteen suihku ei myöskään saa osua suoraan siihen eikä anturia saa sijoittaa ovenpieleen, jolloin avonaisesta oviaukosta se mittaa käytävän lämpötilaa. Käytettäessä henkilötunnistinta anturina, on etuna, että tarpeeton ilmanvaihto saadaan hyvin karsittua pois. Haittapuolina anturi ei tunnista kuitenkaan henkilöiden lukumäärää tilassa vaan säätää vain huonelämpötilan mukaan ilmavirtaa. Se ei myöskään tunnista ilman laatua toisin kuin hiilidioksidianturi. Kellon avulla säätö taas toimii valvontajärjestelmän kautta hyvin, kun tiloissa on selkeää vaihtelua ilmanvaihdon tarpeessa ja vaihtelujen ajankohdat tiedetään. Lisäksi antureita käytettäessä pitää muistaa myös huolehtia ilmavirtasäätimien puhtaudesta ja niiden luokse tulee päästä helposti. Säätimen ilmavirran mittaustarkkuus heikkenee pölyn ja lian takia. /1, s. 135-136./

Tarpeenmukainen ilmanvaihto säästää myös energiaa, koska ilmavaihdon turha käyttö kuluttaa puhaltimen sähköenergiaa ja ilmanvaihdon lämmittämiseen ja jäähdyttämiseen tarvittavaa energiaa. /1, s. 136./ Se myös soveltuu hyvin tiloihin, joiden ilmavirtaa tulee voida muuttaa lämpökuormista tai epäpuhtauskuormien vaihteluista johtuen ja tyypillisiä tiloja ovat mm. auditoriot ja liiketilat. Se myös soveltuu hyvin tilakohtaisille lämpökuormille, jotka ovat n. 20-50 W/m². Kanavat ovat toisaalta dimensioltaan suuria ja vaativat enemmän tilaa kuin ilma-vesijärjestelmissä. /1, s. 150./

2.3.2 Muut järjestelmät

Ilma-vesijärjestelmistä käytetään nykyään eniten jäähdytyspalkkijärjestelmiä, joiden yleisimmät käyttökohteet ovat toimistotilat, luokkatilat ja muut tilat, joissa lämpökuormat ovat isoja atk-laitteiden takia. Ilma-vesijärjestelmiin kuuluvat myös puhallinkonvektorijärjestelmä ja suutinkonvektorijärjestelmä. /1, s. 137./

Muita järjestelmiä ovat vielä vesijärjestelmät ja hajautetut järjestelmät. Vesijärjestelmissä jäähdytys- ja lämmitysteho tuodaan tilaan vain veden avulla. Hajautettuja järjestelmiä taas käytetään, kun keskitettyä järjestelmää ei voida käyttää esim. keskuskoneiden sijoitusmahdollisuuden tai kanavointitilan takia. /1, s. 149./

3 TAUSTATIETOA ILMANJAOSTA

Ilmanjaon toiminta vaikuttaa paljon siihen, miten ihmiset viihtyvät tilassa sekä mm. työtehoon ja termiseen viihtyvyyteen. Silloin ilmanjako on onnistunut, kun siihen eikä ilmastointiin yleensäkin kiinnitetä juuri huomiota. Ilmanjaon toimimattomuus taas aiheuttaa paljon veto-ongelmia, valituksia ilmanlaadusta sekä melusta. /2, s. 135./ Yleensäkin ilmanvaihtojärjestelmä voi olla korkeintaan vain niin hyvä, kuin ilmanjako.

Suunniteltaessa ilmanjakoa otetaan huomioon huonetilan erityiset ominaisuudet ja valitun sisäilmastoluokituksen pitää toteutua. Ei ole myöskään yhtä ainoaa tapaa järjestää ilmanjako jokaiseen tapaukseen. Siksi suunnittelun edetessä pitää ilmanvaihtoratkaisun valinnan yhteydessä valita eri näkökohdat huomioon ottaen paras ilmanjaon toteutus aina tapauskohtaisesti. /2, s. 135./

Ilmanjaon toteutukselle onkin neljä peruseriaa, jotka ovat mäntävirtaus, terminen syrjäytys, vyöhykeilmanjako ja sekoittava ilmanvaihto.

Mäntävirtausta ilmanjakotapana käytetään mm. leikkaussaleissa ja puhdastiloissa. Näissä tiloissa siis ilmanlaadun pitää täyttää tiukat ja erityiset vaatimukset. Terminen syrjäytys puolestaan on erilainen mäntävirtaukseen nähden siten, että termisessä syrjäytyksessä kerrostuminen aiheutuu lämmönlähteiden konvektiovirtauksista, kun taas mäntävirtausperiaatteessa

tuloilmavirran liikemäärä aikaan saa lämpötila- ja epäpuhtauskerrostuman. /2, s. 135./

Merkitsevä seikka syrjäytysilmanjaossa on se, että tuloilma tuodaan suoraan oleskeluvyöhykkeelle pienellä nopeudella ja ilmavirta mitoitetaan lämmönlähteistä nousevien konvektiovirtauksien perusteella niin, että rajakerros saadaan halutulle korkeudelle. /2, s. 136./ Sekoitusilmanvaihdon tavoitteena taas on saada ilma sekoittumaan hyvin ja saada lämpö- ja epäpuhtausolosuhteet pysymään vakiona koko huoneen tilavuudessa. Vyöhykeilmanvaihdossa puolestaan sekoitetaan ilmaa vain tiettyyn korkeuteen asti ja sitä ylempänä lämpötilan ja epäpuhtauksien annetaan kerrostua. Vyöhykeilmanvaihdolla saadaankin sekoitusilmanvaihtoa parempi tehokkuus ilmanvaihdolle ja sen kautta myös parempi ilmanlaatu, joka voidaan myös aikaansaada pienemmällä tuloilmavirralla. /2, s. 136./

Tiivistetysti voidaankin todeta, että mäntävirtauksen käytön tavoitteena on luoda tuloilmavirralla yksisuuntainen virtauskenttä koko ilmastoitavaan tilaan. Huoneilmavirtoja hallitaan tällöin yksisuuntaisella piennopeuksisella tuloilmanjaolla. Tämä on riittävän voimakas syrjäyttämään häiriövirtaukset. /2, s. 136/. Kerrostumaperiaatteen, josta käytetään myös nimitystä terminen syrjäytys, tavoitteena on hyödyntää tiheyserojen kautta syntyviä kerrostumisia huonetilassa ja korvata syrjäytynyt huoneilma tuloilmalla. /2, s. 136/. Silloin painovoima hallitsee huoneilmavirtauksia ja tuloilman jako toteutetaan pienellä nopeudella. /2, s. 136/. Yksi ilmanjakotapa on myös vyöhykeilmanjako. Se toimii niin, että pyritään hallitsemaan huoneilman olosuhteita halutulla vyöhykkeellä ja siinä sallitaan lämmön ja epäpuhtauksien kerrostua muualle huonetilaan. /2, s. 136/. Siksi huoneilmavirtaukset osittain hallitaan tuloilman avulla ja osittain painovoiman kautta. Sekoitusilmanvaihdolla on tavoitteena puolestaan luoda ilmastoitavaan tilaan tasaiset olot. Se tehdään niin, että huoneilmavirtauksia hallitaan yleensä suurnopeuksisen ilmanjaon kautta. /2, s. 136./

3.1 Ilmanjako ja sen tehokkuus

Ilmanvaihdolla saadaan pienennettyä tilaan tulevia epäpuhtauksia ja niiden pitoisuutta. Ilmanjaon pääperiaatteet ovat syrjäyttävä ja sekoittava. Sekoittava

ilmanjako on yleisimmin käytetty ilmanjakotapa. Sekoittavassa ilmanjaossa tilaan tuotava tuloilma sekoittuu täydellisesti huoneilmaan. Syrjäyttävässä puolestaan huoneeseen muodostuu pitoisuus- ja lämpötilaeroja. Usein laskelmat pitoisuuksista ja ilmanvaihdon mitoitusarvot perustuvat siihen, että huoneilma ja epäpuhtaudet sekoittuvat täydellisesti. Tällöin poistoilman ja hengitysvyöhykkeen pitoisuudet ovat yhtä suuret. Ilmanvaihdon tehokkuutta parantamalla voidaan hengitysilman laatua nostaa. /2, s. 137./

Ilmanvaihdon hyötysuhde on suurimmillaan mäntävirtauksessa 100 %. ”Tuloilman sekoittuessa täydellisesti huoneilmaan hyötysuhde on 50 %. Syrjäytysilmanvaihdolla päästään yleensä 55...80 % hyötysuhteeseen ja vyöhykeilmanjakoperiaatteella 50...60 %.” /2, s. 137./

Ilmanvaihdon hyötysuhteeseen vaikuttavat myös tulo- ja poistolaitteiden sijoituksen lisäksi myös tuloilman lämpötila. Ylilämpöistä tuloilmaa käytettäessä pitää muistaa varmistaa se, että tuloilma ei jää huonetilan yläosaan, mikä huonontaa ilmanvaihdon hyötysuhdetta ja järjestelmän energiankulutusta. Sen vuoksi lämmitystilanteessa lämpötilan kerrostumisen tulisi olla mahdollisimman pientä ja tuloilma täytyisi saada myös tuotua tehokkaalla tavalla huoneen alaosaan. /2, s. 137-138./

Ilmanvaihdon hyötysuhde voidaankin määritellä ilman lyhyimmän mahdollisen iän ja todellisen keski-iän suhteena samalla ilmavirralla seuraavan kaavan mukaisesti. /2, s. 137./

$$\varepsilon_a = \frac{\tau_n/2}{\langle \tau \rangle} \quad (2)$$

jossa:

ε_a = ilmanvaihdon hyötysuhde, - tai %

$\tau_n = V/qv$ = ilmanvaihdon nimellisainevakio, joka on huonetilavuus jaettuna ilmavirralla

$\langle \tau \rangle$ = ilman keski-ikä koko huoneessa

Ilman keski-ikä voidaan määrittää siten, että se on aika, joka kuluu ilman kulkiessa tuloilmalaitteesta tarkastelupisteeseen. Merkkiainemittauksilla voidaan määrittää myös ilman ikä. /2, s. 137./

Ilmanvaihdon hyötysuhde ei ole kuitenkaan riittävä kuvaamaan ilmanvaihdon tehokkuutta, jos tilassa on merkittäviä epäpuhtauslähteitä. Tällöin tulee kyseeseen käyttää epäpuhtauksien poistotehokkuutta tarkasteluissa. Silloin tuleekin tarkastella, kuinka tehokkaasti epäpuhtaudet saadaan poistettua tilasta. Epäpuhtauksien poistotehokkuuden arvioinnissa verrataan tarkastelukohdan ja poiston epäpuhtauspitoisuutta keskenään. Tämä määrittäminen voidaan tehdä seuraavalla kaavalla. /2, s. 138./

$$\mathcal{E}_c = \frac{C_p - C_t}{C_h - C_t} \quad (3)$$

jossa:

C_p = poistoilman pitoisuus

C_t = tuloilman pitoisuus (usein merkityksetön)

C_h = tarkastelukohdan pitoisuus

Epäpuhtauksille on tyypillistä, että ne eivät leviä yleensä leviä tasaisesti huoneeseen ja niiden pitoisuus voi vaihdella paljon eri kohdissa huonetta /2, s. 138/. ”Epäpuhtauksien poistotehokkuuden arvo täydellisessä sekoittumisessa on $\mathcal{E}_c = 1$, ja kun epäpuhtaudet poistetaan tehokkaalla paikallispoistolla, lähenee poistotehokkuuden arvo ääretöntä” /2, s. 138/. Syrjäyttävällä ilmanvaihdolla voidaankin päästä kaksinkertaiseen arvoon epäpuhtauksien poistotehokkuudessa verrattuna sekoittavaan ilmanjakoon. /2, s. 138./

On huomattava, että epäpuhtauksien poistotehokkuuteen vaikuttavat sekä ilmanvaihtojärjestelmä että epäpuhtauslähteen ominaisuudet. Vaikuttavia tekijöitä ovat myös muut tilan lämpökuormat sekä kylmistä ja kuumista seinärakenteista johtuvat konvektiovirtaukset. /2, s. 138./

On hyvä tarkastella myös lämpötilahyötysuhdetta. Jäähdytysjärjestelmän energiataloutta voidaankin parantaa tilan lämpötilan kerrostumisella. Tilan

keskimääräistä lämpötilaa voidaan nostaa, kun termisen syrjäytyksen ja vyöhykejaon periaatteilla jäähdytystä kohdistetaan paremmin oleskeluvyöhykkeelle. /2, s. 138./ Lämpötilahyötysuhteen avulla voidaan arvioida lämpötilakerrostumisen vaikutusta energiatalouteen ja tarvittavaan ilmavirtaan ja verrata sen toimintaa täysin sekoittavaan järjestelmään. /2, s. 138/.

$$\varepsilon_t = \frac{T_p - T_{sp}}{T_h - T_{sp}} \quad (4)$$

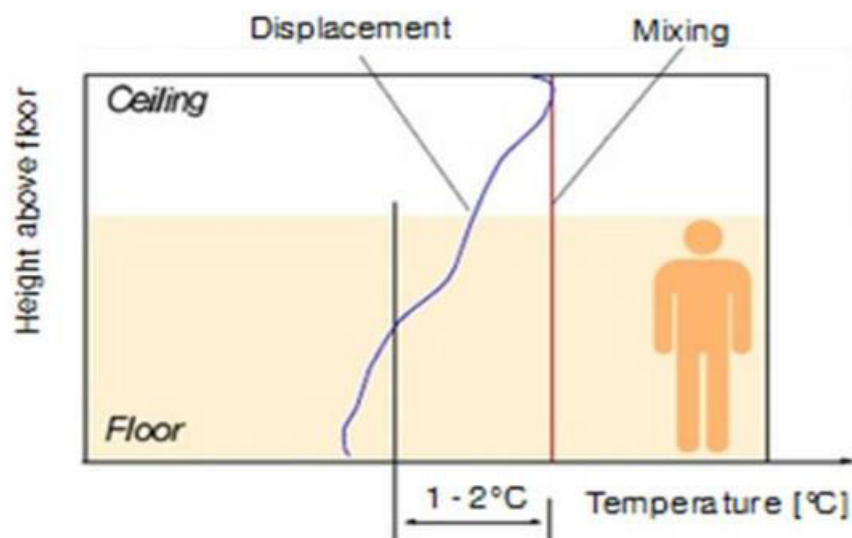
jossa:

T_p = poistoilman lämpötila, °C

T_{sp} = sisäänpuhallusilman lämpötila, °C

T_h = huoneilman lämpötila, °C

On myös todettu, että kun verrataan syrjäyttävää ilmanvaihtoa sekoittavaan ilmanvaihtoon, niin n. 3 m korkeudella lämpötilat eroavat siten, että syrjäyttävällä ilmanvaihdolla lämpötila on 1-2 °C korkeampi. Korkeissa tiloissa lämpötilaero on 4 °C. Seuraava kuva esittää tilannetta. /7, s. 9./



Kuva 3. Työskentelyalueen lämpötila syrjäytysilmanvaihdossa ja sekoittavassa ilmanvaihdossa

4 KOHTEEN ILMANJAKOTAVAN KARTOITUS

Ryhdyttäessä valitsemaan ilmanjakotapaa huonetilaan tarvitsee tehdä huolellinen taustatyö ominaisuuksista, joita esim. uudiskohteena olevan rakennuksen eri tiloihin halutaan ilmanvaihdon osalta. Asiaan vaikuttavat haluttu sisäilmaluokka (S1, S2 tai S3) sekä haluttu lämpötila tilassa, tilan kuormitusaste ja ominaisuudet ilmanlaadulle (minimi vaatimus hiilidioksidipitoisuudelle esim. 800 ppm). Myös mahdolliset vectoriskit ja meluhaitat pitää ottaa huomioon. Kuten edellä on mainittu, niin ilmanvaihto tilassa voi olla korkeintaan niin hyvä, kuin ilmanjako ja huono ilmanjako pilaa hyvänkin ilmanvaihdon. Perinteisiä ilmanjakotapoja siis olivat sekoittava-, syrjäyttävä-, vyöhyke- ja mäntäilmanjako.

4.1 Sekoittava ilmanjako

Sekoittava ilmanjako on yleisimpiä tapoja järjestää ilmanjako tilaan. Siinä pyritään siihen, että puhdas, mahdollisesti käsitelty tuloilma, sekoittuisi mahdollisimman tehokkaasti huoneilmaan. Ilmastoinnin ja ilmastointijärjestelmän tehokkuus riippuu pääosin valitusta ilmastointitavasta, tuloilmalaitteiden ominaisuuksista, niiden sijoittelusta ja lukumäärästä tilassa. Poistoilmalaitteet eivät normaalisti vaikuta paljoakaan ilmanvaihdon tehokkuuteen normaaleissa liikerakennuksissa, kunhan oikosulkuvirtaukset estetään. /2, s. 139./

Tavoitteena sekoittavassa ilmanvaihdossa on pystyä poistamaan epäpuhtaudet laimentamalla niiden pitoisuudet tarpeeksi mataliksi ja saada pidettyä lämpöolosuhteet vakiona koko huonetilassa. Jos tilassa on voimakkaita pistemäisiä lämpö- ja epäpuhtauslähteitä, ei sekoittavaa ilmanvaihtoa kannata käyttää, koska se ei anna parasta tulosta. /2, s. 139./

Periaatteena sekoittavassa ilmanjaossa siis on se, että tuloilma saadaan sekoittumaan tehokkaasti huonetilan ilmaan. Tämä taas saadaan aikaiseksi, kun käytetään sellaisia ilmasuihkuja, joissa nopeus heti tuloilmalaitteen jälkeen on suuri. Se voi olla jopa useita metrejä sekunnissa. Näin suihku saadaan tunkeutumaan syvälle huoneilmaan ja samalla huoneilma imeytyy siihen ja sekoittuu tuloilmaan tehokkaasti. Tämä johtaa siihen, että koko huonetilassa on melkein samanlaiset olosuhteet. Myös poistoilman tila on

sama kuin oleskeluvyöhykkeen ilman. Tähän oletukseen perustuu yleensä ilmavirtojen mitoitus sekä ilmanlaadun, että lämpöolosuhteiden osalta. /3, s. 153-154./

4.2 Syrjäyttävä ilmanjako

Syrjäyttävä ilmanjako perustuu siihen, että siinä hyödynnetään lämmönlähteistä nousevia pystysuoria konvektiovirtauksia, jotka voivat aiheutua esim. ihmisistä. /2, s. 159/. Silloin johdetaan alilämpöistä tuloilmaa tilan alaosaan ja saadaan aikaiseksi epäpuhtauksien kerääntyminen tilan yläosaan, mistä ne poistetaan. Syrjäyttävällä ilmanjaolla on mahdollista saada aikaan huomattavasti tehokkaampi ilmanvaihto, kuin sekoittavalla ilmanjaolla ja erityisesti tiloissa, joissa on lämpimiä epäpuhtauslähteitä. Silloin oleskelualueen epäpuhtauspitoisuus on pienempi ja lämpötila alhaisempi, kuin sekoittavassa ilmanjaossa vaikka käytetään samaa tuloilmavirtaa. /2, s. 159./

Syrjäytysilmanjaon tehokkuus ilman laadun kannalta perustuu tulo- ja huoneilman välisiin lämpötilaeroihin. Tuloilman tulee siis olla muutaman asteen alemmassa lämpötilassa, kuin huoneilma keskimäärin, sillä ainoastaan silloin huoneeseen muodostuu kaksi ilman puhtaudeltaan erilaista vyöhykettä. Ne ovat alhaalla oleva puhdas oleskeluvyöhyke ja ylhäällä sijaitseva epäpuhtauksien kerääntymisvyöhyke. On huomattava erityisesti, että jos tuloilma on lämpimämpää, kuin huoneilma, järjestelmä toimii kuin sekoittava ilmanjako. Tällöin on vaarana myös se, että muodostuu oikosulkuvirtauksia ja koko ilmanjako toimii väärällä tavalla. Tuloilman ollessa huoneilman lämpötilassa syrjäytystä ei myöskään erityisemmin muodostu. /2, s. 159./

On myös erittäin tärkeää tiedostaa, että syrjäyttävän ilmanvaihdon käyttövoimana ovat huoneilassa olevien lämpöä luovuttavien ihmisten ja laitteiden synnyttämät konvektiovirtaukset. Ellei näitä ole, ei syrjäyttävää ilmanvaihtoa yleensä kannata edes harkita. /2, s. 159./

Kun on kyse istuvasta henkilöstä, sen aiheuttama konvektiovirtaus pään yläpuolella on n. 20 l/s. Jos halutaan, että puhtaan ja likaisen ilman rajapinta olisi hengitysvyöhykkeen yläpuolella, pitäisi tuloilmavirran olla teoriassa sama. /2, s. 159/. Käytännössä on kuitenkin niin, että jo ilmavirralla 10 l/s per henkilö,

päästään selkeästi parempiin tuloksiin kuin sekoittavalla ilmanvaihdolla. Tämä johtuu siitä, että ihmisen ympärille muodostuu puhtaan ilman verho. /2, s. 159./

Eli, jotta syrjäytysilmanvaihto toimisi oikein, on tuloilma tuotava pienellä nopeudella ja lievästi alilämpöisen huonetilan alaosaan. Tästä aiheutuu syrjäytysilmanvaihdon suurin riski, mikä on veto ja sen vaara huonetilan alaosassa, tuloilmalaitteiden välittömässä läheisyydessä. Alilämpöinen tuloilma saa aikaan helposti lähelle lattiaa korkeamman virtausnopeuden alueen, joka voi aiheuttaa vetoa. Tämän niin sanotun lähialueen suuruus ja muoto riippuvat oleellisesti syrjäyttävän tuloilmaelimen ominaisuuksista ja sijoittelusta. Siksi on vältettävä pysyvien istuma- tai työskentelypaikkojen sijoittamista heti tuloilmalaitteiden lähelle. /2, s. 162./

Onkin yleisesti tiedossa, että syrjäytysilmanvaihto on hyvä keino saada hyvälaatuinen ilma oleskeluvyöhykkeelle. Sen on todettu myös olevan sekoittavaa ilmanjakoa oleellisesti parempi mm. korkeissa huonetiloissa (teatterit, neuvotteluhuoneet, marketit jne.), ravintoloissa ja luokkahuoneissa. Syrjäyttävä ilmanvaihto on yleensä myös parempi kuin sekoittava ilmanjako silloin, kun epäpuhtaudet ovat lämpimiä tai selvästi kevyempiä kuin huoneilma, huone on korkea eli yleensä yli 3 m, ja kun suuria tuloilmavirtoja tuodaan pieniin huoneisiin. /4, s. 1./ Tästä johtuen, koska useat kriteerit täyttyvät opinnäytetyön kohderakennuksen tilaan nähden, joka on toimintakeskuksen konserttisali, ja joka on reilusti yli 3 m korkea, vetää n. 600 henkeä katsomoon, ihmisistä tulevat nousevat konvektiiviset lämpökuormat ovat pääasiallinen epäpuhtauslähde, ja koska tila on teatteri ja auditoriomainen, niin syrjäytysilmanvaihto on varteenotettava ilmanjakoratkaisu tämän opinnäytetyön kohdetilan ilmanjaoksi.

Tiloja, joissa syrjäytysilmanvaihtoa onkin käytetty onnistuneesti ovat mm: teatterit, koulut, sairaalat, kasinot, ravintolat, teollisuustilat, supermarketit ja avoimet toimistot /8, s. 2/. Yleensä syrjäytysilmanjako toimii alhaisella nopeudella ja erittäin alhaisella paineella. Tästä johtuvat hyödyt ovat alhainen melutaso yhdistettynä alhaiseen vetoon oleskeluvyöhykkeellä. /9, s. 1./

4.3 Laminaarinen ilmanjako

Laminaariseen mäntävirtaukseen perustuva ilmanjakotapa on myös keino ratkaista asia joihinkin kohteisiin. Siinä pyritään tasaiseen virtaukseen koko huonetilassa tai sen huomattavassa osassa. Näin saadaan halutulle alueelle lähes tuloilman olosuhteita vastaavat olosuhteet. Ilmanjaossa käytetään suuria pintoja, joista ilma johdetaan tasaisesti koko huoneeseen. Ilma voi virrata joko vaaka- tai pystysuunnassa. Tätä ilmanjakotapaa käytetään yleensä silloin, kun halutaan saada aikaan tarkat lämpöolosuhteet ja niiden säätö tai, kun vaaditaan erityisen puhtaita tiloja esim. leikkaussalit tai puhdistilat teollisuudessa. Tuloilmalaitteena voidaan käyttää myös ilmansuodatinta. Edellä mainituissa puhdistiloissa ilma johdetaan usein mikro-suodattimien läpi huoneeseen. Laminaarinen ilmanjako onkin hyvä tapa saada vedottomasti aikaan suuria ilmanvaihtuvuuksia. /3, s. 153-154./

4.4 Ilmanjaon valinta

Kuten edellä jo mainittiin, on syrjäytysilmanjako paras tapa tämän opinnäytetyön kohdetilan eli Jyväskylän Helluntaiseurakunnan toimintakeskuksen konserttisalin ilmanjaoksi. Valintaa puoltaa moni seikka, joita ovat mm. se, että salin kuormitus on ajoittain suuri, koska se vetää n. 600 henkeä maksimissaan ja näin ollen ihmiset ovat pääasiallinen epäpuhtauskuorma. Kuorma on siis konvektiivinen eli epäpuhtaudet nousevat konvektiovirtauksien mukana ylöspäin. Lisäksi tila on korkea ja yli 3 m reilusti, joten tämäkin kriteeri täyttyy syrjäytysilmanjaon suhteen, koska korkeille tiloille, kuten konserttisaleille, teattereille ja auditorioille suositellaan syrjäytysilmanvaihtoa mm. kirjassa: Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa (Håkan Skistad, Rehva opas no. 1). On myös tunnetusti tiedossa, että oikeanlaiseen tilaan suunniteltuna syrjäytysilmanvaihto on huomattavasti tehokkaampi pienemmillä ilmavirroilla, kuin sekoittava ilmanvaihto. Myös käytettäessä syrjäytysilmanvaihtoa, voidaan käyttää vapaata jäähdytystä pidempään ja jäähdytystehoa tarvitaan vähemmän valitun oleskeluvyöhykkeen lämpötilan saavuttamiseksi. Niinpä tässä opinnäytetyössä tullaan käyttämään syrjäytysilmanvaihtoa kohdetilan suunnittelussa.

5 TIETOA SYRJÄYTTÄVÄN ILMANJAON SUUNNITTELUA VARTEN

Koska kohdetila on korkea ja ihmiset ovat pääasiallinen epäpuhtauslähde, on syrjäytysilmanvaihto luonnollinen ja perusteltu valinta kohteen ilmanjakotavaksi. Syrjäytysilmanvaihdon periaate on se, että lämpimän likaisen ilman annetaan nousta ylös katon rajaa kohti, josta se kulkeutuu poistoilmalaitteisiin. Samalla raikasta viileää tuloilmaa tuodaan pienellä nopeudella lattiatasolle. /4, s. 1./

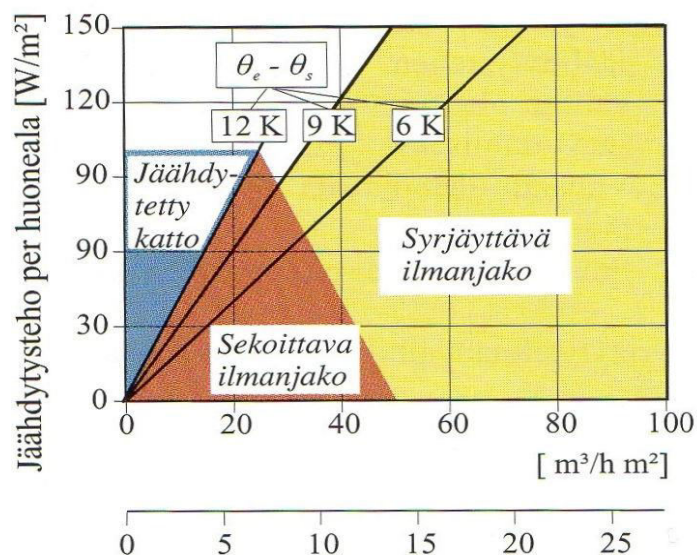
Suurin osa käytännön ongelmatilanteista syrjäytysilmanvaihdossa aiheutuu vedosta, joka taas johtuu tähän ilmanjakotapaan ja kohteen ominaisuuksiin sopimattomista ilmanjakolaitteista. Syrjäytysilmanjaon tuloilmalaitteet, jotka on suunniteltu pienille lämpötilaeroille, aiheuttavat helposti vetoa lattian rajassa, silloin kun niitä käytetään suurien lämpötilaerojen oloissa. /4, s. 2./

Syrjäytysilmanjaon tuloelimet ovat paljon muutakin, kuin rei'itetyllä levyllä päällystettyjä elementtejä. Siksi niitä valittaessa kohteeseen, on laitevalmistajalta saatava pätevät ja tarpeeksi yksityiskohtaiset tiedot tuloilmalaitteiden ominaisuuksista esim. ilman nopeus lähivyöhykkeellä n. 20 cm korkeudella lattiasta. Lisäksi on perehdyttävä kohdetilan arkkitehtuuriin siltä osin, etteivät syrjäyttävän tuloilmalaitteiden suihkut osu huoneen kalusteisiin tai esim. valaisimiin katossa tai palkkeihin, joista tuloilmasuihku voi kimmota liian aikaisin alas ja aiheuttaa vetoa huoneen käyttäjille. Tässä luvussa tullaan vaihe vaiheelta käymään läpi syrjäytysilmanjaon suunnitteluun liittyviä seikkoja siltä osin, että opinnäytetyön kohdetilaan eli konserttisaliin saadaan valittua oikeantyyppiset syrjäytysilmanjaon pääte-elimet ja toteutettua se mahdollisimman hyvällä lopputuloksella.

5.1 Syrjäytysilmanjaon perusta

Syrjäyttävää ilmanjakoa voidaan käyttää suurilla ilmavirroilla. Silloin tuloilmalaitteet tarvitsevat kuitenkin suuren pinta-alan. Tällöin voidaan käyttää myös esimerkiksi lattiaan asennettavia tuloilmalaitteita. Sekoittavaa ilmanjakoa käytetään yleisesti ottaen tuloilmavirtaan $(15 \text{ l/s})/\text{m}^2$ (= n. $(50 \text{ m}^3/\text{h})/\text{m}^2$) ja jäähdystystehoon $90 \text{ W}/\text{m}^2$ asti. Tämä alue on esitetty

seuraavassa kuvassa punaisella. Suuremmilla tuloilmavirroilla ja jäähdytystehoilla syrjäyttävä ilmanjako toimii paremmin. /4, s. 2./



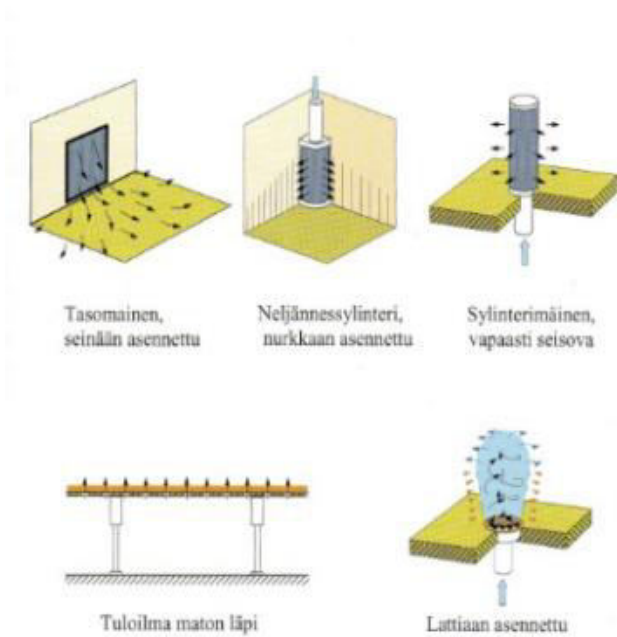
Kuva 4. Ilmanjakotavan valinta tuloilmavirrasta ja jäähdytystehosta riippuvana

Edellä olevassa kuvassa on siis esitetty karkea ohje, miten vältetään veto järjestelmävalinnalla.

On myös huomioitava, että syrjäyttävän ja sekoittavan järjestelmän tuloilmavirta on melkein yhtä suuri yleisimmissä käyttökohteiden sovelluksissa, mutta kun käytetään syrjäyttävää ilmanjakoa, ilman laatu on selkeästi parempi samalla tuloilmavirralla. Myös on pantava merkille, että laboratoriomittaukset osoittavat, että syrjäyttävä ilmanjako saattaa toimia jopa pienemmillä tuloilmavirroilla sekoittavaan nähden. Sekoittava ilmanjako taas toimii yleisesti paremmin syrjäyttävään nähden, kun tuloilmavirta tai tuloilman alilämpötila on suuri. /4, s. 2./

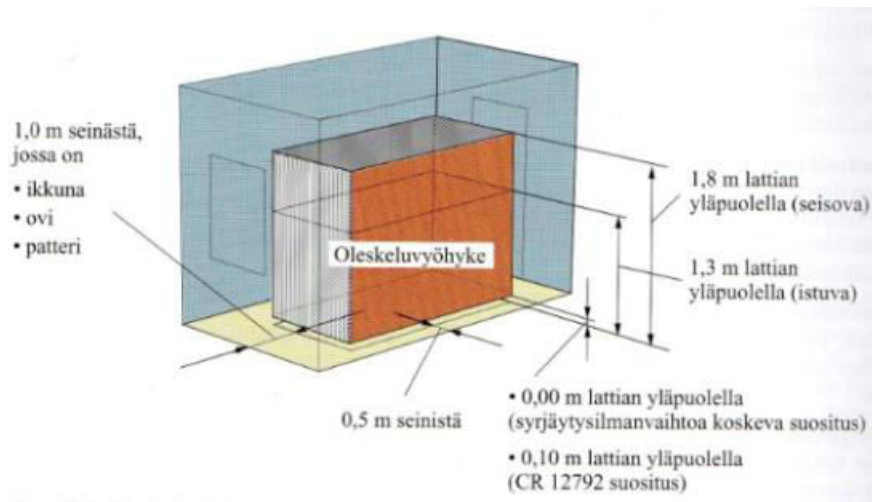
Myös asia mihin pitää kiinnittää huomiota syrjäytysilmanjakoa suunniteltaessa on yhteistyö arkkitehdin kanssa. Ilman tätä on vaikea löytää järkevää paikkaa tuloilmalaitteille niin, että ne toimisivat oikein eivätkä aiheuttaisi vetoa. Laitteet

tarvitsevat tietysti myös tietyn alan lattiasta tai seinältä. /4, s. 2./ Seuraavassa kuvassa on esitetty tyypillisiä syrjäytysilmanvaihdon tuloilmalaitteita.



Kuva 5. Tyypillisiä tuloilmalaitteita syrjäytysilmanvaihdossa

Huomattava seikka syrjäytysilmanvaihdossa on myös se, että oleskeluvyöhyke on huoneen viilein osa. Huoneilman lämpötila nousee lattiasta kattoa kohti. Syrjäytysilmanjaossa ilman lämpötila oleskeluvyöhykkeellä on n. 1-2 °C alhaisempi normaalikorkuisissa (noin 3 m) huoneissa ja 3-4 °C alhaisempi, kun on kyse suuren korkeuden tiloista sekoittavaan ilmanjakoon verraten silloin, kun poistoilman lämpötilat ovat yhtä suuret. Käytännössä tämä tarkoittaa, että vapaan jäähdytyksen käyttöaika pitenee ja energiankäyttö pienenee sekoittavaan ilmanjakoon verrattuna. /4, s. 4./ Seuraavassa kuvassa on esitetty oleskeluvyöhykkeen määritelmä.



Kuva 6. Oleskeluvyöhykkeen määritelmä

On myös tärkeää tietää, että jos käytetään syrjäytysilmanvaihtoa, ei huonetta tule lämmittää ainakaan sen käyttöaikana tuloilmalla. Jos siis huone on tarkoitettu lämmitettäväksi näin, ei syrjäytysilmanjakoa pidä käyttää. Kun lämmintä tuloilmaa johdetaan lattiatasolle viileään huonetilaan, niin lämmin puhdas tuloilma nousee ylöspäin lämpötilaerojen takia ja poistuu huoneen yläosasta. Silloin puhdas tuloilma virtaa huoneen yläosan poistoilmalaitteisiin ja aiheuttaa oikosulkuvirtauksen. Silloin vain pieni osa puhtaasta tuloilmasta kulkeutuu oleskeluvyöhykkeelle. /4, s. 4./

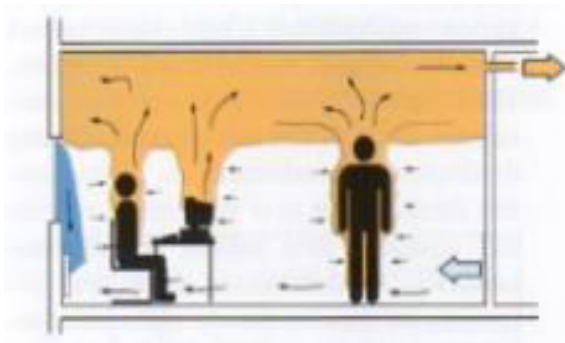


Kuva 7. Lämmin tuloilma johtaa syrjäytysilmanjaossa oikosulkuvirtaukseen

Myös epäpuhtauksien pitoisuus on ilmanlaadun kannalta aina parempi oleskeluvyöhykkeellä syrjäyttävässä kuin sekoittavassa ilmanjaossa. Teoreettisesti tuloilmavirta pitäisi olla 20 l/s per henkilö, jolloin oleskeluvyöhyke pysyisi puhtaana epäpuhtauksista. /4, s. 9./ Kuitenkin kehosta johtuvan vapaan konvektion ansiosta myös pienempi tuloilmavirta johtaa parempaan ilmanlaatuun hengitysvyöhykkeellä sekoittavaan

ilmanvaihtoon verrattuna. Tuloilmavirralla 10 l/s henkeä kohti päästään epäpuhtauksien pitoisuuteen, joka on vain 20 % huoneen keskimääräisestä pitoisuudesta. /4, s. 9./

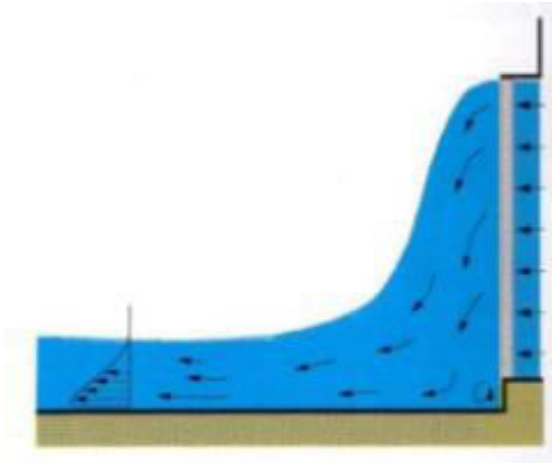
Myös lämpötilan pystysuoraan jakaumaan on kiinnitettävä huomiota. On varmistettava, että käytetään oikeanlaisia tuloilman päätelaitteita, jotta vältetään liian alhaiselta lämpötilalta lattian rajassa (veto esim. jalkoihin katsomossa). /4, s. 9./ Syrjäytysilmanvaihto oikein käytettynä antaa myös mahdollisuuden parantaa samalla lämpötilatehokkuutta ja ilmanvaihdon tehokkuutta /4, s. 9/. Seuraavassa kuvassa on vielä periaatteellinen esitys ilmavirtauksista huoneessa, jossa on syrjäyttävä ilmanjako.



Kuva 8. Ilmavirtaukset syrjäyttävällä ilmanjakoilla huoneessa

5.2 Ilmanjakolaitteet syrjäytysilmanjakoissa

Suurin käytännön ongelmien aiheuttaja vedon suhteen aiheutuu sopimattomista ilmanjakolaitteista /4, s. 2/. Valittaessa syrjäytysilmanvaihtoon kuuluvia ilmanjakolaitteita on varmistuttava siitä, että laite todellakin käy kyseiseen sovelluskohteeseen. Laitteissa voidaan luottaa ainoastaan sellaisiin laitteisiin, joista valmistaja antaa luotettavat tiedot niiden suoritusarvoista. /4, s. 2./ Seuraavassa kuvassa on esitetty erään syrjäytysilmanjakolaitteen lähivyöhyke ja vetoa aiheuttava alue.

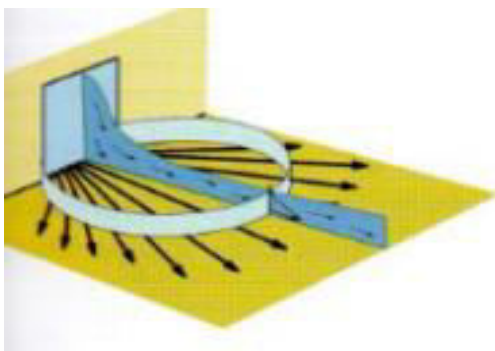


Kuva 9. Syrjäytysilmanjakolaitteen lähivyöhyke

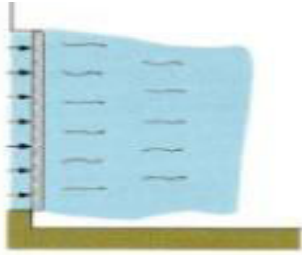
Syrjäytysilmanjaon laitteita on monia erilaisia vakiomalleja. ”Seiniin integroidut mallit ovat yleisimmin käytettyjä. Muita malleja ovat seinää vasten asennettavat, kulmaan sijoitettavat, lattialla vapaasti seisovat tai lattiaan asennetut mallit.” /4, s. 4./ Ilmaa voidaan johtaa myös maton läpi, mutta lattian likaantuminen voi olla ongelma syrjäytysilmanvaihtoa käytettäessä. /4, s. 4./

Yksi tärkeä asia valittaessa syrjäytysilmanvaihtoon tuloilman päätelaitteita on se, että tuloilmalaitteen lähivyöhykkeen nopeussuositus talvella on 0,15 m/s ja kesällä 0,25 m/s. Tämän takia laitevalmistajan tulisi esittää lähivyöhykkeen mitat tuotetiedoissa. /4, s. 24./

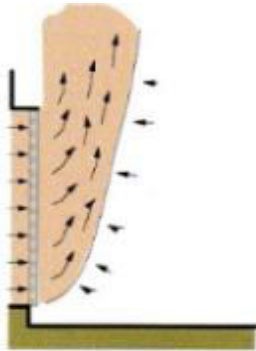
Myös sillä on paljon merkitystä, minkä lämpöistä tuloilmaa johdetaan tuloilmapäätelaitteista syrjäytysilmanjaossa. Seuraavassa on esitetty kolme eri tapausta riippuen tuloilman lämpötilasta.



Kuva 10. Kylmä tuloilma virtaa säteittäisesti oleskeluvyöhykkeelle



Kuva 11. Isoterminen ilmanjako

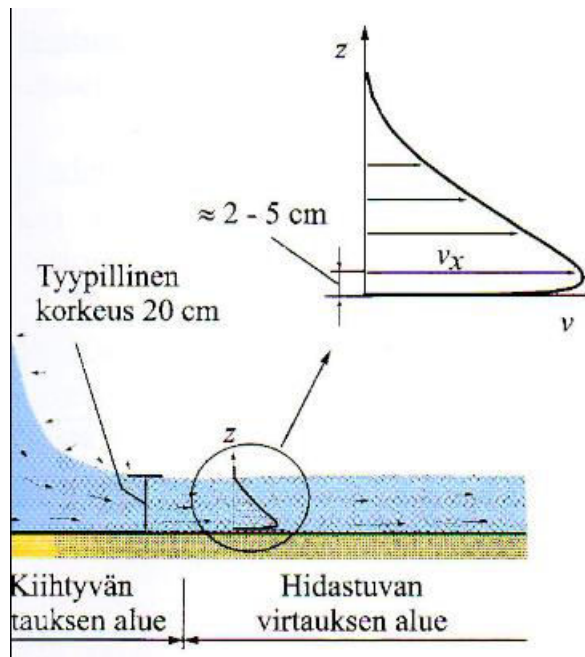


Kuva 12. Lämpimän tuloilman käyttäytyminen

Kuvassa 10 on esitetty, kuinka ilma käyttäytyy puhallettaessa alilämpöisenä huonetilaan. Tavallisesti tuloilma on 1-8 °C kylmempää kuin huoneilma. Tässä tapauksessa kylmä tuloilma valuu peiton tavoin pitkin lattiaa, kun se putoaa tuloilmalaitteelta. Kuvassa 11 puolestaan tuloilma puhalletaan isotermissenä eli se on saman lämpöistä kuin huoneilma. Se leviää siis huonetilaan vaakasuoraa nopeusjakauman ollessa sama kuin tuloilmalaitteen lähtöpinnalla. /4, s. 27./ Kuvasta 13 nähdään, että kun tuloilma puhalletaan huoneeseen lämpimämpänä, kuin huoneilma, se nousee päätelaitteelta ylöspäin leviämättä huoneeseen. Tästä voidaan päätellä, että syrjäytysilmanjakoa voidaan käyttää tehokkaasti ainoastaan, kun tuloilma on vähän kylmempää kuin huoneilma, ettei synny esim. oikosulkuvirtauksia. /4, s. 27./ Lämpimämpi tuloilma soveltuu syrjäytysilmanvaihdossa käytettäväksi vain silloin, kun ilmanvaihdolla esilämmitetään tilaa ennen sen käyttöä /4, s. 28/.

Suunniteltaessa seinälle sijoitettavia tuloilmalaitteita pitää ottaa huomioon myös niin sanottu lähivyöhyke. Kun tuloilma virtaa seinälle sijoitetusta laitteesta huoneeseen, tämä voi aikaansaada vetoa oleskeluvyöhykkeellä ja tätä vetoriskin aluetta sanotaan lähivyöhykkeeksi. ”Sen pituus l_n on määriteltävä etäisyydeksi tuloilmalaitteesta siihen pisteeseen, jossa maksiminopeus on vähentynyt tiettyyn arvoon, tavallisesti 0,2 m/s.” /4, s. 28./ Seuraavassa

kuvassa on esitetty nopeusjakauma laitteen edessä, kun tuloilma on kylmempää kuin huoneilma.

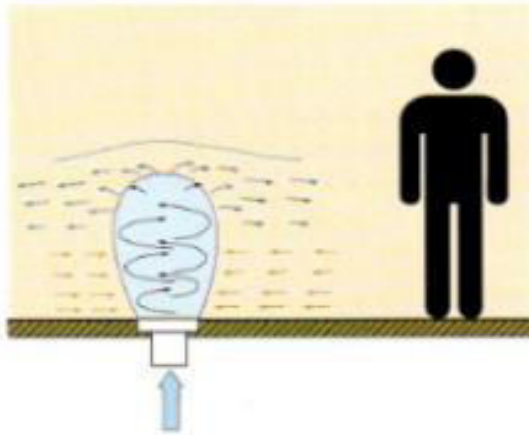


Kuva 13. Nopeusjakauma

”Tyypillinen purkautuvan virtauksen korkeus on n. 20 cm. Maksiminopeus purkautuvassa virtauksessa löytyy lattian rajasta kohdasta, jonka etäisyys lattiasta on n. 10 % purkautuvan virtauksen korkeudesta eli n. 2 cm.” /4, s. 29./

5.2.1 Yleisesti käytettyjä tuloilman päätelaitetyyppejä

Ilmaa voidaan jakaa lattiaan asennetuista päätelaitteista. Tällainen laite jakaa lattiasta ilmaa pystysuoraan pyörremäisesti. ”Tällä tavalla huoneilmaa indusoituu tehokkaasti primääri-ilmaan, minkä johdosta nopeus laskee nopeasti, nopeuserot tasoittuvat erittäin nopeasti.” /4, s. 33./ Seuraavassa kuvassa on esitetty kyseinen tilanne.



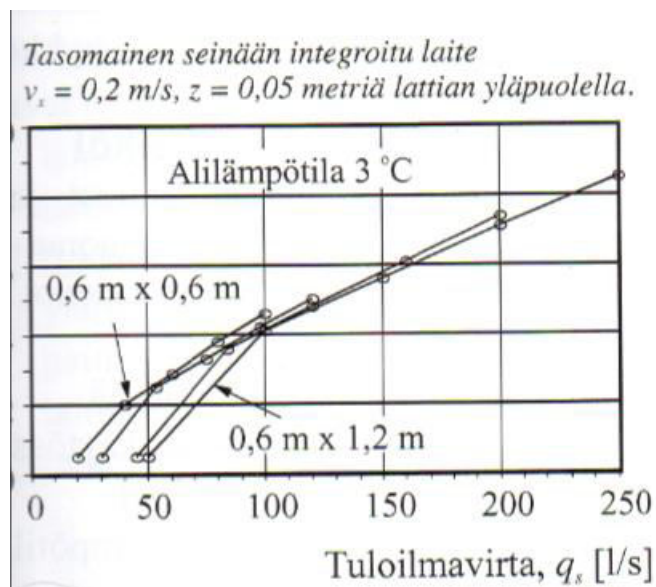
Kuva 14. Lattiaan asennetulla tuloilmalaitteella tulee olla oikean suuruinen pystysuora liikemäärä

Näillä lattiaan asennetuilla tuloilmalaitteilla etuna on suuri suihkuun induoituva huoneilmavirtaus. Tämän takia niitä voidaan käyttää, kun alilämpötila on suuri, jolloin ne käyvät huoneeseen, jossa lämpökuorma on myös suuri. Koska tällaisen tuloilmalaitteen pinta-ala on pieni, tuloilmavirran nopeuden tulisi olla tarpeeksi suuri antamaan sopivan liikemäärän pystysuoraan suuntaan eli n. 2-4 m/s. Kun käytetään lattialle asennettuja tuloilman päätelaitteita eli hajottimia, oikean tuloilmavirran valinta on tärkeää. Jos käytetään liian suurta tuloilmavirtaa, voi se heittää tuloilman huonetilan ylemmälle vyöhykkeelle, jolloin huoneeseen syntyy sekoittava ilmavirtaus. Jos taas käytetään liian pientä ilmavirtaa, johtaa se liian pieneen liikemäärään ja riittämättömään sekoittumiseen huonetilan ilman kanssa. Tämä voi puolestaan saada aikaan kylmän ilmakerroksen lattianrajassa. /4, s. 33./

Jos tuloilmalaite asennetaan seinään tai kattoon, sillä voidaan poistaa huoneesta lämpökuorma aina 50 W/m^2 saakka. Jos taas kaksoislattian yläpinta on peitetty matolla, jota käytetään ilman hajottamiseksi, lämpökuormaa voidaan poistaa jopa 100 W/m^2 . /4, s. 34./ Tällaisella mattohajottajalla lattian pintalämpötila on sama kuin tuloilman lämpötila. Tämä taas vaikuttaa pystysuoraan lämpötilajakautumaan. /4, s. 34./

Tyypilliset tasomaisen seinään integroidun tuloilmalaitteen tekniset tiedot ovat: leveys tavallisesti 0,6 m, korkeus 0,2-1,2 m, tuloilmavirta normaalikäytössä 70 l/s asti ja suurin lämpötilaero 4-10 °C. /4, s. 34./

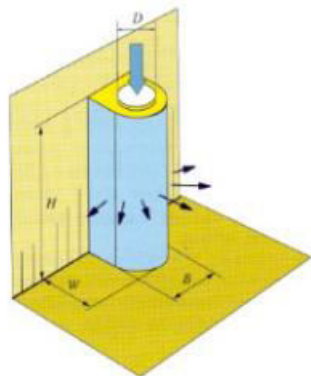
Tavanomainen lähivyöhykkeen pituus alilämpötilalla 3 °C nähdään seuraavassa kuvassa melko yksinkertaisilla laitteilla. Lähivyöhyke vaihtelee alilämpötilan ja laitteen mallin mukaan.



Kuva 15. Lähivyöhykkeen pituus joillekin tasomaisille seinään integroiduille yksiköille

Seinälle voidaan myös asentaa eri muotoisia tuloilman päätelaitteita.

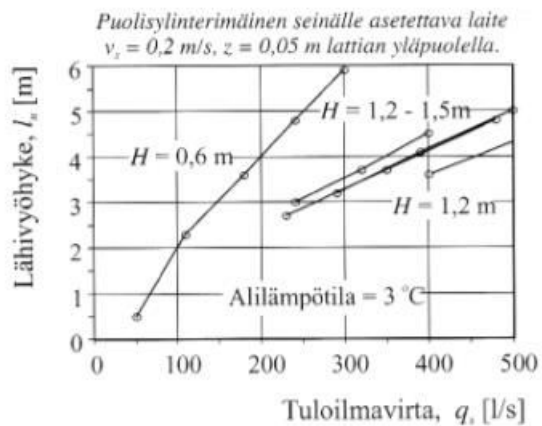
Seuraavassa kuvassa on esimerkki seinälle asennettavasta tuloilmalaitteesta.



Kuva 16. Seinälle asennettava puolisyylinteri

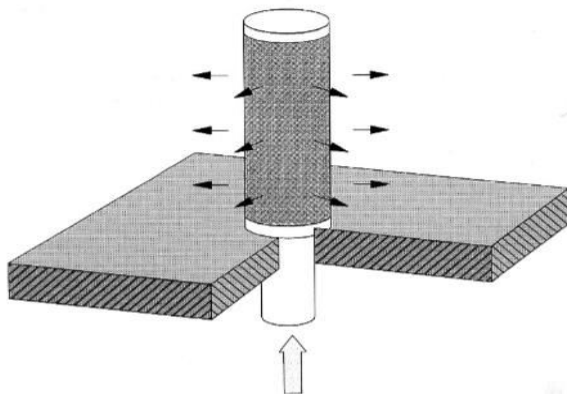
Näistä päätelaitteista ilma jakaantuu huonetilaan säteittäisesti. Niiden tekniset tiedot ovat yleensä: halkaisija 0,2-1,0 m, korkeus 0,6-1,8 metriä, tuloilmavirta normaalikäytössä 300 l/s asti (1000 m³/h) ja yleisesti käytetty alilämpötila 3 °C saakka. /4, s. 35./

Tyypilliset lähivyöhykkeen pituudet nähdään seuraavasta kuvasta. Nämä tiedot riippuvat tuotteista ja vaihtelevat valmistajan mukaan. /4, s. 35./



Kuva 17. Lähivyohykkeen pituus joillakin puolisylinteriyksiköillä alilämpötilalla 3 °C

Syrjäytysilmanvaihdossa tuloilmalaitteet voivat olla myöskin vapaasti lattialla seisovia, jotka ovat sylinterimäisiä. Tuloilmakanava liitetään laitteeseen joko ylhäältä tai alhaalta niin kuin seuraavassa kuvassa. /4, s. 36./



Kuva 18. Sylinterin mallinen vapaasti seisova laite

Tällainen tuloilmayksikkö voidaan luokitella kahden puolisylinterin yhdistelmäksi. Siksi tuloilmavirta voi olla niissä kaksi kertaa niin suuri kuin puolisylinterimäisillä laitteilla tietyllä lähivyohykkeen pituudella. /4, s. 36./

Muita variaatioita näistä ovat vielä neljännessylinterin muotoiset tuloilmalaitteet ja lattiaan asennetut yksiköt. Neljännessylinterin muotoisilla laitteilla, joidenkin valmistajien laitteet suuntaavat ilmavirran seinäpintaa pitkin välttääkseen vetoa lattianrajassa oleskeluvyohykkeellä. /4, s. 36./ Lattiaan asennetut päätelaitteet jakavat ilmaa pystysuoraa pyörrevirtausta hyväksikäyttäen. Tavanomaiset tekniset tiedot näille laitteille ovat: halkaisija

0,1-0,2 m, tuloilmavirta normaalikäytössä 50 l/s (180 m³/h) saakka ja yleisesti käytetty alilämpötila 3-6 °C. /4, s. 36./

5.2.2 Teknisten tietojen esittäminen

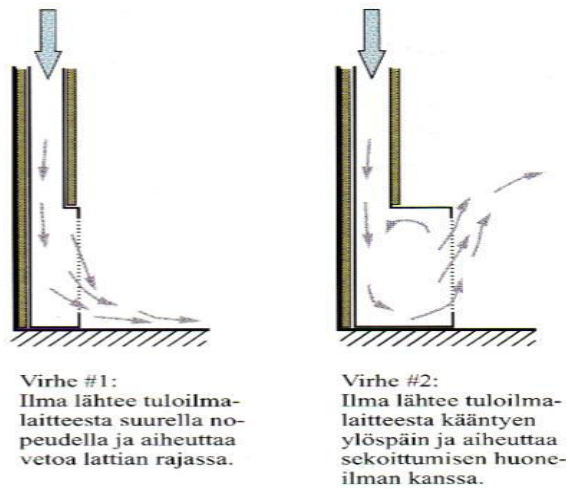
Piennopeusilmanjakolaitteet eroavat muista siten, että tekniset tiedot niissä ovat samat, mutta heittopituuden asemasta tulee niiden kohdalla tietää lähivyöhykkeen pituus ja lämpötila laitteen edessä. /4, s. 37./ ”Koko tuloilmavirran alueella (q_s) ja alilämpötiloilla 3 ja 6 °C tulee ilmoittaa tiedot: lähivyöhykkeen pituus l_n , lähivyöhykkeen leveys b_n , ilman lämpötila 2 cm lattian pinnan yläpuolella lähivyöhykkeen rajalla, paine-ero Δp_{tot} tuloilmalaitteen yli, laitteen ääniteho ja laitteen äänenvaimennus.” /4, s. 37./ ”Näitä arvoja ilmoitettaessa on määriteltävä: mitä nopeutta ($v_{x,max}$) on käytetty määriteltäessä lähivyöhykkeen rajat, millä korkeudella lattian yläpuolella maksiminopeus $v_{x,max}$ on mitattu?” /4, s. 37./ Laitteiden tekniset tiedot voidaan esittää käyrästöinä tai taulukkoina ilman tuloilmavirrasta ja alilämpötilasta riippuvana. /4, s. 37./

Dim	q_s		$\Delta\theta = \theta_{ic} - \theta_s = 3^\circ\text{C}$			$\Delta\theta = \theta_{ic} - \theta_s = 6^\circ\text{C}$		
	m ³ /h	l/s	$l_{0,2}$	$b_{0,2}$	$\theta_{0,2}$	$l_{0,2}$	$b_{0,2}$	$\theta_{0,2}$
100	115	32	0,49	0,49	20	0,65	0,65	19
	120	33	0,54	0,54	21	0,70	0,70	19
	151	42	0,59	0,59	22	0,85	0,90	20
125	155	43	0,57	0,57	21	0,85	0,80	19
	200	56	0,62	0,62	21	0,90	0,85	19
160	210	58	1,01	1,11	21	1,15	1,13	20
	260	72	1,11	1,21	21	0,13	1,22	20
200	360	100	0,95	0,95	20	1,17	1,10	19
	470	131	1,35	1,35	20	1,45	1,30	20
	580	161	1,55	1,55	21	1,80	1,70	20
150	500	139	1,40	1,40	21	1,75	1,65	20
	650	181	1,60	1,70	21	2,00	1,95	21
	720	200	2,10	2,00	22	2,60	2,40	21
315	1008	280	1,68	1,68	21	2,00	1,90	20
	1115	310	2,23	2,28	22	2,80	2,60	20
	1370	381	2,58	2,68	22	3,10	2,90	21
	1620	450	2,98	2,98	22	3,40	3,00	21
400	1080	300	2,10	1,80	22	2,50	2,00	20
	1260	350	2,70	2,00	20	2,90	2,30	19

Kuva 19. Lähivyöhykkeen esitys taulukon avulla

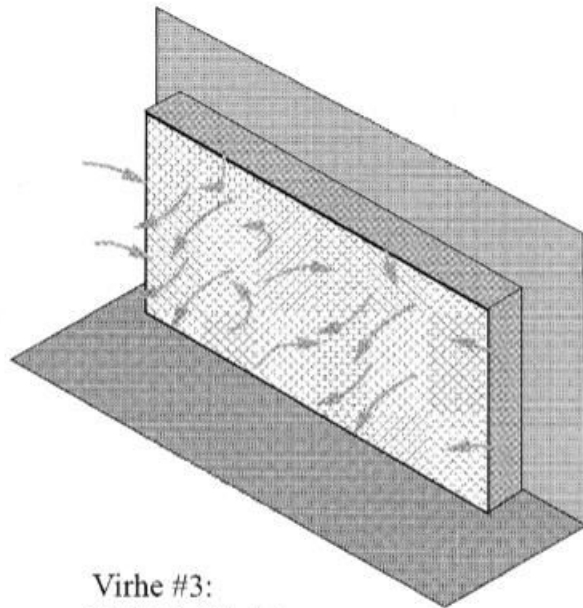
5.2.3 Yleisiä virheitä tuloilmalaitteiden suunnittelussa

Piennopeuslaitteet ovat paljon mutkikkaampia, kuin vain pelkällä rei'itetyllä etulevyllä oleva laatikko. Kaksi yleistä virhettä laitteiden valmistuksesta johtuen ovat: vino tuloilmavirtaus ja epästabiili tuloilmavirta. Vino tuloilmavirtaus muodostuu, kun ilma virtaa tuloilmalaitteeseen suurella nopeudella, jolloin se lähtee usein laitteista yhdensuuntaisesti etupinnan kanssa, kuten seuraavassa kuvassa, on esitetty. /4, s. 39./

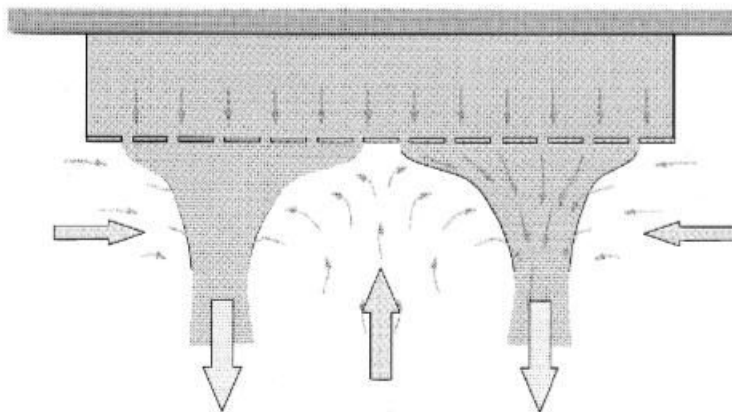


Kuva 20. Usein esiintyviä virheitä piennopeuslaitteiden suunnittelussa

Toinen virhe piennopeus tuloilmalaitteiden suunnittelussa on epästabiili tuloilmavirta. Tuloilmavirtausten epästabiilius rei'itetyissä katoissa on tunnettu pitkään. Ongelma johtuu rei'itetyn levyn pienistä rei'istä purkautuvien ilmasuihkujen synnyttämästä imusta. Tämä ilmiö on huomioitava myös syrjäyttävän ilmanjaon piennopeuslaitteissa. Ongelma voidaan kyllä ratkaista, mutta on huomioitava, että rei'itetty levy ei ole riittävä tuloilmalaitteen otsapinnaksi silloin, kun laitteen koko ylittää tietyn rajan. /4, s. 39./
Seuraavassa kuvassa on esitetty kyseinen ilmiö.



Virhe #3:
Epästabiili virtaus
otsapinnaltaan suuresta laitteesta.



Virtauskuvio ylhäältä katsottuna

Kuva 21. Pienet ilmasuihkut rei'itetyn levyn rei'istä synnyttävät alipaineen suihkujen välillä ja tekevät virtauksen epästabiiliksi

5.3 Lisätietoa suunnittelun tueksi

Ilmanvaihdon suunnittelun tulisi edetä järjestelmällisesti. Ensin päätetään kohteelle paras ilmanvaihdon periaate. Jos tullaan siihen tulokseen, että syrjäytysilmanvaihto on paras vaihtoehto, niin lasketaan tarvittava ilmavirta ilman laadun ja lämpöolosuhteiden perusteella. Sen jälkeen valitaan sopivat ilmanjakolaitteet ja otetaan huomioon pystysuora lämpötilajakauma ja laitteiden lähivyöhyke. /4, s. 41./

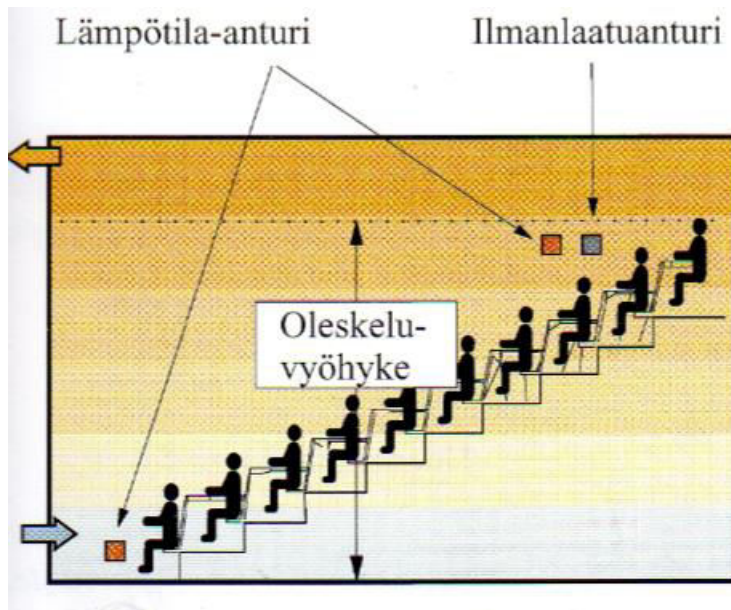
Kun huoneesta poistetaan suuria ylimääräisiä lämpökuormia ilman avulla eli yli $60\text{-}70\text{ W/m}^2$ tai ilmavirtaus on yli 10 l/sm^2 , niin syrjäyttävä ilmanjako on tehokasta ja myös tilanteessa, jossa pyritään hyvään ilmanlaatuun huonetilassa, jossa epäpuhtaudet ja niiden lähteet ovat lämpimiä. /4, s. 43./

On myös tärkeää tiedostaa, että syrjäyttävän ilmanjakotavan valinta ei aina johda kerrostavaan ilmajakostrategiaan, jos koko ilmanvaihtojärjestelmää ei ole suunniteltu sen mukaan. /4, s. 43./

Lämpösäteilyä voidaan mallintaa yksityiskohtaisella laskentamenetelmällä, mutta nämä menetelmät edellyttävät iterointia ja ovat liian monimutkaisia käsin laskentaa varten ja vaativat siksi tietokoneen käyttöä ja ohjelmointia. /4, s. 44./

Syrjäyttävän ilmanjaon säätö ei merkittävästi eroa sekoittavan ilmanjaon säädöstä. Merkittävin ero tulee siitä, miten lämpötilan ja ilmanlaadun tuntoelimet sijoitetaan. Sijoittelu riippuu huoneen korkeudesta ja ilmanjakotavasta. /4, s. 51./ Lämpötila-anturit sijoitetaan yleensä oleskeluvyöhykkeelle $1\text{-}1,5\text{ m}$ korkeudelle lattiasta. Tutkimukset kuitenkin osoittavat, että niiden tulisi sijaita $0,2\text{-}0,5\text{ m}$ korkeudella lattiasta huoneissa, joissa käytetään lattialla olevia seinään asennettuja tuloilmalaitteita. Tämä sijoittelu estää kylmän ilmavirtauksen aikaan saaman vedon lattianrajassa ja vähentää tuloilman lämpötilan vaihteluvaatimuksia. /4, s. 52./ Tutkimukset osoittavat myös sen, että jos tuloilma johdetaan lattian läpi, niin lämpötila-anturi kannattaa sijoittaa lattiaan. Ilmanlaatuanturi taas tulee sijoittaa istuvien henkilöiden hengityskorkeudelle eli n. $1\text{-}1,5\text{ m}$ korkeudelle lattiasta. /4, s. 52./

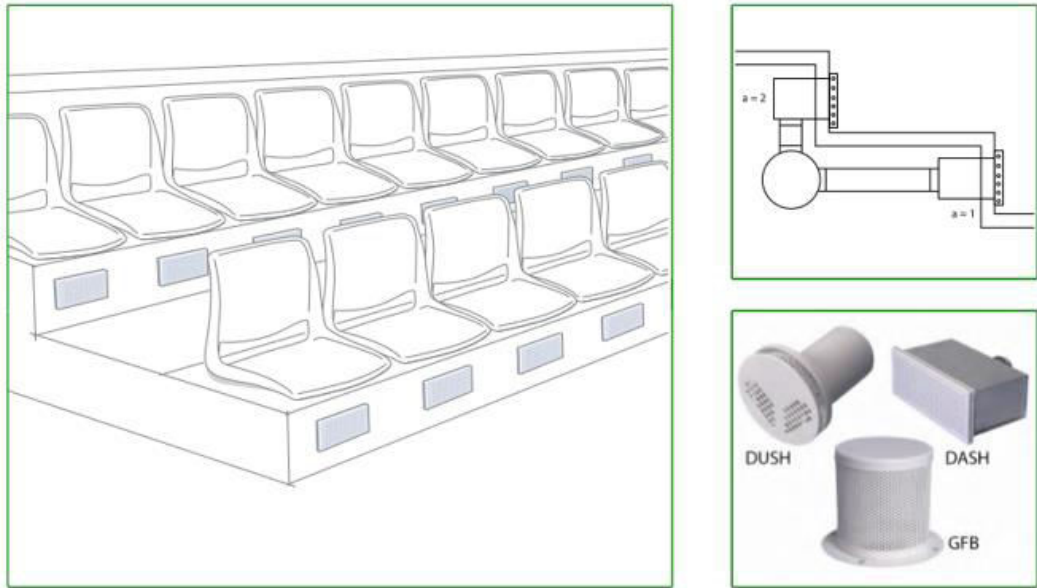
Korkeissa huonetiloissa, kuten auditorioissa, joissa ihmiset istuvat eri korkeuksilla, on lämpötila-anturi sijoitettava sekä huoneen alaosaan, että oleskeluvyöhykkeen yläosaan. Korkeissa tiloissa on ilmanlaatuanturi sijoitettava oleskeluvyöhykkeen ylimpään osaan, koska tässä osassa on todennäköisesti huonoin ilmanlaatu. /4, s. 53./ Tätä tilannetta kokonaisuutena on esitetty seuraavassa kuvassa.



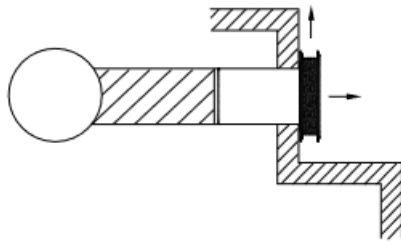
Kuva 22. Antureiden sijoitus auditoriossa

Silloin, kun ihmiset ovat pääasiallinen epäpuhtauksien lähde on säätö hiilidioksidipitoisuuden avulla perusteltua /4, s. 54/.

On olemassa valmiita tuotteita tuloilman päätelaitteiksi, jotka on suunniteltu nimenomaan auditoriomaisiin tiloihin. Yksi tämän opinnäytetyön konserttisaliin soveltuva järjestelmä on Fläkt Woods:n kehittämä Floormaster-järjestelmä. Ne on nimenomaan suunniteltu syrjäyttävään ilmanjakoon kokous-, luento, teatteri- ja konserttisaleissa käytettäväksi, joissa on porrasmaisesti nousevia istuin rivejä. Kohdetilaan tulee palo-osastointi katsomon alle, joten osaa näistä laitteista ei voi käyttää siten, että ne kytkettäisiin painekammioon katsomon alla. Kuitenkin liitännä kanavaan penkkirivin alla tulee kysymykseen ja olemaan varteen otettava vaihtoehto tämän Floormaster-järjestelmän käytölle. Seuraavassa on kuvia järjestelmästä, jota tässä opinnäytetyössä tullaan käyttämään.



Kuva 23. Fläkt Woods Floormaster-järjestelmä ja mallit GFB, DSH ja DUSH



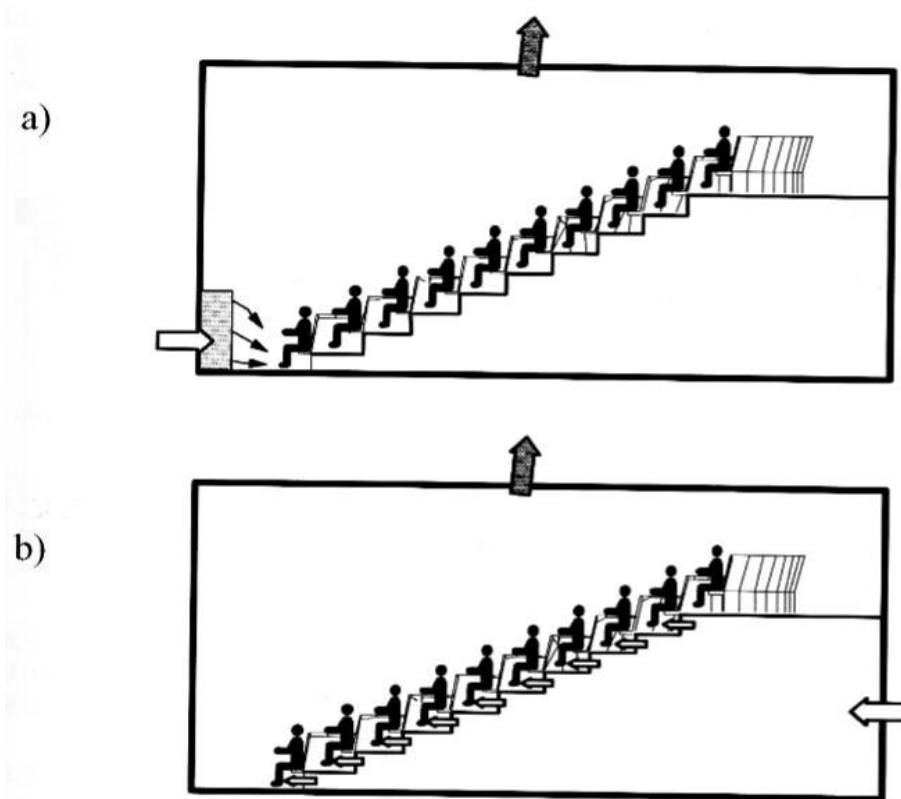
Liitäntä kanavaan

Kuva 24. Päätelaitteen asennus kanavaan penkkirivin alla

Tyypillinen käyttöaste auditorioille on sellainen, että se on käytössä 45 min, jonka jälkeen seuraa 15 min tauko. Tämä toistuu alkaen klo 8.15 aamulla klo 15 iltapäivään. /4, s. 72./ Konserttisali, jota tämä opinnäytetyö käsittelee, sijaitsee kuitenkin toimintakeskuksessa, joka rakennetaan Jyväskylän helluntaiseurakunnalle. Siksi tämän konserttisalin käyttöaika poikkeaa tästä perus auditoriomallista, koska toimintakeskus on kirkkomainen ja tämän konserttisalin käyttö tulee olemaan sellainen, että se saattaa olla ehkä noin kerran viikossa täynnä n. 3 h kerrallaan eli käyttäjiä on n. 600 henkeä. Muuten tila ei ole yhtä kovalla käytöllä.

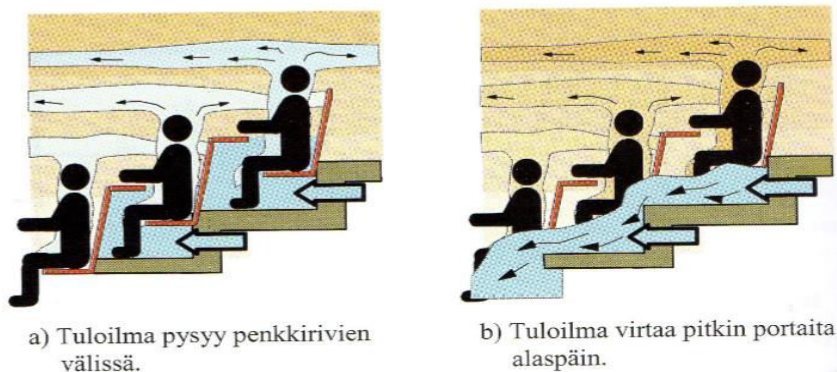
Auditoriotyyppisiin tiloihin on käytetty kahta ilmanjakotapaa menestyksellisesti. Toisessa ilma johdetaan katsomoon ihmisten edestä ja toisessa istuimien alta.

Molemmissa ilma poistetaan kattotasosta. /4, s. 73./ Nämä ilmanjakotavat on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 25. Auditorioilmanjakovaihtoehtoja

Jos käytetään tuloilmanjakoa penkkien alta, on tämä tapa hyväksi koettu, jos puhdas tuloilma jää penkkirivien väliin. On huomattava kuitenkin, että jos penkkirivien välissä on aukot (kuten porraskäytävä), niin tuloilma virtaa veden lailla alas portaita eikä se virtaa konvektiovirtausten avulla ihmisten ympärille. /4, s. 73./ Seuraavassa kuvassa on havainnollistettu näitä tilanteita.



a) Tuloilma pysyy penkkirivien välissä.

b) Tuloilma virtaa pitkin portaita alaspäin.

Kuva 26. Tuloilmanjako istuimien alta

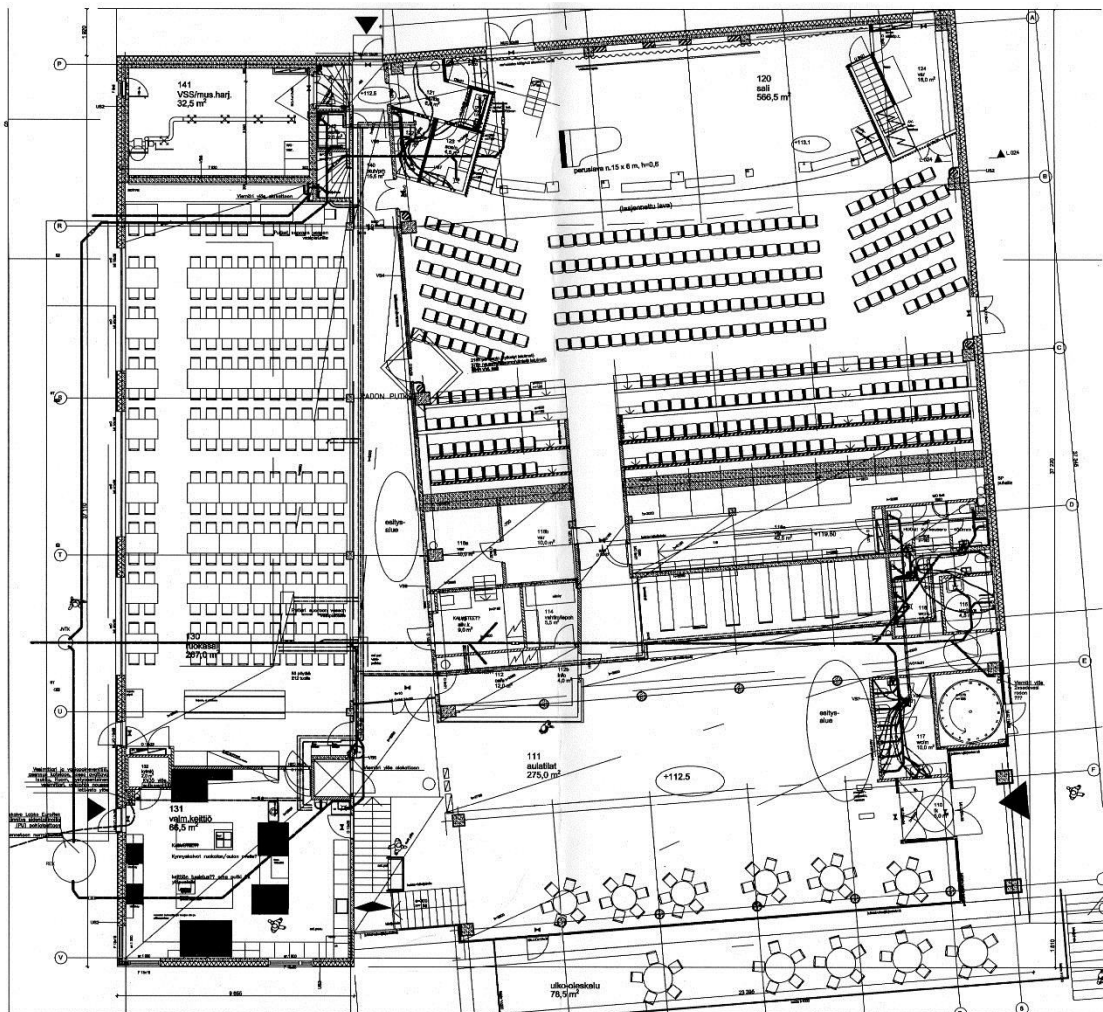
Kohdetilan lämpökuormat maksimikuormituksella voidaan myös laskea. Henkilökuorma: 600 hlö, lämpökuorma per henkilö = 85 W/hlö, $600 \times 85 = 51000$ W. Valaistuskuorma: 600 m^2 , 10 W/m^2 , $600 \times 10 = 6000$. Yhteensä: $51000 + 6000 = 57000$ W. Ilmanvaihdolla poistettava ilma voidaan laskea siten, että oletetaan ilmanvaihdolla poistettavan lämpökuorman (jäähdytyskuorman) olevan 70 % maksimaalisesta lämpökuormasta. /4, s. 75./ Eli ilmanvaihdolla poistettava ilma: $57000 \text{ W} \times 0,7 = 39900$ W. Tämä on neliötä kohden: $39900 \text{ W} / 600 = 66,5 \text{ W/m}^2$.

Tässä opinnäytetyössä on tavoitteena kuvan 28 kohdan a mukainen virtauskenttä. On myös otettava huomioon, että istuinrivien päissä ilmavirtaus on kuvan 28 kohdan b mukainen ja siksi ilmavirtoja määritettäessä on oltava realistinen. Tämän takia ei syrjäytysilmanvaihdosta voida olettaa saatavan täyttä hyötyä.

Kuitenkin, kun ilmavirta puhalletaan penkkien alta, saadaan aikaan se, että ilmanlaatu on hengitysvyöhykkeellä merkittävästi parempi kuin sekoittavassa ilmanjaossa /4, s. 76/. Poistoilmalaitteiden tulee sijaita huoneen korkeimmassa kohdassa /4, s. 79/.

6 VALITUN ILMANJAON ESITTELY KOHTEESEEN

Lähtötietoina tilasta ovat siis konserttisalin pinta-ala, mikä on 600 m^2 , henkilömäärä tilassa maksimissaan 600 hlö ja Riuska energiasimulointiohjelmalla lähtötietona saatu tuloilmavirta tilaan, mikä on $7,8 \text{ dm}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$. Seuraava kuva on konserttisalin arkkitehtipohjakuva.



Kuva 27. Konserttitalin arkkitehtipohjakuva

Kuvassa näkyy pienellä neljä palkkia jotka ovat katsomon reunoissa. Nämä ovat hyvät sijoituspaikat syrjäytysilmanjakolaitteille, jotka ovat yksi neljäsosa sylinterin kokoisia nurkkaan sijoitettavia malleja. Seuraava kuvassa on tällainen palkki.

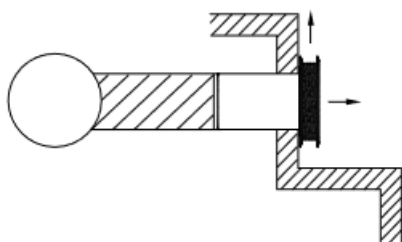


Kuva 28. Palkki, jonka viereen on mahdollista sijoittaa tuloilmalaite

Ilmanjakotavaksi tähän työhön valitaan siis aiempien työssä esitettyjen perustelujen mukaan syrjäyttävä, koska tila on auditoriomainen ja epäpuhtauskuormat ovat pääasiassa ihmisistä ja tila vetää runsaasti katsojia. Ilmanvaihtojärjestelmäksi puolestaan valitaan VAV-järjestelmä eli

muuttuvaimavirtajärjestelmä. Tämä sen takia, koska kyseinen järjestelmä sopii hyvin tiloihin, joissa lämpökuormaa on paljon, ja joissa tarvitaan suuria ilmavirtoja, kuten konserttisalissa. Valintaa tukee myös se, että tämän konserttisalin kuormitus vaihtelee paljon eri käyttötilanteissa. Tiedetään myös, että VAV-järjestelmä toimii parhaiten, kun lämpökuorma riippuu tilassa olevien ihmisten lukumäärästä ja se sopii siksi myös tälle konserttisalille. Hyvän ilmanlaadun saamiseksi ja pitämiseksi tilassa valitaan tässä työssä hiilidioksidianturiohjaus. Tämä tapa soveltuu kohteeseen, koska ihmiset ovat pääasiallinen epäpuhtauslähde ja tila on konserttisali, johon menetelmä tunnetusti soveltuu.

Ilmanjakolaitteiden valinnassa puolestaan syrjäytysilmanjaolla painaa tässä konserttisalissa käyttäjien viihtyvyys. Rajoittavana tekijänä on myös katsomon alla oleva palo-osastointi, joka estää painekammion laitton katsomon alle, johon penkkien alta puhaltavat tuloilmalaitteet kytkettäisiin. Kuitenkin puhallus katsomossa penkkien alta on auditoriomaisissa katsomoissa todettu hyväksyttäväksi tuloilmanjaolle, kuten edellä on esitetty. Siksi onkin mahdollista käyttää päätelaitetyyppejä tuloilmanjakoon penkkien alta, jotka kytketään pyöreään tuloilmakanavaan eikä painekammioon katsomon alla. Tätä ratkaisua myös esitetään käytettäväksi tässä opinnäytetyössä. Ratkaisu on siis kuvan 24 mukainen.

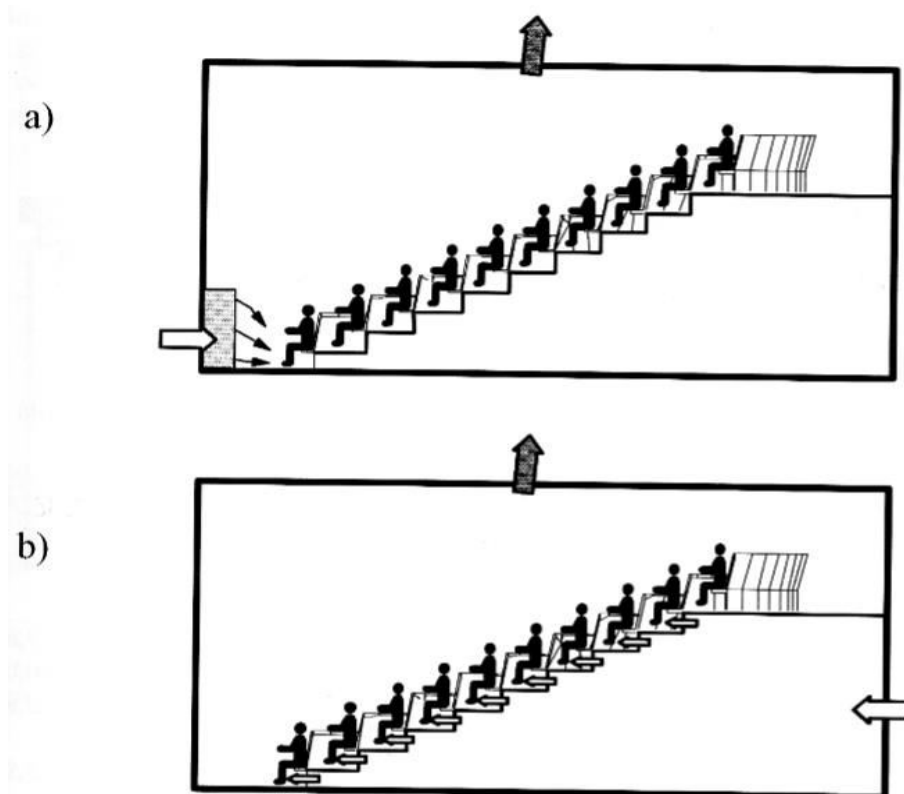


Kuva 24. Liitäntä kanavaan

Päätelaitetyypiksi esitetäänkin käytettäväksi Fläkt Woods Floormaster Dush päätelaitteita katsomoon penkkien alle asennettaviksi ja liitettäväksi pyöreään tuloilmakanavaan.

Tilassa on myös esiintymislava. Tämän hyödyntäminen tuloilmanjaossa tulee myös kysymykseen, koska sen sisään saadaan integroitua hyvin

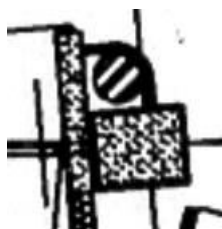
tuloilmalaitteita. On myös hyvä hyödyntää sekä katsomopuhallus penkkien alta sekä yhdistää siihen tuloilmanjako katsomon edestä. Seuraava kuva esittää molemmat tavat.



Kuva 25. Puhallus esiintymislavan alta katsomon edestä ja penkkien alta katsomosta

Esiintymislavan alta voidaan puhalltaa erilaisilla päätelaitteilla, jotka on upotettu sen etuseinämään. Tuloilma voidaan tuoda näille tuloilman päätelaitteille pyöreillä kanavilla, jotka haarautuvat esiintymislavan alla sen etuseinämän suuntaisesti.

Tuloilmanjakoon voidaan myös hyödyntää katsomon vieressä molemmilla puolilla sijaitsevat palkkien vierustat. Näihin suositellaan tässä opinnäytetyössä sijoitettavaksi neljä syrjäyttävän tuloilman laitetta, jotka ovat yksi neljäs osa sylinterin muotoisia. Seuraavassa kuvassa on esitetty palkki, jonka vierustaan mahtuu asennettavaksi kyseinen tuloilman päätelaite.



Kuva 28. Palkki, jonka eteen sijoitetaan tuloilman päätelaite

Seuraavassa kuvassa on esitetty ehdotus päätelaitetyypistä käytettäväksi palkin eteen.

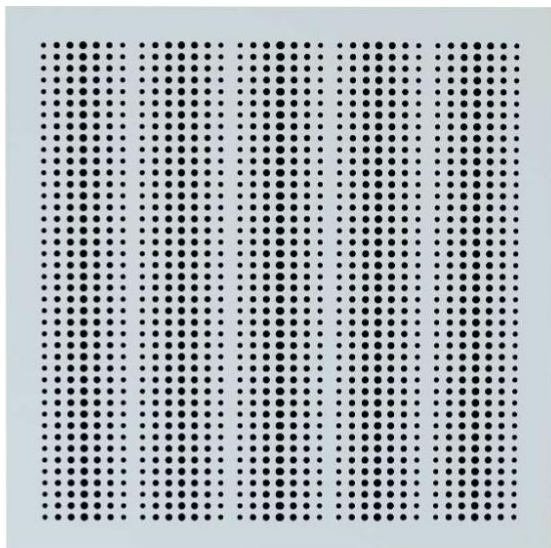


Kuva 29. Kulmamallinen Fläkt Woods Floormaster DVQA – tuloilman päätelaite

Poistoilma tulee puolestaan konserttisalissa poistaa tilan korkeimmasta kohdasta katosta, jotta saadaan syrjäytysilmanvaihdon nousevat konvektiovirtaukset hyödynnettyä poistoilmaa poistettaessa eikä oikosulkuvirtauksia pääse syntymään.

Edellä esitetyllä kokonaisuudella saadaan tilaan hyvä ilmanvaihto turvattua. Ilma tuodaan tilaan useasta pisteestä hiljaisella nopeudella ja hyödynnetään ihmisistä aiheutuvat epäpuhtauspitoisuuksien nousevat konvektiovirtaukset, joiden annetaan nousta oleskeluvyöhykkeen yläpuolelle ja kerrostua sinne, josta ne poistetaan tilan korkeimmasta kohdasta pois hallitusti. Yhdistelmänä penkkien alta puhallus sekä esiintymislavan edestä puhaltaminen katsomon alaosasta siihen päin toimii hyvin, koska kahden ilmanjakotavan hyödyt on yhdistetty. Lisää tehoa ilmanjakoon tuovat palkkien vierestä puhaltavat syrjäyttävät tuloilmalaitteet yhteensä neljän palkin vierestä.

Lukuina järjestelmän toiminta on seuraava. Käytetyt laitteet ovat siis Fläkt Woodsin edellä mainitut DVQA, Floormaster DUSH ja esiintymislavan etuseinämään upotetaan siis 8 kpl Fläkt Woods DVCA tuloilman päätelaitteita.



Kuva 30. Fläkt Woods DVCA

DVQA – laitteita on 4 kpl palkkien vieressä. Fläkt Woods Floormaster DUSH – tuloilman päätelaitteita, jotka sijoitetaan penkkien alle, käytetään 174 kpl (sali vetää 600 henkilöä).

Tämä siksi koska tuloilmavirta saliin on siis $7,8 \text{ dm}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ eli $4700 \text{ dm}^3/\text{s}$. Kun tämä tuloilmavirta jaetaan hallitusti tilaan niin DVCA – laitteita käytetään 8kpl $\rightarrow 8 * 62 \text{ l/s} = 496 \text{ l/s}$ (koko 300-60 ja korkeus 589 mm ja 25 dB(A) ja korkeus 589 mm, jotta se mahtuu upotettavaksi esiintymislavan etuseinämään), DVQA – laitteita 4 kpl $\rightarrow 4 * 530 \text{ l/s} = 2120 \text{ l/s}$ (koko 400, korkeus 2000 mm ja 25 dB(A)) ja Floormaster DUSH – laitteita 174 kpl $\rightarrow 174 * 12 \text{ l/s} = 2088 \text{ l/s}$ (suositeltava ilmavirta per laite 12 l/s ja sillä n. 20 dB(A)). Yhteensä laitteista tulee siis $496 \text{ l/s} + 2120 \text{ l/s} + 2088 \text{ l/s} = 4704 \text{ l/s}$ eli haluttu ilmavirta.

Seuraavissa kuvissa on esitetty valmistajan taulukot järjestyksessä ja Floormaster DUSH painehäviö, ilmavirta ja äänitasodiagrammi.

Pikavalinta

Seinään upotettava tuloilmalaite Floormaster® DVCA

Koko	Korkeus	Liitântä	Ilmavirta l/s (m ³ /h) äänitason ollessa		
			25dB(A)	30 dB(A)	35 dB(A)
300-60	589	300 x 60	62	72 (259)	85
400-80	1165	400 x 80	114	132 (475)	153

Kuva 31. Fläkt Woods DVCA pikavalintataulukko

Pikavalinta

Kulmamallinen tuloilmalaite Floormaster® DVQA, jossa kanavaliitântä antaa tilaa verhopellin sisäpuolella olevalle äänenvaimentimelle

Koko	Korkeus	Liitântä	Ilmavirta l/s (m ³ /h) äänitason ollessa		
			25dB(A)	30 dB(A)	35 dB(A)
100	400	100	33	40 (144)	48
125	600	125	59	75 (270)	90
160	600	160	85	100 (360)	120
200	1000	200	111	153 (551)	224
250	1000	250	210	250 (900)	305
315	1500	315	330	400 (1440)	490
400	2000	400	530	640 (2305)	780

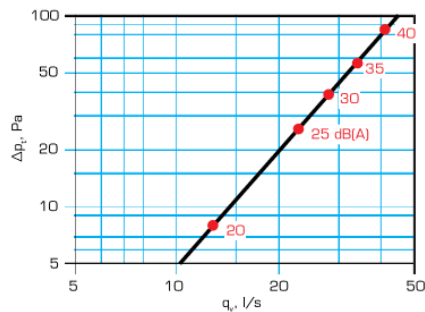
Kuva 32. Fläkt Woods DVQA pikavalintataulukko

Ilmavirta	Suositeltava ilmavirta 12 l/s(43 m ³ /h) ja laite		
	Asennus	lattiatasoon	askelman etupintaan, suorakulmainen
Laite	GFB	DASH	DUSH
Liitântä	Ø 81 mm	Ø 100 mm	Ø 125 mm

Kuva 33. Fläkt Woods Floormaster DUSH ja suositeltava ilmavirta per laite

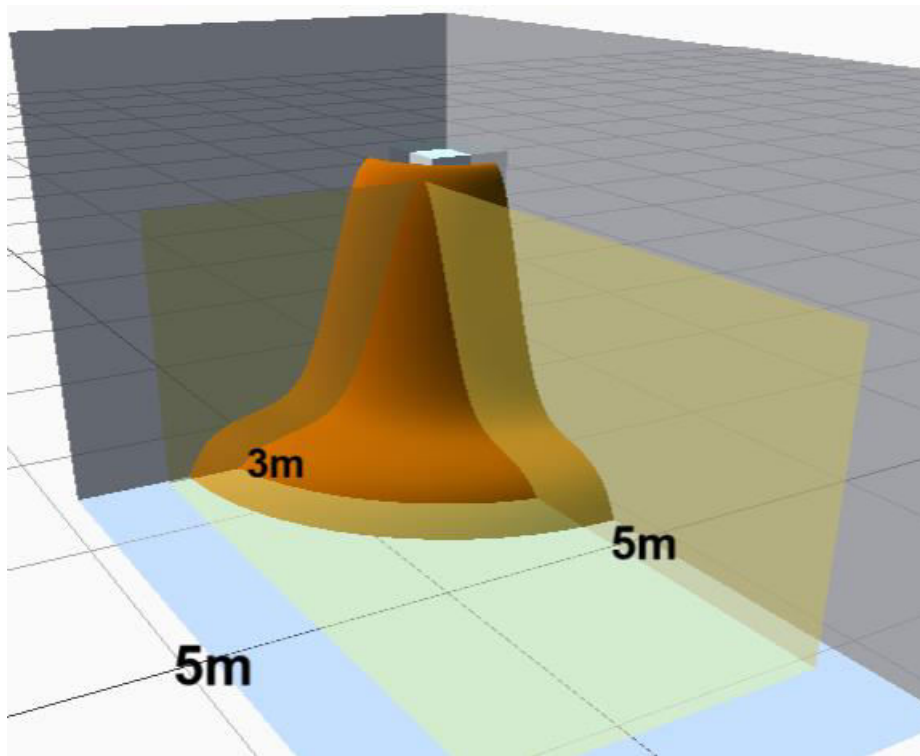
Floormaster DUSH

Painehäviö, ilmavirta, äänitaso

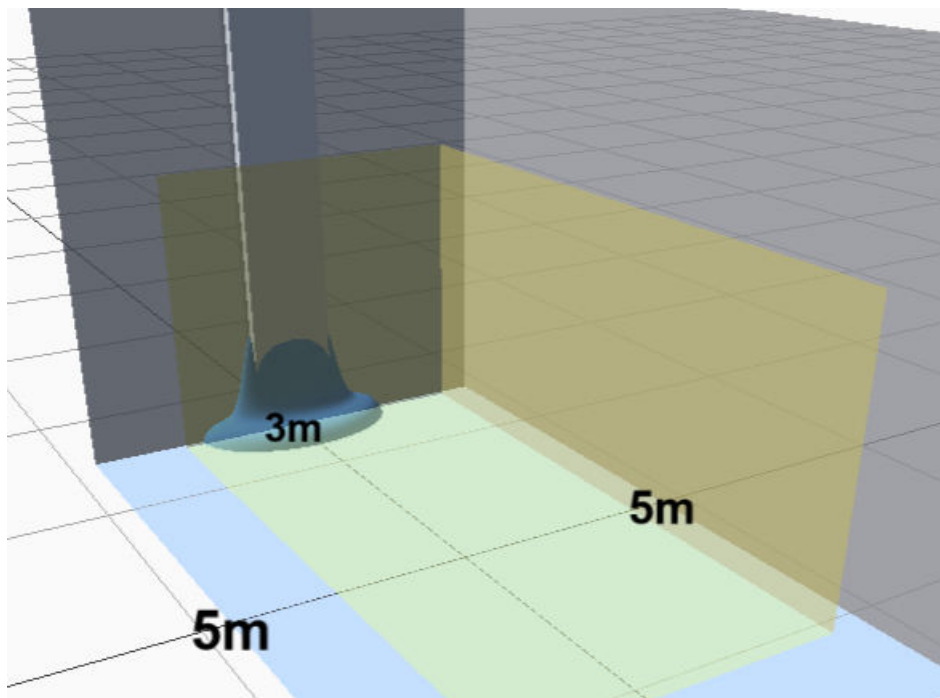


Kuva 34. Floormaster Dush painehäviö, ilmavirta ja äänitaso

Lisäksi työssä saatiin mallinnettua DVQA- ja DVCA- syrjäyttävien tuloilmalaitteiden virtauskentät. Seuraavassa kuvat niistä.



Kuva 35. DVQA – tuloilmalaitteen virtauskenttä



Kuva 36. DVCA – tuloilmalaitteen virtauskenttä

Kuvista näkee, että palkkien viereen sijoitettava DVQA – tuloilmalaitteen lähivyöhyke jatkuu 3 m päähän ja samoin DVCA – tuloilmalaitteen lähivyöhyke. Etummaisiiin penkkiriveihin on konserttisalissa sen verran esiintymislavan etuosasta matkaa, että lähivyöhyke ei ihan osu niihin, jolloin vedon vaikutukselta välttyään DVCA -laitteilla. Toisaalta DVQA – laitteet, jotka sijaitsevat etummaisten kahden palkin vieressä saattavat lähivyöhykkeeltään

yltää eturivissä nurkissa istuvien katsojien päälle. Kokonaisuutena vetoisuuden pitäisi kuitenkin jäädä pieneksi.

7 POHDINTA

Pitkällisen selvitystyön tuloksena opinnäytetyössä saatiin lähtötiedot hankittua ensin ilmanjakotavoista rakennuksissa ja selvitettyä niiden pohjalta sen, mikä niistä sopii parhaiten opinnäytetyön konserttisaliin. Tulokseksi saatiin syrjäyttävä ilmanjako, mikä lähdeaineiston mukaan sopii konserttisaleihin ja auditoriomaisiin tiloihin, joissa ihmiset ja niistä nousevat konvektiiviset lämpökuormat ovat pääasiallinen epäpuhtauslähde. Lähdeaineiston mukaan syrjäytysilmanvaihto näissä tiloissa myös toimii paljon tehokkaammin samoilla tai pienemmillä ilmavirroilla, kuin sekoittava ilmanvaihto.

Lisäksi opinnäytetyössä etsittiin tietoa ilmanvaihtojärjestelmistä ja siitä, mikä on hyvä ilmanlaadun säätötapa kohteeseen, jossa ihmiset ovat pääasiallinen epäpuhtauslähde. Kohdetila myös vetää täytenä n. 600 henkilöä eli täydellä kuormituksella kuormitus on suurta. Tähän löytyi oikea säätötapa ja koko tilalle suositus ilmanvaihtojärjestelmästä. Ilmanvaihtojärjestelmäksi valikoitui siis VAV-järjestelmä eli muuttuvailmavirtajärjestelmä ja ilmanlaadun säätötavaksi hiilidioksidianturilla tapahtuva säätö. Ihmiset tuottavat hiilidioksidia ja säätäminen sen pitoisuuden mukaan indikoi hyvin myös ilman yleistä laatua tilassa, jossa on paljon ihmisiä. Muuttuvailmavirtajärjestelmällä voidaan näin hyvin hallita tilan ilmanvaihtoa.

Opinnäytetyössä pyrittiin myös antamaan paljon käytännönläheistä tietoa syrjäytysilmanvaihdolla toimivan konserttisalin suunnitteluun. Tärkeitä seikkoja ovat mm. se, että kun on valittu ilmanjaoksi syrjäytysilmanvaihto ja aletaan suunnittelemaan kohteeseen tuloilman päätelaitteita, tulee valmistajilta saada valituista laitteista riittävän tarkat lähtötiedot, jotta vältetään syrjäytysilmanjakolaitteiden lähivyöhykkeellä vedolta ja muilta ongelmilta. Ilmanjaon voi myös syrjäytysilmanvaihdolla samaan tilaan suunnitella usealla eri tavalla, joten esim. arkkitehdin kanssa on hyvä tehdä yhteistyötä suunnitteluvaiheessa ja perehtyä tilan arkkitehtuuriin ja kalusteisiin siltä osin, että esim. veto-ongelmia ei pääse syntymään tuloilmalaitteiden heittokuvioiden osuessa palkkeihin tai valaisimiin, josta ne kimpoavat ihmisten oleskeluvyöhykkeelle liian aikaisin. Esimerkiksi konserttisalin katsomossa

penkkien alta puhallus voi väärin käytettynä saada viileän ilman valumaan veden tavoin katsomon käytävää pitkin alas ja aiheuttaa vetoa tai ilmanjaon tehotonta toimimista.

Tässä opinnäytetyössä siis pyrittiin antaa mahdollisimman paljon vinkkejä konserttisalin suunnitteluun syrjäytysilmanjaolla ja lopuksi kaikkeen tähän tietoon perustuen valita parhaat ilmanjakolaitteet kohdetilaan. Työssä päätettiin käyttää katsomon penkkien alta puhallusta, esiintymislavan edestä puhallusta katsomoon päin sekä neljää syrjäytysilmanjakolaitetta, jotka ovat neljännes sylinterin muotoisia ja puhaltavat katsomon vierellä olevien neljän palkin vierestä katsomoon päin. Penkkien alta puhalluksessa otettiin huomioon palo-osastointi katsomon alla, mikä esti painekammioon kytkennän päätelaitteiden osalta katsomon alla. Työssä päädyttiinkin käyttämään pyöreää tuloilmakanavaa katsomon penkkirivien alla, joihin päätelaitteet asennetaan.

Kaikkiaan opinnäytetyön tuloksena saatiin toimiva esitys siitä, miten kohteena olevaan konserttisaliin kannattaa ilmanjako valita, ja mitä sitä käytettäessä tulee huomioida suunnittelussa ja päätelaitteiden valinnassa. Lopuksi saatiin myös valittua toimivat päätelaitetyypit konserttisaliin ja kerrottua, miten ne kannattaa sijoittaa tilaan parhaan ilmanlaadun aikaansaamiseksi. Tämän lisäksi saatiin ilmavirrat laskettua eri tuloilmalaitteille ja kokonaisilmavirta on saatu lähtötietona Riuska – simulointiohjelmalla tehdyn olosuhdesimuloinnin yhteydessä. Simulointitiedot löytyvät liitteistä. Lopuksi Fläkt Woodsin FläktGroup Select – simulointiohjelmalla saatiin simuloitua DVQA- ja DVCA – tuloilmalaitteiden virtauskentät. Niistä nähdään laitteiden tuloilmasuihkun lähivyöhykkeet ja pystytään arvioimaan vetoriskiä, joka lopulta jäi aika pieneksi. Ainoastaan eturivin kulmaistumapaikoilla voi esiintyä vetoa.

Koska jo lähdeaineistossa (Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa) kerrottiin, että syrjäytysilmanvaihdon suunnittelua varten tilan nousevia konvektiolämpökuormia voidaan laskea, mutta se tarkoittaisi iterointia ja käytännössä niiden käsin laskeminen on liian monimutkaista ja sitä varten tarvitaan tietokonepohjaista simulointiohjelmaa. Tämän takia tässä opinnäytetyössä niitä ei ole siis pystytty laskemaan, koska käytössä ei ollut tähän tarkoitukseen tehtyä tietokoneella käytettävää simulointiohjelmaa.

Jatkokehitysideana esitänkin, että jos tätä opinnäytetyön konserttisalin suunnitteluohjetta haluttaisiin kehittää vielä pidemmälle, voitaisiinkin mahdollisen konvektiolämpökuormien simulointiohjelman käyttöä suunniteltaessa, jotain vastaavaa konserttisalia tai tilaa, jossa käytetään syrjäytysilmanvaihtoa.

LÄHTEET

/1/ Sandberg, Esa. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät: Ilmastointiteknikka osa 1. Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2014.

/2/ Seppänen, Olli. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssan Kirjapaino Oy. 2004.

/3/ Seppänen, Olli. Ilmastointiteknikka ja sisäilmasto. Kirjapaino Kiitorata Oy Helsinki. 1996.

/4/ Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva opas no. 1. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

/5/ Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 1.1.2018.

/6/ Vikberg, Matias. Monitoimisalin ilmanvaihdon suunnittelu. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. 2016.

/7/ Elisabeth Mundt, Peter V. Nielsen. Displacement ventilation in non-industrial premises. Hakon Skistad. 2001.

/8/ Displacement ventilation engineering guide. 2016. Price industries. Www-dokumentti. Saatavilla:

<https://www.priceindustries.com/content/uploads/assets/literature/engineering-guides/displacement-ventilation-engineering-guide.pdf>. [viitattu 26.3.2018].

/9/ What is displacement ventilation. 2018. Ke Fibertec. Www-dokumentti.

Saatavilla: <https://www.ke-fibertec.com/uk/products/what-is-displacement-ventilation/>. [viitattu 26.3.2018].

KUVALUETTELO

Kuva 1. Lämpöaistimus, PMV asteikko ja sitä vastaavat tyytymättömien osuudet, PPD. Sandberg, Esa, Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät: Ilmastointitekniikka osa 1. Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2014.

Kuva 2. Suurin sallittu ilman keskimääräinen liikenopeus liikkuvan ilman lämpötilan ja turbulenssiasteen funktiona laskettuna 10 %, 20 % ja 30 % tyytymättömien osuuksille. Sandberg, Esa, Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät: Ilmastointitekniikka osa 1. Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2014.

Kuva 3. Työskentelyalueen lämpötila syrjäytysilmanvaihdossa ja sekoittavassa ilmanvaihdossa. Artem, Egorov. Displacement ventilation in lecture halls. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. 2012.

Kuva 4. Ilmanjakotavan valinta tuloilmavirrasta ja jäähdytystehosta riippuvana. Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 5. Tyypillisiä tuloilmalaitteita syrjäytysilmanvaihdossa. Skistad, Håkon, Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva- Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003

Kuva 6. Oleskeluvyöhykkeen määritelmä. Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 7. Lämmin tuloilma syrjäytysilmanjaossa johtaa oikosulkuvirtaukseen. Skistad, Håkon, Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 8. Ilmavirtaukset syrjäyttävällä ilmanjaolla huoneessa. Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 9. Syrjäytysilmanjakolaitteen lähivyöhyke. Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 10. Kylmä tuloilma virtaa säteittäisesti oleskeluvyöhykkeelle. Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 11. Isoterminen ilmanjako. Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 12. Lämpimän tuloilman käyttäytyminen. Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 13. Nopeusjakauma. Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 14. Lattiaan asennetulla tuloilmalaitteella tulee olla oikean suuruinen pystysuora liikemäärä. Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 15. Lähivyöhykkeen pituus joillekin tasomaisille seinään integroiduille yksiköille. Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 16. Seinälle asennettava puolisyylinteri. Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 17. Lähivyöhykkeen pituus joillakin puolisyylinteriyksiköillä alilämpötilalla 3 °C. Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 18. Sylinterin mallinen vapaasti seisova laite. Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 19. Lähivyöhykkeen esitys taulukon avulla. Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 20. Usein esiintyviä virheitä piennopeuslaitteiden suunnittelussa. Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 21. Pienet ilmasuihkut rei'itetyn levyn rei'istä synnyttävät alipaineen suihkujen välillä ja tekevät virtauksen epästabiiliksi. Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 22. Antureiden sijoitus auditoriossa. Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 23. Fläkt Woods Floormaster-järjestelmä ja mallit GFB, DSH ja DUSH. www-lähde: <http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=956d79dd-5f3e-4b28-8066-40fdc2fdd83a>

Kuva 24. Päätelaitteen asennus kanavaan penkkirivin alla. www-lähde: <http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=956d79dd-5f3e-4b28-8066-40fdc2fdd83a>

Kuva 25. Auditorioilmanjakovaihtoehtoja. Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 26. Tuloilmanjako istuimien alta. Skistad, Håkon. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. 2003.

Kuva 29. Kulmamallinen Fläkt Woods Floormaster DVQA – tuloilman päätelaite. www-lähde: <http://www.flaktwoods.fi/products/air-management-diffusers/displacement-diffusers/dvqa>

Kuva 30. Seinään upotettava Fläkt Woods DVCA – tuloilman päätelaite. Www-lähde: <http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=1ed85a16-2d3e-43ff-b05a-56bc3501de>

Kuva 31. Fläkt Woods DVCA pikavalintataulukko. Www-lähde: <http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=1ed85a16-2d3e-43ff-b05a-56bc3501de>

Kuva 32. Fläkt Woods DVQA pikavalintataulukko. Www-lähde: <http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=43a8910c-157e-4aae-b59a-c3fe3341c3a5>

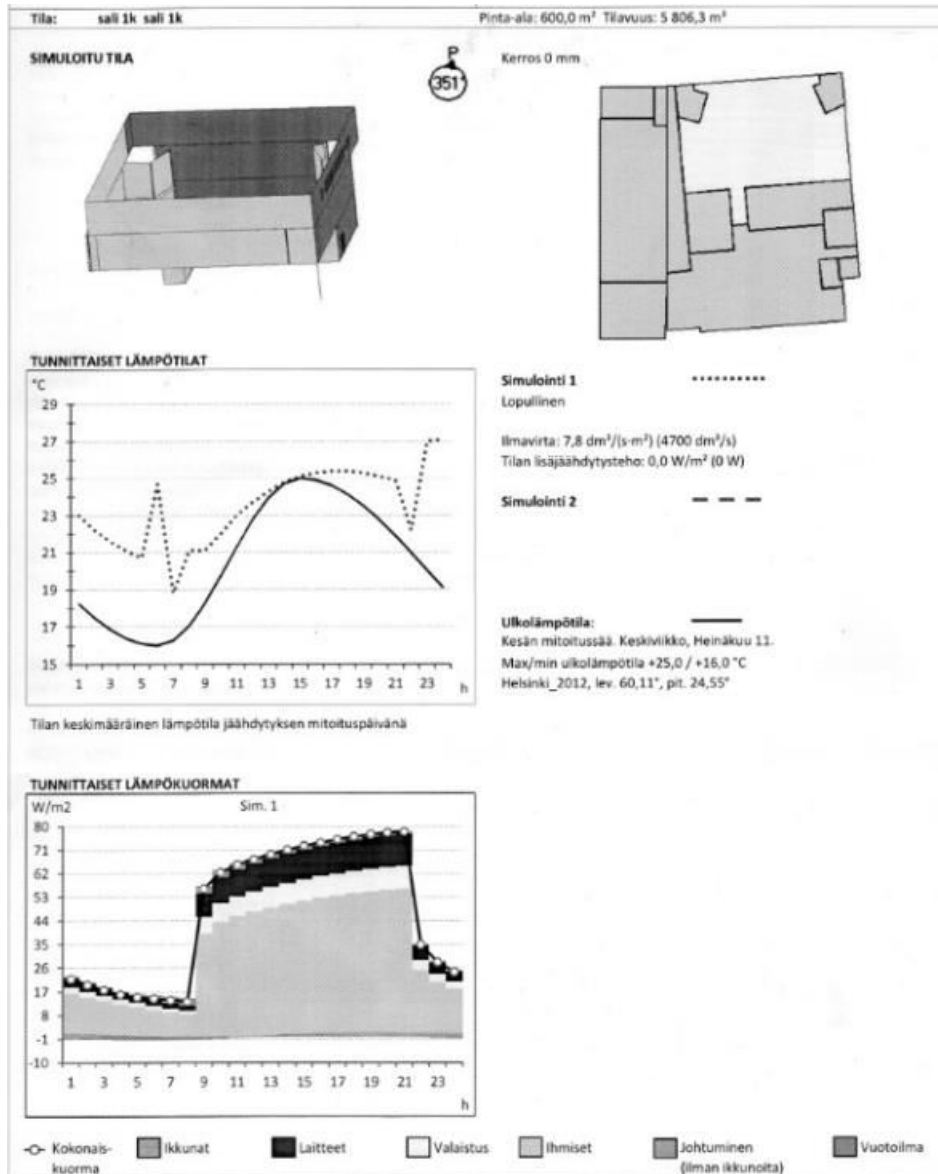
Kuva 33. Fläkt Woods Floormaster DUSH ja suositeltava ilmavirta per laite. Www-lähde: <http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=956d79dd-5f3e-4b28-8066-40fdc2fdd83a>

Kuva 34. Floormaster Dush painehäviö, ilmavirta ja äänitaso. Www-lähde: <http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=956d79dd-5f3e-4b28-8066-40fdc2fdd83a>

Kuva 35. DVQA – tuloilmalaitteen virtauskenttä. Tehty FläktGroup Select – ohjelmalla. Www-lähde: <https://select.flaktgroup.com/>

Kuva 36. DVCA – tuloilmalaitteen virtauskenttä. Tehty FläktGroup Select – ohjelmalla. Www-lähde: <https://select.flaktgroup.com/>

RIUSKA OLOSUHDESIMULOINTI



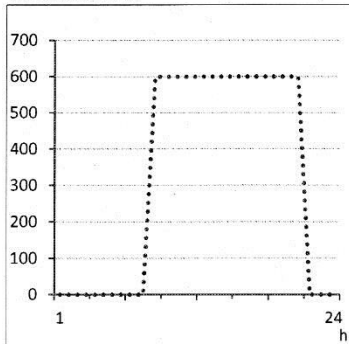
RIUSKA OLOSUHDESIMULOINTI OSA 2

Tila: sali 1k sali 1k

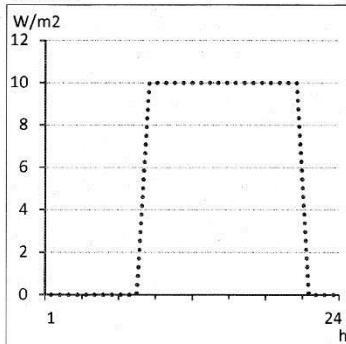
LÄHTÖTIEDOT		Simulointi 1	Simulointi 2
SISÄILMAN LAATUTASO			
Tilan lämpötila, max. / asetusarvo	°C	27,0 / 23,0	
Tilan lämpötila, min. / asetusarvo	°C	21,0 / 21,0	
ILMANVAIHTO			
Järjestelmä		Suutinkonvektori	
Ilmavirta	dm ³ /(s·m ²)	7,8	
Lämpötila-asetus talvi/kesä	°C	19 / 17	
Jäähdytyspatteri (on/ei)		on	
Aikataulu		07-22	
Yötuuletus (T) / Yöjäähdytys (J)		00-07 (T)	
Lämpötilakerrostuma	K/m	2,00	
Vuotoilmerroin	1/h	0,068	
SISÄISET KUORMAT			
Ihmiset	lukumäärä, max	600,00	
	vaatetus	Normaali työasu	
	työn tehotaso	Met	1,0
	kuorma (25 °C:ssa)	W/hlö	62,5
	aikataulu		08-21
Valaistus	kuorma, max	W/m ²	10,0
	aikataulu		08-21
Laitteet	kuorma, max	W/m ²	14,2
	aikataulu		08-21
RAKENTEET			
Ulkoseinä	rakenne / U-arvo	W/(m ² ·K)	US 01/0,17
Yläpohja	rakenne / U-arvo	W/(m ² ·K)	YP 3 salin katto/0,09
Alapohja	rakenne / U-arvo	W/(m ² ·K)	AP 01/0,16
Rakenteiden tehollinen massa		kg/lattia-m ²	385
IKKUNAT ULKOISEINISSÄ JA KATOISSA			
Auringonsäteilyn kokonaisläpäisy		%	50,0
U-arvo (lasiosa)		W/(m ² ·K)	1,00
Lasiosan ala ja suuntaus		m ²	16,1 (ITÄ)
Rakenne			2xclear+low-e, (Argon+Argon) 6+6+6mm
Suojaus			Sälekaihtimet
HUONEYKSIKÖT			
Jäähdytysteho (ei sis. ilmanvaihtoa)		W/m ²	0,0

SISÄISTEN KUORMIEN AIKATAULUT

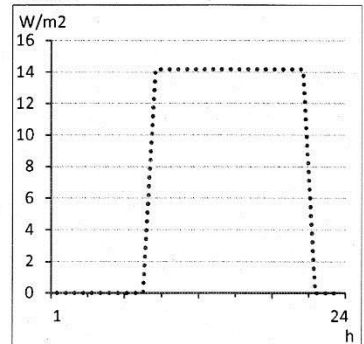
Henkilöiden lkm.



Valaistus



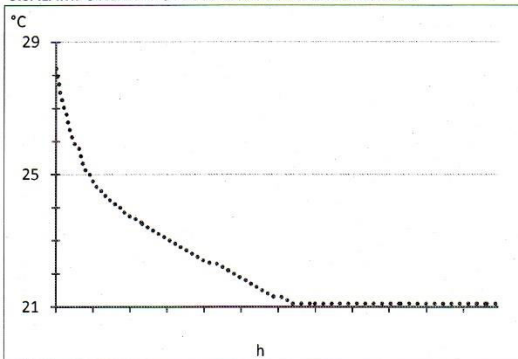
Laitteet



RIUSKA OLOSUHDESIMULOINTI OSA 3

Tila: sali 1k sali 1k

SISÄLÄMPÖTILAN PYSYVYYS VALITULLA AJANJAKSOLLA



Ma,Ti,Ke,To,Pe,La. Kello 08-21. 1027 tuntia

Kuukaudet: 6,7,8

Lämpötilaraja 25,0 °C ylittyi:

Sim. 1: 99,3 astetunnilla. Tuntien lukumäärä on 71.

SISÄLÄMPÖTILAN VAIHTELU VALITULLA AJANJAKSOLLA

