

Antti Lipponen

# **Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toteutuksen optimointi paineohjatussa VAV-järjestelmässä**

Opinnäytetyö

Kevät 2017

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: LVI-tekniikka

Tekijä: Antti Lipponen

Työn nimi: Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toteutuksen optimointi paineohjatussa VAV-järjestelmässä

Ohjaaja: Petri Hänninen

Vuosi: 2017

Sivumäärä: 64

Liitteiden lukumäärä: 8

---

Ilmanvaihto on erittäin tärkeä osa rakennuksen teknisistä järjestelmistä ja -ratkaisuista koostuvaa kokonaisuutta, jolla aikaansaadaan rakennukseen sille ominaiset olosuhteet. Nykypäivän talot pyritään tekemään tiiviiksi ja energiapiheiksi, jolloin oikeanlainen ilmanvaihdon toteuttaminen, säätäminen ja käytönaikainen ohjaaminen vaikuttavat merkittävästi sisäilmasto-olosuhteisiin, talon terveeseen toimintaan sekä ennen kaikkea siihen kuinka energiataloudellisesti rakennusta voidaan ylläpitää.

Opinnäytetyössä on tutkittu ilmanvaihdon ohjausmahdollisuuksia ja pyritty luomaan ilmanvaihtosuunnittelua varten tarpeenmukaisen ohjauksen valintaa helpottava optimointityökalu. Työ on jaettu kahteen osaan, joista ensimmäisessä käsitellään ilmanvaihtoon liittyviä perusasioita ja toisessa ns. työosassa pyritään tietokonemallinnuksen avulla tutkimaan ilmanvaihdon ohjauksen vaikutuksia. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi eteläkarjalainen talotekniikan suunnittelu- ja konsultointitoimisto A Niemi Engineering Oy.

Jotta työn tavoitteet voitiin saavuttaa, tarvittiin tutkimisen ja tarkastelujen pohjaksi realistinen esimerkkikohde, johon ilmanvaihtojärjestelmä kokonaisuudessaan rakennettiin. Ilmanvaihtojärjestelmään oli olennaista saada riittävä määrä tekniikkaa, jolla tarpeenmukaista ohjausta pystyttiin käytännössä toteuttamaan. Työssä valittiin rakennuksen käytölle erilaisia kuormitus- ja käyttötilanteita, joissa tutkittiin järjestelmän käyttäytymistä erilaisilla ohjausmuutoksilla nykyisten rakennusmääräysten määrittelemien ohjearvojen ja säännösten rajoissa.

Työn tuloksena saatiin aikaan lisää ymmärtämystä tarpeenmukaisesta ilmanvaihdon ohjauksesta sekä työn tavoitteena ollut optimointityökalu ilmanvaihtosuunnittelun avuksi. Aikaansaatu versio antaa mahdollisuuden jatkojalostaa työkalua suunnittelun tarpeiden sekä mahdollisten muuttuvien raja-arvojen mukaan.

Avainsanat: Ilmanvaihto, energiatehokkuus, sisäilma, tarpeenmukainen ilmanvaihto

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: HVAC Technology

Author: Antti Lipponen

Title of thesis: The optimization of pressure controlled DCV system

Supervisor: Petri Hänninen

Year: 2017

Number of pages: 64

Number of appendices: 8

---

Ventilation is a critical part of a building's technical systems and solutions, which provide the building with its specific conditions. Today's houses are designed to be tight and energy-efficient so that properly engineered ventilation, adjustment and in-use ventilation will have a significant impact on the indoor climate conditions, healthy functioning of the house, and above all, energy-efficient maintenance of the building.

The thesis examined the control options of ventilation, and sought to create an optimization tool to facilitate the selection of necessary controlling options for demand-controlled ventilation (DCV). The thesis was divided into two parts, the first one dealing with the basic aspects of ventilation, and the second one being mainly a statement of work focusing on examining the effects of ventilation control with the help of a computer modelling. The project was commissioned by A Niemi Engineering Oy, a South-Karelian HVAC-engineering and consultancy office.

In order to achieve the objectives of the work, a realistic exemplary object case, for which the entire ventilation system was built, was needed as a basis for study and analysis. It was essential for the ventilation system to have a sufficient amount of technology to implement the demand-controlled ventilation into practice. Different load and operating situations were used to study the behavior of the system with varying changes to adjustment and control, all within the limits of the guidelines and regulations defined by the existing building regulations.

As a result, the work achieved to provide more understanding on the demand-controlled ventilation control and also the optimization tool made to assist ventilation planning. The current version of the optimization tool provides an opportunity for further development according to planning needs and potential variable limits.

Keywords: Demand-controlled ventilation, energy efficiency, indoor air, ventilation

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	9
1 JOHDANTO.....	11
1.1 Työn tavoitteet.....	11
1.2 Työn toteutus tavoitteiden saavuttamiseksi.....	12
2 ILMANVAIHTO .....	13
2.1 Rakennuksen painesuhteet.....	14
2.2 Ilmanvaihtojärjestelmät.....	16
2.2.1 Painovoimainen ilmanvaihto .....	17
2.2.2 Koneellinen ilmanvaihto .....	18
2.3 Puhaltimet .....	21
2.3.1 Puhallinosa .....	22
2.3.2 Puhallinmoottorit ja taajuusmuuttajat .....	24
2.3.3 Sääto, rajoitteet ja hyötysuhteet.....	25
2.4 Ilmastoinnin äänitekniikka .....	27
2.4.1 Ilmanvaihtolaitteiden äänentuotto.....	29
2.4.2 Äänen kehitys kanavistossa .....	30
3 ILMAJÄRJESTELMÄT JA ILMANVAIHDON OHJAUS .....	33
3.1 Vakioilmavirtajärjestelmä, CAV-järjestelmä .....	33
3.2 Muuttuvilmavirtajärjestelmä, VAV-järjestelmä .....	35
3.2.1 VAV-järjestelmän puhaltimen sääto .....	38
3.2.2 VAV-järjestelmän kanavapaineen sääto .....	40
3.3 IMS-järjestelmä tarveohjattuun ilmanvaihtoon.....	41
3.3.1 Ilmavirran ja paineen sääto .....	42
3.3.2 Säädön valinta .....	45
3.3.3 Ohjaus.....	45
3.4 Mitta-anturit ilmanvaihdon ohjaukseen.....	47



4	MALLIKOHTEEN IV-JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU .....	49
4.1	Kanavas suunnittelu.....	50
4.2	Ilmamääräsäätimet ja päätelaitteet .....	50
5	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU.....	52
5.1	Tilanne 1: Maksimi- ja minimi-ilmavirta.....	53
5.2	Tilanne 2: Luokkahuone.....	55
5.3	Tilanne 3: Toimistohuone .....	56
5.4	Tilanne 4: Juhlasali .....	58
5.5	Tilanne 5: Käytävät ja aula.....	59
5.6	Esimerkkipäivä .....	60
6	YHTEENVETO.....	63
	LÄHTEET.....	65
	LIITTEET .....	67

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Lämpötilaeroista aiheutuva rakennukseen kohdistuva painejakauma. (Sisäilmayhdistys 2008, [Viitattu 7.4.2016].) .....	16
Kuvio 2. Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä. (LVI 03-10378, 3.) .....	18
Kuvio 3. Koneellinen ilmanvaihto. Poistoilmajärjestelmän erillis- (vasemmalla) ja yhteiskanavatoteutus (keskellä) sekä keskitetty tulo- ja poistoilmajärjestelmä (oikealla). (LVI 03-10378, 3.).....	21
Kuvio 4. Ilmavirtauksen kulkusuunta eri puhaltimissa. Puhaltimet vasemmalta oikealle: radiaali-, aksiaali- ja puoliaksaalipuhallin. (Sandberg 2014b, 148.).....	23
Kuvio 5. Suositellut maksimikanavanopeudet. Ylempi käyrä vastaa äänitasoa 35 dB kanaviston loppupäässä ja alempi käyrä äänitasoa 25 dB. (Sandberg 2014b, 111.).....	31
Kuvio 6. Vakioilmavirtajärjestelmä, CAV. (Sandberg 2014a, 132.) .....	34
Kuvio 7. Vyöhykekohtainen ilmavirran säätö VAV-järjestelmässä. (Sandberg 2014a, 127.).....	36
Kuvio 8. Tilakohtainen ilmavirran säätö VAV-järjestelmässä. (Sandberg 2014a, 127.).....	37
Kuvio 9. Keskipakoispuhaltimen johtosiipisäätö kanavapaineen mukaan. (LVI 30-40008, 7.).....	39
Kuvio 10. Pyörimisnopeussäätö kanavapaineen mukaan taajuusmuuttajaa käytettäessä. (LVI 30-40008, 7.).....	40
Kuvio 11. Staattisen paineen säätö haarakanavassa. (LVI 30-40008, 8.).....	41
Kuvio 12. Ilmavirransäätö vyöhykkeittäin. (Lindab 2014, 11.) .....	43
Kuvio 13. Ilmavirransäätö moottoriohjatulla tuloilmalaitteilla. (Lindab 2014, 10.) .	44

Kuvio 14. Ilmavirransäätö päätelaitteilla, joissa ei ole moottoriohjausta. (Lindab 2014, 9.).....	44
Kuvio 15. Tulo- ja poistoilmavirran orjaohjaus lämpötila- tai CO <sub>2</sub> -anturilla. (Teknocalor 2008, 10.).....	46
Kuvio 16. Tulo- ja poistoilmavirran rinnakkaisohjaus lämpötila- tai CO <sub>2</sub> -anturilla. (Teknocalor 2008, 10.).....	47
Taulukko 1. Puhaltimen eri säätötapojen säätöalueet. (LVI 30-40008, 7.).....	27
Taulukko 2. RakMK C1 mukaiset LVIS-melun enimmäistasot. (Sandberg 2014b, 61.).....	28
Taulukko 3. Toteutuneet ilmavirrat ja painehäviöt maksimi-ilmavirralla tarkastelutilanteessa 1. ....	54
Taulukko 4. Toteutuneet ilmavirrat ja painehäviöt minimi-ilmavirralla tarkastelutilanteessa 1. ....	54
Taulukko 5. Tulo- ja poistoilmakoneen tehontarve muuttuva- ja vakioainesäädössä maksimi-ilmavirralla. ....	54
Taulukko 6. Tulo- ja poistoilmakoneiden tehontarve muuttuva- ja vakioainesäädössä minimi-ilmavirralla. ....	55
Taulukko 7. Toteutuneet ilmavirrat ja painehäviöt tarkastelutilanteessa 2. ....	55
Taulukko 8. Tulo- ja poistoilmakoneiden tehontarve muuttuva- ja vakioainesäädössä tarkastelutilanteessa 2. ....	56
Taulukko 9. Toteutuneet ilmavirrat ja painehäviöt tarkastelutilanteessa 3. ....	57
Taulukko 10. Tulo- ja poistoilmakoneiden tehontarve muuttuva- ja vakioainesäädössä tarkastelutilanteessa 3. ....	57
Taulukko 11. Toteutuneet ilmavirrat ja painehäviöt tarkastelutilanteessa 4. ....	58

Taulukko 12. Tulo- ja poistoilmakoneiden tehontarve muuttuva- ja vakiopainesäädössä tarkastelutilanteessa 4.....	59
Taulukko 13. Toteutuneet ilmavirrat ja painehäviöt tarkastelutilanteessa 5. ....	59
Taulukko 14. Tulo- ja poistoilmakoneiden tehontarve muuttuva- ja vakiopainesäädössä tarkastelutilanteessa 5.....	60
Taulukko 15. Esimerkkipäivä. ....	62

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>DDC</b>	Direct Digital Control. Suora digitaalinen säätö. Tietokoneella toteutettu säätö.
<b>Dynaaminen paine</b>	Dynamic Pressure, $p_{\text{dyn}}$ (Pa). Virtauksen patopisteessä syntyvä paineen nousu, virtauksen aiheuttama virtauksen suuntainen paine. (Sandberg 2014a, 380.)
<b>Enimmäisäänitaso</b>	A-taajuuspainotettu äänitaso, $L_{A,\text{max}}$ (dB). Tarkasteluajanjaksona esiintynyt voimakkuudeltaan korkein äänitaso määritetyllä aikapainotuksella. A-painotusta käytetään, kun äänitaso on $< 50$ dB. (Halme & Seppänen 2002, 140.)
<b>Heittopituus</b>	Heittopituus on se etäisyys tuloilma-aukosta, jonka kohdalla ilmasuihkun suurin nopeus on laskenut valittuun rajanopeuteen, joka yleensä on 0,2 tai 0,25 m/s. (Seppänen 1996, 155.)
<b>Keskiäänitaso</b>	Ekvivalenttitaso, $L_{A,\text{eq,T}}$ (dB). Jatkuva vakioäänitaso, jonka tehollisarvo on sama kuin vaihtelevan äänitason keskimääräinen tehollisarvo määritetyllä ajanjaksolla. (Halme & Seppänen 2002, 140.)
<b>Kokonaispaine</b>	Total Pressure, $p_{\text{kok}}$ (Pa). Staattisen paineen ja dynaamisen paineen summa. (Sandberg 2014a, 386.)
<b>Paineesta riippumaton ohjaus</b>	Ohjaus edellyttää ilmavirran mittausta virtaussäätimellä.
<b>Paineesta riippuva ohjaus</b>	Ohjaus ei edellytä ilmavirran mittausta virtaussäätimellä.
<b>Painehäviö</b>	Pressure loss, pressure drop. Virtauksessa syntyvä kitkan tai kertavastuksien aiheuttama energiahäviö. (Sandberg 2014a, 390.)

- Sekoittava ilmanjako** Ilmanjakomenetelmä, jossa ilma puhalletaan suurella alkunopeudella ja sillä pyritään hallitsemaan huonevirtauksia. (Sandberg 2014a, 394.)
- SFP-luku** Specific Fan Power of Fan. Puhaltimen ominaissähköteho on puhaltimen, mahdollisen taajuusmuuttajan ja muun tehonsäätölaitteen yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho jaettuna puhaltimen mitoitustilavuudella. Voidaan täsmentää alaindeksillä  $SFP_{FAN}$ . (Sandberg 2014a, 392.)
- Staattinen paine** Static Pressure,  $p_{st}$  (Pa). Ali- tai ylipaine ympäristöön nähden, kun virtaus on kanavan suuntainen. Se vaikuttaa kanavassa joka suuntaan. (Sandberg 2014a, 394.)
- Syrjäyttävä ilmanjako** Ilmanjakomenetelmä, jossa tuodaan tuloilmaa huonetilassa nostevoimien vaikutuksesta syntyvien konvektiovirtausten korvausilmaksi, jotta takaisinvirtausta oleskeluvyöhykkeelle ei tapahtuisi. Ilmanjakomenetelmällä toteutetaan yleisesti kerrostumastrategiaa. (Sandberg 2014a, 395.)
- Taajuuskaista** Oktaavikaista. Ilmastointitekniikassa käytetään yleensä 8 oktaavikaistaa: 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz ja 8000 Hz. (Sandberg 2014b, 58.)

# 1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on käsitellä ilmanvaihtoa ja ennen kaikkea sen ohjaamista niin, että rakennuksen huonetiloille asetetut sisäilmaolosuhteet voidaan saavuttaa. Merkittävimmät sisäilmaolosuhteiden toteutuksen tavoitteet ja samalla myös haasteet ovat

- rakennusmääräysten mukainen terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto
- lopputoteutuksen on oltava mahdollisimman huomaamaton ja hiljainen
- järjestelmän energiatehokkuus.

Edellä mainittujen tavoitteiden saavuttaminen ei kuitenkaan ole itsestäänselvyys. Koska suurin osa rakennuksen käyttämästä energiasta kuluu hyvien sisäolosuhteiden ylläpitämiseen, on ilmanvaihdon optimoinnissa tärkeää, että määräyksissä sovitut energiankulutuksen sekä sisäolosuhteiden tavoitteet saavutetaan mahdollisimman pienellä energiamäärällä. Näihin asioihin törmätään LVI-suunnittelutyössä, jossa yllä lueteltujen tavoitteiden lisäksi tulee huomioida myös kustannustehokkuus.

## 1.1 Työn tavoitteet

Suunnittelemalla nykyisten ohjearvojen mukaan voidaan varmistaa ilmavirran riittävyys, ja tarpeenmukaisella ohjauksella on mahdollista päästä tehokkaaseen energiankäyttöön kuitenkin tinkimättä rakennuksen sisäilman laadusta. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää ilmanvaihdon ohjausperusteiden määrittämiseksi niin ohjeistusta, suunnittelua että toteutusta, jotta edellä esitettyihin päämäärätavoitteisiin voitaisiin mahdollisimman optimaalisesti päästä.

## 1.2 Työn toteutus tavoitteiden saavuttamiseksi

Työlle asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi on ensin tunnettava ilmanvaihdon ja sen ohjaamiseen liittyvät perusasiat, jotka on kerrottu luvuissa 2. ILMANVAIHDO ja 3. ILMAJÄRJESTELMÄT JA ILMANVAIHDON OHJAUS. Nämä asettavat raamit toteutukselle. Tämä tarkoittaa sitä, että on kyettävä tunnistamaan nykytekniikan tuomat mahdollisuudet, mutta toisaalta tunnistettava myös erilaiset rajoitteet ja ongelmatilanteet ilmanvaihtojärjestelmän ohjaustapaa valittaessa.

Ilmanvaihdon ohjauksen ja säädön vaikutuksia tulisi päästä tutkimaan erilaisissa käyttötilanteissa. Tämän johdosta on ollut tarpeen määritellä mahdollisimman todennukainen mallikohde, johon esimerkkijärjestelmä laaditaan (Luku 4. MALLIKOHTTEEN IV-JÄRJESTELMÄN KUVAUS). Ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa sekä toimivuutta pitää pystyä tutkimaan ainakin teoreettisella tasolla niin, että erilaisilla laitekoonpanoilla ja ohjausparametreilla voidaan nähdä millainen vaikutus milläkin toiminnoilla on järjestelmän toimivuuteen. Näin päästään hakemaan ilmanvaihdon ohjaukselle optimaalisinta toteutusta. Optimoinnin ja mallikohteen ilmanvaihtojärjestelmän kehittämiseen on käytetty työkaluna Kyndata Oy:n LVI-CADS-ohjelmistoa.



## 2 ILMANVAIHTO

Ilmanvaihdon tarkoituksena on ylläpitää ilman laatua vaihtamalla ilmaa ja poistamalla syntyviä epäpuhtauksia. Riittäväällä yleisilmanvaihdolla voidaan varmistaa, että esimerkiksi hiilidioksidin ja vesihöyryn pitoisuudet ilmassa pysyvät terveellisellä tasolla niin ihmiselle kuin rakennukselle. Edellä mainitun vuoksi ilmanvaihdon on toimittava, jotta ilman epäpuhtauspitoisuudet eivät nouse liian korkeiksi, eivätkä epäpuhtaudet pääse varastoitumaan esimerkiksi tilojen pintamateriaaleihin. Toimivalla ilmanvaihdolla on siis suuri vaikutus sisäilman laatuun. Riittäväällä ilmanvaihdolla voidaan myös vaikuttaa rakennuksen energiatalouteen, sillä esimerkiksi hallitsemattoman vuotoilmanvaihdon lämmitykseen kuluva energia ei ole mahdollista saada talteen, vaikka käytössä olisikin ilmanvaihdon lämmöntalteenotto. (Sisäilmayhdistys, [Viitattu 18.1.2016].)

Sisäilmastolla viitataan ihmisen terveyteen ja viihtyvyyteen rakennuksessa vaikuttavia fysikaalisia, kemiallisia tai mikrobiologisia tekijöitä. Nämä mainitut tekijät jaotellaan normaalisti lämpöoloihin ja sisäilmanlaatuun. (Sandberg 2014a, 37.) Rakennusmateriaalien päästöjen M1-luokituksella on onnistuttu vähentämään rakennus- ja sisustusmateriaalien epäpuhtauspäästöjä sisäilmaan. Kuitenkin merkittävä osa epäpuhtauksista on lähtöisin ulkoilmasta, ihmisestä tai tilan käyttöön kiinteästi liittyvästä toiminnasta, minkä vuoksi epäpuhtauslähteiden poistaminen ilman ilmanvaihtoa ei ole mahdollista. (Sandberg 2014a, 59.)

Tilakohtaiset ulkoilmavirrat vaihtelevat ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmästä riippuen, ja arvot ulkoilmavirroille määritellään lähtökohtaisesti Rakennusmääräyskokoelman osan D2 (Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto) mukaan (Sandberg 2014a, 99.). RakMK D2:sta pidetään myös minimivaatimuksena ilmavirtojen suhteen (Sandberg 2014a, 106.). Kun sisäilmastoluokitusta on alettu soveltaa kohteissa, myös ulkoilmavirtojen suunnitteluarvot ovat kasvaneet (Sandberg 2014a, 99.).

Suomessa rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin sekä rakennustarviketeollisuuden apuna käytetään omaa luokitusta, Sisäilmastoluokitus 2008, kuten edellä on mainittu. Tämän on tarkoitus antaa sisäilmastolle tavoite- ja suunnitteluarvot. Luokitus sisältää lukuarvot esimerkiksi lämpötiloille ja sisäilman epäpuh-

tauspitoisuuksille, ja sen tavoitearvot (minimi-arvot) on pyritty asettamaan siten, että luokka S3 täyttää maankäyttö- ja rakennuslain sekä terveydensuojelulain vaatimukset. Sisäilmaston laatua koskevat vaatimukset jaetaan kolmeen luokkaan: S1, S2 ja S3. Ensimmäinen ja paras luokka on S1, joka tarjoaa edellytykset hyvinvointiin myös herkimmille ihmisille ja antaa mahdollisuuden sisäilmaston yksilölliseen säätöön sekä valintaan. Seuraava luokka, S2, täyttää viihtyisälle sisäilmalle asetetut vaatimukset hyvin. Kolmas luokka, S3, on puolestaan alin hyväksyttävä taso, joka on lähellä viranomaisten asettamia vaatimuksia ja vastaa nykyistä rakentamisen tasoa. (LVI 05-10440, 3-4.)

Keskeisin rakenteiden kosteudensiirtoon ja ilmanvaihdon toimintaan vaikuttava tekijä on rakennusvaipan tiiveys. Ilmanvaihto on helpoimmin hallittavissa tiiviissä rakennuksessa, kun lähes kaikki ilmanjako ja -poisto tapahtuu ilmanvaihtojärjestelmän kautta. Ilmanvaihdon toiminnan edellytys on puolestaan suunnitelmien mukaan säädetty kanavisto. Kanaviston tasapainotuksella vaikutetaan suoraan siihen, että rakennuksen eri osiin saadaan tasainen ilmavirta ja eri tilojen painesuhteet pysyvät hallitulla tasolla. Näin oikein toteutetulla ilmanvaihdon säädöllä ja tasapainotuksella voidaan välttää tarpeetonta energiantuhlausta. Myös ilmanvaihtokanaviston puhtaudesta tulee huolehtia, sillä ilmavirrat muuttuvat kanaviston likaantuessa. Suodattimien kunto on siis hyvä tarkastaa säännöllisin väliajoin. (Sisäilmayhdistys, [Viitattu 18.1.2016].)

## **2.1 Rakennuksen painesuhteet**

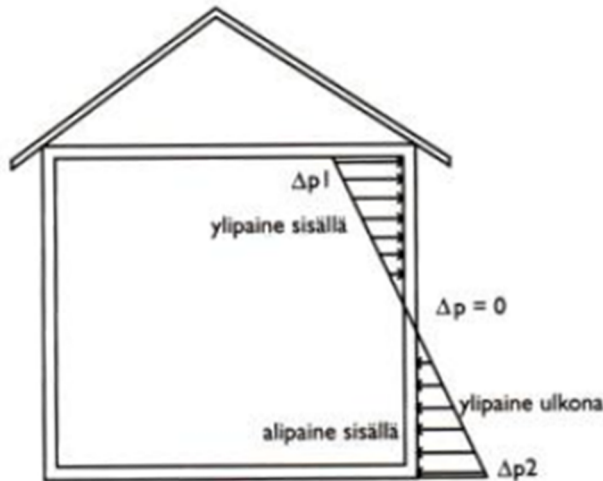
Rakennuksen painesuhteet ja rakenteiden ilmatiiveys vaikuttavat ilmavirtauksiin rakennuksissa. Ilma virtaa aina korkeammasta paineesta matalamman paineen suuntaan. Ilmavirtaukset kuljettavat mukanaan vesihöyryä sekä erilaisia ilman epäpuhtauksia. Ilmanvaihdon vaikutus rakennuksen painesuhteisiin onkin täysin riippuvainen ilmanvaihtojärjestelmästä sekä järjestelmän kunnosta ja säädöistä. (Sisäilmayhdistys 2008, [Viitattu 7.4.2016].) Ilmanpaineen vaihteluiden aiheuttama muutos ilmavirtoihin ja kanavapaineisiin tulee ottaa huomioon suunnittelussa (Sandberg 2014a, 107).

Rakennuksen painesuhteisiin vaikuttavaa kolme tekijää:

1. ilmanvaihto
2. ilman lämpötilaerot (savupiippuvaikutus)
3. tuuli.

Epäpuhtauksien kulkeutumisen kannalta ongelmallisin tilanne muodostuu silloin, kun ilmanvaihtoratkaisuna on koneellinen poistoilmanvaihto ja korvausilman saannista ei ole huolehdittu kunnolla. Tämän seurauksena suuri osa korvausilmasta voi tulla suoraan rakenteiden läpi, mikä puolestaan johtaa tilanteeseen, jossa ilman epäpuhtaudet voivat sitoutua rakenteisiin. Epäpuhtaudet siirtyvät rakenteista edelleen sisäilmaan, jos esimerkiksi rakennuksen seinärakenne vuotaa tasaisesti. Maaperästä saattaa myös kulkeutua mikrobiperäistä hajua ilmavirtauksien mukana rakennukseen. (Sisäilmayhdistys 2008, [Viitattu 7.4.2016].)

Ilman lämpötilaerot vaikuttavat myös rakennuksen painesuhteisiin. Rakennuksen alaosaan muodostuu alipaine ja yläosaan ylipaine, kun lämpötilaero sisä- ja ulkoilman välillä on suuri. Tällöin alapohjarakenteiden kautta voi syntyä ilmavirtauksia huonetiloihin ja yläpohjarakenteiden kautta huonetiloista ulospäin. Tästä ilmiöstä käytetään nimitystä savupiippuvaikutus. (Sisäilmayhdistys 2008, [Viitattu 7.4.2016].) Kuviossa 1. on havainnollistettu, kuinka lämpötilaerojen aiheuttama painejakauma kohdistuu rakennukseen. 0-pisteen ( $\Delta p$ ) sijainti kuviossa riippuu kuitenkin ilmavuotokohtien sijoittumisesta rakennuksessa.



Kuvio 1. Lämpötilaeroista aiheutuva rakennukseen kohdistuva painejakauma. (Sisäilmäyhdistys 2008, [Viitattu 7.4.2016].)

Tuulen vaikutus rakennuksen painesuhteisiin on usein satunnaista johtuen tuulen luonteesta. Esimerkiksi mahdolliset hajuongelmat voivat olla hetkellisiä, riippuen tuulen suunnasta ja voimakkuudesta. Etenkin korkeiden rakennusten suunnittelussa tuulen vaikutus on otettava huomioon. (Sisäilmäyhdistys 2008, [Viitattu 7.4.2016].) Vaikka tuulen vaikutus painesuhteisiin on verrattain suuri, on sitä vaikea huomioida mitoituksessa (Sandberg 2014a, 107).

Painesuhteiden lisäksi rakennuksessa tapahtuviin ilmavirtauksiin vaikuttaa olennaisesti myös rakenteiden ilmatiiveys. Rakennuksessa/rakenteissa täytyy olla virtausreittejä ilman virtaukselle, jotta ilmavirtauksia on mahdollista tapahtua. Tyypillisimpiä virtausreittejä ovat rakenteiden saumat, halkeamat, läpiviennit sekä tarkastus- ja kulkuluukut. Rakennuksessa olevat LVIS-asennuskuilut ja putkikanaalit voivat edellä mainittujen lisäksi toimia myös ilman kulkureitteinä. (Sisäilmäyhdistys 2008, [Viitattu 7.4.2016].)

## 2.2 Ilmanvaihtojärjestelmät

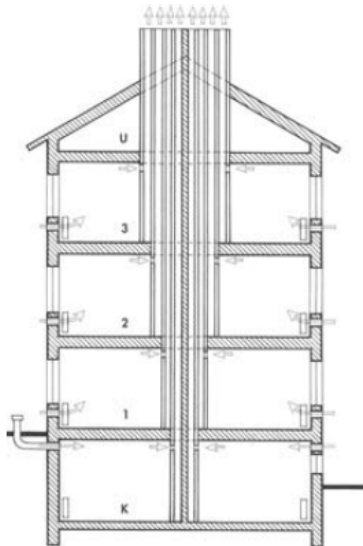
Ilmanvaihdon toiminta perustuu siis paine-eroihin, jonka seurauksena ilma virtaa suuremmasta paineesta pienempään eli ylipaineesta alipaineeseen. Vaadittu paine-ero voidaan tuottaa puhaltimen avulla (koneellinen ilmanvaihto) tai lämpötila-

eron ja tuulen yhteisvaikutuksella (painovoimainen ilmanvaihto). Kun tuloilma puhalletaan tilaan koneellisesti, puhutaan tulo- ja poistoilmanvaihdosta, muutoin vain poistoilmanvaihdosta. Ilmastoinnista puhutaan vasta, kun järjestelmään sisältyy myös ilman lämpöolosuhteiden ja kosteuden hallintaa. (Sisäilmayhdistys, [Viitattu 18.1.2016].)

### **2.2.1 Painovoimainen ilmanvaihto**

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän (kutsutaan toisinaan luonnolliseksi ilmanvaihdoksi) toiminta perustuu korkeus- ja lämpötilaerojen ja tuulen aiheuttamiin paine-eroihin (LVI 03-10378, 2). Ilma siirtyy tiloista ulos painovoiman avulla, mikä tarkoittaa, että ilman liike syntyy sisä- ja ulkoilman lämpötilaerojen aiheuttamasta tiheyserosta sekä ilmareitin korkeuserosta (Sandberg 2014a, 114). Tuulen vaikutuksella on myös suuri merkitys ilmanvaihdon toimintaan, sillä tuulen paine joko lisää tai vähentää ilmanvaihdon ilmavirtaa (LVI 39-10283, 4). Painovoimaisella ilmanvaihtojärjestelmällä ei ole mahdollista saavuttaa sisäilmastoluokkaa S3 kaikissa olosuhteissa (LVI 03-10378, 3).

Asuinrakennukseen ulkoilma (korvausilma) virtaa epäpuhtauksineen ulkoseinissä tai ikkunoissa olevista ulkoilmaventtiileistä tai ikkunapuitteiden ja muiden rakenteiden epätiiviyyskohdista (LVI 39-10283, 4). Ilmareitteihin voidaan näin ollen vaikuttaa jonkin verran, jos tilat on varustettu ulkoilmaventtiileillä. Myös keittiön liesituulettimeilla voidaan tehostaa ilmanvaihtoa ruoanlaiton ajaksi. Makuu- ja olohuoneiden ilmanvaihto perustuu ilmavuotojen lisäksi ikkunatuuletukseen. Tämä vaatii käyttäjältä jatkuvaa aktiivisuutta hyvän ilmanvaihdon ja viihtyvyyden aikaansaamiseksi. On kuitenkin hyvä huomioida, että ikkunatuuletuksella ei voida korvata erillistä ulkoilmareittiä. (Sandberg 2014a, 114.) Jokaiseen huonetilaan siis johdetaan ulkoilmaa oman erillisen ulkoilmareitin kautta, pois lukien wc-tilat. Keittiö- ja märkätiloilla on oma kanavansa/horminsa, joka on johdettu vesikatolle. (LVI 03-10378, 3.) Alla oleva kuvio (Kuvio 2.) havainnollistaa painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän toimintaperiaatetta.



Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä

Kuvio 2. Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä. (LVI 03-10378, 3.)

Matalia ja korkeita rakennuksia verrattaessa painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä toimii selkeästi paremmin kerrostaloissa, mikä johtuu suuremmasta korkeuserosta. Haittapuolena vanhoissa kerrostaloissa on juuri ulkovaipan ja porraskäytävän oven tiiviys, jolloin ilman epäpuhtaudet kulkeutuvat helposti ilmavirtojen mukana asuintiloihin. Tuulen vaikutus vain lisää vuotoja huoneistosta toiseen. Järjestelmää on mahdollista tehostaa asentamalla hormien yläpäähän poistoilmapuhallin. Näin saadaan aikaan koneellinen poistoilmajärjestelmä erilliskanavatoteutuksella. (Sandberg 2014a, 120-121.)

## 2.2.2 Koneellinen ilmanvaihto

Koneellisella ilmanvaihdolla tarkoitetaan puhaltimen tai muun mekaanisen laitteen avulla aikaansaattua ilmanvaihtoa. Koneellinen ilmanvaihto voidaan jakaa kahteen yleisesti käytössä olevaan järjestelmään:

1. *Koneellisessa poistoilmajärjestelmässä* likainen sisäilma poistetaan rakennuksesta koneellisesti puhaltimen avulla. Korvausilma saadaan rakennukseen ulkoilmalaitteiden välityksellä sekä rakenteiden ilmavuotoina. (LVI 03-10378, 3.) Oviraot tai siirtoilma-aukot huoneiden välillä ovat oleellinen osa

järjestelmää, sillä ilma siirtyy niiden kautta muista tiloista poistokohteiden tiloihin. Talviaikana kylmä ilma tulee lämmittämättömänä sisätiloihin korvausilmaventtiilin kautta, jolloin vedon vaikutukselta ei voida välttyä. (Sandberg 2014a, 115-116.)

2. *Koneellisessa tulo- ja poistoilmajärjestelmässä* puolestaan yleensä likainen sisäilma poistetaan rakennuksesta koneellisesti, tuloilma lämmitetään poistoilmasta talteenotetulla lämpöenergialla tai muulla lisäenergialla ja tuodaan rakennukseen suodatettuna (LVI 39-10283, 5).

**Erillis- ja yhteiskanavatoteutus poistoilmajärjestelmässä.** Poistoilmanvaihtojärjestelmä toimii kerrostaloissa yleensä aikaohjauksella. Ilmanvaihtoa tehostetaan aamu- ja iltapäivällä, muutoin puhallin toimii pienemmällä nopeudella. (LVI 39-10283, 5.) Järjestelmässä yksi tai useampi huippuimuri sijoitetaan vesikatolle tai vaihtoehtoisesti yksi tai useampi puhallin ullakolle konehuoneeseen (LVI 03-10378, 3). Poistopuhaltimella, joka on yhteinen useammalle asunnolle, saadaan aikaan ilmanvaihto. Erilliskanavajärjestelmässä jokaisella asunnolla on oma kanava lähellä puhallinta, kun taas yhteiskanavajärjestelmässä päällekkäisillä asuinnoilla on yhteinen pystykanava. (LVI 39-10283, 5.) Keittiöiden poistokanavat asennetaan kuitenkin aina omina erilliskanavina ylhäällä olevaan kokoojakanavaan asti (Sandberg 2014a, 121). Kuviossa 3. on esitetty edellä mainitut variaatiot koneellisen poistoilmajärjestelmän toteutuksesta rakennuksessa.

Puhaltimet ovat olleet tyypillisesti 2-kierrosnopeuksisia eli pienemmällä kierrosnopeudella tuotetaan pienempi ilmavirta, joka on noin 2/3 suuremmasta. Kello-ohjaus on toteutettu siten, että oletettuina suuremman ilmanvaihdon tarpeen aikoina on käytössä suurempi ilmavirta ja muuna aikana vastaavasti pienempi ilmavirta. Käytännössä ilmanvaihdon tarve ja toteutus osuvat harvoin samaan aikaan. Järjestelmää onkin monessa kohteessa pyritty parantamaan asentamalla pesutilaan ja keittiöön ajastimella toimivat poistoilmaventtiilit, joiden avulla ilmavirtaa pystytään tehostamaan. Myös puhallin voidaan vaihtaa jatkuvasääteiseksi siten, että puhaltimen kammiossa ylläpidetään vakioalipainetta. Kyseisillä muutoksilla saavutetaan ainakin osittain tarpeenmukainen säätö. (Sandberg 2014a, 121-122.)

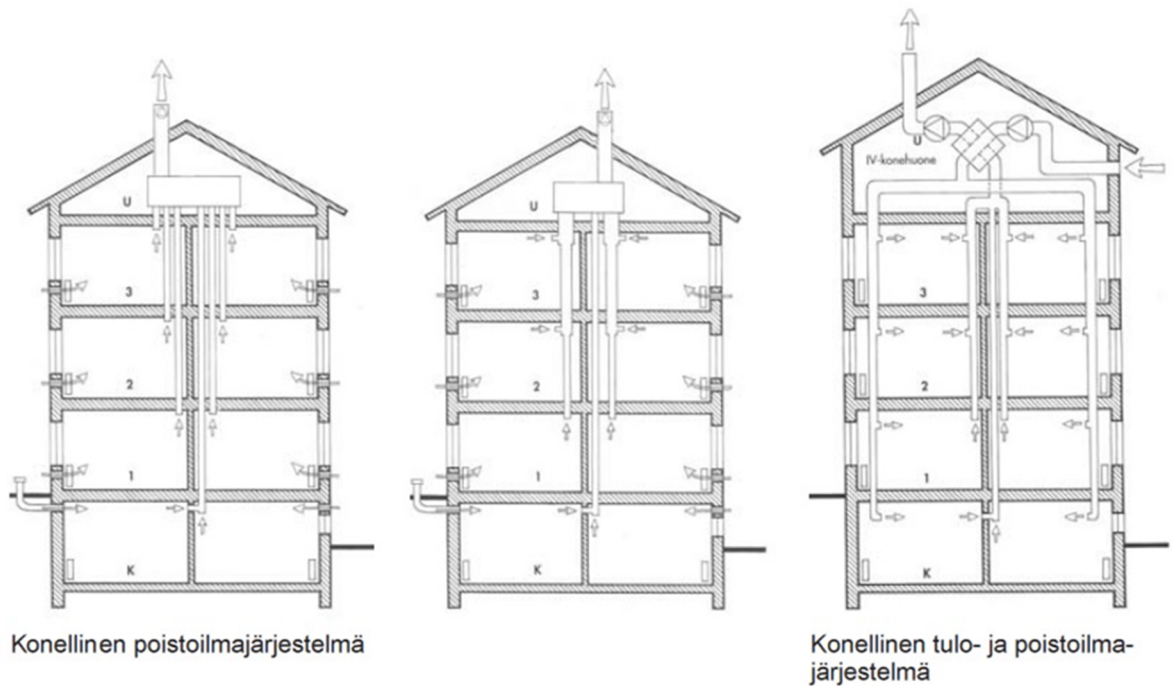
**Keskitetty ja hajautettu tulo- ja poistoilmajärjestelmä.** Keskitettyssä tulo- ja poistoilmajärjestelmässä ilmanvaihto toteutetaan keskitetysti konehuoneeseen sijoitetuilla ilmanvaihtokoneilla Kuvion 3. mukaisesti (LVI 03-10378, 3). Ilmanvaihtokone, joka palvelee useita huoneistoja, on yleensä aikaohjattu. Ilmanvaihto toimii suuremmalla nopeudella muutaman tunnin aamu- ja iltapäivällä ja muutoin pienemmällä nopeudella. Huoneistokohtaisesti ilmavirtaa saadaan tehostettua avaamalla liesikuvun säätöpelti tai poistoilmaventtiili (LVI 39-10283, 5.). Uudemmissa rakennuksissa on kuitenkin alettu käyttää asuntokohtaisia ilmanvaihtokoneita, jolloin puhutaan hajautetusta järjestelmästä (LVI 03-10378, 3). Huoneistokohtaisessa ilmanvaihdossa käyttäjällä on valittavissa 2-5 tehovaihtoehtoa, joista keskimääräinen on tavallisesti mitoitettu asunnon vähimmäisilmavirtasuositusten mukaiseksi (LVI 39-10283, 5).

Keskitetyn ja hajautetun järjestelmän erot muodostuvat muun muassa laitteen käytön hallinnasta, huollosta ja sähkö- ja lämmityskustannusten kohdistumisesta joko asukkaalle tai taloyhtiölle. Energiakustannuksiltaan eroja ei juuri järjestelmien välillä ole, sillä ne riippuvat enemmänkin laitevalinnoista sekä kanavien ja laitteiden mitoituksesta. (Sandberg 2014a, 123.)

Hajautetussa järjestelmässä huoneistokohtainen ilmanvaihto toteutetaan samoin kuin pientaloissa. Ulkoilma otetaan huoneiston ulkoseinältä ja poistoilma puolestaan johdetaan tavallisesti huoneistokohtaisesti erilliskanavina vesikatolle. (Sandberg 2014a, 125.) Jäteilma on myös mahdollista johtaa ulos rakennuksen ulkoseinään asennettavan jäteilmalaitteen kautta, mutta tälle on asetettu tietyt edellytykset rakennusmääräyskokoelman osassa D2. Keskitetty järjestelmä voidaan puolestaan toteuttaa kahdella vaihtoehtoisella tavalla:

1. Keskitetysti yhteisellä säädöllä, mikä tarkoittaa, että huoneistossa ei ole ilmavirran säätömahdollisuutta. Tällöin käytetään yhteiskanavia koneellisen poistoilmajärjestelmän mukaisesti. (Sandberg 2014a, 123.)
2. Huoneistokohtaisella tarpeenmukaisella säädöllä, jolloin esimerkiksi liesikuvulta ohjataan huoneistossa olevia tulo- ja poistopuolen ilmavirtasäätimiä. Puhaltimen ilmavirtaa ohjataan kanavapaineen mukaan. (Sandberg 2014a, 123.)





Kuvio 3. Koneellinen ilmanvaihto. Poistoilmajärjestelmän erillis- (vasemmalla) ja yhteiskanavatoteutus (keskellä) sekä keskitetty tulo- ja poistoilmajärjestelmä (oikealla). (LVI 03-10378, 3.)

### 2.3 Puhaltimet

Ilmankäsittelyjärjestelmän niin sanottu sydän on puhallin: ilman puhallinta ilma ei liiku kanavissa eikä näin ollen huoneissakaan. Tärkeimmät osat puhaltimessa ovat siipipyörä (puhallinpyörä) ja moottori, joka toimii yleisimmin sähköllä. Siipipyörän läpi virtaavan ilman kokonaispaineen kasvattamiseen tarvitaan puhallinta. (Sandberg 2014a, 174.)

Kokonaispaine muodostuu staattisen paineen ja dynaamisen paineen summasta. Dynaamisen paineen osuutta pyritään vähentämään, sillä se aiheuttaa ääntä ja häviöitä ennen kuin osa siitä muuttuu staattiseksi paineeksi. Tästä johtuen puhaltimet on suunniteltu niin, että dynaaminen paine koetetaan muuttua staattiseksi paineeksi siipipyörän ulkoreunan lähellä ja puhaltimen kaavussa. (Sandberg 2014a, 174.)

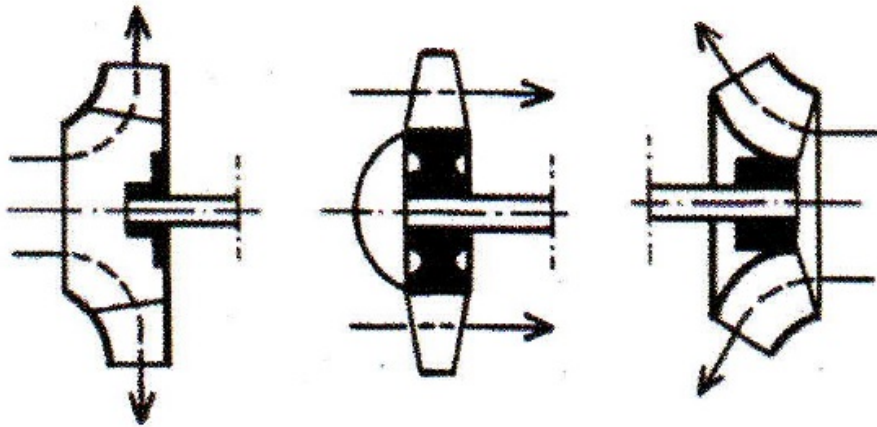
Karkeana käyttöalueen jakona puhaltimille voidaan pitää seuraavaa ajatusta: kun tarvitaan korkeaa paineen tuottoa, käytetään radiaalipuhaltimia ja aksiaalipuhalti-

mia, kun tarvitaan pientä paineen tuottoa ja paljon ilmavirtaa. Tärkeimmät kriteerit puhallinta valittaessa ovatkin käyttökohteen olosuhteet, tarvittava ilmavirta, paineenkorotus, hyötysuhde sekä säädettävyys. Ilmanvaihtolaitoksissa puhaltimen paineenkorotustarpeen ohjaava tekijä on kuitenkin SFP-luku. (Sandberg 2014b, 148.)

### 2.3.1 Puhallinosa

Ilmanvaihtolaitoksissa käytetään perinteisesti kolmea eri puhallintyyppiä (Kuvio 4.):

1. *Radiaalipuhallin (keskipakoispuhallin)*, kaavulla tai ilman, on näistä kolmesta puhallintyyppistä selvästi yleisin ilmankäsittelykoneissa. Siinä ilma otetaan puhaltimeen siipipyörän akselin suuntaisesti, mutta ilma lähtee puhaltimesta kuitenkin akselia kohtisuorassa olevaan suuntaan. Kaavullisen radiaalipuhaltimen ja kammio puhaltimen erona on, että kaavullisesta mallista ilma lähtee vain yhteen suuntaan ja kammio puhaltimesta joka puolelle. (Sandberg 2014b, 148.)
2. *Aksiaalipuhallin* on eniten käytössä yksittäisenä puhaltimena. Siinä ilma virtaa puhaltimen läpi sen siipipyörän akselin suuntaisesti. (Sandberg 2014b, 148.)
3. *Puoliaksiaalipuhallin (sekavirtauspuhallin)* on edellä mainittujen niin sanottu välimuoto, jossa ilma lähtee siipipyörästä vinosti akseliin nähden. Tämän tyyppisiä puhaltimia on vähiten käytössä. (Sandberg 2014b, 148.)



Kuvio 4. Ilmavirtauksen kulkusuunta eri puhaltimissa. Puhaltimet vasemmalta oikealle: radiaali-, aksiaali- ja puoliaksaalipuhallin. (Sandberg 2014b, 148.)

Siipipyörän muodolla voidaan vaikuttaa suoraan puhaltimen paineeseen ja äänen tuottoon sekä hyötysuhteeseen (Sandberg 2014b, 148). Hyötysuhteella tarkoitetaan sitä, kuinka hyvin moottori kykenee muuttamaan sähköenergiaa mekaaniseksi työksi moottorin akselille (Sandberg 2014a, 175). Siipien muodolla pyritään myös saamaan puhaltimen toiminta-arvot huippuunsa. Aerodynaamisesti muotoillut, taaksepäin kaartuvat siivet tuottavat parhaimman hyötysuhteen ja staattisen paineen korotuksen. Siipipyöriä pyöritetään normaalisti sähkömoottorilla. (Sandberg 2014b, 148-149.)

Puhaltimet voivat olla kytketty moottoriin voimansiirtojärjestelmän välityksellä tai ne voivat olla suoraikäyttöisiä. Kammio- ja aksiaalipuhaltimilla suora käyttö on tavomainen järjestely ja tällä vältytään voimansiirron kitkahäviöiltä, hihnojen pölyltä ja voimansiirron huollolta. Haittana on kuitenkin puhaltimen pyörimisnopeus, joka on sama kuin moottorin pyörimisnopeus. Radiaalipuhaltimissa ei ole säädettäviä siipiä, toisin kuin aksiaalipuhaltimissa, joten toimintapiste on haettava moottorin pyörimisnopeutta säätämällä. Puhaltimen voimansiirtojärjestelmä voi olla myös hihnakäyttöinen, joka mahdollistaa puhaltimen pyörimisnopeuden vapaan valinnan, vaikka moottori pyörii 50 Hz synkroninopeudella. Nykyisin moottorin pyörimisnopeutta säädetään taajuusmuuttajilla. (Sandberg 2014b, 151.)

Puhaltimen haluttu ilmavirta asetetaan kohdalleen puhaltimen pyörimisnopeutta muuttamalla. Tämä tapahtuu joko säätämällä pyörimisnopeutta taajuusmuuttajalla tai valitsemalla hihnakäytön välityssuhde sopivaksi. Taajuusmuuttajakäyttö mah-

dollistaa käytännössä portaattoman säädön. Hihnapyörällä ei kuitenkaan voida saavuttaa kovin hienoportaista säätöä, sillä pyörän halkaisija muuttuu vain noin 6 % portain. (Sandberg 2014a, 174.) Hihnapyöräsäätö ei myöskään mahdollista käytönaikaisia ilmavirran muutoksia eli säätönä on vain on/off.

### 2.3.2 Puhallinmoottorit ja taajuusmuuttajat

Puhallinmoottoreina käytetään pääosin kolmea eri moottorityyppiä:

1. *3-vaiheinen oikosulkumoottori* on niin kutsuttu perinteinen IEC-moottorirunkoinen sähkömoottori, joka voidaan kytkeä 3 x 400 V:n verkkoon suoraan tai taajuusmuuttajan kautta. 50 Hz:n sähköverkossa moottorin pyörimisnopeuksia ovat esimerkiksi 750, 1000, 1500 ja 3000 rpm. Jos halutaan käyttää muita nopeuksia, on käytettävä moottoriin soveltuvaa pyörimisnopeussäätöä. (Sandberg 2014a, 175.)
2. *EC-moottori (Electronically Commuted)* on elektronisesti kommutoitu, harjaton, kestopagneeteilla varustettu tasavirtamoottori. Kommutointi tarkoittaa, että virran suuntaa staattorissa suhteessa roottoriin ohjataan Hall-antureilla. Moottorin pyörimisnopeutta voidaan säätää hyvin tehokkaasti elektronisessa kommutoinnissa. Moottorin pyörimisnopeus riippuu moottorin magneetikentän vaihtelun nopeudesta. (Sandberg 2014a, 175.) Moottorin kierrosnopeutta on mahdollista säätää jännitesäädöllä, jota on käytetty pienten puhaltimien säädössä ja yleisimmin taajuusmuuttajalla (Sandberg 2014a, 316).
3. *PM-moottori (Permanent Magnet Motor)* on kestopagneeteilla varustettu moottori. Moottorilla on samanlainen mekaaninen rakenne kuin 3-vaiheisessa oikosulkumoottorissa ja se sopii tämän vuoksi hyvin puhallinkäyttöön. PM-moottori on käytännöllinen valinta, sillä se on rakenteellisesti yhtäläinen IEC-moottorin kanssa ja kytkentä normaali 3-vaiheverkkoon tapahtuu taajuusmuuttajan välityksellä. (Sandberg 2014a, 175.)

Ilmavirtaa säädetään käytännössä aina taajuusmuuttajaa käyttäen, jos ilmanvaihtolaitoksessa on vaihteleva ilmavirta (Sandberg 2014a, 174). Taajuusmuuttajakäy-

tössä on huomioitava kuitenkin se, ettei puhallinpyörän maksimipyörimisnopeus vahingossa ylitä (Fläkt Woods 2015, 10). Ilmavirran muuttuessa kanavistossa, muuttuu luonnollisesti myös painehäviö. Tämän vuoksi kanavistoon täytyy sijoittaa virtaussäätimiä, joilla voidaan säätää kanaviston painehäviöitä. (Sandberg 2014a, 174.)

### 2.3.3 Säätö, rajoitteet ja hyötysuhteet

Perinteisellä oikosulkumoottorilla on suhteellisen korkea hyötysuhde, joka kuitenkin kärsii pienillä tehoilla (Sandberg 2014a, 175). EC-moottorin etuna oikosulkumoottoriin nähden on parempi hyötysuhde ja näin ollen pienempi lämpötilannousu. Esimerkiksi moottorin käydessä osateholla, on sen hyötysuhde selvästi korkeampi, kuin taajuusmuuttajakäyttöisellä oikosulkumoottorilla. (RIL 259-2012, 107.) EC-moottori soveltuukin parhaiten pienille moottoritehoille, joilla hyötysuhteen paranus on suurin, ja moottorityypin tavanomaiset käyttökohteet ovat asuntoilmanvaihtolaitteet (Sandberg 2014a, 175). Etenkin pienissä puhaltimissa suositaan EC-moottoreita (RIL 259-2012, 107).

EC-moottoreilla on laaja pyörimisnopeusalue, joten ne soveltuvat hyvin suoraan käyttöisiin puhaltimiin. Moottori vaatii kuitenkin aina pyörimisnopeuden säätöyksikön (joka on integroituna moottoriin), eikä sitä voida kytkeä suoraan sähköverkkoon. (Sandberg 2014a, 175.) EC-moottorikäytössä ei siis tarvita taajuusmuuttajaa, vaan moottorin syöttöjohto ja pyörimisnopeutta säätävä johto voidaan viedä suoraan moottorille (Sandberg 2014a, 317).

PM-moottorin hyötysuhde on huomattavasti oikosulkumoottoria korkeampi ja ero on suurin etenkin pienillä moottoritehoilla. Moottoria ei voi käyttää suoraan sähköverkkoon kytkettynä, vaan se vaatii aina pyörimisnopeudensäätimen. (Sandberg 2014a, 175.) Tämä tarkoittaa, että moottoria voidaan käyttää vain taajuusmuuttajasyötöllä. Taajuusmuuttajan täytyy silti olla erityisesti kyseenomaiseen moottorikäyttöön suunniteltu, koska kaikki taajuusmuuttajat eivät sovellu kestopagneetti-moottorikäyttöön. (Sandberg 2014a, 317.)

Energiatehokkuus on myös parantunut PM- ja EC-moottoriteknologian myötä. Hyvälle kokonaisyötysuhdealueelle (verkosta otettu teho) päästäkseen tulee kiinnittää huomiota moottorin napaluvun valintaan. Puhallin, moottori ja taajuusmuuttaja voidaan valita parhaan SFP-luvun perusteella, jos laitos käy aina samassa toimipisteessä. Koska jokaisella moottorin ja taajuusmuuttajan parilla on oma yksilöllinen suoritusarvonsa, on mitoituksessa hyvä käyttää optimaalisinta aluetta, joka tämänhetkisillä laitteilla on 45 - 75 Hz. Nykyisten taajuusmuuttajien hyötysuhteet ovat optimissaan 97 prosentissa. (Sandberg 2014b, 173.) Ja puhaltimen hyötysuhteen täytyy vuorostaan olla yli 55 % sen koko toiminta-alueella (RIL 259-2012, 106).

Kun käytetään tavallista oikosulkumoottoria ja taajuusmuuttajaa, saavutetaan 65 Hz:n taajuudella paras hyötysuhde (Sandberg 2014b, 173). Etenkin muuttuvan ilmavirran järjestelmissä mitoituspisteen pyörimisnopeus olisi tarkoituksenmukaisinta saavuttaa yli 60 Hz:ssä, sillä puhallin pyörii suurimman osan ajasta vain noin 40...50 % teholla. Esimerkiksi, jos suorakäyttöisen puhaltimen moottori mitoitetaan käymään mitoituspisteessä 50 Hz:llä, on muuttuvailmavirtajärjestelmien käyttötaajuus 20...30 Hz tavanomaisimmassa kuormitustilanteessa. Sähköinen kokonaisyötysuhde (taajuusmuuttaja + sähkömoottori) kyseenomaisessa tilanteessa on tällöin 65...85 % luokkaa. (Fläkt Woods 2015, 10.)

Puhaltimen kokonaisyötysuhde (taajuusmuuttaja + sähkömoottori + puhallin) pienenee ilmavirran pienentyessä, minkä seurauksena pyörimisnopeussäädössä hyötysuhde ilmavirran säätöalueen alarajalla saattaa heikentyä niin, että puhaltimen moottori alkaa kumentua (LVI 30-40008, 7). Laittevalintaa tehtäessä on siis hyvä muistaa, että tarpeettoman suuren puhaltimen valinta johtaa useasti ylimitoitettuun sähkömoottoriin. Liian pienen puhaltimen valinta puolestaan johtaa liian suureen pyörimisnopeuteen, mikä voi aiheuttaa ongelmia moottorin mekaaniselle kestävyydelle. (RIL 259-2012, 106.) Tämän takia taajuusmuuttajakäytössä tulee tarkastaa moottorin pyörimisnopeus, jolla ilmavirta riittää vielä jäähdyttämään moottoria. Hyvänä minimiarvona voidaan pitää 10 hertsiä. Näiden lisäksi huomiota tulee kiinnittää myös moottorin laakereiden teknisiin rajoitteisiin. Esimerkiksi 2-napainen moottori on suunniteltu pyörivän nopeudella 3000 rpm (50 Hz) ja 3600 rpm (60 Hz). Vaikka moottorin ajamiseen yli 100 Hz:n ei ole esteitä, tulee tällöin varautua

siihen, ettei taajuusmuuttaja toimi ylitaajuuksilla enää parhaalla hyötysuhdealueella. (Sandberg 2014b, 173-174.)

Säätökäyrä vaikuttaa olennaisesti puhaltimen ilmavirran säätöalueeseen, mutta myös puhaltimen toimintapisteen sijoittumisella puhaltimen suoritusdiagrammeihin on merkitystä. Hyvänä lähtökohtana voidaan pitää sitä, että laitoksen eniten käytetty toimintapiste on puhaltimen parhaalla hyötysuhdealueella. (LVI 30-40008, 7.) Tavanomainen säätöalue puhaltimilla on 30...100 prosenttia (RIL 259-2012, 106). Taulukossa 1. on kuvattu puhaltimen yleiset säätöalueet eri säätötavoilla.

Taulukko 1. Puhaltimen eri säätötapojen säätöalueet. (LVI 30-40008, 7.)

Säätötapa	Säätöalue
Johtosiipisäätö	
yksinopeuksinen moottori	40...100 %
kaksinopeuksinen moottori	20...100 %
Pyörimisnopeussäätö	
taajuusmuuttaja	20...100 %

## 2.4 Ilmastoinnin äänitekniikka

Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK) osassa C1 (1998) on esitetty uudisrakennusten ääneneristystä, jälkikaiunta-aikaa sekä LVIS-laitteista sallittavia äänitasoja koskevat määräykset ja ohjeet. Osan C1 ohjearvoja täydennetään sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskevissa ohjeissa RakMK:n osassa D2 (2012) ja sen liitteessä 1. Nämä määräykset ja ohjeet noudattavat Sisäilmastoluokitus 2008 luokan S3 tasoa. (Sandberg 2014b, 61.) Taulukossa 2. on kerrottu rakentamismääräyskokoelman osan C1 mukaiset LVIS-melun keskiäänitasot (ekvivalenttitaso) sekä enimmäisäänitasot (A-painotettu) eri tiloihin. Esimerkiksi RakMK C1:n mukaan kymmenen desibelin ylitys äänitasoissa ilmanvaihdon tehostuksen aikana on sallittavaa, mikäli tilan ilmanvaihtoa on mahdollista tehostaa ohjearvoja (RakMK D2) suuremmaksi.

Taulukko 2. RakMK C1 mukaiset LVIS-melun enimmäistasot. (Sandberg 2014b, 61.)

	$L_{A\text{ eq,T}} /$ dB(A)	$L_{A\text{ max}} /$ dB(A)
<b>Asuinrakennukset</b>		
Keittiöt	33	38
Asuinhuoneet	28	33
Rakennuksen ulkopuolella	45	
<b>Hotellit, hoitolaitokset, oppilaitokset, päiväkodit, toimistot ja vastaavat</b>		
Potilashuoneet, lasten lepo huoneet tai vastaavat tilat	28	33
Luokkahuoneet, toimistohuoneet tai vastaavat tilat	33	38

Äänitasojen ohjearvot ovat siis rakennuksen LVIS-laitteiden sekä muiden niihin rinnastettavien laitteiden tuottama A-taajuuspainotettu keskiäänitaso ja enimmäisäänitaso huonetilassa. Ilmanvaihtoa suunniteltaessa on näin ollen huomioitava ilmanvaihdon ja muiden äänilähteiden yhteisvaikutus. Tällä tarkoitetaan tilannetta, jossa ääntä tulee useammasta kuin yhdestä äänilähteestä. Edellä mainituksa tapauksessa kunkin äänilähteen erikseen tuottaman äänitason tulisi olla riittävän alhainen, jotta niiden yhteisesti aiheuttama äänitaso ei ylitä ohjearvoissa määritettyä äänitasoa. (RakMK C1 2011, 13.)

Ilmastointilaitoksen äänilähteet jaetaan yleisesti kahteen pääryhmään: (1) ääntä aiheuttavat erilaiset koneet, kuten puhaltimet, kompressorit, ilmanlauhduttimet, moottorit, taajuusmuuttajat ja (2) virtaava ilma kanavissa, säätö- sekä päätelaitteissa. Ilmastointilaitoksen äänitekniistä suunnittelua varten tarvitaan myös laitteiden aiheuttamat äänitehotasot taajuuskaistoittain ilmoitettuina. (Halme & Seppänen 2002, 41.)



### 2.4.1 Ilmanvaihtolaitteiden äänentuotto

Keskeinen melunlähde ilmastointilaitoksessa on ilmastointikone, ja pääasiallisin melu syntyy koneen puhaltimessa. Puhaltimen ääni kulkeutuu ilmastointikoneen paineaukkoon, imuaukkoon ja ilmastointikoneen seinämien läpi konehuoneeseen tai muuhun tilaan. (Halme & Seppänen 2002, 50.) Äänitehon jakautuminen eri taajuuskaistoille riippuu puhaltimen tyypistä sekä pyörimisnopeudesta. Esimerkiksi pyörimisnopeutta lisättäessä siirtyy ääniteho suuremmille taajuuksille. (Halme & Seppänen 2002, 49.) Puhaltimen äänitehotaso määräytyykin ensisijaisesti suoritusarvojen, tilavuusvirran ja kehitettävän kokonaispaineen mukaan (Halme & Seppänen 2002, 48).

Ilmastointikoneen valinnassa keskeisin asia on ilmavirta ja painehäviö sekä ennen kaikkea paineaukkoon kulkeutuva ääniteho. Ilmastointikonetta valittaessa onkin tarkastettava koneen painehäviö, puhaltimen ottama sähköteho käyttöolosuhteissa (mukaan lukien voimansiirto- ja säätölaitteet), painekanavaan siirtyvä ääniteho ja sen jakautuminen oktaavikaistoille sekä staattinen paine koneen paineaukossa. Ilmastointijärjestelmä tulisi mitoittaa siten, että painehäviöt jäävät suhteellisen pieniksi. Tämä on edullista niin energiankäytön kuin äänitekniikan näkökulmasta. (Halme & Seppänen 2002, 51.)

Äänenvaimennuksen tehtävänä on siis estää puhallinäänen siirtyminen huonetilaan tai äänien siirtyminen huoneiden välillä, etenkin silloin, kun tiloissa pyritään matalaan äänitasoon. Vaikka määräysten sallima äänitaso on useasti korkeampi kuin tiloissa oleskelevien haitalliseksi aistima äänitaso, tulee ilmanvaihdolla silti pyrkiä äänitasoa hiljaisempaan äänitasoon. Alhaisilla kanavapaineilla ja oikein säädettyinä venttiilien tuottamalla äänitasolla (alle 20 dB) ei ole enää käytännön merkitystä, koska yleensä taustamelu on jo tätä voimakkaampaa. Sama tilanne on havaittavissa myös ilmanvaihtokanavan äänentuotossa riittävän alhaisilla ilman nopeuksilla, jolloin äänenvaimennus kumoaa kanavistossa aiheutuvan melun. (Vallox 2015, 15.)

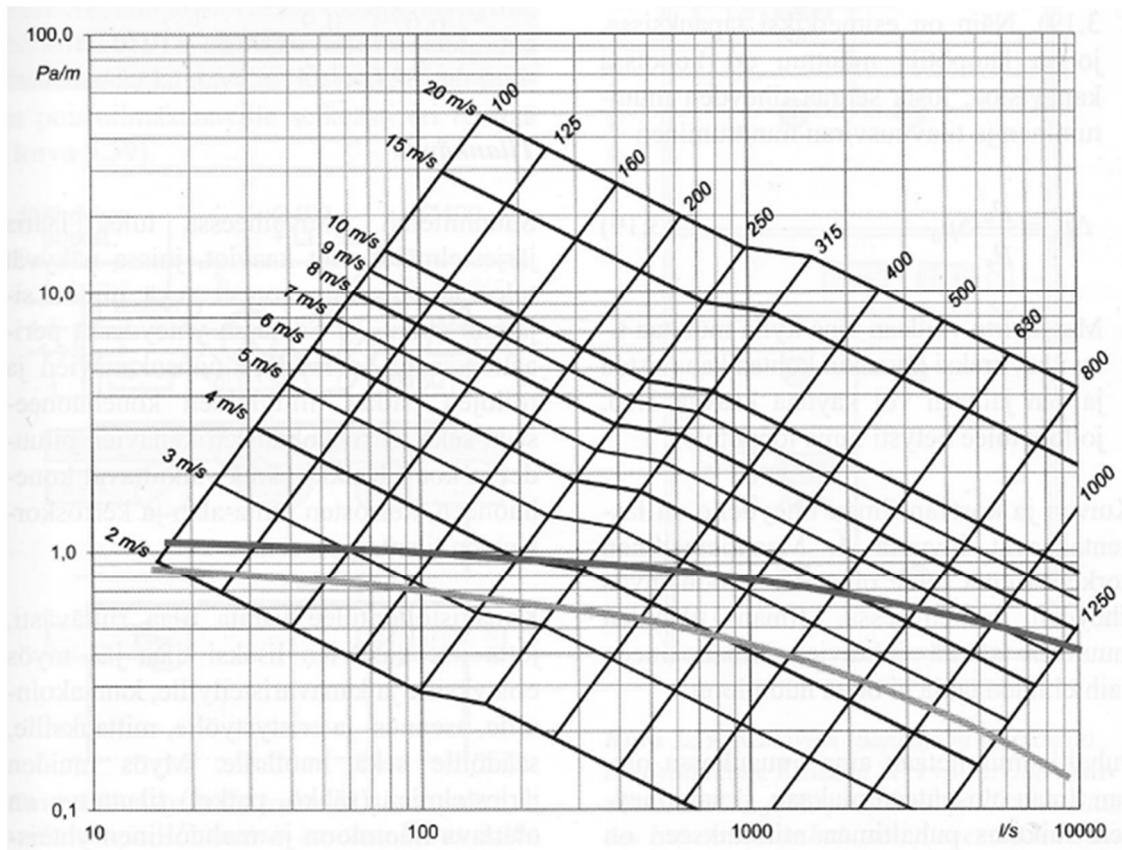
## 2.4.2 Äänen kehitys kanavistossa

Äänen kehitykseen ilmanvaihtokanavissa vaikuttaa oleellisesti ilmavirran nopeus, joka puolestaan on riippuvainen kanaviston käyttötarkoituksesta. Tärkeimmiksi kanavanopeuden valintaan vaikuttaviksi tekijöiksi luetaan seuraavat tekijät: kanaviston vaatima tai käytettävissä oleva tila, kanavistossa syntyvä painehäviö sekä ilmavirtauksen aiheuttama melu. (Seppänen 1996, 101.)

Useasti pienillä tilavuusvirroilla haarakanavissa käytetään pienempiä nopeuksia ja vastaavasti suuremmilla kanavilla käytetään tilanpuutteen vuoksi suurempia nopeuksia. Suurissa rakennuksissa käytetään juuri tilakysymysten johdosta myös niin sanottua suurnopeus (suurpaine) -kanavistoa, jossa ilman nopeus on yli 10 m/s. Kyseisissä tapauksissa on kuitenkin edellytyksenä se, että kanaviston äänen vaimennus tulee tapahtua ennen ilman johtamista huonetilaan. Melun kehittymisen estämiseksi ilmannoisuus liitäntäkanavissa, juuri ennen tuloilmalaitetta, tulisi olla oleellisesti optiminopeutta (1...3 m/s) pienempi. (Seppänen 1996, 101-102.)

Kokemusperäisten nopeuksien käyttäminen kanavasunnittelussa merkitsee yleensä nopeuden tasaista alentamista, kun edetään puhaltimelta kohti huonetilaa optiminopeuksia noudattaen. Nopeuden alentaminen suoritetaan tavallisesti kanavahaaroissa. Lähellä puhallinta kanavanopeudet ovat suuruusluokiltaan 8...10 m/s ja liitäntäkanavissa 1...3 m/s. On kuitenkin otettava huomioon, että edellä mainittu menetelmä soveltuu vain yksinkertaisiin kanavistoihin. (Seppänen 1996, 103.) Kanavakoot tulee siis valita suurimman ilmavirran perusteella, ja liitäntäkanavissa suurin ilmavirta on sama, kuin päätelaitteelle suunniteltu enimmäisilmavirta. Runkokanavien kohdalla kanavakoot määritetään mahdollisuuksien mukaan yksittäisten huonetilojen enimmäisilmavirtojen summailmavirran perusteella. Suurimman ohjeellisen kanavanopeuden rajatapauksessa on suositeltavaa valita seuraava suurempi kanavakoko. (LVI 30-40008, 5.)

Oheisessa kuviossa (Kuvio 5.) on esitetty viihtyvyysilmastoinnin suositellut maksimi kanavanopeudet. Suositusalueen määrittelyssä huomioidaan kanavilta vaadittava väljyys, eri kanavakokojen ja kanavaosien äänenkehitys sekä äänen siirtyminen kanavasta huoneeseen (LVI 30-40008, 5).



Kuvio 5. Suositellut maksimikanavanopeudet. Ylempi käyrä vastaa äänitasoa 35 dB kanaviston loppupäässä ja alempi käyrä äänitasoa 25 dB. (Sandberg 2014b, 111.)

Ilmanvaihtokanaviston suunnittelussa tulee kuitenkin eteen tilanteita, joissa valitut kanavanopeudet eivät johda riittävään painehäviöön. Tällöin on käytettävä säätöpeltejä riittävän kitkapainehäviön saavuttamiseksi tai harkittava haarakanavan tarkoituksellista pidentämistä. (Seppänen 1996, 103.) Säätö- ja palopellit sekä virtauksen mittausslaitteet tuottavat kuitenkin virtausmelua. Laitteet tuottavat kanavistoon painehäviöitä aiheuttamalla virtauksen pyörteily. Nämä vuorostaan aiheuttavat lisäyksen puhaltimelta tulevaan meluun, kun tarkastellaan puhaltimelta huoneeseen etenevää melua. Tämän vuoksi useissa tapauksissa käytetään äänen vaimenninta heti säätöpellin jälkeen, jos päätelaitteen ja sen liitännälaatikon vaimennus ei ole riittävää. (Sandberg 2014b, 64.) Säätölaitteen ääni täytyy siten ilmoittaa aina äänitehotasona oktaavikaistoittain, jotta se olisi äänitekniisiä laskelmia varten riittävä (Halme & Seppänen 2002, 57).

Päätelaitteilla voidaan vaimentaa sekä puhaltimelta että kanavavarusteista etenevää melua. Haittapuolena on, että ne kehittävät samalla itse lisää melua. Huoneti-

lan melutasoa tarkasteltaessa jokainen melunlähde on laskettava yhteen päätelaitteen kohdalla. Jos tilassa on useampia päätelaitteita, on niiden yhteisvaikutus huomioitava äänitasoa laskettaessa. (Sandberg 2014b, 64.)

### 3 ILMAJÄRJESTELMÄT JA ILMANVAIHDON OHJAUS

Asuinrakennusten lisäksi myös monissa muissa käyttötarkoitukseltaan erilaisissa rakennuksissa on käytetty ja käytetään tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää. (Sandberg 2014a, 125.) Tyypillisiä kohteita ovat olleet muun muassa

- palvelutalot
- vanhustentalot
- asuntolat, koulut
- päiväkodit
- myymälät
- ravintolat
- liikuntatilat
- toimisto- ja liikerakennukset.

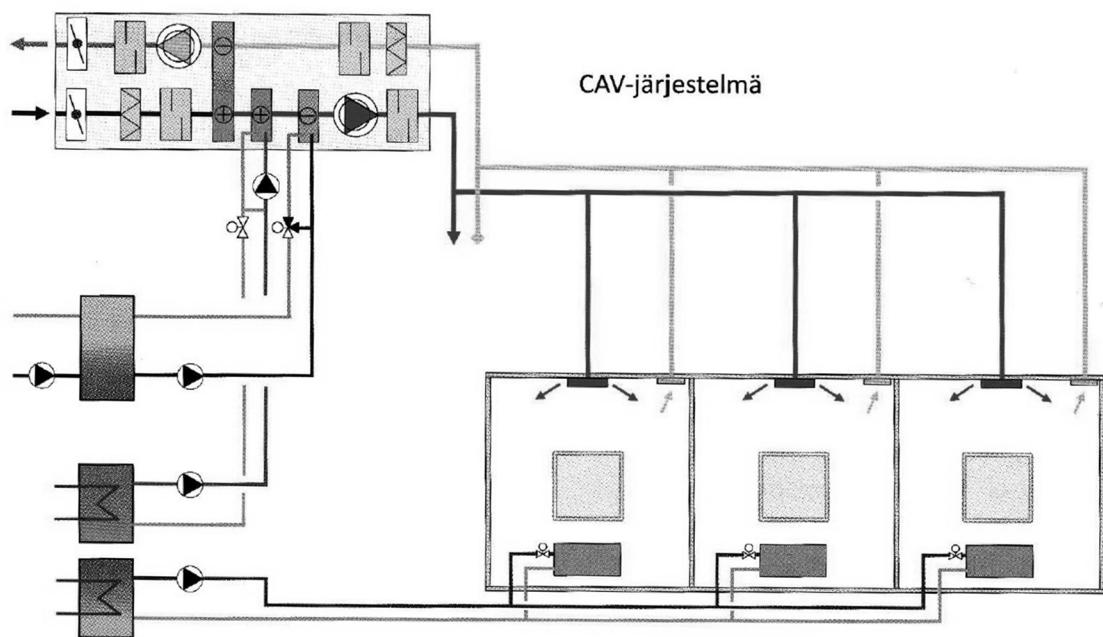
Ilmavirtaa tulisi ohjata tarpeenmukaisesti etenkin opetustiloissa, päiväkodeissa, toimistorakennuksissa (neuvotteluhuoneet), myymälöissä ja liikuntatiloissa. Säätö on mahdollista toteuttaa tilakohtaisesti (esimerkiksi luokkahuonekohtaisesti) tai vyöhykekohtaisesti (esimerkiksi luokkahuoneryhmäkohtaisesti) yhdellä julkisivulla tai rakennusosassa. Ilmavirran ohjaus tapahtuu tällöin hiilidioksidipitoisuuden, lämpötilan ja/tai läsnäolon perusteella. (Sandberg 2014a, 126.) Yleisimmin käytössä olevat ilmajärjestelmät ovat vakioilmavirtajärjestelmä (=yksivyöhykejärjestelmä) ja muuttuvailmavirtajärjestelmä (Sandberg 2014a, 130).

#### 3.1 Vakioilmavirtajärjestelmä, CAV-järjestelmä

Vakioilmavirtajärjestelmän (CAV = Constant Air Volume System) tehtävänä on huolehtia sisäilman puhtaudesta ja lämpöolosuhteista. Vakioilmavaihtojärjestelmällä tuotetaan vakiona pysyvä ilmavirta kaikkiin tiloihin, joita ilmanvaihtokone palvelee. Järjestelmän toteutuksella on kuitenkin rajoituksia. Se voidaan toteuttaa

vain silloin, kun vyöhykkeisiin perustuva lämpötilan säätö voidaan varmistaa muilla järjestelmillä (esimerkiksi lämmityspinnat) tai jos lämpötilan säätöä ei tarvita. (Teknocalor 2008, 4.)

Järjestelmän keskusyksikössä on suodatus, lämmöntalteenotto sekä lämmitys- ja jäähdytystoiminnot. Vakioilmavirtajärjestelmän tyypilliset käyttökohteet ovat vierekkäin sijaitsevat, samankaltaiset huoneet tai suuret tilat, joiden lämpökuormat eivät poikkea suuresti toisistaan käytön aikana. (Sandberg 2014a, 131-132.) Oheisessa kuviossa (Kuvio 6.) on esitetty CAV-järjestelmän periaate.



Kuvio 6. Vakioilmavirtajärjestelmä, CAV. (Sandberg 2014a, 132.)

Tilojen lämmitys tapahtuu tavallisesti lämmityspattereilla ja jäähdytys viileän tuloilman avulla. Vakioilmavirtajärjestelmän ilmavirrat mitoitetaan useimmiten kesäajan jäähdytystarpeen mukaan, mikä rajoittaa ilmanvaihdon suurentamista. Koska järjestelmä ei tue huonekohtaista säätöä, saattaa huonetila tulla liian kylmäksi ilmavirtojen suurentamisen seurauksena. Edellä mainittua tilannetta voidaan kompensoida asentamalla tilan tuloilmakanavaan jälkilämmityspatteri. Sisäänpuhallusilman lämpötilaa ohjataan kuitenkin yleensä huoneiden yhteiseen poistoilmakanavaan asennetun lämpötila-anturin avulla. (Sandberg 2014a, 132.) Talviaikaan lämmityksen mitoitustehontarpeen pienentämiseksi ilmavirta pienennetään perinteisesti osateholle. Jos ilmavirtaa pienennetään, on tärkeää varmistaa, että ilman-

jako toimii myös pienemmällä ilmavirralla ja huomioida tämän vaikutus virtaustasapainoon sekä ilmanlaatuun. Useampikerroksisissa rakennuksissa ilmavirran pienennystä ei tule käyttää painesuhteiden takia. (Sandberg 2014b, 292-293.)

CAV-järjestelmässä kanaviston ilmavirrat säädetään säätöpelleillä tai vakioilmavirtasäätimillä. Käytettäessä kerros- tai aluekohtaisia sulkupeltejä, joita ohjataan auki ja kiinni käytön mukaan, tarvitaan järjestelmään kanavapaineen säätö sekä puhaltimen ilmavirran säätö. Tällöin kaaviot ovat muuttuvailmavirtajärjestelmän koneen mukaisia. (Sandberg 2014b, 293.)

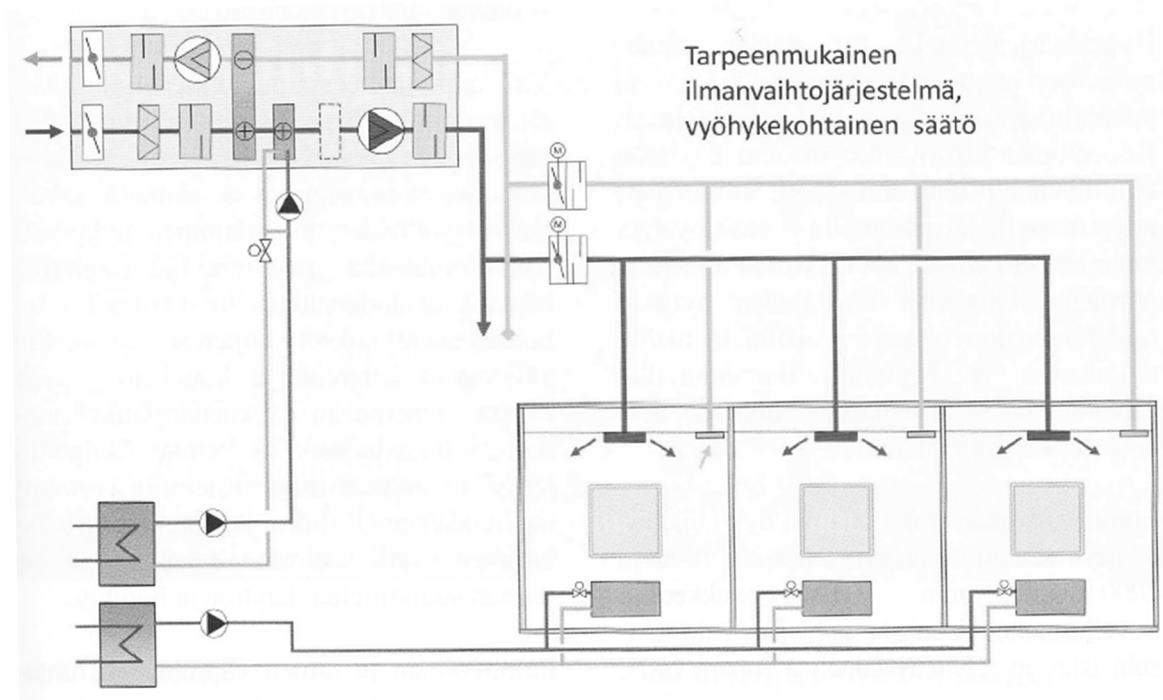
### **3.2 Muuttuvailmavirtajärjestelmä, VAV-järjestelmä**

Muuttuvailmavirtajärjestelmällä eli ilmavirtasäätteisellä järjestelmällä (VAV = Variable Air Volume System) voidaan toteuttaa korkeatasoinen, huonekohtainen ilmastointi (Sandberg 2014a, 136). Järjestelmässä jokaiseen huoneeseen tai jokaiselle vyöhykkeelle toimitetaan juuri se ilmamäärä, jolla pystytään ylläpitämään tilan vaatimia edellytyksiä. Useimmissa tapauksissa huoneen lämpötilan säätäminen edellyttää ilmanvaihtoa, ja samalla voidaan vaikuttaa myös ilman laatuun. (Teknocalor 2008, 5.) Muuttuvailmavirtajärjestelmä onkin tyypillisimmillään huonekohtainen, mikä tarkoittaa, että jokaisessa huonetilassa on oma ilmavirran säätö (Sandberg 2014b, 301).

Järjestelmän keskusyksikkö koostuu suodatus-, lämmöntalteenotto-, lämmitys- ja jäähdytystoiminnoista. VAV-järjestelmä sopii tiloihin, joissa lämpökuormat ovat suuret ja/tai joissa tarvitaan suuria ilmavirtoja eli yksinkertaistetusti tilat, joiden kuormituksessa on suuri vaihtelu eri käyttötilanteissa. Ihanteellinen tilanne on silloin, kun lämpökuorma on ihmisten lukumäärästä riippuvainen. (Sandberg 2014a, 133-134.) Kun ilmanvaihto on tarveohjattua, voidaan sillä säästää puhaltimen kuluttamaa sähköenergiaa, ilmanvaihdon lämmittämiseen tai jäähdyttämiseen tarvittavaa energiaa sekä parantaa sisäilmaston olosuhteita (Sandberg 2014a, 136).

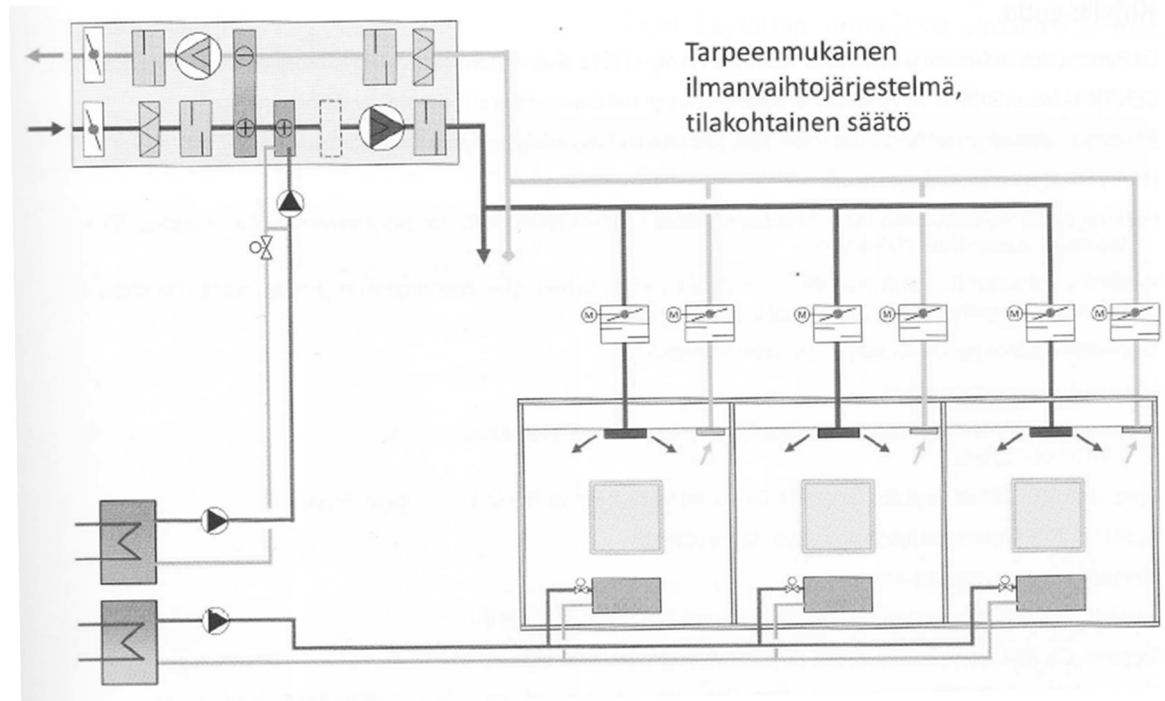
Järjestelmässä huoneyksiköille johdetaan vakiolämpöistä ilmaa, joka on huoneilmaa kylmempää vuodenajasta riippumatta. Huonelämpötilaa hallitaan ilmavirtaa muuttamalla, joten ilmavirran kasvaessa myös huoneeseen tuleva jäähdytysteho

kasvaa. Huoneyksikkö tulee varustaa jälkilämmityspatterilla, mikäli vierekkäisten tilojen kuormitus poikkeaa suuresti toisistaan. Tällä varmistetaan, että sisäänpuhallusilman lämpötila pysyy optimaalisena. Jos lämpökuorma tulee pääasiassa aurinkokuormana, voidaan järjestelmä toteuttaa myös vyöhykekohtaisena. (Sandberg 2014a, 133.) Kun muuttuvilmavirtajärjestelmä toteutetaan vyöhykekohtaisena, ei huonetilojen välillä saa olla suuria kuormituseroja. Vyöhykkeittäin toteutetulla järjestelmällä voidaan saada aikaan hieman suurempi jäähdytysteho, verrattuna vakioilmavirtajärjestelmään, ja samalla vältytään jälkilämmityspatterien käytöltä. Ilmavirran säätö vyöhykekohtaisesti tapahtuu periaatteessa samalla tavalla kuin huonekohtaisessakin järjestelmässä, ainoana erona on vain, että säätimet ovat pari kolme kokoluokkaa suuremmat. (Sandberg 2014a, 136.) Jos järjestelmä puolestaan palvelee vain yhtä tilaa, voi ilmavirran säätö olla konekohtainen (Sandberg 2014a, 133). Kuvioissa 7. ja 8. kuvataan VAV-järjestelmän vyöhyke- ja tilakohtaisen ilmavirran säädön periaatteet.



Kuvio 7. Vyöhykekohtainen ilmavirran säätö VAV-järjestelmässä. (Sandberg 2014a, 127.)





Kuvio 8. Tilakohtainen ilmavirran säätö VAV-järjestelmässä. (Sandberg 2014a, 127.)

VAV-järjestelmässä keskuskoneen ilmavirran säätöalueen suuruus riippuu tilojen kuormituksesta ja käyttöajoista. Esimerkiksi normaalissa toimistorakennuksessa, jossa ei ole tarvetta työajan ulkopuoliseen käyttöön, säätöalueeksi riittää 50...100 %. Jos osa tiloista palvelee myös työajan ulkopuolista käyttöä, tulee keskuskoneen ilmavirran minimin olla 15...30 prosenttia maksimista. (Sandberg 2014a, 134.) Säädön periaatteena on, että staattinen paine kanavistossa pyritään pitämään mahdollisimman matalana. Tällä tavoin voidaan säästää sähköenergian kulutuksessa. Painesäädin ohjaa säätölaitteistoa ja sen avulla ylläpidetään pysyvää staattista painetta kanavassa suhteessa vallitsevaan paineeseen rakennuksessa. (Sandberg 2014a, 134.) Ilmanvaihdon ohjaukseen käytetään oikosulkumoottorien yhteydessä taajuusmuuttajia tai EC-moottoreita, jotka liitetään rakennusautomaatiojärjestelmään käyttäen standardisoituja väylien tiedonsiirtoprotokollia kuten Modbus ja LonTalk (Sandberg 2014b, 45).

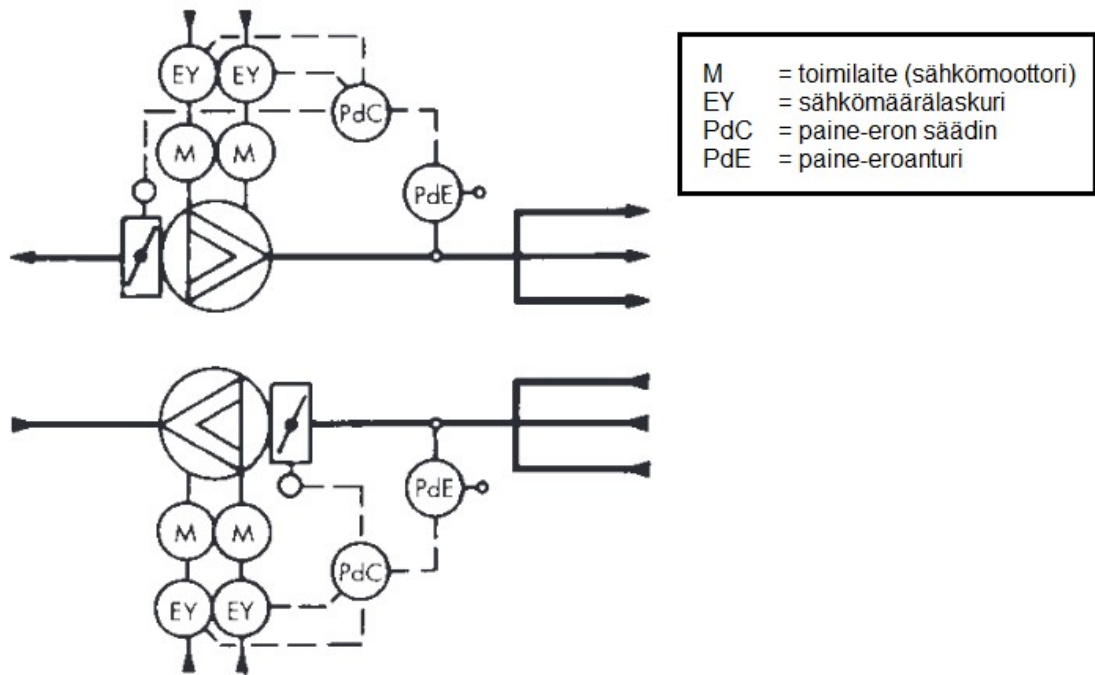
Samassa ilmanjakelujärjestelmässä on mahdollista käyttää sekä VAV- ja CAV- osia. Muuttuvailmavirtaisia ja vakioilmavirtaisia ilmanvaihdon pääteyksiköitä voidaan sijoittaa vierekkäin samaan osaan. Esimerkiksi pääteyksikköä, jonka säätökomponentit säätelevät kanavapainetta, käytetään osissa, joissa ei ole ilmavir-

tauksen säätimiä. (Teknocalor 2008, 5.) Huonetilojen minimi- ja maksimi-ilmavirrat määrittelevät ilmavirtasäätimien mitoituksen yhdessä kanavapaineen vaihtelualueen kanssa. Yleisesti käytetään paineesta riippumattomia säätimiä, jotta ilmavirtojen säädöstä saadaan riittävän tarkka. Huonetiloissa voidaan tarvittaessa käyttää aktiivisia päätelaitteita, jotka automaattisesti pitävät heittopituuden lähes vakiona. Näin vältetään vedon tunteelta pienillä ilmavirroilla. (Sandberg 2014b, 301-302.) Ilmanvaihdon tehokkuus heikentyy käytettäessä liian pieniä ilmavirtoja ja samalla heittopituus voi jäädä liian lyhyeksi. Tämän lisäksi lyhyellä heittopituudella alilämpöinen ilmasuihku saattaa irrota katosta ja laskeutua hallitsemattomasti oleskeluvyöhykkeelle, mikä lisää mahdollista vetoriskiä. (Sandberg 2014b, 273.) Vastavasti heittopituuden ollessa tarpeettoman suuri, kääntyy ilmasuihku tuloilmalaitetta vastakkain olevasta seinästä alas oleskeluvyöhykkeelle, jolloin liian suuri ilmannoisuus kasvattaa vetoriskiä lattianrajassa (Seppänen 1996, 178).

Koko VAV-järjestelmän toimivuuden edellytyksenä on kuitenkin, että kaikki sen komponentit täyttävät niille asetetut vaatimukset. Järjestelmän ilmavirrat, säätötarve, lämpötilojen ja pitoisuuksien ohjaukset jne. tulee tarkastella tapauskohtaisesti, sillä järjestelmän käyttökohteet voivat erota paljon toisistaan. (Sandberg 2014b, 301-302.)

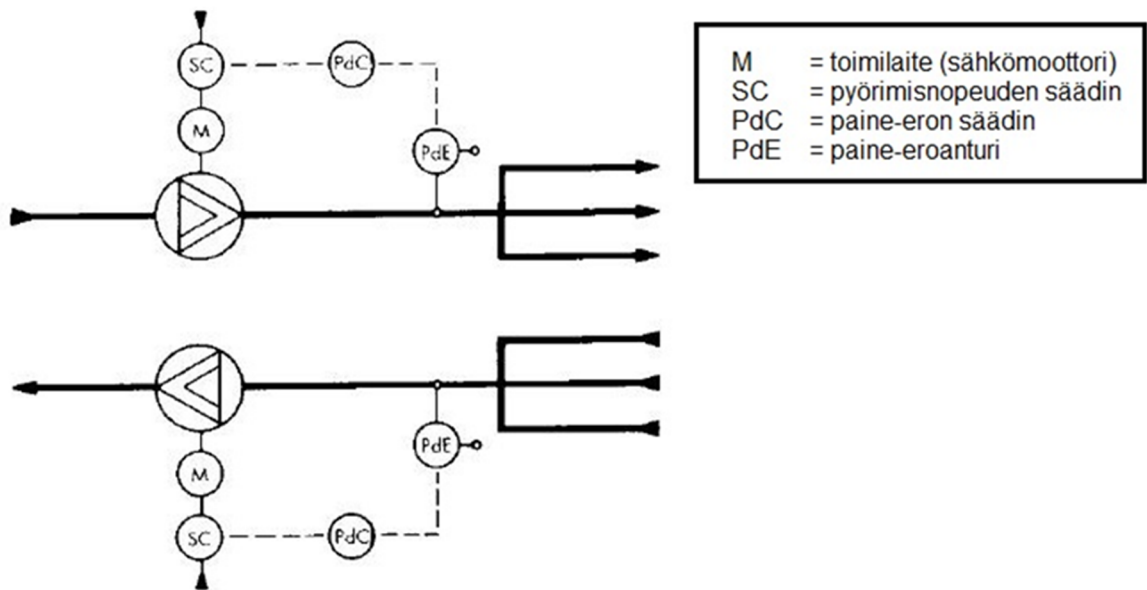
### **3.2.1 VAV-järjestelmän puhaltimen säätö**

Keskipakoispuhaltimissa on aiemmin käytetty johtosiipisäätöä, jossa puhaltimen imuaukolle asennetulla johtosiipisäätimellä aiheutetaan ilmavirralle siipipyörän pyörimissuunnan mukainen pyörimisliike. Tilavuusvirran säätöaluetta on mahdollista laajentaa käyttämällä kaksinopeuksista moottoria, jossa pienempi pyörimisnopeus määritellään siten, että sen toiminta-alue menee osittain päällekkäin isomman pyörimisnopeuden kanssa. Tällöin säädöstä saadaan vakaampi eikä edestakaista nopeuden vaihtoa pääse tapahtumaan. Kaksinopeuksisen moottorin etuna on myös se, että tehontarve pienemmillä ilmavirroilla on yksinopeuksista moottoria pienempi. (LVI 30-40008, 7.) Kuviossa 9. on esitetty kaaviokuva keskipakoispuhaltimen johtosiipisäädöstä kanavapaineen mukaan.



Kuvio 9. Keskipakoispuhaltimen johtosiipisäätö kanavapaineen mukaan. (LVI 30-40008, 7.)

Nykyisin käytetään kuitenkin puhaltimen portaatonta pyörimisnopeuden säätöä. Portaattomassa pyörimisnopeuden säädössä voidaan käyttää erilaisia sähköisiä menetelmiä, joista yleisin on taajuuden säätö. Keskipakoispuhaltimien pyörimisnopeuden säätämiseen käytetään näin ollen taajuusmuuttajaa. (LVI 30-40008, 7.) Alla olevassa kuviossa (Kuvio 10.) on havainnollistava kaaviokuva pyörimisnopeussäädöstä taajuusmuuttajan avulla kanavapaineen mukaan.



Kuvio 10. Pyörimisnopeussäätö kanavapaineen mukaan taajuusmuuttajaa käytettäessä. (LVI 30-40008, 7.)

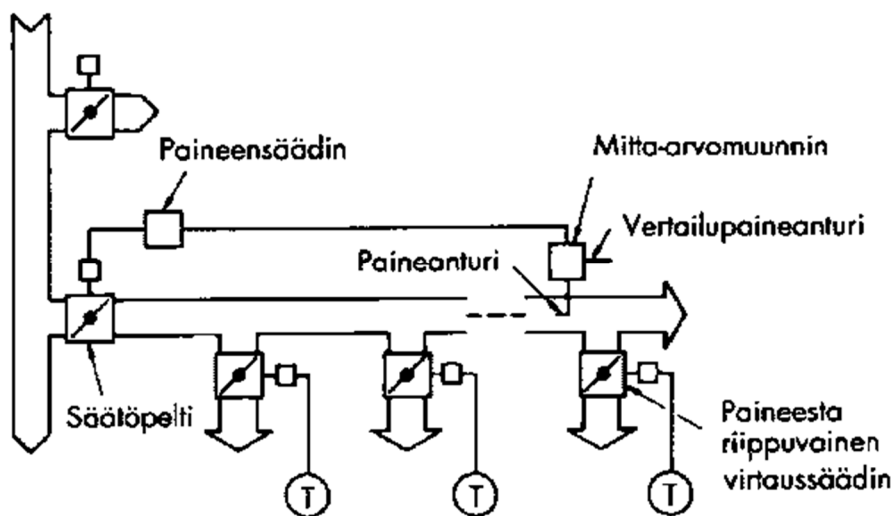
### 3.2.2 VAV-järjestelmän kanavapaineen säätö

Johtosiipi- ja pyörimisnopeussäädössä staattinen paine pyritään pitämään kanavistossa mahdollisimman alhaisena. Tällä tavoin pystytään säästämään säätöenergiaa. Säätlaitteiston ohjaus tapahtuu painesäätimen kautta, minkä avulla ylläpidetään pysyvää staattista painetta kanavassa suhteessa vallitsevaan paineeseen rakennuksessa. Paine-eroanturilla tapahtuvalla puhaltimen ohjauksella vuorostaan ylläpidetään alhaisinta painetta kanavassa, samalla varmistaen, että kaikilla kanavistossa on riittävän korkea paine ilmavirran aikaansaamiseksi. (LVI 30-40008, 8.)

Suurin vaikutus säätöön on kuitenkin paine-eroanturin sijoituksella. Paineesta riippumattomia virtaussäätimiä käytettäessä anturi sijoitetaan mahdollisimman kauas haarakanavaan, jossa vallitsee alhaisin staattinen paine verrattuna puhaltimen jälkeiseen. Jos puhallinta ohjataan vain yhdestä pisteestä, on kuormitustilanteesta riippuen mahdollista, että staattinen paine on liian pieni yhdessä tai useammassa haarakanavassa. Tämä korostuu etenkin suurissa laitoksissa, joissa on useita pääkanavia. Näissä tapauksissa paineolosuhteet tulee analysoida eri käyttötilanteissa. Jos pienin staattinen paine esiintyy kahdessa tai useammassa pääkana-

vassa eri käyttötilanteissa, täytyy jokaiseen kriittiseen kanavahaaraan sijoittaa paine-eroanturi. Minimipaineen valintayksikön tehtävänä on valita eri käyttötilanteissa se kanava, jossa on pienin staattinen paine ja ohjata puhallinta tämän mukaan. PI-säädintä käytetään silloin, kun säädön halutaan olevan vakaa eikä aiheuttavan suuria poikkeamia. Vertailupaine paine-eromittaukselle saadaan parhaiten rakennuksen yhteisistä tiloista, esimerkiksi käytävältä. (LVI 30-40008, 8.)

Suuresta painetason vaihtelusta seuraa ilmavirtojen heilahteluja sekä liian korkeita äänitasoja yksittäisissä huonetiloissa. Jotta laitoksen painetason vaihtelu saataisiin pysymään mahdollisimman vähäisenä, on paineesta riippuvia säätimiä käytettäessä puhallinta säätävä anturi sijoitettava staattisen paineen ns. keskikohtaan. Kun käytetään paineesta riippuvia säätimiä, tulee säätää myös haarakanavien staattista painetta, jolloin paineanturi sijoitetaan alhaisimman staattisen paineen omaavaan haarakanavaan Kuvion 11. mukaisesti. Tavallisin sijoituspiste on kanavan loppupäässä, viimeisen ulosoton kohdalla. (LVI 30-40008, 8.)



Kuvio 11. Staattisen paineen säätö haarakanavassa. (LVI 30-40008, 8.)

### 3.3 IMS-järjestelmä tarveohjattuun ilmanvaihtoon

Lyhenteellä *IMS* tarkoitetaan ilmamääräsäätöistä järjestelmää tarveohjattuun ilmanvaihtoon, mitä käytetään, kun rakennuksissa esiintyy vaihtelevia kuormituksia. Esimerkiksi huonetiloissa, joissa henkilömäärällä on suuri vaihtuvuus, voidaan varmistaa tyydyttävä ilmanlaatu säätelemällä ilmavirtausta suhteessa esimerkiksi

CO<sub>2</sub>-pitoisuuteen. Useimmiten ilmanvaihdon tarpeen määräävinä tekijöinä ovat kuitenkin lämpökuormat. Ihmisistä, tietokoneista ja auringonpaisteesta muodostuvat lämpökuormat vaihtelevat lähes aine vuorokauden mittaan. Tarveohjatulla ilmanvaihdoilla pystytään kompensoimaan edellä mainitut lämpökuormat, kun tuulilman lämpötila pidetään vakiona (mikä on huonelämpötilaa pienempi) ja säädetään sen sijaan ilmavirtaa suhteessa haluttuun huonelämpötilaan. (Lindab 2014, 4.)

IMS-järjestelmällä siis mahdollistetaan ilmavirtojen pienentäminen tarpeen mukaan kussakin tilassa. Ilmavirran pienentämisellä voidaan vähentää sekä ilmansiiirtoon että ulkoilman lämmittämiseen tai jäähdyttämiseen kuluva energia aiheutuvia kustannuksia. Huonetiloissa pystytään myös ylläpitämään haluttua lämpötilaa kuormituksen vaihdellessa. (Lindab 2014, 3.)

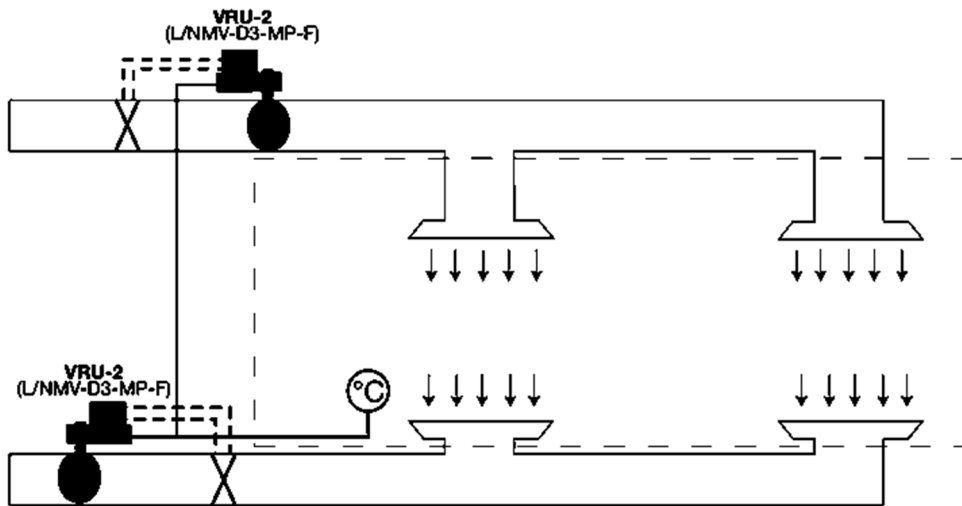
IMS-laitteiden toimintaa ohjaa rakennusautomaatiojärjestelmä, jonka avulla saadaan tietoa ilmavirrasta ja säätöpeltien asennosta. Tilojen ohjaus ja säätö tapahtuu huonesäätimillä, jotka liitetään huonesäätöväylällä rakennuksen automaatiojärjestelmään. Huoneet varustetaan yleensä lämpötilan ja CO<sub>2</sub>-pitoisuuden mittauksella ja käyttäjä voi säätää huonetilan asetusarvoa. Myös läsnäolotietoa voidaan hyödyntää huonelämpötilan säädössä. (Sandberg 2014b, 45.)

Muuttuvailmavirtajärjestelmässä on kuitenkin edellytyksenä puhaltimen pyörimisnopeuden säädettävyys. Tämän lisäksi VAV-laitteistot jaetaan vyöhykkeisiin, mikä käytännössä tarkoittaa yhtä vyöhykettä jokaista ilmanjakokanavaa kohden. Vyöhykkeet voidaan toteuttaa kahdella eri periaatteella: ilmavirran säädöllä tai paineen säädöllä. (Lindab 2014, 4.)

### **3.3.1 Ilmavirran ja paineen säätö**

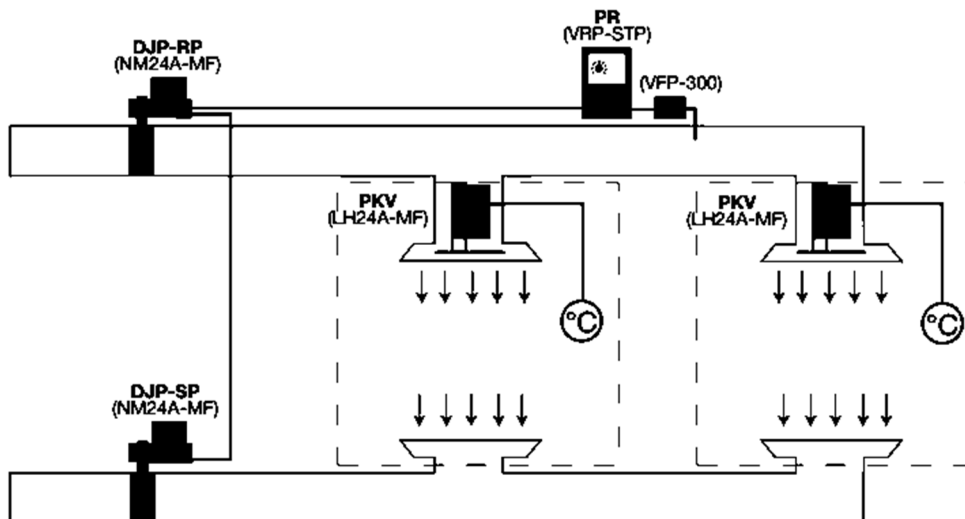
Ilmavirran säädössä säädellään ja mitataan ilmavirtaa ilmanjakokanavassa. Ilmavirta tulee asettaa sellaiseksi, että sen on mahdollista vaihdella esiasetettujen minimi- ja maksimivirtausten välillä. Ilmavirran minimi- ja maksimiarvojen vaihteluvälin määrää elektroninen tulosignaali joko antureista (esimerkiksi lämpötila, CO<sub>2</sub>, liike) tai DDC-ohjauksesta. Ilmavirran säädössä voidaan saavuttaa oikea ilmavirta

huolimatta paineen vaihtelusta kanavassa, kun käytetään ilmavirtasäädintä, joka on paineesta riippumaton (ja tarvitsee vain minimaalisen esipaineen.) Tätä säätötapaa (Kuvio 12.) käytetään tyypillisesti vyöhykesäätöön säätöpellitömillä pääte-laitteilla sekoittavassa tai syrjäyttävässä ilmanvaihdossa. Käytettäessä säätöpellitömiä tuloilmalaitteita tuloilman ja huoneilman suurella lämpötilaerolla tulee ottaa huomioon mahdollinen vedon vaara huonetiloissa. (Lindab 2014, 4.)

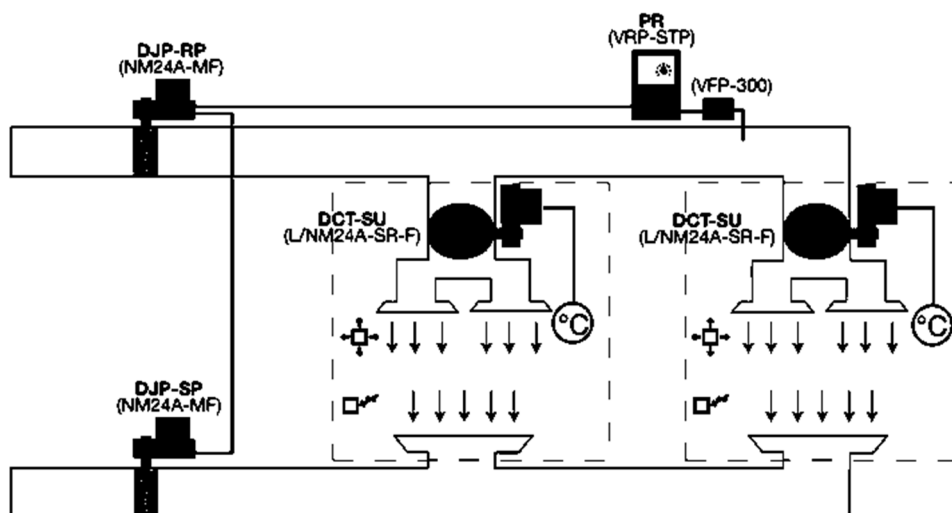


Kuvio 12. Ilmavirransäätö vyöhykkeittäin. (Lindab 2014, 11.)

Paineen säädöllä vuorostaan tarkoitetaan tilannetta, jossa staattinen paine pidetään kanavassa vakiona. Normaalisti säätö kohdistuu tuloilmapuolen ilmanjakokanavan paineen säätöön. Moottoriohjattuja tuloilmalaitteita käyttävissä järjestelmissä (Kuvio 13.) täytyy olla paineen säätö ilmanjakokanavassa, sillä laite on asennettu ja kalibroitu antamaan tietty ilmavirran vaihtelu kyseenomaisessa paineessa. Säädöllä varmistetaan oikean painehäviön saanti laitteiden yli sekä vältetään mahdolliset laiteäännet minimi-ilmavirralla. Jos päätelaitteita käytetään ilman moottoriohjausta (Kuvio 14.), jolloin ilmavirran muutokset saadaan aikaan liitoskanavien moottoriohjatuilla säätöpelleillä, varmistaa jakokanavan paineen säätö vakaat paineolosuhteet vyöhykkeillä. Samalla se tarjoaa hyvät edellytykset näiden kanavapeltien ohjaukseen. (Lindab 2014, 4.)



Kuvio 13. Ilmavirransäätö moottoriohjatulla tuloilmalaitteilla. (Lindab 2014, 10.)



Kuvio 14. Ilmavirransäätö päätelaitteilla, joissa ei ole moottoriohjausta. (Lindab 2014, 9.)

Laitetyypistä riippumatta on kuitenkin huomioitava painehäviö vyöhykkeen jakokanavassa. Näin saavutetaan edes jokseenkin sama paine kaikissa liitäntäkanavien haaroissa. Hyvänä nyrkkisääntönä voidaan pitää, että jakokanavan painehäviö, ensimmäisestä haarasta viimeiseen, ei saa ylittää noin 40 % staattisesta paineesta, jota halutaan ylläpitää kanavassa. Periaatteessa paineen säädöllä voidaan saada aikaan ilmavirran vaihtelu välillä 0...100 %, mutta vaihtelu on täysin riippuvainen siitä, mitä kanavapeltiä tai VAV-laitetta käytetään. (Lindab 2014, 4.)



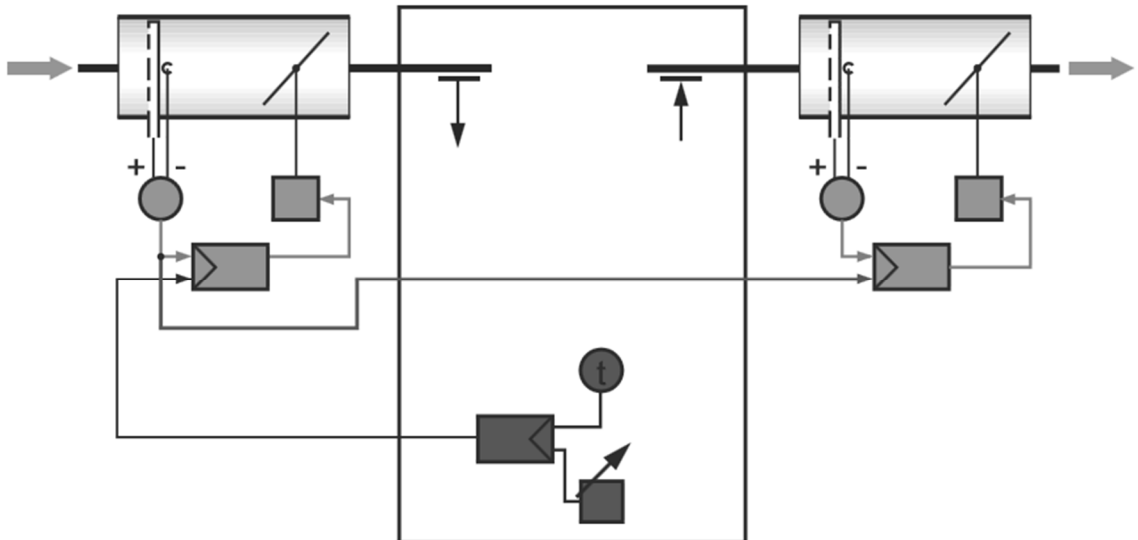
### 3.3.2 Säädön valinta

IMS-järjestelmää jakokanavien painesäädöllä voidaan suositella pienemmillä vyöhykkeillä, joilla on selkeät paineolosuhteet (ei liian pitkiä jakokanavia) niin tulo- että poistopuolella. Moottoriohjattuja IMS-laitteita käytettäessä vyöhykkeiden paineen säätö on välttämätöntä. Ilmavirran säädön käyttöä suositellaan järjestelmissä, joissa on erittäin vaihtelevat paineolosuhteet. Esimerkiksi pitkiä jakokanavia sisältävillä vyöhykkeillä ilmavirran säätö saattaa olla painesäätöä sopivampi ratkaisu. (Lindab 2014, 5.)

### 3.3.3 Ohjaus

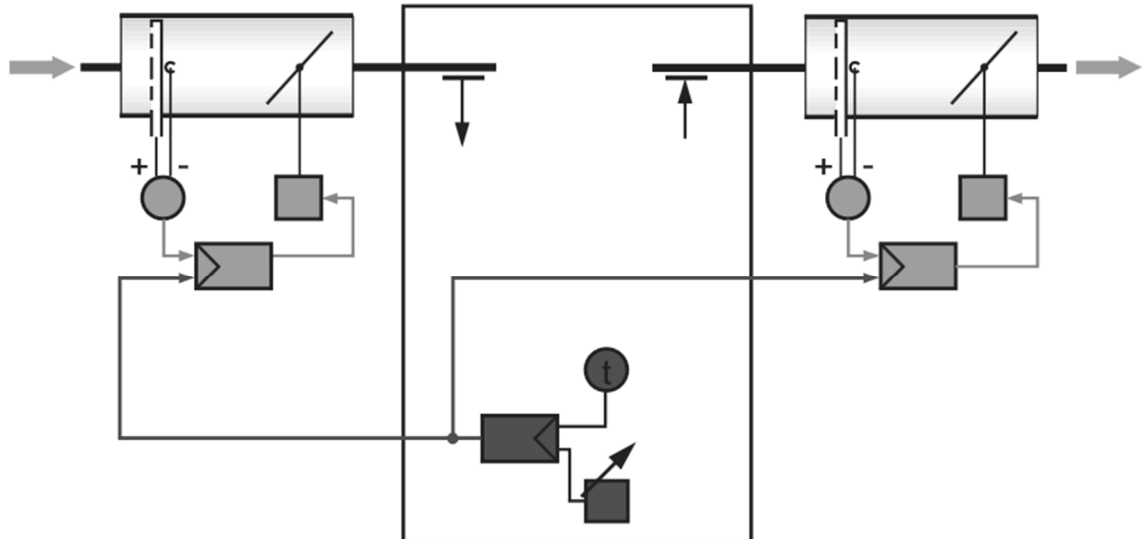
Ilmavirtaa on pystyttävä mittaamaan, joten ilmavirtasäätimille on aina annettu tietty minimiraja, jota tulee noudattaa. Minimi-ilmavirtaa ei siis saa asettaa alle mittausrajan. Ilmavirran säätöä on mahdollista käyttää sekä tulo- että poistoilman jakokanavissa anturista tai DDC-ohjauksesta saatavalla rinnakkaissignaalilla tai Master/Slave-toiminnolla. Orjaohjaus on suositeltavaa etenkin tilanteissa, joissa tilaan halutaan yli- tai alipaine suhteessa ympäristöön. (Lindab 2014, 4.) Orjaohjauksella on kuitenkin rajoituksensa; orjayksikössä ei voi olla suurempi ilmavirta, kuin isäntäyksikössä. Poikkeama alaspäin voi tapahtua vain prosentteina isäntäyksikön ilmavirrasta. (Swegon 2016, 4.)

*Master/Slave-säädössä* (Kuvio 15.) tuloilman todellinen arvo syötetään ohjausviestinä orjasäätimeen, joka on yleensä poistoilmansäädin. Näin päästään tilanteeseen, jossa poistoilman määrä noudattaa automaattisesti tuloilman määrää myös silloin, kun sen oma asetusarvo ei toteudu. (Teknocalor 2008, 10.)



Kuvio 15. Tulo- ja poistoilmavirran orjaohjaus lämpötila- tai CO<sub>2</sub>-anturilla. (Teknocalor 2008, 10.)

Orjaohjaus voi tapahtua myös *rinnakkaissäätönä* (Kuvio 16.), toisin sanoen huoneanturin signaali kytketään sekä tulo- että poistoilmayksikköön. Rinnakkaiskytkentä on suositeltavaa siitä syystä, että ohjaus koskee tällöin molempia yksiköitä samanaikaisesti ja ilmavirtoja pystytään säätämään vapaasti ilmavirtasäätimen työalueen sisällä. (Swegon 2016, 4.) Asetusarvo molemmilla säätimillä on kuitenkin sama. Jos tulopaine jossakin kanaviston osassa on liian alhainen, voi seurauksena olla ilman epätasainen jakautuminen. Tällaisessa tapauksessa orjaohjaus ohittaa rinnakkaissäädön, koska sillä on yhteys ilmavirran todelliseen arvoon, ainakin toiseen suuntaan. (Teknocalor 2008, 10.)



Kuvio 16. Tulo- ja poistoilmavirran rinnakkaisohjaus lämpötila- tai CO<sub>2</sub>-anturilla. (Teknocalor 2008, 10.)

Tuloilmajärjestelmän jakokanavan paineensäätö voidaan yhdistää poistoilman ilmavirran säätöön käyttämällä Master/Slave-periaatetta ja mittaamalla tuloilmavirtaa. Mitattua ilmavirran signaalia voidaan käyttää tulosignaalinä poistoilman ilmapuhtausanturille. Näin varmistetaan, että VAV-vyöhykkeeltä poistetaan sama määrä ilmaa kuin sinne puhalletaan. (Lindab 2014, 4.)

### 3.4 Mitta-anturit ilmanvaihdon ohjaukseen

Ilmastointijärjestelmiin liittyy useita eri lämpötilojen, pitoisuuksien ja paineiden säätöjä, kuten huonetilojen olosuhteiden säätö, kanavapaineiden ja ilman lämpötilan säätö sekä koneiden toiminnan säätö. Näiden säätöjen toteuttamiseen tarvitaan antureita, joiden tarkoitus on mitata säädettäviä olosuhteita ja joiden mittaustulosten perusteella alakeskusten säätimet ohjaavat edelleen toimilaitteita. (Sandberg 2014a, 25.)

Anturit ovat siis mittalaitteita, jotka välittävät reaaliaikaista tietoa prosessien tilasta ja olosuhteista, kuten tilojen lämpötilasta. Alakeskuksen ohjelmistot vertaavat antureilta kerättyjä tietoja järjestelmän asetusarvoihin ja ohjaavat toimilaitteita (esimerkiksi peltimoottorit ja säätöventtiilien moottorit) niin, että kyseenomaiset tavoitteet saavutetaan. (Sandberg 2014a, 299.) Muuttuvilmavirtajärjestelmäksi laske-

taan järjestelmät, joissa tuloilman määrää ohjataan henkilötunnistimen, ilmanlaatuanturin, rakennusautomaation aikaohjelman tai paikallisen kellon avulla (Sandberg 2014a, 134).

Läsnäoloanturi (lämpötila-anturi) etuna on, että sen käytöllä on mahdollista välttää tarpeetonta ilmanvaihtoa. Haittapuolena anturilla on kuitenkin sen kyvyttömyys tunnistaa huoneessa olevien henkilöiden määrä ja ilman laatu, joten ilmavirtaa säädetään pelkästään huonelämpötilan perusteella. Ilman hiilidioksidipitoisuutta (CO<sub>2</sub>) mittaava anturi indikoi puolestaan hyvin ihmisen erittämiä epäpuhtauksia ja soveltuu näin kohteisiin, joissa pääasiallinen epäpuhtauden lähde on ihmiset (esimerkiksi luokat ja neuvotteluhuoneet). (Sandberg 2014a, 136.)

## 4 MALLIKOHTEN IV-JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Mallikohteen suunnittelu ja laskelmat toteutettiin käyttäen Kyndata Oy:n LVI-CADS-ohjelmistoa sekä Microsoftin Excel-taulukkolaskentaohjelmaa. Kanava-suunnitteluun ja kanavamitoitukseen käytettiin CADS-ohjelmistoa. Näin ilmanvaihtoverkostolle saatiin suunnitteluohjelman painehäviölaskennan tuloksena oikeat (runko- ja jakokanavien) ilmamäärät, virtausnopeudet sekä painehäviöt verkoston kanavaosille sekä säätöarvot säätö- ja päätelaitteille. Kanavamitoituksen tärkeimpänä tehtävänä oli saada lähtöarvot verkostolle mitoitusilmavirtatilanteessa q<sub>max</sub> (maksimi-ilmavirta). Tarkasteluiden yhteydessä tilan maksimi-ilmavirralla tarkoitetaan tilannetta, joka täyttää RakMK D2-ohjekortissa tiloille määritetyt sisäilmaston laatuluokka S3 (Sisäilmastoluokitus 2008) mukaiset minimi-ilmavirtavaatimukset.

CADS-ohjelman avulla saatiin siis mitoitus-/lähtöarvot työlle. Aloituservojen lisäksi tarvittiin myös taulukkolaskentaan soveltuva työkalu (laskuri) erilaisten ennalta määrättyjen käyttötilanteiden ajoa varten. Laskurin tarkoituksena olisi toimia samankaltaisena painehäviölaskentatyökaluna kanavistolle kuin CADS, mutta eroten tästä kuitenkin niin, että ilmavirrat ja paine-erot olisivat koko ajan käyttäjän nähtävissä. Seuraavana vaiheena oli rakentaa toimiva laskuri käyttäen apuna Microsoftin Excel-taulukkolaskentaohjelmaa, joka hyödyntäisi CADS:illä saatuja mitoitustietoja laskennassa. Excelin käyttö näin ollen mahdollisti niin sanotusti reaaliaikaisen tarkastelun ilmavirtojen ja painehäviöiden yhteisvaikutuksien seurantaan kanavistossa eri käyttötilanteita haettaessa.

Opinnäytetyössä käytetty mallikohde (Liite 1.) on rajattu, työn laajuus huomioiden, yksikerroksiseksi 955 m<sup>2</sup> rakennukseksi, jonka vesikatolla on ilmanvaihtokonehuone. Rakennuksen käyttötarkoitukseksi työtä varten valittiin koulurakennus. Kohteen tilat määräytyivät seuraavasti: viisi opetustilaa (luokat lk 101-105), kolme toimistohuonetta (th 111-113), kolme käytävää (k 121-123) ja aula (a 124) sekä juhlasali (j 131). Nämä ovat tyypillisiä tiloja koulurakennukselle. Tärkeätä mallikohteen tilasuunnittelussa oli saada tiloihin suuri vaihtuvuus niin käyttötarkoitukseltaan kuin myös kokosuhteiltaan. Koska opetustilojen käyttöasteet vaihtelevat (joskus tilat ovat tyhjillään tai vain osa mitoitetusta henkilömäärästä on paikalla), täytyy tämä huomioida ilmanvaihdon suunnittelussa.

Koulurakennusten tilojen käyttöasteiden vaihtelevuuden takia on kiinnitettävä erityistä huomiota tarpeenmukaiseen ohjaukseen. Tarpeenmukaisella ohjauksella saadaan aikaan säästöjä niin puhaltimen sähköenergian kuin ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutuksessa. Ilmavirtasäätimien ja muiden huollettavien laitteiden sijoituksessa on muistettava myös niiden helppo huollettavuus. (Sandberg 2014a, 340.)

#### **4.1 Kanvasuunnittelu**

Mallirakennuksen tilojen ilmavirrat on suunniteltu RakMK D2 -ohjekortin mukaisesti. Opinnäytetyössä on käytetty kanvakokojen mitoituksessa ilmavirran enimmäisraja-arvoina 25 dB(A) käyrän mukaisia arvoja (Kuvio 5. Suositellut maksimikanavanopeudet). Kanvakokoja on voitu pienentää ilmavirtasäätimien vaatimuksista johtuen.

#### **4.2 Ilmamääräsäätimet ja päätelaitteet**

Mallikohteen kanvasuunnittelussa ja ilmamäärälaskelmissa käytettiin Oy Swegon Ab:n ilmavirtasäätimiä (Liite 2.), joiden pienin suositeltu mittauspaine on 5 Pa (vastaa noin 1,7 m/s kanavanopeutta). Tämä tuo mukanaan tietyt rajoitteet etenkin huonetilojen minimi-ilmavirtaa mitoittaessa. Esimerkiksi alle 1,0 m/s ilmavirralla ei voida taata  $\pm 10\%$  mittaustarkkuutta, joten tilojen vähimmäisilmamäärät on valittava niin, että pysytään ilmamääräsäätimien toimivuusalueella.

Tilojen päätelaitteet on mitoitettu käyttäen Fläkt Woods Oy:n liitântälaatikollisia kattohajottajia (passiiviset päätelaitteet) niin tulo- että poistoilmapuolella. Liitântälaatikollisten kattohajottajien hyvänä puolena on, että niiden ilmavirtaa voidaan säätää ja virtausta tasata niin, että laitteet toimivat olosuhteissa, joissa niiden tekniset ominaisuudet on mitattu (Sandberg 2014a, 225). Passiivisen ja aktiivisen päätelaitteen ero on, että siinä missä passiiviset päätelaitteet säädetään kerran kanaviston tasapainotuksen yhteydessä, säädetään aktiivisia päätelaitteita tuloilmalaitteeseen integroidulla toimilaitteella. Ilmarakoa säätämällä aktiivilaitteet pitä-

vät heittopituuden automaattisesti lähes vakiona vedon välttämiseksi. (Sandberg 2014b, 302.)

## 5 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO

Työn tarkasteltaviksi käyttötilanteiksi määritettiin seuraavat viisi tilannetta:

- *Tilanne 1: Maksimi-ilmavirta  $q_{max}$ .* Rakennuksen kaikki tilat ovat käytössä eli tilat vaativat niille määritetyn maksimi-ilmavirran (mitoitusilmavirta).
- *Tilanne 2: Luokkahuone.* Luokkahuone lk 101 on niin sanotusti poissa käytöstä, mikä tarkoittaa, että tilaan ajetaan vain sen vaatima minimi-ilmavirta. Rakennuksen muissa tiloissa on käytössä maksimi-ilmavirta.
- *Tilanne 3: Toimistohuone.* Vain toimistohuone th 111 on käytössä. Tilaan ajetaan sen vaatima maksimi-ilmavirta. Rakennuksen muissa tiloissa on käytössä minimi-ilmavirta.
- *Tilanne 4: Juhlasali.* Vain juhlasali j 131 on käytössä. Rakennuksen muissa tiloissa on käytössä minimi-ilmavirta.
- *Tilanne 5: Käytävät ja aula.* Päivätilanne, jolloin luokissa yms. tiloissa ei ole käyttöä. Tällöin näihin tiloihin ajetaan vain niiden tarvitsema minimi-ilmavirta. Käytävillä (k 121-123) ja aulassa (a 124) on kuitenkin vaatimuksena maksimi-ilmavirta.

Tarkasteluissa (Excel-laskelmat) ei oteta huomioon koko järjestelmän vaatimaa painehäviötä. Jotta koko ilmanvaihtojärjestelmän vaatima painehäviö ilmoitetulla ilmavirralla olisi totuuden mukainen, tulee ilmoitettuun puhaltimen mitoituspainehäviöön (kanavisto) lisätä raitis- tai jäteilmakanavan (riippuen kumman kanaviston häviöitä tarkastellaan) sekä itse ilmanvaihtokoneen tuottama painehäviö. Näin saadaan laskettua koko järjestelmän vaatima kokonaispainehäviö. Tilannekohtaisissa koneajoissa huomioidaan järjestelmän kokonaispainehäviöt.

Ilmanvaihtojärjestelmän kokonaispainehäviöitä laskettaessa on muistettava, että puhaltimen kierrosnopeutta muutettaessa muuttuvat myös tilavuusvirta, paineentuohto sekä tehontarve. Ohessa olevien suoritusarvojen muuntoyhtälöiden eli puhallinlakien (Kaava 1.) perusteella voidaan jokaiselle käyttötilanteelle laskea todell-



linen kokonaispainehäviö. Mitoitustilanteessa raitis- ja jäteilmakanavalle olisi hyvä varata molemmille ainakin 50 Pa käyttöpainetta ja ilmanvaihtokoneelle 250 Pa.

$$q_{v2} = q_{v1} \left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad \Delta p_2 = \Delta p_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \quad P_2 = P_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \quad (1)$$

Sähköenergiankulutuksen kannalta täytyy myös tarkastella puhaltimien (tulo- ja poistopuhallin) teoreettista tehontarvetta, joka saadaan alla esitetyllä kaavalla (Kaava 2.). Kaavassa puhaltimen sähköisellä hyötysuhteella tarkoitetaan puhaltimen kokonaispaineen mukaan laskettua teoreettisen tehontarpeen suhdetta puhaltimen siipipyörälle tulevaan todelliseen tehoon.

$$P = \frac{q_v \cdot \Delta p}{\eta}, \quad \begin{array}{l} q_v = \text{tilavuusvirta [m}^3/\text{s]} \\ \Delta p = \text{kokonaispainehäviö [Pa]} \\ \eta = \text{puhaltimen kokonaishyötysuhde} \end{array} \quad (2)$$

Jokaisen tarkastelutilanteen yhteyteen on tämän takia laadittu taulukot, joista käy ilmi toteutuneet ilmavirrat, kokonaispainehäviöt sekä kokonaistehontarve muuttuva- ja vakiopainesäätöisessä järjestelmässä. Taulukoiden tiedot on saatu käyttämällä IV-Produkt Ab:n ilmanvaihtokoneiden suunnittelua varten kehittämää IVP-Designer-mitoitusohjelmaa. Ohjelman avulla suunniteltiin kohteeseen sopiva, nyky määräkset täyttävä, ilmanvaihtokone (Liite 3.), jolla tarkastelutilanteiden kaikki koneajot on myös tehty. Ohjelmalla tehdyissä koneajoissa käytettiin lähtötietoina tarkastelutilanteiden laskelmista saatuja mitoitus tietoja.

## 5.1 Tilanne 1: Maksimi- ja minimi-ilmavirta

Ensimmäisessä tarkastelutilanteessa (Liite 4.) tutkittiin kanaviston painehäviöitä molemmissa ääripäissä eli tilanteissa, joissa rakennuksen kaikissa tiloissa on käytössä vain niiden vaatima maksimi-ilmavirta (mitoitusilmavirta) tai minimi-ilmavirta. Taulukoissa 3. ja 4. on tiivistetty yhteenveto mitoitusarvoista maksimi- ja minimi-ilmavirroilla muuttuvapaineisessa järjestelmässä sekä vakiopaineisessa järjestelmässä.

Taulukko 3. Toteutuneet ilmavirrat ja painehäviöt maksimi-ilmavirralla tarkastelutilanteessa 1.

Tilanne 1 ( $q_{\max}$ ), muuttuva- ja vakiopaine				
	Muuttuvapaine		Vakiopaine	
	dm <sup>3</sup> /s	Pa	dm <sup>3</sup> /s	Pa
<b>Tuloilma</b>	3395	127,7	3395	127,7
<b>Poistoilma</b>	-3395	129,1	-3395	129,1

Taulukko 4. Toteutuneet ilmavirrat ja painehäviöt minimi-ilmavirralla tarkastelutilanteessa 1.

Tilanne 1 ( $q_{\min}$ ), muuttuva- ja vakiopaine				
	Muuttuvapaine		Vakiopaine	
	dm <sup>3</sup> /s	Pa	dm <sup>3</sup> /s	Pa
<b>Tuloilma</b>	724	25	724	127,7
<b>Poistoilma</b>	-724	24	-724	129,1

Muuttuvapaineisessa järjestelmässä puhaltimen tuottama paine on minimi-ilmavirroilla tuloilmapuolella enää noin 20 % vaaditusta ja poistoilmapuolella noin 19 %. Luvussa 2.3.3 Sääto, rajoitteet ja hyötysuhteet todettiin, että puhaltimen kokonaishyötysuhde (taajuusmuuttaja + sähkömoottori + puhallin) pienenee ilmavirran pienentyessä. Tämän seurauksena pyörimisnopeussäädössä hyötysuhde ilmavirran säätöalueen alarajalla on vaarassa heikentyä niin, että puhaltimen moottori alkaa kuumentua. Laittevalinnan tärkeys korostuu siis entisestään, kun aletaan hakea säätöalueen alarajaa (minimi-ilmavirtatilanne). Tavanomainen säätöalue puhaltimilla taajuusmuuttajakäytössä on 30...100 %.

Puhaltimien kokonaistehontarvetta on myös syytä tarkastella. Oheisissa taulukoissa (Taulukot 5. ja 6.) on esitetty koneajojen pohjalta saadut laskennalliset tehontarpeet niin muuttuva- kuin vakiopainesäätöisessä järjestelmässä maksimi- ja minimi-ilmavirralla. Maksimi-ilmavirtatilanteessa lähtötiedot ovat samat molemmissa säätötavoissa.

Taulukko 5. Tulo- ja poistoilmakoneen tehontarve muuttuva- ja vakiopainesäädössä maksimi-ilmavirralla.

Tilanne 1 ( $q_{\max}$ ), tehontarve				
	$q_v$	$\Delta p_{\text{kok}}$	$\eta$	P
	m <sup>3</sup> /s	Pa	%	kW
<b>Tulo</b>	3,40	635	0,60	3,60
<b>Poisto</b>	3,40	515	0,56	3,13

Taulukko 6. Tulo- ja poistoilmakoneiden tehontarve muuttuva- ja vakiopainesäädössä minimi-ilmavirralla.

Tilanne 1 ( $q_{min}$ ), tehontarve				
	$q_v$	$\Delta p_{kok}$	$\eta$	P
	$m^3/s$	Pa	%	kW
Tulo <sub>muuttuva</sub>	0,72	120	0,45	0,19
Tulo <sub>vakio</sub>	0,72	223	0,42	0,38

	$q_v$	$\Delta p_{kok}$	$\eta$	P
	$m^3/s$	Pa	%	kW
Poisto <sub>muuttuva</sub>	-0,72	113	0,45	0,18
Poisto <sub>vakio</sub>	-0,72	218	0,42	0,37

Muuttuva- ja vakiopainesäätöisen järjestelmän erot puhaltimen tehontarpeessa ovat suurimmillaan minimi-ilmavirtatilanteessa. Erot säätötapojen välillä ovat noin 50 prosenttisyksikköä sekä tulo- että poistoilmakoneella.

## 5.2 Tilanne 2: Luokkahuone

Toisessa tarkastelutilanteessa (Liite 5.) vain luokkahuoneen lk 101 ilmanvaihto oli minimi-ilmavirralla. Rakennuksen muissa tiloissa oli käytössä maksimi-ilmavirrat. Kun verrataan tämän tilanteen arvoja maksimi-ilmavirtatilanteeseen, voidaan todeta, että luokkahuonetta palvelevan ilmavirtasäätimen kuristaessa ilmavirtausta, ei paineen nousu (14,1 Pa  $\rightarrow$  89,8 Pa) säätimessä nosta äänitasoa kuin kaksi desibeliä. Tällä ei ole vielä suurta vaikutusta äänenkehittymiseen kanavassa tai sen ulkopuolella. Saman jakokanavan muissa haaroissa ei myöskään esiinny suuria muutoksia painehäviöissä tai äänitasoissa.

Taulukko 7. Toteutuneet ilmavirrat ja painehäviöt tarkastelutilanteessa 2.

Tilanne 2, muuttuva- ja vakiopaine				
	Muuttuvapaine		Vakiopaine	
	$dm^3/s$	Pa	$dm^3/s$	Pa
Tuloilma	3327	127,7	3327	127,7
Poistoilma	-3327	129,1	-724	129,1

Muuttuva- ja vakiopainesäädössä (Taulukko 7.) näin pienellä ilmavirran muutoksella (3395  $dm^3/s \rightarrow$  3327  $dm^3/s$ ) ei ole vielä vaikutusta kanaviston painehäviöön.

Myöskään IMS-säätimien äänitasoissa (keskimäärin 51 dB säätötavasta riippumatta) ei tapahdu huomattavia muutoksia. Luokkahuoneen ilmavirtasäätimet joutuvat kuristamaan virtausta eniten verrattuna muiden tilojen säätimiin, jotka ovat melkein auki.

Taulukko 8. Tulo- ja poistoilmakoneiden tehontarve muuttuva- ja vakioainesäädössä tarkastelutilanteessa 2.

<b>Tilanne 2, tehontarve</b>				
	$q_v$	$\Delta p_{\text{kok}}$	$\eta$	P
	m <sup>3</sup> /s	Pa	%	kW
<b>Tulo</b> <sub>muuttuva</sub>	3,33	620	0,60	3,44
<b>Tulo</b> <sub>vakio</sub>	3,33	620	0,60	3,44

	$q_v$	$\Delta p_{\text{kok}}$	$\eta$	P
	m <sup>3</sup> /s	Pa	%	kW
<b>Poisto</b> <sub>muuttuva</sub>	-3,33	504	0,57	2,94
<b>Poisto</b> <sub>vakio</sub>	-3,33	504	0,57	2,94

Tehontarve on puolestaan laskettu edellä olevassa taulukossa (Taulukko 8.). Lukujen perusteella voidaan todeta, että näin pienellä ilmamäärän muutoksella ei ole näkyviä vaikutuksia sähkönkulutukseen.

### 5.3 Tilanne 3: Toimistohuone

Kolmannessa tarkastelutilanteessa (Liite 6.) vain pieni tila, toimistohuone th 111, on käytössä eli tilassa on käytössä sille mitoitettu maksimi-ilmavirta. Rakennuksen muissa tiloissa on käytössä puolestaan minimi-ilmavirta. Tällainen tilanne ei ole tässä case-tapauksessa (koulu) realistinen, sillä käytävien ilmanvaihto on yleensä maksimi-ilmavirralla, mikäli rakennuksen joku muu tila on käytössä. Tilanteen tarkoituksena on vain nähdä kuinka suuri vaikutus yksittäisen pienen tilan käytöllä on kanavapaineisiin, jos loput rakennuksen tiloista vaativat minimi-ilmavirtaa.

Taulukko 9. Toteutuneet ilmavirrat ja painehäviöt tarkastelutilanteessa 3.

Tilanne 3, muuttuva- ja vakiopaine				
	Muuttuvapaine		Vakiopaine	
	dm <sup>3</sup> /s	Pa	dm <sup>3</sup> /s	Pa
Tuloilma	747	91,6	747	127,7
Poistoilma	-747	100,5	-747	129,1

Taulukosta 9. voidaan nähdä, että ero painehäviöissä muuttuva- ja vakiopainesäädön välillä on tuloilmakanavistossa noin 28 prosenttiyksikköä (127,7 Pa → 91,6 Pa) ja poistoilmakanavistossa noin 22 prosenttiyksikköä (129,1 Pa → 100,5 Pa). Vaikka kaikki tilat yhtä pientä huonetta lukuun ottamatta pyytävät minimiilmavirtaa, joutuu puhallin tästä huolimatta tuottamaan kanavistoon lähes täyden ilmavirran vaatiman painehäviön. Esimerkiksi minimi-ilmavirtatilanteessa (Taulukko 4.) painehäviöt olivat tuloilmakanavassa vain 25 Pa ja poistoilmakanavassa 24 Pa.

Ero ilmavirtasäätimien äänitasoissa on keskimäärin kaksi desibeliä, vakiopainejärjestelmän tuottaessa korkeamman äänitason säädintä kohden. Mitoitustilanteeseen (maksimi-ilmavirta) verrattaessa äänitasot pienenevät selvästi kaikkien säätimien kohdalla, paitsi yhden. Siinä missä muita tiloja palvelevien säätimien äänitasot pienenevät selvästi, tapahtuu käytävällä k 121 suhteellisen suuri nousu IMS-säätimen äänitasossa, kun aletaan olla lähellä minimi-ilmavirtarajaa.

Taulukko 10. Tulo- ja poistoilmakoneiden tehontarve muuttuva- ja vakiopainesäädössä tarkastelutilanteessa 3.

Tilanne 3, tehontarve				
	q <sub>v</sub>	Δp <sub>kok</sub>	η	P
	m <sup>3</sup> /s	Pa	%	kW
Tulo <sub>muuttuva</sub>	0,75	189	0,43	0,33
Tulo <sub>vakio</sub>	0,75	225	0,42	0,40

	q <sub>v</sub>	Δp <sub>kok</sub>	η	P
	m <sup>3</sup> /s	Pa	%	kW
Poisto <sub>muuttuva</sub>	-0,75	191	0,43	0,33
Poisto <sub>vakio</sub>	-0,75	219	0,42	0,39

Tehontarve on esitetty yllä olevassa taulukossa (Taulukko 10.). Muuttuva- ja vakiopainesäädön väliset erot puhallintehoissa ovat tuloilmojen välillä noin 18 prosenttiyksikköä ja poistoilmoissa noin 15 prosenttiyksikköä.

#### 5.4 Tilanne 4: Juhlasali

Neljäs tarkastelutilanne (Liite 7.) on idealtaan sama kuin Tilanne 3. Tässä tilanteessa on kuitenkin tarkoitus tutkia mitä kanaviston painehäviölle tapahtuu, kun ilmanvaihto on minimillä suurimmassa osassa rakennusta, mutta yksittäisessä suuren ilmavirran omaavassa tilassa on käytössä maksimi-ilmavirta. Kyseinen suuren ilmavirran vaativa tila on juhlasali j 131.

Taulukko 11. Toteutuneet ilmavirrat ja painehäviöt tarkastelutilanteessa 4.

Tilanne 4, muuttuva- ja vakiopaine				
	Muuttuvapaine		Vakiopaine	
	dm <sup>3</sup> /s	Pa	dm <sup>3</sup> /s	Pa
<b>Tuloilma</b>	1848	119,5	1848	127,7
<b>Poistoilma</b>	-1848	117,7	-1848	129,1

Taulukosta 11. käy ilmi, että muuttuva- ja vakiopainesäädön erot kanaviston painehäviöiden suhteen ovat alle kymmenen prosenttiyksikköä. Tuloilmakanavassa painehäviö pienenee noin 7 prosenttiyksikköä (127,7 Pa → 119,5 Pa) ja poistoilmakanavassa noin 9 prosenttiyksikköä (129,1 Pa → 117,7 Pa). Juhlasali vaatii suuren ilmamäärän suhteessa kokonaisilmamäärään, joten painehäviöt kanaviston muilla säätimillä pysyvät varsin korkeina (keskimäärin 108 Pa säädintä kohden). Tämä selittyy sillä, että näissä tiloissa säätimet joutuvat kuristamaan virtausta paljon, minkä seurauksena painehäviöt kanavistossa kasvavat.

Tilanne muuttuvapaineisessa säädössä on mielenkiintoinen siinä mielessä, että vaikka verkoston toteutunut ilmamäärä on vain noin puolet kokonaisilmamäärästä, ovat ilmavirtasäätimien äänitasot silti samaa luokkaa kuin maksimi-ilmavirtatilanteessa (keskimäärin 51 dB / säädin). Pienissä tiloissa äänitasot ovat jopa maksimitilannetta korkeampia. Järjestelmän toimiessa vakiopaineella säätimien äänitasot ovat keskimäärin 53 dB.

Taulukko 12. Tulo- ja poistoilmakoneiden tehontarve muuttuva- ja vakiopainesäädössä tarkastelutilanteessa 4.

Tilanne 4, tehontarve				
	$q_v$	$\Delta p_{\text{kok}}$	$\eta$	P
	$\text{m}^3/\text{s}$	Pa	%	kW
Tulo <sub>muuttuva</sub>	1,85	349	0,58	1,11
Tulo <sub>vakio</sub>	1,85	357	0,58	1,14

	$q_v$	$\Delta p_{\text{kok}}$	$\eta$	P
	$\text{m}^3/\text{s}$	Pa	%	kW
Poisto <sub>muuttuva</sub>	-1,85	313	0,57	1,02
Poisto <sub>vakio</sub>	-1,85	324	0,57	1,05

Tehontarvetarkastelusta (Taulukko 12.) nähdään, että kun ilmamäärä lähestulkoon puolittuu maksimitilanteeseen nähden, on puhaltimien tehontarve enää noin kolmasosa maksimista. Muuttuva- ja vakiopainesäädön väliset tehoerot jäävät tästä huolimatta pieniksi. Tehoerot sekä tulo- että poistoilmoissa on noin 3 prosenttiyksikköä.

## 5.5 Tilanne 5: Käytävät ja aula

Viimeisenä tarkasteluna (Liite 8.) on niin sanottu päivätilanne, jossa kaikki luokat ja toimistotilat ovat poissa käytöstä eli ilmanvaihto on minimi-ilmavirralla. Käytävillä ja aulassa on puolestaan käytössä maksimi-ilmavirta. Alla olevaan taulukkoon (Taulukko 13.) on tiivistetty tulokset kanaviston ilmamääristä ja painehäviöistä.

Taulukko 13. Toteutuneet ilmavirrat ja painehäviöt tarkastelutilanteessa 5.

Tilanne 5, muuttuva- ja vakiopainesäätö				
	Muuttuvapaine		Vakiopaine	
	$\text{dm}^3/\text{s}$	Pa	$\text{dm}^3/\text{s}$	Pa
Tuloilma	1659	114,8	1659	127,7
Poistoilma	-1659	123,6	-1659	129,1

Vaikka muuttuvapainesäädössä kaikki tilat käytäviä ja aulaa lukuun ottamatta pyytävät minimi-ilmavirtaa, joutuu puhallin tuottamaan kanavistoon lähes saman painehäviön kuin täydellä ilmavirralla. Painehäviö ilmavirtasäädintä kohden on tässä tapauksessa keskimäärin 101 Pa (tuloilma) ja 104 Pa (poistoilma). Vakiopai-

nesäädössä säätimien painehäviö on keskimäärin 114 Pa. Äänitasoissa ero on noin kahden desibelin luokkaa (muuttuvapaine: 50 dB, vakiopaine: 52 dB).

Käytävät ja aula vaativat yhteensä suuren ilmamäärän verrattuna kokonaisilmamäärään ( $3395 \text{ dm}^3/\text{s} \rightarrow 1659 \text{ dm}^3/\text{s}$ ). Esimerkiksi tuloilmakanavistossa painehäviö pienenee noin 11 prosenttiyksikköä ja poistoilmakanavistossa noin 4 prosenttiyksikköä. Osasyyn tähän on se, että käytössä olevat tilat ovat kytköksissä jokaiseen rungosta lähtevään kanavahaaraan, joten paineen täytyy olla riittävä myös kanaviston viimeisessä haarassa. Tämän seurauksena erot kanavistojen painehäviöissä jäävät melko pieniksi säätötavasta huolimatta.

Taulukko 14. Tulo- ja poistoilmakoneiden tehontarve muuttuva- ja vakiopainesäädössä tarkastelutilanteessa 5.

Tilanne 5, tehontarve				
	$q_v$	$\Delta p_{\text{kok}}$	$\eta$	P
	$\text{m}^3/\text{s}$	Pa	%	kW
Tulo <sub>muuttuva</sub>	1,66	312	0,56	0,92
Tulo <sub>vakio</sub>	1,66	325	0,57	0,95

	$q_v$	$\Delta p_{\text{kok}}$	$\eta$	P
	$\text{m}^3/\text{s}$	Pa	%	kW
Poisto <sub>muuttuva</sub>	-1,66	299	0,56	0,89
Poisto <sub>vakio</sub>	-1,66	304	0,56	0,90

Tehontarvetta (Taulukko 14.) tarkasteltaessa huomataan, että kun ilmamäärä vähenee alle puoleen maksimitilanteeseen nähden, on kokonaistehontarve enää noin neljäsosa maksimista. Muuttuva- ja vakiopainesäädön väliset tehoerot jäävät tästä huolimatta pieniksi. Tehoerot tuloilmoissa on 3 prosenttiyksikköä ja poistoilmoissa 1 prosenttiyksikön luokkaa.

## 5.6 Esimerkkipäivä

Edellä laskettujen tilannetarkasteluiden pohjalta (Tilanteet 1-5) on hyvä koota ns. esimerkkipäivä. Puhallintehoissa on lisäksi huomioitu taajuusmuuttajan hyötysuhde (98 %). Tämän avulla voidaan edes teoreettisella tasolla verrata muuttuva- sekä vakiopainesäädetyin ilmanvaihtojärjestelmän puhallinsähkön kulutusta vakioil-



mavirtajärjestelmään. Esimerkkutilanne päivänkulusta (Taulukko 15.) olisi seuraava-

lainen:

- *Vakioilmavirta*
  - Päivällä klo 06-21 koko rakennus pyytää maksimi-ilmavirtaa (Tilanne 1). Ilmavirta 3,40 m<sup>3</sup>/s ja puhallinteho (tulo + poisto) 6,87 kW.
  - Yöaikana klo 21-06 järjestelmä on poissa päältä.
- *Muuttuva- ja vakiopainesäätö*
  - Aamulla klo 06-07 rakennukseen ajetaan minimi-ilmavirta (Tilanne 1, q<sub>min</sub>). Ilmavirta 0,72 m<sup>3</sup>/s sekä puhallinteho (tulo + poisto) muuttuvapainesäädössä 0,38 kW ja vakiopainesäädössä 0,77 kW.
  - Tämän jälkeen vain käytävät ja aula ovat päällä aikavälillä 07-08 (Tilanne 5). Ilmavirta 1,66 m<sup>3</sup>/s sekä puhallinteho (tulo + poisto) muuttuvapainesäädössä 1,85 kW ja vakiopainesäädössä 1,89 kW.
  - Koulupäivä kestää klo 08-16. Tällä ajalla kaikki tilat pyytävät maksimi-ilmavirtaa (Tilanne 1, q<sub>max</sub>). Ilmavirta 3,40 m<sup>3</sup>/s sekä puhallinteho (tulo + poisto) muuttuva- ja vakiopainesäädöissä 6,87 kW.
  - Koulupäivän päätyttyä vain käytävät ja aula ovat jälleen päällä aikavälillä 16-18 (Tilanne 5). Ilmavirta 1,66 m<sup>3</sup>/s sekä puhallinteho (tulo + poisto) muuttuvapainesäädössä 1,85 kW ja vakiopainesäädössä 1,89 kW.
  - Klo 18-19 rakennus on minimi-ilmavirralla (Tilanne 1, q<sub>min</sub>). Ilmavirta 0,72 m<sup>3</sup>/s sekä puhallinteho (tulo + poisto) muuttuvapainesäädössä 0,38 kW ja vakiopainesäädössä 0,77 kW.
  - Ja lopuksi juhlasali on vielä käytössä klo 19-21 välisen ajan (Tilanne 4). Ilmavirta 1,85 m<sup>3</sup>/s sekä puhallinteho (tulo + poisto) muuttuvapainesäädössä 2,17 kW ja vakiopainesäädössä 2,23 kW.
  - Yöaikana klo 21-06 järjestelmä on poissa päältä.

Taulukko 15. Esimerkkipäivä.

Esimerkkipäivä			
	$q_v$	$W_{\text{puhallin}}$	$Q_{IV}$
	$\text{m}^3/\text{s}$	kWh	kWh
<b>Vakioilmavirta</b>	2,13	103,62	500,73
<b>Vakiopaine</b>	1,56	66,63	367,60
<b>Muuttuvapaine</b>	1,56	65,61	367,60

Taulukosta 15. nähdään, että tämän kaltaisessa tarkastelutilanteessa vakioilmavirtajärjestelmässä puhallinsähkön kulutus on lähes 40 prosenttiyksikköä suurempi kuin tarveohjatussa järjestelmässä. Ostoenergian tarvetta laskettaessa järjestelmien välinen ero olisi noin 27 prosenttiyksikköä, jos oletetaan LTO-hyötysuhteen olevan 70 % ja  $-5\text{ }^\circ\text{C}$  ulkolämpötila.

Ilmavirtasäädössä (muuttuva- ja vakiopaine) ilmavirrat ovat samat, joten säätöä on mahdollista saada vain puhallinsähkön kulutuksen pienenemisestä optimaalisella kanavapaineasetuksella. Ero säätötapojen välillä olisi ko. tarkastelussa noin 1,5 prosenttiyksikköä. Näiden pohjalta on vielä hyvä tarkastella vuosikulutusta puhallinsähkölle. Jos oletetaan, että järjestelmä toimii vuoden jokaisena päivänä esimerkkitalanteen mukaisesti, saataisiin vuosikulutukseksi muuttuvapainesäädössä 23,95 MWh ja vakiopainesäädössä 24,32 MWh.

## 6 YHTEENVETO

Ilmanvaihdon tärkein tarkoitus on ylläpitää ilman laatua ja näin ollen riittävällä yleisilmanvaihdolla voidaan varmistua, että esimerkiksi ilman hiilidioksidipitoisuudet pysyvät terveellisellä tasolla (ihmisiä ja rakennusta ajatellen). Ilmanvaihdon toiminnan edellytyksenä on puolestaan suunnitelmien mukaisesti säädetty kanavisto, jotta jokaiseen rakennuksen osaan saadaan tuotettua tasainen ilmavirta ja samalla painesuhteet tilojen välillä pysyvät hallitulla tasolla. Näin ollen oikeanlaisella ilmanvaihdon tasapainotuksella ja säädöllä voidaan vaikuttaa rakennuksen energiatalouteen.

Tarveohjattua ilmanvaihtoa tulisi käyttää, kun rakennuksissa esiintyy vaihtelevia kuormituksia. Koska ilmanvaihdon tarpeen määräävinä tekijöinä ovat pääasiassa ihmisistä, laitteista ja auringonpaisteesta muodostuvat lämpökuormat, voidaan tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjauksella tasapainottaa tiloissa syntyvää kuormitusta. Tämän etuna on, että kun tuloilman lämpötilan sijaan säädetään ilmavirtaa suhteessa huonetilan lämpötilaan, pystytään ilmavirtoja pienentämään kunkin tilan tarpeen mukaan ja toimittamaan juuri se ilmamäärä, joka tarvitaan ylläpitämään tilan edellytyksiä. Edellä mainitun vuoksi rakennuksissa (esimerkiksi koulurakennukset), joiden tilojen käyttöasteissa voi olla suuriakin eroja, tulee ilmanvaihdon tarpeenmukaiseen ohjaukseen kiinnittää erityistä huomiota.

Opinnäytetyössä käytetyssä mallirakennuksen suunnittelussa sekä tarkastelutilanteiden kartoittamisessa pyrittiin huomioimaan kaikki edellä mainitut osa-alueet, jotta itse tarkastelut ja niistä saadut havainnot toisivat hyötyä suunnittelutyöhön. Mallikohde perustui tästä syystä todelliseen kohteeseen ja tarjosi täten hyvät lähtökohdat erilaisten tilannetarkasteluiden tutkimista varten. Mallirakennusta jouduttiin kuitenkin yksinkertaistamaan, jotta laskelmat pysyivät hallittavalla tasolla. Tämä näkyy myös osittain tarkastelutilanteissa: kanavistojen painetasot pysyvät suhteellisen matalina. Sama koskee äänitasoja. Johtopäätöksenä voidaan sanoa, että jos kanavistoa alettaisiin "kasvattamaan", tulisivat erot paine- ja äänitasoissa selvemmin esille.

Vaikka kohteen kanavisto ei ole kokoluokaltaan laajin mahdollinen, havainnollistaa kolmas tarkastelukohta (Luku 5.3 Tilanne 3: Toimistuhuone) silti ilmanvaihdon op-

timoinnin tarkoituksen parhaiten. Järjestelmän on pystyttävä tunnistamaan jokaisen säätimen pellin asento ja tämän perusteella sen tulee optimoida koneen painetaso niin, että vähintään yksi pelti olisi aina mahdollisimman auki.

Tarkastelutilanteiden tulokset puhuvat silti muuttuvapainesäädön puolesta. Kun kanavistossa voidaan ylläpitää pienempiä painetasoja, tarkoittaa tämä säästöä sähkönkulutuksessa pitkällä aikavälillä. Kun painesäätöisellä puhaltimen ohjauksella ylläpidetään alhaisinta mahdollisinta painetta kanavassa, voidaan varmistua, että kaikkialla kanavistossa on riittävän korkea paine ilmavirran aikaansaamiseksi. Tästä johtuen kanavapainesäätö tulisi toteuttaa riittävän pitkällä aikavälillä, jotta paineen säätöön ei tule liian suuria hetkittäisiä muutoksia. Näin vältetään ilmavirran pumppausefektiltä, sillä suuresta painetason vaihtelusta seuraa helposti ilma-  
virtojen heilahteluja sekä liian korkeita äänitasoja yksittäisissä huonetiloissa.

Suurin vaikutus säätöön on kuitenkin paine-eroanturin sijoituksella kanavistossa. Tarkastelujen pohjalta huomataan, että yksi kanavahaara ei ole riittävä puhaltimen painesäädön mittaukseen. Koska, jos puhallinta ohjataan vain yhdestä pisteestä, on kuormitustilanteesta riippuen mahdollista, että staattinen paine on liian pieni yhdessä tai useammassa haarakanavassa. Tämän vuoksi painemittaus tulisi olla useammassa kanavahaarassa.

Ilmanvaihdon energiatehokkuuden optimoinnissa on siis tärkeää, että energiankulutuksen ja sisäolosuhteiden tavoitteet on määritelty. Kun suunnitellaan nykyisiä ohjearvoja noudattaen, voidaan varmistua ilmavirran riittävydestä tiloissa. Hyvin toteutetun tarpeenmukaisen muuttuvailmavirtasäätöisen järjestelmän rakentaminen vaatii hyvän ilmanvaihdon suunnittelun lisäksi myös osaavaa ja huolellista rakennusautomaation suunnittelua, hallintaa, ohjelmointityötä sekä riittävää järjestelmän toiminnan testausta. Näin ilmanvaihdon tarpeenmukaisella ohjauksella pysytään saavuttamaan toimiva ja energiatehokas ilmanvaihtojärjestelmä niin, että sisäilman laadusta ei jouduta tinkimään.

## LÄHTEET

- Fläkt Woods. 2015. Puhaltimenvaihto ilmapuhdistuskoneeseen. [Verkojulkaisu]. Fläkt Woods Oy. [Viitattu 5.10.2016]. Saatavana: <http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=70072eb6-48a7-4534-a1e1-9db6709cb22b>
- Halme, A. & Seppänen, O. 2002. Ilmastoinnin Äänitekniikka. Jyväskylä: Suomen LVI-liitto.
- Lindab. 2014. IMS-järjestelmät. [Verkojulkaisu]. Lindab Ab. [Viitattu 25.2.2016]. Saatavana: [https://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/comfort/fi/n/technical/a\\_13\\_vav.pdf](https://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/comfort/fi/n/technical/a_13_vav.pdf)
- LVI 03-10378. 2004. Asuinrakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän peruskorjaus ja -parannus. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- LVI 05-10440. 2008. Sisäilmastoluokitus 2008. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- LVI 30-40008. 1991. Muuttuvilmavirtaiset ilmastointijärjestelmät. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- LVI 39-10283. 1998. Asuinkerrostalon ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja säätö. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- RakMK C1. 2011. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- RIL 259-2012 Matalaenergiarakentaminen. Toimitilat. 2012. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Oy.
- Sandberg, E. 2014a. Ilmastointitekniikka Osa 1: Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- Sandberg, E. 2014b. Ilmastointitekniikka Osa 2: Ilmastointilaitoksen mitoitus. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- Seppänen, O. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. 2. uud. p. Espoo: Suomen LVI-yhdistysten Liitto.
- Sisäilmayhdistys. Ei päiväystä. Ilmanvaihdon perusteet. [Verkkosivu]. Espoo: Sisäilmayhdistys ry. [Viitattu 18.1.2016]. Saatavana: <http://www.sisailmayhdistys.fi/Perustieto-a-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet>

- Sisäilmayhdistys. 2008. Ilmavirtaukset rakennuksessa. [Verkkosivu]. Espoo: Sisäilmayhdistys ry. [Viitattu 7.4.2016]. Saatavana: <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Ilmavirtaukset-rakennuksessa>
- Swegon. 2016. React-järjestelmä. [Verkkojulkaisu]. Oy Swegon Ab. [Viitattu 25.2.2016]. Saatavana: [http://www.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/Demand%20controlled%20ventilation/\\_fi/REACTa.pdf](http://www.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/Demand%20controlled%20ventilation/_fi/REACTa.pdf)
- Teknocolor. 2008. Suunnitteluopas. [Verkkojulkaisu]. Vantaa: Oy Teknocolor Ab. [Viitattu 13.4.2016]. Saatavana: [http://www.teknotherm.fi/files/valintaopas\\_saatimet\\_FI\(1\).pdf](http://www.teknotherm.fi/files/valintaopas_saatimet_FI(1).pdf)
- Vallox. 2015. Asuntoilmanvaihto. [Verkkojulkaisu]. Vallox Oy. [Viitattu 7.9.2016]. Saatavana: <http://www.vallox.com/files/620/IV-suunn-ohje-FIN-240215-PRINT-WEB.pdf>

## LIITTEET

Liite 1. Mallikohteen ilmanvaihtokanavisto.

Liite 2. Ilmamääräsäätimen mitoitus.

Liite 3. Mallikohteen ilmanvaihtokone.

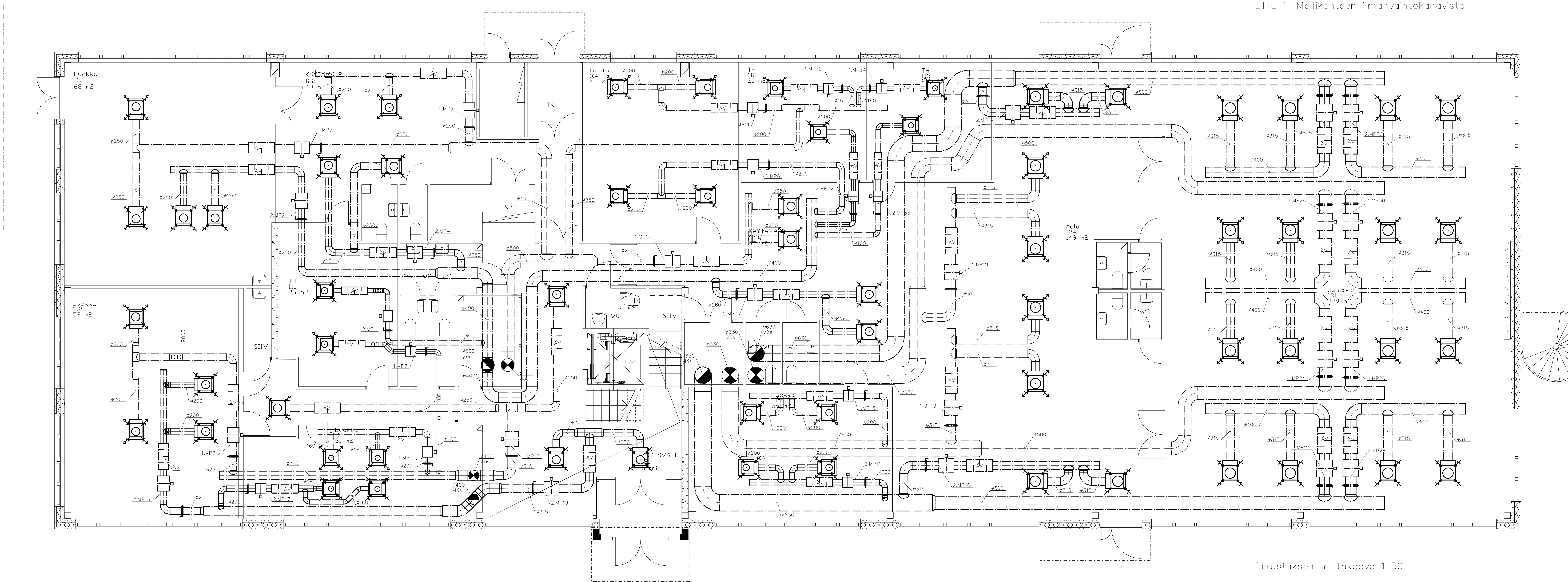
Liite 4. Mallikohteen tarkastelutilanne 1.

Liite 5. Mallikohteen tarkastelutilanne 2.

Liite 6. Mallikohteen tarkastelutilanne 3.

Liite 7. Mallikohteen tarkastelutilanne 4.

Liite 8. Mallikohteen tarkastelutilanne 5.





## LIITE 2. Ilmamääräsäätimen mitoitus.

### REACT

## Mitoitus

### Ilmavirrat – kaikki rakenteet

- REACT:in joka koolla on nimellisilmavirta  $Q_{nim}$ .
- Maks.ilmavirraksi voidaan asettaa 30-100 % arvosta  $Q_{nim}$ .
- Min.ilmavirta saadetaan suhteessa arvoon  $Q_{nim}$  ja sen arvoksi voidaan asettaa 0-100 %  $Q_{nim}$ .

### Mittaustarkkuus – kaikki rakenteet

- Ilmavirralla  $Q_{nim}$  saadaan mittauspaineeksi 1 Pa ja ilmavirran mittaustarkkuus vaihtelee valilla  $\pm 5-20$  %.
- Pienimmäksi mittauspaineeksi suositellaan 5 Pa, joka vastaa n. 1,7 m/s kanavanopeutta sekä ilmavirran mittaustarkkuutta  $\pm 5-10$  %.
- Kanavanopeuksilla 2,5-9 m/s voidaan saavuttaa  $\pm 5$  % ilmavirran mittaustarkkuus.
- Suorakaidepeltien suositelluksi minimi-ilmavirraksi on ilmoitettu Q 5 Pa paineella.
- Maksimi-ilmavirta on  $Q_{nim}$  ja pyynnöstä arvoa  $Q_{nim}$  kasvatetaan, jotta saataisiin suurempi  $Q_{max}$ . Seurauksena kasvaneesta  $Q_{nim}$ -arvosta on huonompi tarkkuus alemmalla ilmavirta-alueella.
- Huom! Suurempi  $Q_{nim}$  nostaa kanavanopeutta ja äänitasoa.

### Ilmavirrat – pyöreä

Koko	Ilmavirrat (l/s)		k-kerroin	Vääntömomentti (Nm)
	$Q_{min}$	$Q_{nom}$		
100	5	62	5,3	5
125	9	102	8,7	5
160	16	176	15,5	5
200	25	280	24,8	5
250	40	456	40,0	5
315	63	730	63,4	10
400	102	1200	102,0	10
500	164	1850	164,0	10
630	300	2892	264	15

### Äänitiedot – pyöreä

#### Äänen tehotaso

- Käyrästä nähdään kokonaisäänentehotaso ( $L_{Wtot}$  dB), ilmavirran ja pellin yli vallitsevan painehäviön funktiona.
- Korjaamalla  $L_{Wtot}$  alla olevasta taulukosta saatavalla korjauskertoimella  $K_{ok}$  saadaan äänitasot kullekin oktaavikaistalle ( $L_W = L_{Wtot} + K_{ok}$ ).

Korjauskerroin äänitehon laskemiseen oktaavikaistalla

$L_{Wtot}$  = Äänitaso mitoituskäyrästä kanavatuotteille

$K_{ok}$  = Korjauskerroin oktaavikaistalla

$K_{trans}$  = Korjauskerroin oktaavikaistalla johtuneelle äänelle

$K_{IR}$  = Korjauskerroin oktaavikaistalla johtuneelle äänelle eristetyssä versiossa

### Äänitaso oktaavikaistalla

$$L_W = L_{Wtot} + K_{ok}$$

#### Korjauskerroin $K_{ok}$

Koko	Keskitajuus (oktaavikaista) Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
100	-6	-5	-9	-16	-18	-25	-33	-39
125	-6	-5	-9	-18	-19	-26	-33	-41
160	-5	-5	-10	-17	-19	-24	-30	-39
200	-5	-4	-10	-16	-17	-22	-29	-39
250	-5	-5	-9	-13	-17	-21	-27	-37
315	-4	-5	-9	-11	-14	-19	-26	-36
400	-4	-6	-8	-11	-13	-17	-25	-32
500	-3	-5	-7	-12	-13	-17	-26	-36
630	-3	-4	-6	-11	-13	-16	-25	-35
Tol ±	6	3	2	2	2	2	2	2

### Johtunut ääni eristämättömän kuoren läpi

$$L_W = L_{Wtot} + K_{trans}$$

#### Korjauskerroin $K_{trans}$

Koko	Keskitajuus (oktaavikaista) Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
100	-14	-28	-30	-34	-26	-26	-37	-42
125	-15	-30	-33	-39	-31	-28	-37	-44
160	-16	-33	-37	-42	-35	-27	-34	-45
200	-17	-34	-40	-44	-37	-27	-37	-48
250	-19	-38	-42	-45	-41	-27	-39	-49
315	-19	-40	-45	-46	-42	-27	-42	-51
400	-21	-44	-47	-50	-45	-26	-45	-50
500	-21	-45	-52	-54	-49	-28	-50	-57
630	-21	-43	-51	-54	-48	-26	-49	-56
Tol ±	6	3	2	2	2	2	2	2

### Johtunut ääni eristetyn kuoren läpi - IR

$$L_W = L_{Wtot} + K_{IR}$$

#### Korjauskerroin $K_{IR}$

Koko	Keskitajuus (oktaavikaista) Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
100	-16	-29	-32	-36	-30	-30	-43	-48
125	-17	-31	-35	-41	-35	-32	-43	-50
160	-18	-34	-39	-44	-39	-31	-40	-51
200	-19	-35	-42	-46	-41	-31	-43	-54
250	-21	-39	-44	-47	-45	-31	-45	-55
315	-21	-41	-47	-48	-46	-31	-48	-57
400	-23	-45	-49	-52	-49	-30	-51	-56
500	-23	-46	-54	-56	-53	-32	-56	-63
630	-23	-44	-53	-56	-52	-30	-55	-62
Tol ±	6	3	2	2	2	2	2	2

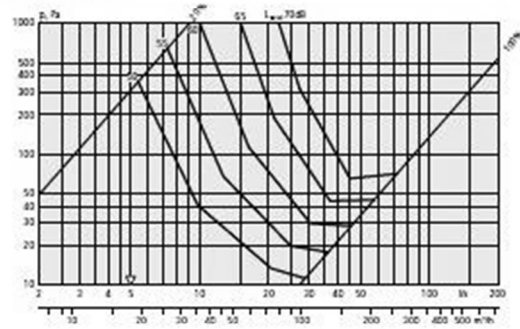
### Mitoituskäyrästä – Pyöreä, kaikki mallit

#### Ilmavirta – Painehäviö – Äänitaso

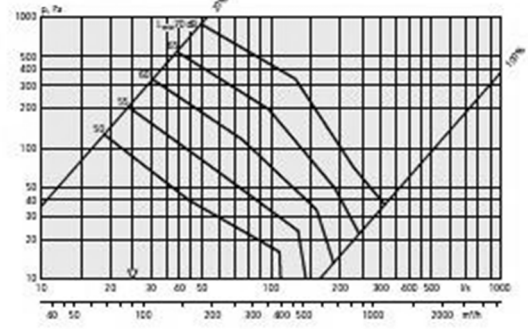
- Esitetyt äänitasot  $L_{Wtot}$  ovat 50, 55, 60, 65 ja 70 dB.
- Tiedot koskevat äänen syntymistä kanavassa.

- $\nabla$  = Minimivirta, jolla saavutetaan riittävä säätöpaine.

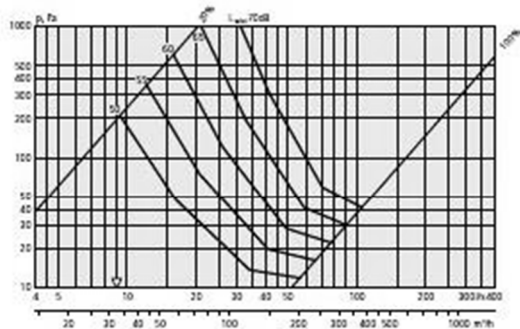
#### REACT 100



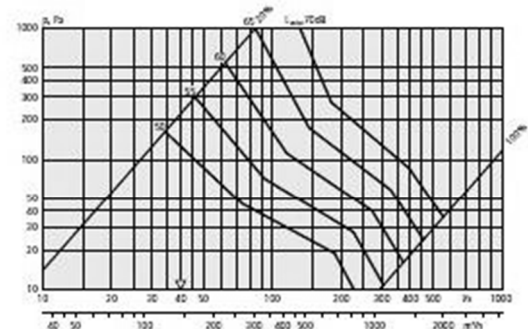
#### REACT 200



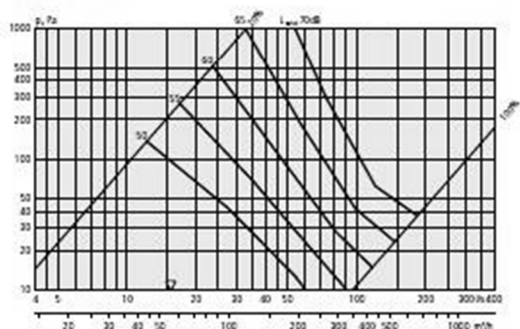
#### REACT 125



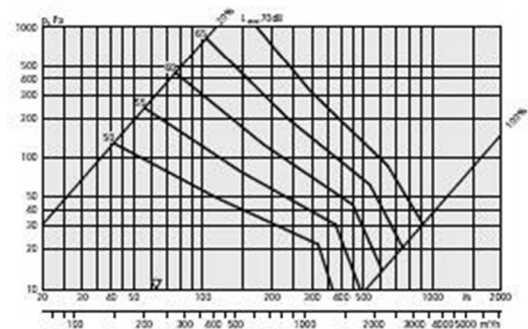
#### REACT 250



#### REACT 160





#### REACT 315



Swegon 2016.  
Ilmavirtasäätimen mitoituskäyrästä.

## LIITE 3. Mallikohteen ilmanvaihtokone.

Flexomix		Tekniset tiedot		1 (2)
		Projekti	Projekti1	
Air handling with the focus on LCC		Ilmastointikone	Ilmastointikone1	
		Koko	360 3,40/3,40 m³/s	
<b>SFP-LUKU (SFP)</b>				
Laskelma	Ilmastointikone		1,83	kW/m³/s
	Ecodesign	2016-Hyväksytty	2018-Ei hyväksytty	
<b>MITAT JA PAINOT</b>				
	Leveys	1 616/1 666		mm
	Korkeus	2 255		mm
	Pituus	4 502		mm
	Paino	1 564		kg
<b>PERUSTIEDOT</b>				
		<i>Tuloilma</i>	<i>Poistoilma</i>	
Alkutiedot	Ilmamäärä	3,40	3,40	m³/s
	Kanavapaine	178	179	Pa
	Ulkoisen painehäviön jakautuminen			
	Ulkoilma/Tuloilma Poistoilma/Jäteilma	(50/128)	(129/50)	Pa
Laskelma	Otsapintanopeus	2,4	2,4	m/s
	Sulkupelti	8		Pa
	Suodatinluokka Hienosuod. F7	116		Pa
	Alkupainehäviö	(76)		Pa
	Loppupainehäviö	(156)		Pa
	LTO-roottori	184	184	Pa
	Lämmityspatteri, vesi	89		Pa
	Äänenvaimennin	37	37	Pa
	Suodatinsarja Hienosuod. M5		92	Pa
	Alkupainehäviö		(52)	Pa
	Loppupainehäviö		(132)	Pa
	Liitäntähäviö	23	23	Pa
	Koneen painehäviöt	457	336	Pa
<b>PUHALTIMET</b>				
		<i>Tuloilma</i>	<i>Poistoilma</i>	
Laskelma	Kokonaispainehäviö	635	515	Pa
	Kierrosnopeus	1 715	1 646	r/m
	Puhaltimen hyötysuhde	70,0	65,0	%
	(Puhaltimen kokonaishyötysuhde)	77,0	74,0	%
	Puh. akseliteho	3,08	2,69	kW
	Moottorin hyötysuhde kierrosnopeuden säädöllä	86,3	86,4	%
	Kokonaishyötysuhde	60,4	56,2	%
	Sähköteho mitoitusp.	3,58	3,12	kW
	Sähköteho puhtailla suod.	3,35	2,88	kW
	Moottoriteho	4,00	4,00	kW
	Virta	14,1/8,1	14,1/8,1	A
	Jännite	230/400	230/400	V
	Max. kierrokset	1 780	1 780	r/m
	Moottorin tehoreservi	11	21	%
	Max. taajuus	62	62	Hz
	Puhallintyyppi	056G-IE2S1-0400	056G-IE2S1-0400	
	K-arvo ilmamäärämittaukselle	11,52	11,52	

IVP-Designerilla suunniteltu ilmanvaihtokone, tekniset tiedot 1/2.



Flexomix

Tekniset tiedot

2 (2)

Projekti Projekti1  
 Ilmastointikone Ilmastointikone1  
 Koko 360 3,40/3,40 m³/s



## ÄÄNITIEDOT (äänenpaine)

Taajuus	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Kok
Tuloilma:									81 dB
Ympäristöön	75	75	62	52	49	47	45	37	61 dB(A)
Ulkoilma	73	79	75	71	65	61	53	45	72 dB(A)
Tuloilma m LD	74	76	64	50	38	41	43	54	62 dB(A)
Poistoilma:									81 dB
Ympäristöön	75	75	62	52	49	47	45	37	61 dB(A)
Poistoilma m LD	67	69	57	41	28	28	24	29	55 dB(A)
Jäteilma	80	86	83	81	81	78	76	73	86 dB(A)
Kokonais:									
Ympäristöön	78	78	65	55	52	50	48	40	64 dB(A)

## LTO-ROOTTORI

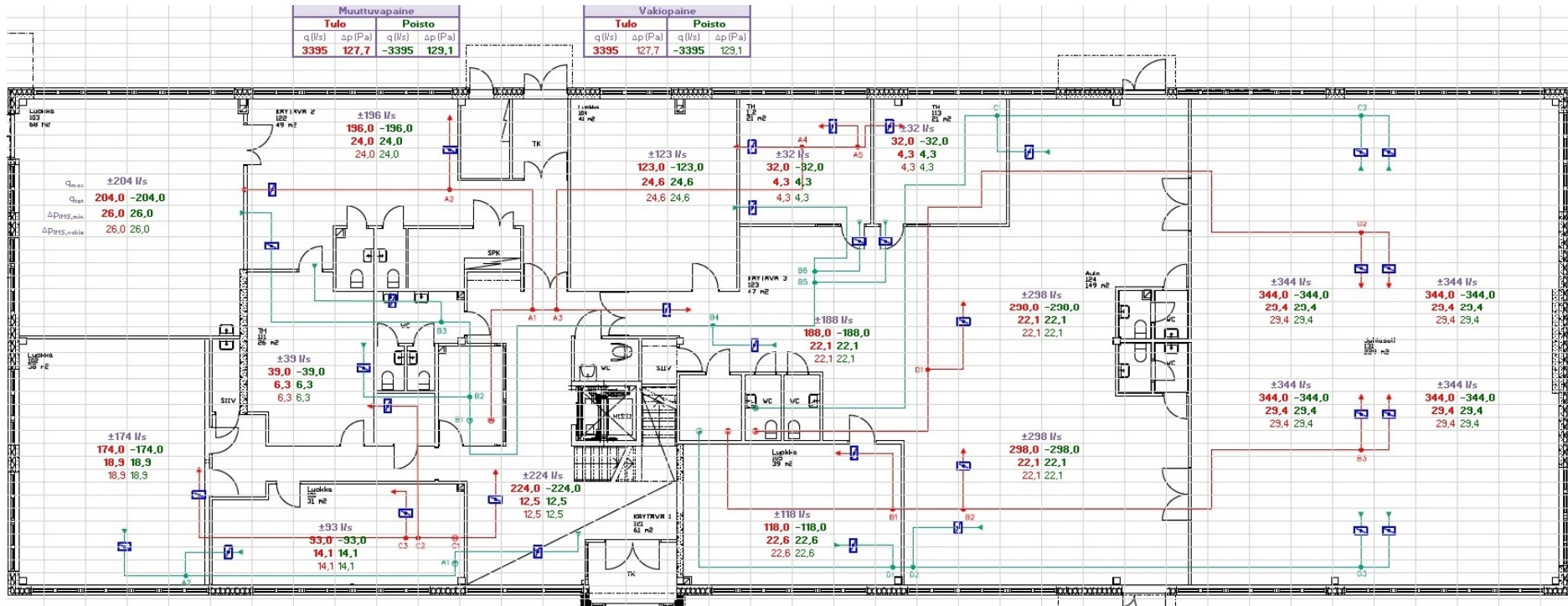
Roottorin tyyppi		NO	
Roottorin läpimitta		D1	
Alkutiedot	Tuloilman lämpötila	-29,0	°C
	Suhteellinen kosteus ulkoilmassa	80	%
	Poistoilman lämpötila	20,0	°C
	Suhteellinen kosteus poistoilma	30	%
Laskelma	Tuloilma LTO:n jälkeen	5,6	°C
	Lämpötilalahyötysuhde (kuiva) (EN308)	70,7	%
	Kuivalämpötilalahyötysuhde tasailmavirroilla 70,7%		
	Jäteilman lämpötila	-14,6	°C
	Suosittelu sulakekoko	1-fas 230V 10 AT	

## LÄMMITYSPATTERI, VESI

Alkutiedot	Tuloilman lämpötila	5,6	°C
	Toivottu ilman lämpötila	20,0	°C
	Tulevan nesteen lämpötila	50,0	°C
	Toivottu lähtevän nesteen lämpötila	30,0	°C
Laskelma	Ilmanlämpötila ulos	20,0	°C
	Otsapintanopeus	2,9	m/s
	Nestevirta	0,58	l/s
	Painehäviö, neste	1,0	kPa
	Tehovaihtoehto	03	
	Lämmitysteho	59,2	kW
	Lamellijako	2,5	mm
	Putkilähtävä	50	
	Sisätilavuus	18	l
	Primääripuoli 2-tieventtiilillä		
	Tulevan nesteen lämpötila	50,0	°C
	Lähtevän nesteen lämpötila	25,4	°C
	Nestevirta	0,58	l/s
	Primääripuoli 3-tieventtiilillä		
	Tulevan nesteen lämpötila	50,0	°C
	Lähtevän nesteen lämpötila	30,0	°C
	Nestevirta	0,71	l/s

IVP-Designerilla suunniteltu ilmanvaihtokone, tekniset tiedot osa 2/2.

## LIITE 4. Mallikohteen tarkastelutilanne1.



Kaavio mallikohteen ilmanvaihtokanavistosta mitoitustilanteessa (maksimi-ilmavirta).

A <sub>io</sub>	q <sub>v</sub> (l/s)	Δp <sub>r</sub> (Pa)	q <sub>e</sub> (l/s)	Δp <sub>e</sub> (Pa)	Δp <sub>ositio</sub>	Δp <sub>korkeus</sub>	Δp <sub>ins</sub>	tila	Δp <sub>ositio</sub>	Δp <sub>ins,ositio</sub>
LMP34	32	78,4	32,0	78,4		78,4	4,3	th 113	78,4	4,3
LMP32	32	78,4	32,0	78,4		78,4	4,3	th112	78,4	4,3
<b>A5</b>	64	78,4	<b>64,0</b>		78,4	<b>78,4</b>			78,4	
A5_A4	64	10,5	64,0	10,5						
LMP11	123	88,9	123,0	88,9		88,9	24,6	lk 104	88,9	24,6
<b>A4</b>	187	88,9	<b>187,0</b>		88,9	<b>88,9</b>			88,9	
A4_A3	187	18,3	187,0	18,3						
LMP14	188	107,2	188,0	107,2		107,2	22,1	k123	107,2	22,1
<b>A3</b>	375	107,2	<b>375,0</b>		107,2	<b>107,2</b>			107,2	
A3_A1	375	0,1	375,0	0,1						
LMP5	204	93,4	204,0	93,4		93,4	26,0	lk 103	93,4	26,0
LMP3	196	93,4	196,0	93,4		93,4	24,0	k122	93,4	24,0
<b>A2</b>	400	93,4	<b>400,0</b>		93,4	<b>93,4</b>			93,4	
A2_A1	400	13,9	400,0	13,9						
<b>A1</b>	775	107,3	<b>775,0</b>		107,3	<b>107,3</b>			107,3	
A1_AB	775	18,6	775,0	18,6						

C <sub>io</sub>	q <sub>v</sub> (l/s)	Δp <sub>r</sub> (Pa)	q <sub>e</sub> (l/s)	Δp <sub>e</sub> (Pa)	Δp <sub>ositio</sub>	Δp <sub>korkeus</sub>	Δp <sub>ins</sub>	tila	Δp <sub>ositio</sub>	Δp <sub>ins,ositio</sub>
LMP9	174	79,4	174,0	79,4		79,4	18,9	lk 102	79,4	18,9
LMP9	93	79,4	93,0	79,4		79,4	14,1	lk 101	79,4	14,1
<b>C3</b>	267	79,4	<b>267,0</b>		79,4	<b>79,4</b>			79,4	
C3_C2	267	8,0	267,0	8,0						
LMP7	39	87,4	39,0	87,4		87,4	6,3	th 111	87,4	6,3
<b>C2</b>	306	87,4	<b>306,0</b>		87,4	<b>87,4</b>			87,4	
C2_C1	306	14,4	306,0	14,4						
LMP17	224	101,8	224,0	101,8		101,8	12,5	k 121	101,8	12,5
<b>C1</b>	530	101,8	<b>530,0</b>		101,8	<b>101,8</b>			101,8	
C1_CD	530	24,2	530,0	24,2						

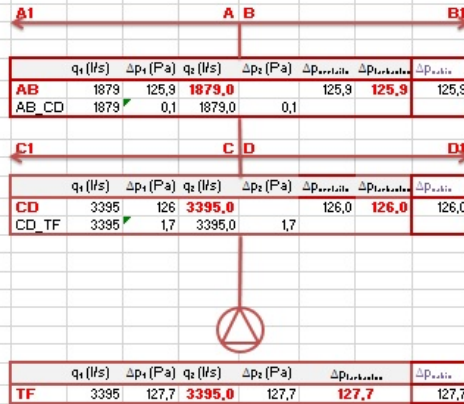
**ims-taulukko, jossa alkupainehäviö**

IMS <sub>io</sub>	Ø <sub>.....</sub>	q <sub>v</sub> (l/s)	k-kerroin	p (Pa)	tila
LMP9	Ø200	93,0	24,8	14,1	lk 101
LMP2	Ø250	174	40,0	18,9	lk 102
LMP5	Ø250	204	40,0	26,0	lk 103
LMP11	Ø200	123,0	24,8	24,6	lk 104
LMP15	Ø200	118,0	24,8	22,6	lk 105
LMP7	Ø160	39,0	15,5	6,3	th 111
LMP32	Ø160	32,0	15,5	4,3	th 112
LMP34	Ø160	32,0	15,5	4,3	th 113
LMP17	Ø315	224,0	63,4	12,5	k 121
LMP3	Ø250	196,0	40,0	24,0	k 122
LMP14	Ø250	188,0	40,0	22,1	k 123
LMP19	Ø315	298,0	63,4	22,1	a 124
LMP21	Ø315	298	63,4	22,1	a 124
LMP24	Ø315	344,0	63,4	29,4	j 131
LMP26	Ø315	344,0	63,4	29,4	j 131
LMP28	Ø315	344	63,4	29,4	j 131
LMP30	Ø315	344	63,4	29,4	j 131

TF <sub>max</sub>		TF <sub>tot</sub>	
q	Δp	q	Δp
l/s	Pa	l/s	Pa
<b>3395</b>	<b>127,7</b>	<b>3395,0</b>	<b>127,7</b>

Vakiopaine	
	127,7

$$Q_1 = \frac{n_1}{n_2} \quad H_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad P_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$



B <sub>io</sub>	q <sub>v</sub> (l/s)	Δp <sub>r</sub> (Pa)	q <sub>e</sub> (l/s)	Δp <sub>e</sub> (Pa)	Δp <sub>ositio</sub>	Δp <sub>korkeus</sub>	Δp <sub>ins</sub>	tila	Δp <sub>ositio</sub>	Δp <sub>ins,ositio</sub>
LMP26	344	102,8	344,0	102,8		102,8	29,4	juhlasali 131	102,8	29,4
LMP24	344	102,8	344,0	102,8		102,8	29,4	juhlasali 131	102,8	29,4
<b>B3</b>	688	102,8	<b>688,0</b>		102,8	<b>102,8</b>			102,8	
B3_B2	688	9,0	688,0	9,0						
LMP18	298	111,8	298,0	111,8		111,8	22,1	aula 124	111,8	22,1
<b>B2</b>	986	111,8	<b>986,0</b>		111,8	<b>111,8</b>			111,8	
B2_B1	986	1,8	986,0	1,8						
LMP15	118	113,6	118,0	113,6		113,6	22,6	lk 105	113,6	22,6
<b>B1</b>	1104	113,6	<b>1104,0</b>		113,6	<b>113,6</b>			113,6	
B1_AB	1104	12,3	1104,0	12,3						

D <sub>io</sub>	q <sub>v</sub> (l/s)	Δp <sub>r</sub> (Pa)	q <sub>e</sub> (l/s)	Δp <sub>e</sub> (Pa)	Δp <sub>ositio</sub>	Δp <sub>korkeus</sub>	Δp <sub>ins</sub>	tila	Δp <sub>ositio</sub>	Δp <sub>ins,ositio</sub>
LMP30	344	90,4	344	90,4		90,4	29,4	juhlasali 131	90,4	29,4
LMP28	344	90,4	344	90,4		90,4	29,4	juhlasali 131	90,4	29,4
<b>D2</b>	688	90,4	<b>688</b>		90,4	<b>90,4</b>			90,4	
D2_D1	688	16,4	688	16,4						
LMP21	298	106,8	298	106,8		106,8	22,1	aula 124	106,8	22,1
<b>D1</b>	986	106,8	<b>986</b>		106,8	<b>106,8</b>			106,8	
D1_CD	986	19,2	986	19,2						

Tuloilmakanaviston mitoitusarvot maksimi-ilmavirralla.



A <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>liikenne</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
2.MP16	-174	89,7	-174	89,7			89,7	lk 102	89,7	18,9
2.MP17	-93	89,7	-93	89,7			89,7	lk 101	89,7	14,1
<b>A2</b>	-267	89,7	<b>-267</b>		89,7		<b>89,7</b>		89,7	
A2_A1	-267	21,3	-267	21,3						
2.MP19	-224	111,0	-224	111,0			111,0	k 121	111,0	12,5
<b>A1</b>	-491	111,0	<b>-491</b>		111,0		<b>111,0</b>		111,0	
A1_AB	-491	10,0	-491	10,0						

B <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>liikenne</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
2.MP6	-123	89,3	-123	89,3			89,3	lk 104	89,3	24,6
2.MP32	-32	89,3	-32	89,3			89,3	th 112	89,3	4,3
<b>B6</b>	-155	89,3	<b>-155</b>		89,3		<b>89,3</b>		89,3	
B6_B5	-155	0,1	-155	0,1						
2.MP33	-32	89,4	-32	89,4			89,4	th 113	89,4	4,3
<b>B5</b>	-187	89,4	<b>-187</b>		89,4		<b>89,4</b>		89,4	
B5_B4	-187	0,9	-187	0,9						
2.MP9	-188	90,3	-188	90,3			90,3	k 123	90,3	22,1
<b>B4</b>	-375	90,3	<b>-375</b>		90,3		<b>90,3</b>		90,3	
B4_B1	-375	17,6	-375	17,6						
2.MP21	-204	94,1	-204	94,1			94,1	lk 103	94,1	26,0
2.MP4	-196	94,1	-196	94,1			94,1	k 122	94,1	24,0
<b>B3</b>	-400	94,1	<b>-400</b>		94,1		<b>94,1</b>		94,1	
B3_B2	-400	4,3	-400	4,3						
2.MP1	-39	98,4	-39	98,4			98,4	th 111	98,4	6,3
<b>B2</b>	-439	98,4	<b>-439</b>		98,4		<b>98,4</b>		98,4	
B2_B1	-439	9,5	-439	9,5						
<b>B1</b>	-814	107,9	<b>-814</b>		107,9		<b>107,9</b>		107,9	
B1_B	-814	13,1	-814	13,1						

C <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>liikenne</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
2.MP30	-344	100,4	-344	100,4			100,4	juhlasali 131	100,4	29,4
2.MP28	-344	100,4	-344	100,4			100,4	juhlasali 131	100,4	29,4
<b>C2</b>	-688	100,4	<b>-688</b>		100,4		<b>100,4</b>		100,4	
C2_C1	-688	4,9	-688	4,9						
2.MP14	-298	105,3	-298	105,3			105,3	aula 124	105,3	22,1
<b>C1</b>	-986	105,3	<b>-986</b>		105,3		<b>105,3</b>		105,3	
C1_C	-986	20,1	-986	20,1						

D <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>liikenne</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
2.MP26	-344	98,5	-344	98,5			98,5	juhlasali 131	98,5	29,4
2.MP24	-344	98,5	-344	98,5			98,5	juhlasali 131	98,5	29,4
<b>D3</b>	-688	98,5	<b>-688</b>		98,5		<b>98,5</b>		98,5	
D3_D2	-688	5,7	-688	5,7						
2.MP10	-298	104,2	-298	104,2			104,2	aula 124	104,2	22,1
<b>D2</b>	-986	104,2	<b>-986</b>		104,2		<b>104,2</b>		104,2	
D2_D1	-986	2,8	-986	2,8						
2.MP11	-118	107,0	-118	107,0			107,0	lk 105	107,0	22,8
<b>D1</b>	-1104	107,0	<b>-1104</b>		107,0		<b>107,0</b>		107,0	
D1_D	-1104	20,7	-1104	20,7						

PFmax		PFtot	
q	Δp	q	Δp
l/s	Pa	l/s	Pa
-3395	129,1	-3395,0	129,1
Vakiopaine			
129,1			

$$Q_1 = \frac{n_1}{n_2} \quad H_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

ims-taulukko, jossa alkupainehäviö					
lms <sub>10</sub>	Ø.....	q <sub>1</sub> (l/s)	k-kerroin	p (Pa)	tila
2.MP17	Ø200	-93,0	24,8	14,1	lk 101
2.MP16	Ø250	-174,0	40,0	18,9	lk 102
2.MP21	Ø250	-204,0	40,0	26,0	lk 103
2.MP6	Ø200	-123,0	24,8	24,6	lk 104
2.MP11	Ø200	-118,0	24,8	22,6	lk 105
2.MP1	Ø160	-39,0	15,5	6,3	th 111
2.MP32	Ø160	-32,0	15,5	4,3	th 112
2.MP33	Ø160	-32,0	15,5	4,3	th 113
2.MP19	Ø315	-224,0	63,4	12,5	k 121
2.MP4	Ø250	-196,0	40,0	24,0	k 122
2.MP9	Ø250	-188,0	40,0	22,1	k 124
2.MP14	Ø315	-298,0	63,4	22,1	a 125
2.MP10	Ø315	-298,0	63,4	22,1	a 125
2.MP30	Ø315	-344,0	63,4	29,4	j 131
2.MP28	Ø315	-344,0	63,4	29,4	j 131
2.MP26	Ø315	-344,0	63,4	29,4	j 131
2.MP24	Ø315	-344,0	63,4	29,4	j 131



	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>liikenne</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
AB	-1305	121	-1305		121,0		121,0
AB_C	-1305	4,4	-1305	4,4			

	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>liikenne</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
C	-2291	125,4	-2291		125,4		125,4
C_D	-2291	2,3	-2291	2,3			

	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>liikenne</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
D	-3395	127,7	-3395		127,7		127,7
D_PF	-3395	1,4	-3395,0	1,4			

	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>liikenne</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
PF	-3395	129,1	-3395	129,1			129,1

Poistoilmakanaviston mitoitusarvot maksimi-ilmavirralla.

A <sub>10</sub>	q <sub>1</sub> (l/s)	Δp <sub>1</sub> (Pa)	q <sub>2</sub> (l/s)	Δp <sub>2</sub> (Pa)	Δp <sub>suhteellinen</sub>	Δp <sub>korjattu</sub>	tila	Δp <sub>suhteellinen</sub>	Δp <sub>korjattu</sub>
LMP34	32	78,4	16,0	19,6		19,6	1,1 th 113	122,3	103,8
LMP32	32	78,4	16,0	19,6		19,6	1,1 th112	122,3	103,8
<b>A5</b>	64	78,4	<b>32,0</b>		19,6	<b>19,6</b>		122,3	
A5_A4	64	10,5	32,0	2,6					
LMP11	123	88,9	25,0	3,7		22,2	19,6 lk 104	124,9	122,3
<b>A4</b>	187	88,9	<b>57,0</b>		22,2	<b>22,2</b>		124,9	
A4_A3	187	18,3	57,0	1,7					
LMP14	188	107,2	40,0	4,9		23,9	20,1 k123	126,6	122,8
<b>A3</b>	375	107,2	<b>97,0</b>		23,9	<b>23,9</b>		126,6	
A3_A1	375	0,1	97,0	0,0					
LMP5	204	93,4	40,0	3,6		23,4	20,8 lk 103	126,1	123,5
LMP3	196	93,4	40,0	3,9		23,4	20,5 k122	126,1	123,2
<b>A2</b>	400	93,4	<b>80,0</b>		3,9	<b>23,4</b>		126,1	
A2_A1	400	13,9	80,0	0,6					
<b>A1</b>	775	107,3	<b>177,0</b>		23,9	<b>23,9</b>		126,6	
A1_AB	775	18,6	177,0	1,0					

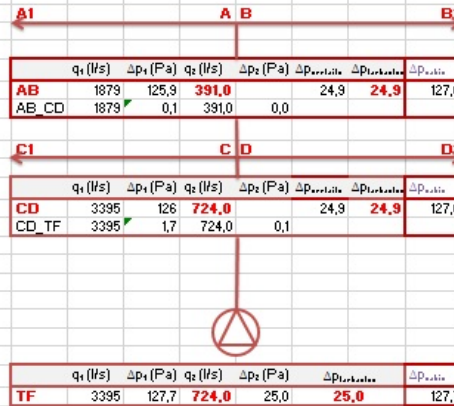
TF <sub>max</sub>		TF <sub>tot</sub>	
q	Δp	q	Δp
l/s	Pa	l/s	Pa
<b>3395</b>	<b>127,7</b>	<b>724,0</b>	<b>25,0</b>

Vakiopaine  
127,7

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

B <sub>10</sub>	q <sub>1</sub> (l/s)	Δp <sub>1</sub> (Pa)	q <sub>2</sub> (l/s)	Δp <sub>2</sub> (Pa)	Δp <sub>suhteellinen</sub>	Δp <sub>korjattu</sub>	Δp <sub>korjattu</sub>	tila	Δp <sub>suhteellinen</sub>	Δp <sub>korjattu</sub>
LMP26	344	102,8	63,0	3,4		24,1	21,6 juhlasali 131	126,8	124,3	
LMP24	344	102,8	63,0	3,4		24,1	21,6 juhlasali 131	126,8	124,3	
<b>B3</b>	688	102,8	<b>126,0</b>		3,4	<b>24,1</b>		126,8		
B3_B2	688	9,0	126,0	0,3						
LMP19	298	111,8	63,0	5,0		24,4	20,4 aula 124	127,1	123,1	
<b>B2</b>	986	111,8	<b>189,0</b>		5,0	<b>24,4</b>		127,1		
B2_B1	986	1,8	189,0	0,1						
LMP15	118	113,6	25,0	5,1		24,4	20,3 lk 105	127,2	123,1	
<b>B1</b>	1104	113,6	<b>214,0</b>		5,1	<b>24,4</b>		127,2		
B1_AB	1104	12,3	214,0	0,5						

C <sub>10</sub>	q <sub>1</sub> (l/s)	Δp <sub>1</sub> (Pa)	q <sub>2</sub> (l/s)	Δp <sub>2</sub> (Pa)	Δp <sub>suhteellinen</sub>	Δp <sub>korjattu</sub>	tila	Δp <sub>suhteellinen</sub>	Δp <sub>korjattu</sub>
LMP2	174	79,4	40,0	4,2		21,6	18,4 lk 102	124,4	121,2
LMP9	93	79,4	25,0	5,7		21,6	16,9 lk 101	124,4	119,6
<b>C3</b>	267	79,4	<b>65,0</b>		5,7	<b>21,6</b>		124,4	
C3_C2	267	8,0	65,0	0,5					
LMP7	39	87,4	16,0	14,7		22,1	8,5 th 111	124,8	111,2
<b>C2</b>	306	87,4	<b>81,0</b>		14,7	<b>22,1</b>		124,8	
C2_C1	306	14,4	81,0	1,0					
LMP17	224	101,8	63,0	8,1		23,1	16,0 k 121	125,8	118,8
<b>C1</b>	530	101,8	<b>144,0</b>		15,7	<b>23,1</b>		125,8	
C1_CD	530	24,2	144,0	1,8					



D <sub>10</sub>	q <sub>1</sub> (l/s)	Δp <sub>1</sub> (Pa)	q <sub>2</sub> (l/s)	Δp <sub>2</sub> (Pa)	Δp <sub>suhteellinen</sub>	Δp <sub>korjattu</sub>	tila	Δp <sub>suhteellinen</sub>	Δp <sub>korjattu</sub>
LMP30	344	90,4	63	3,0		23,6	21,6 juhlasali 131	126,4	124,3
LMP28	344	90,4	63	3,0		23,6	21,6 juhlasali 131	126,4	124,3
<b>D2</b>	688	90,4	<b>126</b>		3,0	<b>23,6</b>		126,4	
D2_D1	688	16,4	126	0,6					
LMP21	298	106,8	63	4,8		24,2	20,4 aula 124	126,9	123,1
<b>D1</b>	986	106,8	<b>189</b>		4,8	<b>24,2</b>		126,9	
D1_CD	986	19,2	189	0,7					

**ims-taulukko, jossa alkupainehäviö**

IMS <sub>10</sub>	Ø <sub>.....</sub>	q <sub>1</sub> (l/s)	k-kerroin p (Pa)	tila
LMP9	Ø200	93,0	24,8	14,1 lk 101
LMP2	Ø250	174	40,0	18,9 lk 102
LMP5	Ø250	204	40,0	26,0 lk 103
LMP11	Ø200	123,0	24,8	24,6 lk 104
LMP15	Ø200	118,0	24,8	22,6 lk 105
LMP7	Ø160	39,0	15,5	6,3 th 111
LMP32	Ø160	32,0	15,5	4,3 th 112
LMP34	Ø160	32,0	15,5	4,3 th 113
LMP17	Ø315	224,0	63,4	12,5 k 121
LMP3	Ø250	196,0	40,0	24,0 k 122
LMP14	Ø250	188,0	40,0	22,1 k 123
LMP19	Ø315	298,0	63,4	22,1 a 124
LMP21	Ø315	298	63,4	22,1 a 124
LMP24	Ø315	344,0	63,4	29,4 j 131
LMP26	Ø315	344,0	63,4	29,4 j 131
LMP28	Ø315	344	63,4	29,4 j 131
LMP30	Ø315	344	63,4	29,4 j 131

Tuloilmakanaviston mitoitusarvot minimi-ilmavirralla.



A <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>virtaus</sub>	ΔP <sub>korkeus</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>virtaus</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
2.MP16	-174	71,8	-40	3,8		21,6	18,8	lk 102	126,7	123,9
2.MP17	-93	76,6	-25	5,5		21,6	17,1	lk 101	126,7	122,2
<b>A2</b>	-267	89,7	<b>-65</b>		5,5	<b>21,6</b>			126,7	
A2_A1	-267	21,3	-65	1,3						
2.MP19	-224	99,5	-63	7,9		22,9	16,0	k 121	128,0	121,1
<b>A1</b>	-491	111,0	<b>-128</b>		7,9	<b>22,9</b>			128,0	
A1_AB	-491	10,0	-128	0,7						

B <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>virtaus</sub>	ΔP <sub>korkeus</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>virtaus</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
2.MP6	-123	65,7	-25	2,7		21,5	19,8	lk 104	126,7	125,0
2.MP32	-32	86,1	-16	21,5		21,5	1,1	th 112	126,7	106,2
<b>B6</b>	-155	89,3	<b>-41</b>		21,5	<b>21,5</b>			126,7	
B6_B5	-155	0,1	-41	0,0						
2.MP33	-32	86,2	-16	21,5		21,5	1,1	th 113	126,7	106,2
<b>B5</b>	-187	89,4	<b>-57</b>		21,5	<b>21,5</b>			126,7	
B5_B4	-187	0,9	-57	0,1						
2.MP9	-188	69,2	-40	3,1		21,6	19,5	k 123	126,7	124,6
<b>B4</b>	-375	90,3	<b>-97</b>		21,6	<b>21,6</b>			126,7	
B4_B1	-375	17,6	-97	1,2						
2.MP21	-204	69,1	-40	2,7		22,2	20,5	lk 103	127,3	125,6
2.MP4	-196	71,1	-40	3,0		22,2	20,2	k 122	127,3	125,3
<b>B3</b>	-400	94,1	<b>-80</b>		3,0	<b>22,2</b>			127,3	
B3_B2	-400	4,3	-80	0,2						
2.MP1	-39	93,2	-16	15,7		22,3	7,7	th 111	127,5	112,9
<b>B2</b>	-439	98,4	<b>-96</b>		15,7	<b>22,3</b>			127,5	
B2_B1	-439	9,5	-96	0,5						
<b>B1</b>	-814	107,9	<b>-193</b>		22,8	<b>22,8</b>			127,9	
B1_B	-814	13,1	-193	0,7						

C <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>virtaus</sub>	ΔP <sub>korkeus</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>virtaus</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
2.MP30	-344	72,0	-63	2,4		22,9	21,5	juhlasali 131	128,0	126,6
2.MP28	-344	72,0	-63	2,4		22,9	21,5	juhlasali 131	128,0	126,6
<b>C2</b>	-688	100,4	<b>-126</b>		2,4	<b>22,9</b>			128,0	
C2_C1	-688	4,9	-126	0,2						
2.MP14	-298	84,2	-63	3,8		23,1	20,3	aula 124	128,2	125,4
<b>C1</b>	-986	105,3	<b>-189</b>		3,8	<b>23,1</b>			128,2	
C1_C	-986	20,1	-189	0,7						

D <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>virtaus</sub>	ΔP <sub>korkeus</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>virtaus</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
2.MP26	-344	70,1	-63	2,4		22,8	21,5	juhlasali 131	128,0	126,6
2.MP24	-344	70,1	-63	2,4		22,8	21,5	juhlasali 131	128,0	126,6
<b>D3</b>	-688	98,5	<b>-126</b>		2,4	<b>22,8</b>			128,0	
D3_D2	-688	5,7	-126	0,2						
2.MP10	-298	83,1	-63	3,7		23,0	20,3	aula 124	128,2	125,4
<b>D2</b>	-986	104,2	<b>-189</b>		3,7	<b>23,0</b>			128,2	
D2_D1	-986	2,8	-189	0,1						
2.MP11	-118	85,4	-25	3,8		23,1	20,3	lk 105	128,3	125,4
<b>D1</b>	-1104	107,0	<b>-214</b>		3,8	<b>23,1</b>			128,3	
D1_D	-1104	20,7	-214	0,8						

PF	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>virtaus</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
<b>PF</b>	-3395	129,1	<b>-724</b>	24,0	<b>24,0</b>	129,1

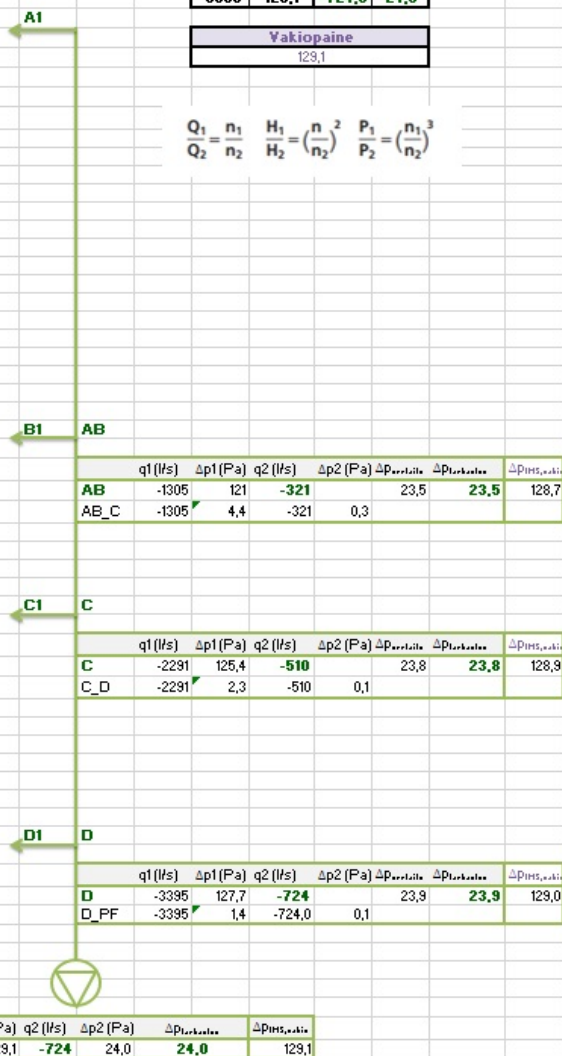
PF <sub>max</sub>		PF <sub>tot</sub>	
q l/s	Δp Pa	q l/s	Δp Pa
-3395	129,1	-724,0	24,0

Vakiopaine	
129,1	

$$Q_1 = \frac{n_1}{n_2} \quad H_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad P_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

ims-taulukko, jossa alkupainehäviö					
IMS <sub>10</sub>	Ø.....	q <sub>1</sub> (l/s)	k-kerroin	p (Pa)	tila
2.MP17	Ø200	-25,0	24,8	1,0	lk 101
2.MP16	Ø250	-40,0	40,0	1,0	lk 102
2.MP21	Ø250	-40,0	40,0	1,0	lk 103
2.MP6	Ø200	-25,0	24,8	1,0	lk 104
2.MP11	Ø200	-25,0	24,8	1,0	lk 105
2.MP1	Ø160	-16,0	15,5	1,1	th 111
2.MP32	Ø160	-16,0	15,5	1,1	th 112
2.MP33	Ø160	-16,0	15,5	1,1	th 113
2.MP19	Ø315	-63,0	63,4	1,0	k 121
2.MP4	Ø250	-40,0	40,0	1,0	k 122
2.MP9	Ø250	-40,0	40,0	1,0	k 124
2.MP14	Ø315	-63,0	63,4	1,0	a 125
2.MP10	Ø315	-63,0	63,4	1,0	a 125
2.MP30	Ø315	-63,0	63,4	1,0	j 131
2.MP28	Ø315	-63,0	63,4	1,0	j 131
2.MP26	Ø315	-63,0	63,4	1,0	j 131
2.MP24	Ø315	-63,0	63,4	1,0	j 131



Poistoilmakanaviston mitoitusarvot minimi-ilmavirralla.

Mitoitustilanne (q <sub>max</sub> ), kaikissa tiloissa maksimi-ilmavirta										Kaikissa tiloissa minimi-ilmavirta									
Tila	IMS <sub>ID</sub>	Ø <sub>käyt.</sub>	q (l/s)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)	Tila	IMS <sub>ID</sub>	Ø <sub>käyt.</sub>	q (l/s)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)
lk 101	1.MP9	Ø200	93	14,1	48	85	14,1	48	85	lk 101	1.MP9	Ø200	25	16,9	40	52	119,6	52	28
lk 102	1.MP2	Ø250	174	18,9	54	85	18,9	54	85	lk 102	1.MP2	Ø250	40	18,4	40	52	121,2	50	28
lk 103	1.MP5	Ø250	204	26	54	80	26	54	80	lk 103	1.MP5	Ø250	40	20,8	41	50	123,5	50	28
lk 104	1.MP11	Ø200	123	24,6	54	85	24,6	54	85	lk 104	1.MP11	Ø200	25	19,6	43	47	122,3	52	28
lk 105	1.MP15	Ø200	118	22,6	53	85	22,6	53	85	lk 105	1.MP15	Ø200	25	20,3	43	47	123,1	52	28
th 111	1.MP7	Ø160	39	6,3	45	85	6,3	45	85	th 111	1.MP7	Ø160	16	8,5	40	60	111,2	51	30
th 112	1.MP32	Ø160	32	4,3	45	85	4,3	45	85	th 112	1.MP32	Ø160	16	1,1	<40	65	103,8	50	30
th 113	1.MP34	Ø160	32	4,3	45	85	4,3	45	85	th 113	1.MP34	Ø160	16	1,1	<40	65	103,8	50	30
k 121	1.MP17	Ø315	224	12,5	43	80	12,5	43	80	k 121	1.MP17	Ø315	63	16	39	53	118,8	47	37
k 122	1.MP3	Ø250	196	24	53	80	24	53	80	k 122	1.MP3	Ø250	40	20,5	41	50	123,2	50	28
k 123	1.MP14	Ø250	188	22,1	52	85	22,1	52	85	k 123	1.MP14	Ø250	40	20,1	41	50	122,8	50	28
a 124	1.MP19	Ø315	298	22,1	50	80	22,1	50	80	a 124	1.MP19	Ø315	63	20,4	42	50	123,1	47	37
a 124	1.MP21	Ø315	298	22,1	50	80	22,1	50	80	a 124	1.MP21	Ø315	63	20,4	42	50	123,1	47	37
j 131	1.MP24	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	1.MP24	Ø315	63	21,6	42	50	124,3	47	37
j 131	1.MP26	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	1.MP26	Ø315	63	21,6	42	50	124,3	47	37
j 131	1.MP28	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	1.MP28	Ø315	63	21,6	42	50	124,3	47	37
j 131	1.MP30	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	1.MP30	Ø315	63	21,6	42	50	124,3	47	37

Muuttuvapaine									
Tulo	Poisto	Tulo	Poisto						
q (l/s)	Δp (Pa)	q (l/s)	Δp (Pa)						
724	25,0	-724	24,0						
3395	127,7	-3395	129,1						

Vakiopaine									
Tulo	Poisto	Tulo	Poisto						
q (l/s)	Δp (Pa)	q (l/s)	Δp (Pa)						
724	127,7	-724	129,1						
3395	127,7	-3395	129,1						

(mitoitus tilanne, q<sub>max</sub>)

Tila	IMS <sub>ID</sub>	Ø <sub>käyt.</sub>	q (l/s)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)	Tila	IMS <sub>ID</sub>	Ø <sub>käyt.</sub>	q (l/s)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)
lk 101	2.MP17	Ø200	-93	14,1	48	85	14,1	48	85	lk 101	2.MP17	Ø200	-25	17,1	40	52	122,2	52	28
lk 102	2.MP16	Ø250	-174	18,9	54	85	18,9	54	85	lk 102	2.MP16	Ø250	-40	18,8	40	52	123,9	50	28
lk 103	2.MP21	Ø250	-204	26	54	80	26	54	80	lk 103	2.MP21	Ø250	-40	20,5	41	50	125,6	50	28
lk 104	2.MP6	Ø200	-113	24,6	54	85	24,6	54	85	lk 104	2.MP6	Ø200	-25	19,8	43	47	125	52	28
lk 105	2.MP11	Ø200	-118	22,6	53	85	22,6	53	85	lk 105	2.MP11	Ø200	-25	20,3	43	47	125,4	52	28
th 111	2.MP1	Ø160	-39	6,3	45	85	6,3	45	85	th 111	2.MP1	Ø160	-16	7,7	40	60	112,9	51	30
th 112	2.MP32	Ø160	-32	4,3	45	85	4,3	45	85	th 112	2.MP32	Ø160	-16	1,1	<40	65	106,2	51	30
th 113	2.MP33	Ø160	-32	4,3	45	85	4,3	45	85	th 113	2.MP33	Ø160	-16	1,1	<40	65	106,2	51	30
k 121	2.MP19	Ø315	-224	12,5	43	80	12,5	43	80	k 121	2.MP19	Ø315	-63	16	39	53	121,1	47	37
k 122	2.MP4	Ø250	-196	24	53	80	24	53	80	k 122	2.MP4	Ø250	-40	20,2	41	50	125,3	50	28
k 123	2.MP9	Ø250	-188	22,1	52	85	22,1	52	85	k 123	2.MP9	Ø250	-40	19,5	41	50	124,6	50	28
a 124	2.MP14	Ø315	-298	22,1	50	80	22,1	50	80	a 124	2.MP14	Ø315	-63	20,3	42	50	125,4	47	37
a 124	2.MP10	Ø315	-298	22,1	50	80	22,1	50	80	a 124	2.MP10	Ø315	-63	20,3	42	50	125,4	47	37
j 131	2.MP28	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	2.MP28	Ø315	-63	21,5	42	50	126,6	47	37
j 131	2.MP30	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	2.MP30	Ø315	-63	21,5	42	50	126,6	47	37
j 131	2.MP24	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	2.MP24	Ø315	-63	21,5	42	50	126,6	47	37
j 131	2.MP26	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	2.MP26	Ø315	-63	21,5	42	50	126,6	47	37

Yhteenveto tilojen ilmamääräsäätimien arvoista maksimi- ja minimi-ilmavirtatilanteessa.

LIITE 5. Mallikohteen tarkastelutilanne 2.

A <sub>10</sub>	q <sub>1</sub> (l/s)	Δp <sub>1</sub> (Pa)	q <sub>2</sub> (l/s)	Δp <sub>2</sub> (Pa)	Δp <sub>kerroin</sub>	Δp <sub>korotus</sub>	Δp <sub>ins</sub>	tila	Δp <sub>sis.</sub>	Δp <sub>ms,sis.</sub>
1.MP34	32	78,4	32,0	78,4		78,4	4,3	th 113	78,5	4,4
1.MP32	32	78,4	32,0	78,4		78,4	4,3	th112	78,5	4,4
<b>A5</b>	64	78,4	<b>64,0</b>		78,4	<b>78,4</b>			78,5	
A5_A4	64	10,5	64,0	10,5						
1.MP11	123	88,9	123,0	88,9		88,9	24,6	lk 104	89,0	24,7
<b>A4</b>	187	88,9	<b>187,0</b>		88,9	<b>88,9</b>			89,0	
A4_A3	187	18,3	187,0	18,3						
1.MP14	188	107,2	188,0	107,2		107,2	22,1	k123	107,3	22,2
<b>A3</b>	375	107,2	<b>375,0</b>		107,2	<b>107,2</b>			107,3	
A3_A1	375	0,1	375,0	0,1						
1.MP5	204	93,4	204,0	93,4		93,4	26,0	lk 103	93,5	26,1
1.MP3	196	93,4	196,0	93,4		93,4	24,0	k122	93,5	24,1
<b>A2</b>	400	93,4	<b>400,0</b>		93,4	<b>93,4</b>			93,5	
A2_A1	400	13,9	400,0	13,9						
<b>A1</b>	775	107,3	<b>775,0</b>		107,3	<b>107,3</b>			107,4	
A1_AB	775	18,6	775,0	18,6						

C <sub>10</sub>	q <sub>1</sub> (l/s)	Δp <sub>1</sub> (Pa)	q <sub>2</sub> (l/s)	Δp <sub>2</sub> (Pa)	Δp <sub>kerroin</sub>	Δp <sub>korotus</sub>	Δp <sub>ins</sub>	tila	Δp <sub>sis.</sub>	Δp <sub>ms,sis.</sub>
1.MP2	174	79,4	174,0	79,4		94,5	34,0	lk 102	94,5	34,0
1.MP9	93	79,4	25,0	5,7		94,5	89,8	lk 101	94,5	89,8
<b>C3</b>	267	79,4	<b>199,0</b>		79,4	<b>94,5</b>			94,5	
C3_C2	267	8,0	199,0	4,4						
1.MP7	39	87,4	39,0	87,4		98,9	17,8	th 111	99,0	17,9
<b>C2</b>	306	87,4	<b>238,0</b>		87,4	<b>98,9</b>			99,0	
C2_C1	306	14,4	238,0	8,7						
1.MP17	224	101,8	224,0	101,8		107,7	18,4	k 121	107,7	18,4
<b>C1</b>	530	101,8	<b>462,0</b>		101,8	<b>107,7</b>			107,7	
C1_CD	530	24,2	462,0	18,4						

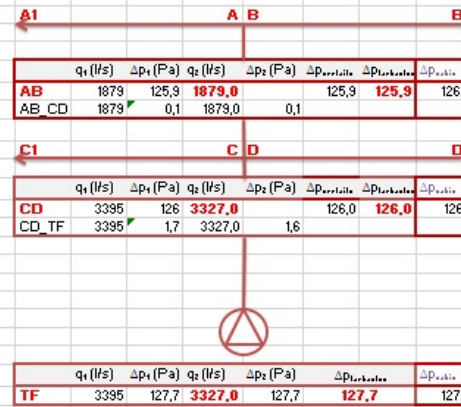
ims-taulukko, jossa alkupainehäviö

IMS <sub>10</sub>	Ø <sub>.....</sub>	q <sub>1</sub> (l/s)	k-kerroin	p (Pa)	tila
1.MP9	Ø200	93,0	24,8	14,1	lk 101
1.MP2	Ø250	174	40,0	18,9	lk 102
1.MP5	Ø250	204	40,0	26,0	lk 103
1.MP11	Ø200	123,0	24,8	24,6	lk 104
1.MP15	Ø200	118,0	24,8	22,6	lk 105
1.MP7	Ø160	39,0	15,5	6,3	th 111
1.MP32	Ø160	32,0	15,5	4,3	th 112
1.MP34	Ø160	32,0	15,5	4,3	th 113
1.MP17	Ø315	224,0	63,4	12,5	k 121
1.MP3	Ø250	196,0	40,0	24,0	k 122
1.MP14	Ø250	188,0	40,0	22,1	k 123
1.MP19	Ø315	298,0	63,4	22,1	a 124
1.MP21	Ø315	298	63,4	22,1	a 124
1.MP24	Ø315	344,0	63,4	29,4	j 131
1.MP26	Ø315	344,0	63,4	29,4	j 131
1.MP28	Ø315	344	63,4	29,4	j 131
1.MP30	Ø315	344	63,4	29,4	j 131

TF <sub>max</sub>		TF <sub>tot</sub>	
q	Δp	q	Δp
l/s	Pa	l/s	Pa
<b>3395</b>	<b>127,7</b>	<b>3327,0</b>	<b>127,7</b>

Yakiopaine	
127,7	

$$Q_1 = \frac{n_1}{n_2} \quad H_1 = \left(\frac{n}{n_2}\right)^2 \quad P_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$



B <sub>10</sub>	q <sub>1</sub> (l/s)	Δp <sub>1</sub> (Pa)	q <sub>2</sub> (l/s)	Δp <sub>2</sub> (Pa)	Δp <sub>kerroin</sub>	Δp <sub>korotus</sub>	Δp <sub>ins</sub>	tila	Δp <sub>sis.</sub>	Δp <sub>ms,sis.</sub>
1.MP26	344	102,8	344,0	102,8		102,8	29,4	juhlasali 131	102,9	29,5
1.MP24	344	102,8	344,0	102,8		102,8	29,4	juhlasali 131	102,9	29,5
<b>B3</b>	688	102,8	<b>688,0</b>		102,8	<b>102,8</b>			102,9	
B3_B2	688	9,0	688,0	9,0						
1.MP19	298	111,8	298,0	111,8		111,8	22,1	aula 124	111,9	22,2
<b>B2</b>	986	111,8	<b>986,0</b>		111,8	<b>111,8</b>			111,9	
B2_B1	986	1,8	986,0	1,8						
1.MP15	118	113,6	118,0	113,6		113,6	22,6	lk 105	113,7	22,7
<b>B1</b>	1104	113,6	<b>1104,0</b>		113,6	<b>113,6</b>			113,7	
B1_AB	1104	12,3	1104,0	12,3						

D <sub>10</sub>	q <sub>1</sub> (l/s)	Δp <sub>1</sub> (Pa)	q <sub>2</sub> (l/s)	Δp <sub>2</sub> (Pa)	Δp <sub>kerroin</sub>	Δp <sub>korotus</sub>	Δp <sub>ins</sub>	tila	Δp <sub>sis.</sub>	Δp <sub>ms,sis.</sub>
1.MP30	344	90,4	344	90,4		90,4	29,4	juhlasali 131	90,5	29,5
1.MP28	344	90,4	344	90,4		90,4	29,4	juhlasali 131	90,5	29,5
<b>D2</b>	688	90,4	<b>688</b>		90,4	<b>90,4</b>			90,5	
D2_D1	688	16,4	688	16,4						
1.MP21	298	106,8	298	106,8		106,8	22,1	aula 124	106,9	22,2
<b>D1</b>	986	106,8	<b>986</b>		106,8	<b>106,8</b>			106,9	
D1_CD	986	19,2	986	19,2						

Tuloilmakanaviston mitoitusarvot.



A <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>liikenne</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>u,tila</sub>	ΔP <sub>ms,u,tila</sub>
2.MP16	-174	89,7	-174	89,7				lk 102	102,4	31,6
2.MP17	-93	76,6	-25	5,5				lk 101	102,4	97,9
<b>A2</b>	-267	89,7	<b>-199</b>		89,7				<b>102,4</b>	
A2_A1	-267	21,3	-199	11,8						
2.MP19	-224	111,0	-224	111,0				k 121	114,2	15,7
<b>A1</b>	-491	111,0	<b>-423</b>		111,0				<b>114,2</b>	
A1_AB	-491	10,0	-423	7,4						

B <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>liikenne</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>u,tila</sub>	ΔP <sub>ms,u,tila</sub>
2.MP6	-123	89,3	-123	89,3				lk 104	89,9	25,2
2.MP32	-32	89,3	-32	89,3				th 112	89,9	4,9
<b>B6</b>	-155	89,3	<b>-155</b>		89,3				<b>89,9</b>	
B6_B5	-155	0,1	-155	0,1						
2.MP33	-32	89,4	-32	89,4				th 113	90,0	4,9
<b>B5</b>	-187	89,4	<b>-187</b>		89,4				<b>90,0</b>	
B5_B4	-187	0,9	-187	0,9						
2.MP9	-188	90,3	-188	90,3				k 123	90,9	22,7
<b>B4</b>	-375	90,3	<b>-375</b>		90,3				<b>90,9</b>	
B4_B1	-375	17,6	-375	17,6						
2.MP21	-204	94,1	-204	94,1				lk 103	94,7	26,6
2.MP4	-196	94,1	-196	94,1				k 122	94,7	24,6
<b>B3</b>	-400	94,1	<b>-400</b>		94,1				<b>94,7</b>	
B3_B2	-400	4,3	-400	4,3						
2.MP1	-39	98,4	-39	98,4				th 111	99,0	6,9
<b>B2</b>	-439	98,4	<b>-439</b>		98,4				<b>99,0</b>	
B2_B1	-439	9,5	-439	9,5						
<b>B1</b>	-814	107,9	<b>-814</b>		107,9				<b>108,5</b>	
B1_B	-814	13,1	-814	13,1						

C <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>liikenne</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>u,tila</sub>	ΔP <sub>ms,u,tila</sub>
2.MP30	-344	100,4	-344	100,4				juhlasali 131	100,6	29,6
2.MP28	-344	100,4	-344	100,4				juhlasali 131	100,6	29,6
<b>C2</b>	-688	100,4	<b>-688</b>		100,4				<b>100,6</b>	
C2_C1	-688	4,9	-688	4,9						
2.MP14	-298	105,3	-298	105,3				aula 124	105,5	22,3
<b>C1</b>	-986	105,3	<b>-986</b>		105,3				<b>105,5</b>	
C1_C	-986	20,1	-986	20,1						

D <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>liikenne</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>u,tila</sub>	ΔP <sub>ms,u,tila</sub>
2.MP26	-344	98,5	-344	98,5				juhlasali 131	98,6	29,5
2.MP24	-344	98,5	-344	98,5				juhlasali 131	98,6	29,5
<b>D3</b>	-688	98,5	<b>-688</b>		98,5				<b>98,5</b>	
D3_D2	-688	5,7	-688	5,7						
2.MP10	-298	104,2	-298	104,2				aula 124	104,3	22,2
<b>D2</b>	-986	104,2	<b>-986</b>		104,2				<b>104,2</b>	
D2_D1	-986	2,8	-986	2,8						
2.MP11	-118	107,0	-118	107,0				lk 105	107,1	22,7
<b>D1</b>	-1104	107,0	<b>-1104</b>		107,0				<b>107,0</b>	
D1_D	-1104	20,7	-1104	20,7						

PFmax		PFtot	
q	Δp	q	Δp
l/s	Pa	l/s	Pa
-3395	129,1	-3327,0	129,1
Vakiopaine			
129,1			

$$Q_1 = \frac{n_1}{n_2} \quad H_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

ims-taulukko, jossa alkupainehäviö

lms <sub>10</sub>	Ø.....	q <sub>1</sub> (l/s)	k-kerroin	p (Pa)	tila
2.MP17	Ø200	-25,0	24,8	1,0	lk 101
2.MP16	Ø250	-174,0	40,0	18,9	lk 102
2.MP21	Ø250	-204,0	40,0	26,0	lk 103
2.MP6	Ø200	-123,0	24,8	24,6	lk 104
2.MP11	Ø200	-118,0	24,8	22,6	lk 105
2.MP1	Ø160	-39,0	15,5	6,3	th 111
2.MP32	Ø160	-32,0	15,5	4,3	th 112
2.MP33	Ø160	-32,0	15,5	4,3	th 113
2.MP19	Ø315	-224,0	63,4	12,5	k 121
2.MP4	Ø250	-196,0	40,0	24,0	k 122
2.MP9	Ø250	-188,0	40,0	22,1	k 124
2.MP14	Ø315	-298,0	63,4	22,1	a 125
2.MP10	Ø315	-298,0	63,4	22,1	a 125
2.MP30	Ø315	-344,0	63,4	29,4	j 131
2.MP28	Ø315	-344,0	63,4	29,4	j 131
2.MP26	Ø315	-344,0	63,4	29,4	j 131
2.MP24	Ø315	-344,0	63,4	29,4	j 131

A1

B1

C1

D1



q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>liikenne</sub>
PF	-3395	129,1	-3327	129,1	129,1

Poistoilmakanaviston mitoitusarvot.

Mitoitustilanne ( $q_{m,mit}$ ), kaikissa tiloissa maksimi ilmvirta

Tila	IMS <sub>ID</sub>	Ø <sub>kanava</sub>	q (l/s)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)
lk 101	1.MP9	Ø200	93	14,1	48	85	14,1	48	85
lk 102	1.MP2	Ø250	174	18,9	54	85	18,9	54	85
lk 103	1.MP5	Ø250	204	26	54	80	26	54	80
lk 104	1.MP11	Ø200	123	24,6	54	85	24,6	54	85
lk 105	1.MP15	Ø200	118	22,6	53	85	22,6	53	85
th 111	1.MP7	Ø160	39	6,3	45	85	6,3	45	85
th 112	1.MP32	Ø160	32	4,3	45	85	4,3	45	85
th 113	1.MP34	Ø160	32	4,3	45	85	4,3	45	85
k 121	1.MP17	Ø315	224	12,5	43	80	12,5	43	80
k 122	1.MP3	Ø250	196	24	53	80	24	53	80
k 123	1.MP14	Ø250	188	22,1	52	85	22,1	52	85
a 124	1.MP19	Ø315	298	22,1	50	80	22,1	50	80
a 124	1.MP21	Ø315	298	22,1	50	80	22,1	50	80
j 131	1.MP24	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80
j 131	1.MP26	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80
j 131	1.MP28	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80
j 131	1.MP30	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80

Muuttuvapaine			
Tulo	Δp (Pa)	Poisto	Δp (Pa)
q (l/s)	Δp (Pa)	q (l/s)	Δp (Pa)
3327	127,7	-3327	129,1
3395	127,7	-3395	129,1

Vakiopaine			
Tulo	Δp (Pa)	Poisto	Δp (Pa)
q (l/s)	Δp (Pa)	q (l/s)	Δp (Pa)
3327	127,7	-3327	129,1
3395	127,7	-3395	129,1

(mitoitustilanne,  $q_{m,mit}$ )

Kaikki muut tilat käytössä paitsi luokka lk 101

Tila	IMS <sub>ID</sub>	Ø <sub>kanava</sub>	q (l/s)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)
lk 101	1.MP9	Ø200	25	89,8	50	30	89,8	50	30
lk 102	1.MP2	Ø250	174	34	55	75	34	55	75
lk 103	1.MP5	Ø250	204	24	54	80	24,1	54	80
lk 104	1.MP11	Ø200	123	24,6	54	85	24,7	54	85
lk 105	1.MP15	Ø200	118	22,6	53	85	22,7	53	85
th 111	1.MP7	Ø160	39	17,8	47	70	17,9	54	70
th 112	1.MP32	Ø160	32	4,3	45	85	4,4	45	85
th 113	1.MP34	Ø160	32	4,3	45	85	4,4	45	85
k 121	1.MP17	Ø315	224	18,4	45	75	18,4	45	75
k 122	1.MP3	Ø250	196	24	53	80	24,1	53	80
k 123	1.MP14	Ø250	188	22,1	52	85	22,2	52	85
a 124	1.MP19	Ø315	298	22,1	50	80	22,2	50	80
a 124	1.MP21	Ø315	298	22,1	50	80	22,2	50	80
j 131	1.MP24	Ø315	344	29,4	54	80	29,5	54	80
j 131	1.MP26	Ø315	344	29,4	54	80	29,5	54	80
j 131	1.MP28	Ø315	344	29,4	54	80	29,5	54	80
j 131	1.MP30	Ø315	344	29,4	54	80	29,5	54	80

Tila	IMS <sub>ID</sub>	Ø <sub>kanava</sub>	q (l/s)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)
lk 101	2.MP17	Ø200	-93	14,1	48	85	14,1	48	85
lk 102	2.MP16	Ø250	-174	18,9	54	85	18,9	54	85
lk 103	2.MP21	Ø250	-204	26	54	80	26	54	80
lk 104	2.MP6	Ø200	-113	24,6	54	85	24,6	54	85
lk 105	2.MP11	Ø200	-118	22,6	53	85	22,6	53	85
th 111	2.MP1	Ø160	-39	6,3	45	85	6,3	45	85
th 112	2.MP32	Ø160	-32	4,3	45	85	4,3	45	85
th 113	2.MP33	Ø160	-32	4,3	45	85	4,3	45	85
k 121	2.MP19	Ø315	-224	12,5	43	80	12,5	43	80
k 122	2.MP4	Ø250	-196	24	53	80	24	53	80
k 123	2.MP9	Ø250	-188	22,1	52	85	22,1	52	85
a 124	2.MP14	Ø315	-298	22,1	50	80	22,1	50	80
a 124	2.MP10	Ø315	-298	22,1	50	80	22,1	50	80
j 131	2.MP28	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80
j 131	2.MP30	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80
j 131	2.MP24	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80
j 131	2.MP26	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80

Tila	IMS <sub>ID</sub>	Ø <sub>kanava</sub>	q (l/s)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)
lk 101	2.MP17	Ø200	-25	97,8	50	30	97,9	50	30
lk 102	2.MP16	Ø250	-174	31,6	55	75	31,6	55	75
lk 103	2.MP21	Ø250	-204	26,6	54	80	26,6	54	80
lk 104	2.MP6	Ø200	-113	25,2	54	85	25,2	54	85
lk 105	2.MP11	Ø200	-118	22,6	53	85	22,7	53	85
th 111	2.MP1	Ø160	-39	6,9	45	85	6,9	45	85
th 112	2.MP32	Ø160	-32	4,9	45	85	4,9	45	85
th 113	2.MP33	Ø160	-32	4,9	45	85	4,9	45	85
k 121	2.MP19	Ø315	-224	15,7	44	80	15,7	44	80
k 122	2.MP4	Ø250	-196	24,6	53	80	24,6	53	80
k 123	2.MP9	Ø250	-188	22,7	52	85	22,7	52	85
a 124	2.MP14	Ø315	-298	22,1	50	80	22,2	50	80
a 124	2.MP10	Ø315	-298	22,3	50	80	22,3	50	80
j 131	2.MP28	Ø315	-344	29,4	54	80	29,5	54	80
j 131	2.MP30	Ø315	-344	29,4	54	80	29,5	54	80
j 131	2.MP24	Ø315	-344	29,6	54	80	29,6	54	80
j 131	2.MP26	Ø315	-344	29,6	54	80	29,6	54	80

Yhteenveto tilojen ilmamääräsäätimien arvoista.

LIITE 6. Mallikohteen tarkastelutilanne 3.

A <sub>ip</sub>	q <sub>i</sub> (l/s)	Δp <sub>i</sub> (Pa)	q <sub>e</sub> (l/s)	Δp <sub>e</sub> (Pa)	Δp <sub>suutale</sub>	Δp <sub>putkale</sub>	Δp <sub>ins</sub>	tila	Δp <sub>suu</sub>	Δp <sub>ins,tila</sub>
LMP34	32	78,4	16,0	19,6		86,2	67,7	th 113	122,3	103,8
LMP32	32	78,4	16,0	19,6		86,2	67,7	th112	122,3	103,8
<b>A5</b>	64	78,4	<b>32,0</b>		19,6	<b>86,2</b>			122,3	
A5_A4	64	10,5	32,0	2,6						
LMP11	123	88,9	25,0	3,7		89,8	86,2	lk 104	124,9	122,3
<b>A4</b>	187	88,9	<b>57,0</b>		22,2	<b>88,8</b>			124,9	
A4_A3	187	18,3	57,0	1,7						
LMP14	188	107,2	40,0	4,9		90,5	86,7	k123	126,6	122,8
<b>A3</b>	375	107,2	<b>97,0</b>		23,9	<b>90,5</b>			126,6	
A3_A1	375	0,1	97,0	0,0						
LMP5	204	93,4	40,0	3,6		90,0	87,4	lk 103	126,1	123,5
LMP3	196	93,4	40,0	3,9		90,0	87,1	k122	126,1	123,2
<b>A2</b>	400	93,4	<b>80,0</b>		3,9	<b>90,0</b>			126,1	
A2_A1	400	13,9	80,0	0,6						
<b>A1</b>	775	107,3	<b>177,0</b>		4,4	23,9	<b>90,5</b>		126,6	
A1_AB	775	18,6	177,0	1,0						

C <sub>ip</sub>	q <sub>i</sub> (l/s)	Δp <sub>i</sub> (Pa)	q <sub>e</sub> (l/s)	Δp <sub>e</sub> (Pa)	Δp <sub>suutale</sub>	Δp <sub>putkale</sub>	Δp <sub>ins</sub>	tila	Δp <sub>suu</sub>	Δp <sub>ins,tila</sub>
LMP2	174	79,4	40,0	4,2		87,0	83,8	lk 102	123,1	119,9
LMP9	93	79,4	25,0	5,7		87,0	82,2	lk 101	123,1	118,4
<b>C3</b>	267	79,4	<b>65,0</b>		5,7	<b>87,0</b>			123,1	
C3_C2	267	8,0	65,0	0,5						
LMP7	39	87,4	39,0	87,4		87,4	6,3	th 111	123,6	42,5
<b>C2</b>	306	87,4	<b>104,0</b>		87,4	<b>87,4</b>			123,6	
C2_C1	306	14,4	104,0	1,7						
LMP17	224	101,8	63,0	8,1		89,1	82,0	k 121	125,2	118,2
<b>C1</b>	530	101,8	<b>167,0</b>		89,1	<b>89,1</b>			125,2	
C1_CD	530	24,2	167,0	2,4						

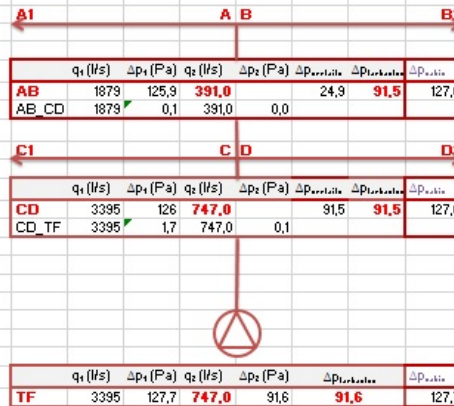
ims-taulukko, jossa alkupainehäviö

IMS <sub>0</sub>	Ø <sub>l...</sub>	q <sub>i</sub> (l/s)	k-kerroin	p (Pa)	tila
LMP9	Ø200	93,0	24,8	14,1	lk 101
LMP2	Ø250	174	40,0	18,9	lk 102
LMP5	Ø250	204	40,0	26,0	lk 103
LMP11	Ø200	123,0	24,8	24,6	lk 104
LMP15	Ø200	118,0	24,8	22,6	lk 105
LMP7	Ø160	39,0	15,5	6,3	th 111
LMP32	Ø160	32,0	15,5	4,3	th 112
LMP34	Ø160	32,0	15,5	4,3	th 113
LMP17	Ø315	224,0	63,4	12,5	k 121
LMP3	Ø250	196,0	40,0	24,0	k 122
LMP14	Ø250	188,0	40,0	22,1	k 123
LMP19	Ø315	298,0	63,4	22,1	a 124
LMP21	Ø315	298	63,4	22,1	a 124
LMP24	Ø315	344,0	63,4	29,4	j 131
LMP26	Ø315	344,0	63,4	29,4	j 131
LMP28	Ø315	344	63,4	29,4	j 131
LMP30	Ø315	344	63,4	29,4	j 131

TF <sub>max</sub>		TF <sub>tot</sub>	
q l/s	Δp Pa	q l/s	Δp Pa
3395	127,7	747,0	91,6

Vakiopaine  
127,7

$$Q_1 = \frac{n_1}{n_2} \quad H_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad P_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$



B <sub>ie</sub>	q <sub>i</sub> (l/s)	Δp <sub>i</sub> (Pa)	q <sub>e</sub> (l/s)	Δp <sub>e</sub> (Pa)	Δp <sub>suutale</sub>	Δp <sub>putkale</sub>	Δp <sub>ins</sub>	tila	Δp <sub>suu</sub>	Δp <sub>ins,tila</sub>
LMP26	344	102,8	63,0	3,4		90,7	88,2	juhlasali 131	126,8	124,3
LMP24	344	102,8	63,0	3,4		90,7	88,2	juhlasali 131	126,8	124,3
<b>B3</b>	688	102,8	<b>126,0</b>		3,4	<b>90,7</b>			126,8	
B3_B2	688	9,0	126,0	0,3						
LMP19	298	111,8	63,0	5,0		91,0	87,0	aula 124	127,1	123,1
<b>B2</b>	986	111,8	<b>189,0</b>		3,8	5,0	<b>91,0</b>		127,1	
B2_B1	986	1,8	189,0	0,1						
LMP15	118	113,6	25,0	5,1		91,0	86,9	lk 105	127,2	123,1
<b>B1</b>	1104	113,6	<b>214,0</b>		5,1	5,1	<b>91,0</b>		127,2	
B1_AB	1104	12,3	214,0	0,5						

D <sub>ie</sub>	q <sub>i</sub> (l/s)	Δp <sub>i</sub> (Pa)	q <sub>e</sub> (l/s)	Δp <sub>e</sub> (Pa)	Δp <sub>suutale</sub>	Δp <sub>putkale</sub>	Δp <sub>ins</sub>	tila	Δp <sub>suu</sub>	Δp <sub>ins,tila</sub>
LMP30	344	90,4	63	3,0		90,2	88,2	juhlasali 131	126,4	124,3
LMP28	344	90,4	63	3,0		90,2	88,2	juhlasali 131	126,4	124,3
<b>D2</b>	688	90,4	<b>126</b>		3,0	<b>90,2</b>			126,4	
D2_D1	688	16,4	126	0,6						
LMP21	298	106,8	63	4,8		90,8	87,0	aula 124	126,9	123,1
<b>D1</b>	986	106,8	<b>189</b>		3,6	4,8	<b>90,8</b>		126,9	
D1_CD	986	19,2	189	0,7						

Tuloilmakanaviston mitoitusarvot.



A <sub>io</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>verkko</sub>	ΔP <sub>korkeus</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>uusi</sub>	ΔP <sub>ms,uusi</sub>
2.MP16	-174	71,8	-40	3,8		98,1	95,3	lk 102	126,7	123,9
2.MP17	-93	76,6	-25	5,5		98,1	93,6	lk 101	126,7	122,1
<b>A2</b>	-267	89,7	<b>-65</b>		5,5	<b>98,1</b>			126,7	
A2_A1	-267	21,3	-65	1,3						
2.MP19	-224	99,5	-63	7,9		99,4	92,5	k 121	127,9	121,0
<b>A1</b>	-491	111,0	<b>-128</b>		7,9	<b>99,4</b>			127,9	
A1_AB	-491	10,0	-128	0,7						

B <sub>io</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>verkko</sub>	ΔP <sub>korkeus</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>uusi</sub>	ΔP <sub>ms,uusi</sub>
2.MP6	-123	65,7	-25	2,7		97,9	96,2	lk 104	126,4	124,7
2.MP32	-32	86,1	-16	21,5		97,9	77,4	th 112	126,4	106,0
<b>B6</b>	-155	89,3	<b>-41</b>		21,5	<b>97,9</b>			126,4	
B6_B5	-155	0,1	-41	0,0						
2.MP33	-32	86,2	-16	21,5		97,9	77,4	th 113	126,4	105,9
<b>B5</b>	-187	89,4	<b>-57</b>		21,5	<b>97,9</b>			126,4	
B5_B4	-187	0,9	-57	0,1						
2.MP9	-188	69,2	-40	3,1		98,0	95,8	k 123	126,5	124,4
<b>B4</b>	-375	90,3	<b>-97</b>		21,6	<b>98,0</b>			126,5	
B4_B1	-375	17,6	-97	1,2						
2.MP21	-204	69,1	-40	2,7		98,3	96,6	lk 103	126,8	125,2
2.MP4	-196	71,1	-40	3,0		98,3	96,3	k 122	126,8	124,8
<b>B3</b>	-400	94,1	<b>-80</b>		3,0	<b>98,3</b>			126,8	
B3_B2	-400	4,3	-80	0,2						
2.MP1	-39	98,4	-39	98,4		98,4	6,3	th 111	127,0	34,9
<b>B2</b>	-439	98,4	<b>-119</b>		98,4	<b>98,4</b>			127,0	
B2_B1	-439	9,5	-119	0,7						
<b>B1</b>	-814	107,9	<b>-216</b>		99,1	<b>99,1</b>			127,7	
B1_B	-814	13,1	-216	0,9						

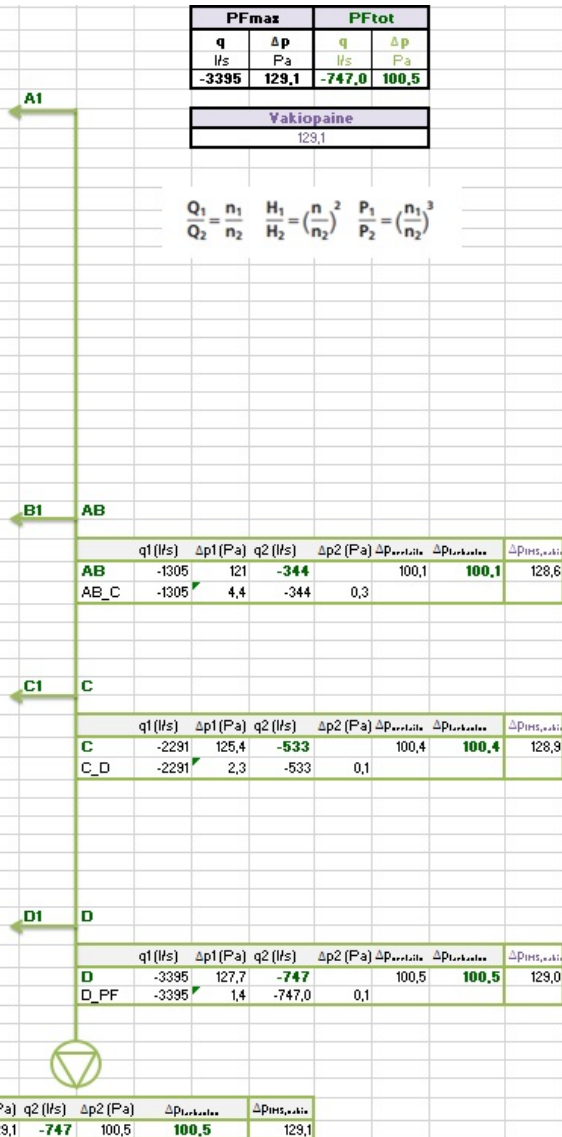
C <sub>io</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>verkko</sub>	ΔP <sub>korkeus</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>uusi</sub>	ΔP <sub>ms,uusi</sub>
2.MP30	-344	72,0	-63	2,4		99,5	98,0	juhlasali 131	128,0	126,6
2.MP28	-344	72,0	-63	2,4		99,5	98,0	juhlasali 131	128,0	126,6
<b>C2</b>	-688	100,4	<b>-126</b>		2,4	<b>99,5</b>			128,0	
C2_C1	-688	4,9	-126	0,2						
2.MP14	-298	84,2	-63	3,8		99,6	96,8	aula 124	128,2	125,4
<b>C1</b>	-986	105,3	<b>-189</b>		3,8	<b>99,6</b>			128,2	
C1_C	-986	20,1	-189	0,7						

D <sub>io</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>verkko</sub>	ΔP <sub>korkeus</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>uusi</sub>	ΔP <sub>ms,uusi</sub>
2.MP26	-344	70,1	-63	2,4		99,4	98,0	juhlasali 131	128,0	126,6
2.MP24	-344	70,1	-63	2,4		99,4	98,0	juhlasali 131	128,0	126,6
<b>D3</b>	-688	98,5	<b>-126</b>		2,4	<b>99,4</b>			128,0	
D3_D2	-688	5,7	-126	0,2						
2.MP10	-298	83,1	-63	3,7		99,6	96,9	aula 124	128,2	125,4
<b>D2</b>	-986	104,2	<b>-189</b>		3,7	<b>99,6</b>			128,2	
D2_D1	-986	2,8	-189	0,1						
2.MP11	-118	85,4	-25	3,8		99,7	96,9	lk 105	128,3	125,4
<b>D1</b>	-1104	107,0	<b>-214</b>		3,8	<b>99,7</b>			128,3	
D1_D	-1104	20,7	-214	0,8						

PF	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>verkko</sub>	ΔP <sub>ms,uusi</sub>
<b>PF</b>	-3395	129,1	<b>-747</b>	100,5	<b>100,5</b>	129,1



PFmax		PFtot	
q l/s	Δp Pa	q l/s	Δp Pa
<b>-3395</b>	<b>129,1</b>	<b>-747,0</b>	<b>100,5</b>

Vakiopaine	
129,1	

**ims-taulukko, jossa alkupainehäviö**

IMS <sub>io</sub>	Ø.....	q <sub>i</sub> (l/s)	k-kerroin	p (Pa)	tila
2.MP17	Ø200	-25,0	24,8	1,0	lk 101
2.MP16	Ø250	-40,0	40,0	1,0	lk 102
2.MP21	Ø250	-40,0	40,0	1,0	lk 103
2.MP6	Ø200	-25,0	24,8	1,0	lk 104
2.MP11	Ø200	-25,0	24,8	1,0	lk 105
2.MP1	Ø160	-39,0	15,5	6,3	th 111
2.MP32	Ø160	-16,0	15,5	1,1	th 112
2.MP33	Ø160	-16,0	15,5	1,1	th 113
2.MP19	Ø315	-63,0	63,4	1,0	k 121
2.MP4	Ø250	-40,0	40,0	1,0	k 122
2.MP9	Ø250	-40,0	40,0	1,0	k 124
2.MP14	Ø315	-63,0	63,4	1,0	a 125
2.MP10	Ø315	-63,0	63,4	1,0	a 125
2.MP30	Ø315	-63,0	63,4	1,0	j 131
2.MP28	Ø315	-63,0	63,4	1,0	j 131
2.MP26	Ø315	-63,0	63,4	1,0	j 131
2.MP24	Ø315	-63,0	63,4	1,0	j 131

Poistoilmakanaviston mitoitusarvot.

Mitoitustilanne ( $q_{max}$ ), kaikissa tiloissa maksimi ilmvirta

Tila	IMS_ID	$\varnothing_{kattila}$	q (l/s)	$\Delta p$ (Pa)	$L_{vrt}$	peltilä	$\Delta p$ (Pa)	$L_{vrt}$	peltilä (%)
lk 101	1.MP9	Ø200	93	14,1	48	85	14,1	48	85
lk 102	1.MP2	Ø250	174	18,9	54	85	18,9	54	85
lk 103	1.MP5	Ø250	204	26	54	80	26	54	80
lk 104	1.MP11	Ø200	123	24,6	54	85	24,6	54	85
lk 105	1.MP15	Ø200	118	22,6	53	85	22,6	53	85
th 111	1.MP7	Ø160	39	6,3	45	85	6,3	45	85
th 112	1.MP32	Ø160	32	4,3	45	85	4,3	45	85
th 113	1.MP34	Ø160	32	4,3	45	85	4,3	45	85
k 121	1.MP17	Ø315	224	12,5	43	80	12,5	43	80
k 122	1.MP3	Ø250	196	24	53	80	24	53	80
k 123	1.MP14	Ø250	188	22,1	52	85	22,1	52	85
a 124	1.MP19	Ø315	298	22,1	50	80	22,1	50	80
a 124	1.MP21	Ø315	298	22,1	50	80	22,1	50	80
j 131	1.MP24	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80
j 131	1.MP26	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80
j 131	1.MP28	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80
j 131	1.MP30	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80

Tila	IMS_ID	$\varnothing_{kattila}$	q (l/s)	$\Delta p$ (Pa)	$L_{vrt}$	peltilä (%)	$\Delta p$ (Pa)	$L_{vrt}$	peltilä (%)
lk 101	2.MP17	Ø200	-93	14,1	48	85	14,1	48	85
lk 102	2.MP16	Ø250	-174	18,9	54	85	18,9	54	85
lk 103	2.MP21	Ø250	-204	26	54	80	26	54	80
lk 104	2.MP6	Ø200	-113	24,6	54	85	24,6	54	85
lk 105	2.MP11	Ø200	-118	22,6	53	85	22,6	53	85
th 111	2.MP1	Ø160	-39	6,3	45	85	6,3	45	85
th 112	2.MP32	Ø160	-32	4,3	45	85	4,3	45	85
th 113	2.MP33	Ø160	-32	4,3	45	85	4,3	45	85
k 121	2.MP19	Ø315	-224	12,5	43	80	12,5	43	80
k 122	2.MP4	Ø250	-196	24	53	80	24	53	80
k 123	2.MP9	Ø250	-188	22,1	52	85	22,1	52	85
a 124	2.MP14	Ø315	-298	22,1	50	80	22,1	50	80
a 124	2.MP10	Ø315	-298	22,1	50	80	22,1	50	80
j 131	2.MP28	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80
j 131	2.MP30	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80
j 131	2.MP24	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80
j 131	2.MP26	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80

Vain työhuone th 111 käytössä, muissa tiloissa minimi-ilmavirta

Tila	IMS_ID	$\varnothing_{kattila}$	q (l/s)	$\Delta p$ (Pa)	$L_{vrt}$	peltilä (%)	$\Delta p$ (Pa)	$L_{vrt}$	peltilä (%)
lk 101	1.MP9	Ø200	25	82,2	50	30	118,4	52	28
lk 102	1.MP2	Ø250	40	83,8	48	30	119,9	50	28
lk 103	1.MP5	Ø250	40	87,4	48	30	123,5	50	28
lk 104	1.MP11	Ø200	25	86,2	50	30	122,3	52	28
lk 105	1.MP15	Ø200	25	86,9	50	30	123,1	52	28
th 111	1.MP7	Ø160	39	6,3	43	85	42,5	54	60
th 112	1.MP32	Ø160	16	67,7	48	35	103,8	50	30
th 113	1.MP34	Ø160	16	67,7	48	35	103,8	50	30
k 121	1.MP17	Ø315	63	82	50	35	118,2	53	30
k 122	1.MP3	Ø250	40	87,1	48	30	123,2	50	28
k 123	1.MP14	Ø250	40	86,7	48	30	122,8	50	28
a 124	1.MP19	Ø315	63	87	50	35	123,1	52	30
a 124	1.MP21	Ø315	63	87	50	35	123,1	52	30
j 131	1.MP24	Ø315	63	88,2	50	35	124,3	52	30
j 131	1.MP26	Ø315	63	88,2	50	35	124,3	52	30
j 131	1.MP28	Ø315	63	88,2	50	35	124,3	52	30
j 131	1.MP30	Ø315	63	88,2	50	35	124,3	52	30

Tila	IMS_ID	$\varnothing_{kattila}$	q (l/s)	$\Delta p$ (Pa)	$L_{vrt}$	peltilä (%)	$\Delta p$ (Pa)	$L_{vrt}$	peltilä (%)
lk 101	2.MP17	Ø200	-25	93,6	50	30	122,1	52	28
lk 102	2.MP16	Ø250	-40	95,3	48	30	123,9	50	28
lk 103	2.MP21	Ø250	-40	96,6	48	30	125,2	50	28
lk 104	2.MP6	Ø200	-25	96,2	50	30	124,7	52	28
lk 105	2.MP11	Ø200	-25	96,9	50	30	125,4	52	28
th 111	2.MP1	Ø160	-39	6,3	43	85	34,3	53	65
th 112	2.MP32	Ø160	-16	77,4	48	35	106	50	30
th 113	2.MP33	Ø160	-16	77,4	48	35	105,9	50	30
k 121	2.MP19	Ø315	-63	92,5	50	33	121	53	30
k 122	2.MP4	Ø250	-40	96,3	48	30	124,8	50	28
k 123	2.MP9	Ø250	-40	95,8	48	30	124,4	50	28
a 124	2.MP14	Ø315	-63	96,8	50	33	125,4	53	30
a 124	2.MP10	Ø315	-63	96,9	50	33	125,4	52	30
j 131	2.MP28	Ø315	-63	98	51	32	126,6	52	30
j 131	2.MP30	Ø315	-63	98	51	32	126,6	52	30
j 131	2.MP24	Ø315	-63	98	51	32	126,6	52	30
j 131	2.MP26	Ø315	-63	98	51	32	126,6	52	30

Yhteenveto tilojen ilmamääräsäätimien arvoista.



LIITE 7. Mallikohteen tarkastelutilanne 4.

A <sub>ip</sub>	q <sub>i</sub> (l/s)	Δp <sub>i</sub> (Pa)	q <sub>e</sub> (l/s)	Δp <sub>e</sub> (Pa)	Δp <sub>suhteellinen</sub>	Δp <sub>absoluuttinen</sub>	tila	Δp <sub>suhteellinen</sub>	Δp <sub>absoluuttinen</sub>
LMP34	32	78,4	16,0	19,6		113,7	95,1 th 113	121,9	103,3
LMP32	32	78,4	16,0	19,6		113,7	95,1 th112	121,9	103,3
<b>A5</b>	64	78,4	<b>32,0</b>		19,6	<b>113,7</b>		121,9	
A5_A4	64	10,5	32,0	2,6					
LMP11	123	88,9	25,0	3,7		116,3	113,6 lk 104	124,5	121,8
<b>A4</b>	187	88,9	<b>57,0</b>		22,2	<b>116,3</b>		124,5	
A4_A3	187	18,3	57,0	1,7					
LMP14	188	107,2	40,0	4,9		118,0	114,1 k123	126,2	122,3
<b>A3</b>	375	107,2	<b>97,0</b>		23,9	<b>118,0</b>		126,2	
A3_A1	375	0,1	97,0	0,0					
LMP5	204	93,4	40,0	3,6		117,4	114,8 lk 103	125,6	123,1
LMP3	196	93,4	40,0	3,9		117,4	114,5 k122	125,6	122,8
<b>A2</b>	400	93,4	<b>80,0</b>		3,9	<b>117,4</b>		125,6	
A2_A1	400	13,9	80,0	0,6					
<b>A1</b>	775	107,3	<b>177,0</b>		4,4	23,9	<b>118,0</b>		
A1_AB	775	18,6	177,0	1,0					

C <sub>ip</sub>	q <sub>i</sub> (l/s)	Δp <sub>i</sub> (Pa)	q <sub>e</sub> (l/s)	Δp <sub>e</sub> (Pa)	Δp <sub>suhteellinen</sub>	Δp <sub>absoluuttinen</sub>	tila	Δp <sub>suhteellinen</sub>	Δp <sub>absoluuttinen</sub>
LMP2	174	79,4	40,0	4,2		115,7	112,5 lk 102	123,9	120,7
LMP9	93	79,4	25,0	5,7		115,7	111,0 lk 101	123,9	119,2
<b>C3</b>	267	79,4	<b>65,0</b>		5,7	<b>115,7</b>		123,9	
C3_C2	267	8,0	65,0	0,5					
LMP7	39	87,4	16,0	14,7		116,2	102,5 th 111	124,4	110,8
<b>C2</b>	306	87,4	<b>81,0</b>		14,7	<b>116,2</b>		124,4	
C2_C1	306	14,4	81,0	1,0					
LMP17	224	101,8	63,0	8,1		117,2	110,1 k 121	125,4	118,3
<b>C1</b>	530	101,8	<b>144,0</b>		15,7	<b>117,2</b>		125,4	
C1_CD	530	24,2	144,0	1,8					

ims-taulukko, jossa alkupainehäviö

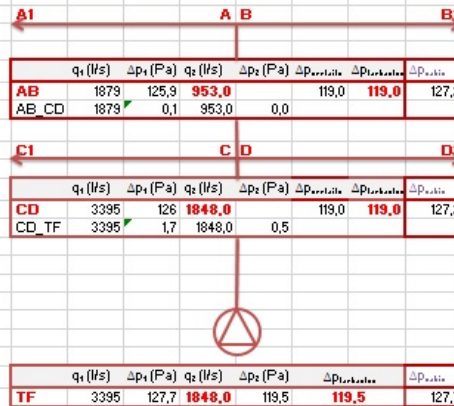
IMS <sub>0</sub>	Ø <sub>.....</sub>	q <sub>i</sub> (l/s)	k-kerroin	p (Pa)	tila
LMP9	Ø200	93,0	24,8	14,1	lk 101
LMP2	Ø250	174	40,0	18,9	lk 102
LMP5	Ø250	204	40,0	26,0	lk 103
LMP11	Ø200	123,0	24,8	24,6	lk 104
LMP15	Ø200	118,0	24,8	22,6	lk 105
LMP7	Ø160	39,0	15,5	6,3	th 111
LMP32	Ø160	32,0	15,5	4,3	th 112
LMP34	Ø160	32,0	15,5	4,3	th 113
LMP17	Ø315	224,0	63,4	12,5	k 121
LMP3	Ø250	196,0	40,0	24,0	k 122
LMP14	Ø250	188,0	40,0	22,1	k 123
LMP19	Ø315	298,0	63,4	22,1	a 124
LMP21	Ø315	298	63,4	22,1	a 124
LMP24	Ø315	344,0	63,4	29,4	j 131
LMP26	Ø315	344,0	63,4	29,4	j 131
LMP28	Ø315	344	63,4	29,4	j 131
LMP30	Ø315	344	63,4	29,4	j 131

TF <sub>max</sub>		TF <sub>tot</sub>	
q	Δp	q	Δp
l/s	Pa	l/s	Pa
3395	127,7	1848,0	119,5

Yakiopaine	
127,7	

$$Q_1 = \frac{n_1}{n_2} \quad H_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad P_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

$$Q_2 = \frac{n_1}{n_2} \quad H_2 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad P_2 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$



B <sub>ie</sub>	q <sub>i</sub> (l/s)	Δp <sub>i</sub> (Pa)	q <sub>e</sub> (l/s)	Δp <sub>e</sub> (Pa)	Δp <sub>suhteellinen</sub>	Δp <sub>absoluuttinen</sub>	tila	Δp <sub>suhteellinen</sub>	Δp <sub>absoluuttinen</sub>
LMP26	344	102,8	344,0	102,8		102,8	29,4 juhlasali 131	111,0	37,6
LMP24	344	102,8	344,0	102,8		102,8	29,4 juhlasali 131	111,0	37,6
<b>B3</b>	688	102,8	<b>688,0</b>		102,8	<b>102,8</b>		111,0	
B3_B2	688	9,0	688,0	9,0					
LMP19	298	111,8	63,0	5,0		111,8	107,9 aula 124	120,0	116,0
<b>B2</b>	986	111,8	<b>751,0</b>		111,8	<b>111,8</b>		120,0	
B2_B1	986	1,8	751,0	1,0					
LMP15	118	113,6	25,0	5,1		112,9	108,8 lk 105	121,1	117,0
<b>B1</b>	1104	113,6	<b>776,0</b>		112,9	<b>112,9</b>		121,1	
B1_AB	1104	12,3	776,0	6,1					

D <sub>ie</sub>	q <sub>i</sub> (l/s)	Δp <sub>i</sub> (Pa)	q <sub>e</sub> (l/s)	Δp <sub>e</sub> (Pa)	Δp <sub>suhteellinen</sub>	Δp <sub>absoluuttinen</sub>	tila	Δp <sub>suhteellinen</sub>	Δp <sub>absoluuttinen</sub>
LMP30	344	90,4	344	90,4		91,4	30,4 juhlasali 131	99,7	38,7
LMP28	344	90,4	344	90,4		91,4	30,4 juhlasali 131	99,7	38,7
<b>D2</b>	688	90,4	<b>688</b>		90,4	<b>91,4</b>		99,7	
D2_D1	688	16,4	688	16,4					
LMP21	298	106,8	63	4,8		107,8	104,1 aula 124	116,1	112,3
<b>D1</b>	986	106,8	<b>751</b>		106,8	<b>107,8</b>		116,1	
D1_CD	986	19,2	751	11,1					

Tuloilmakanaviston mitoitusarvot.

A <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>putkisto</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
2.MP16	-174	71,8	-40	3,8		114,8	112,0	lk 102	126,0	123,2
2.MP17	-93	76,6	-25	5,5		114,8	110,3	lk 101	126,0	121,5
<b>A2</b>	-267	89,7	<b>-65</b>		5,5	<b>114,8</b>			126,0	
A2_A1	-267	21,3	-65	1,3						
2.MP19	-224	99,5	-63	7,9		116,1	109,2	k 121	127,2	120,4
<b>A1</b>	-491	111,0	<b>-128</b>		7,9	<b>116,1</b>			127,2	
A1_AB	-491	10,0	-128	0,7						

B <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>putkisto</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
2.MP6	-123	65,7	-25	2,7		114,7	113,0	lk 104	125,9	124,2
2.MP32	-32	86,1	-16	21,5		114,7	94,3	th 112	125,9	105,5
<b>B6</b>	-155	89,3	<b>-41</b>		21,5	<b>114,7</b>			125,9	
B6_B5	-155	0,1	-41	0,0						
2.MP33	-32	86,2	-16	21,5		114,7	94,3	th 113	125,9	105,4
<b>B5</b>	-187	89,4	<b>-57</b>		21,5	<b>114,7</b>			125,9	
B5_B4	-187	0,9	-57	0,1						
2.MP9	-188	69,2	-40	3,1		114,8	112,7	k 123	126,0	123,9
<b>B4</b>	-375	90,3	<b>-97</b>		21,6	<b>114,8</b>			126,0	
B4_B1	-375	17,6	-97	1,2						
2.MP21	-204	69,1	-40	2,7		115,4	113,7	lk 103	126,6	124,9
2.MP4	-196	71,1	-40	3,0		115,4	113,4	k 122	126,6	124,6
<b>B3</b>	-400	94,1	<b>-80</b>		3,0	<b>115,4</b>			126,6	
B3_B2	-400	4,3	-80	0,2						
2.MP1	-39	93,2	-16	15,7		115,5	100,9	th 111	126,7	112,1
<b>B2</b>	-439	98,4	<b>-96</b>		15,7	<b>115,5</b>			126,7	
B2_B1	-439	9,5	-96	0,5						
<b>B1</b>	-814	107,9	<b>-193</b>		22,8	<b>116,0</b>			127,2	
B1_B	-814	13,1	-193	0,7						

C <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>putkisto</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
2.MP30	-344	100,4	-344	100,4		100,4	29,4	juhlasali 131	111,6	40,6
2.MP28	-344	100,4	-344	100,4		100,4	29,4	juhlasali 131	111,6	40,6
<b>C2</b>	-688	100,4	<b>-688</b>		100,4	<b>100,4</b>			111,6	
C2_C1	-688	4,9	-688	4,9						
2.MP14	-298	84,2	-63	3,8		105,3	102,6	aula 124	116,5	113,7
<b>C1</b>	-986	105,3	<b>-751</b>		105,3	<b>105,3</b>			116,5	
C1_C	-986	20,1	-751	11,7						

D <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>putkisto</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
2.MP26	-344	98,5	-344	98,5		100,0	30,9	juhlasali 131	111,1	42,0
2.MP24	-344	98,5	-344	98,5		100,0	30,9	juhlasali 131	111,1	42,0
<b>D3</b>	-688	98,5	<b>-688</b>		98,5	<b>100,0</b>			111,1	
D3_D2	-688	5,7	-688	5,7						
2.MP10	-298	83,1	-63	3,7		105,7	102,9	aula 124	116,8	114,1
<b>D2</b>	-986	104,2	<b>-751</b>		104,2	<b>105,7</b>			116,8	
D2_D1	-986	2,8	-751	1,6						
2.MP11	-118	85,4	-25	3,8		107,3	104,5	lk 105	118,5	115,6
<b>D1</b>	-1104	107,0	<b>-776</b>		105,9	<b>107,3</b>			118,5	
D1_D	-1104	20,7	-776	10,2						

PF	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>putkisto</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
<b>PF</b>	-3395	129,1	<b>-1848</b>	117,9		<b>117,9</b>	129,1

PFmax		PFtot	
q l/s	Δp Pa	q l/s	Δp Pa
<b>-3395</b>	<b>129,1</b>	<b>-1848,0</b>	<b>117,9</b>

Vakiopaine	
129,1	

$$Q_1 = \frac{n_1}{n_2} \quad H_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad P_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

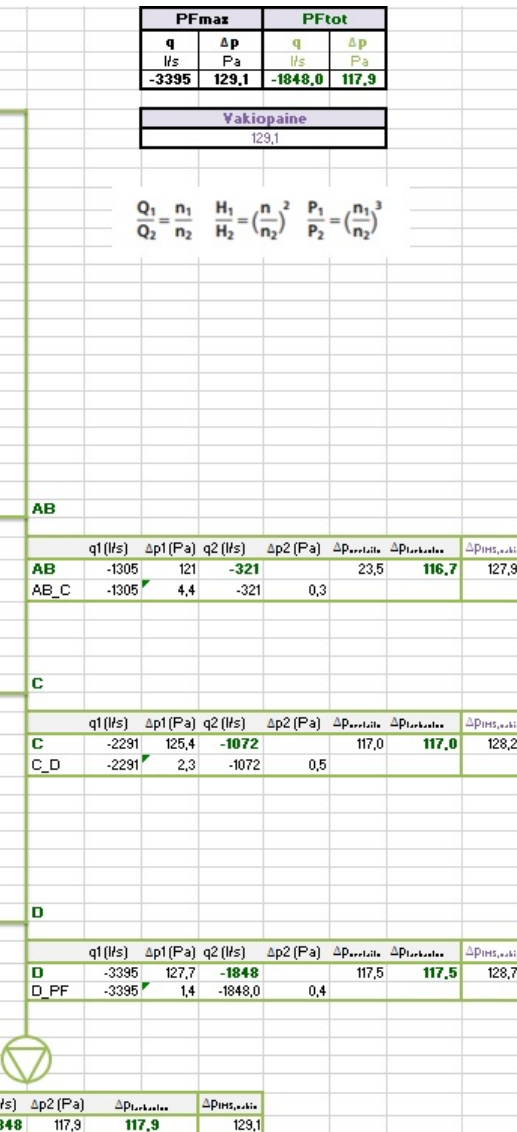
ims-taulukko, jossa alkupainehäviö					
IMS <sub>ip</sub>	Ø.....	q <sub>s</sub> (l/s)	k-kerroin	p (Pa)	tila
2.MP17	Ø200	-25,0	24,8	1,0	lk 101
2.MP16	Ø250	-40,0	40,0	1,0	lk 102
2.MP21	Ø250	-40,0	40,0	1,0	lk 103
2.MP6	Ø200	-25,0	24,8	1,0	lk 104
2.MP11	Ø200	-25,0	24,8	1,0	lk 105
2.MP1	Ø160	-16,0	15,5	1,1	th 111
2.MP32	Ø160	-16,0	15,5	1,1	th 112
2.MP33	Ø160	-16,0	15,5	1,1	th 113
2.MP19	Ø315	-63,0	63,4	1,0	k 121
2.MP4	Ø250	-40,0	40,0	1,0	k 122
2.MP9	Ø250	-40,0	40,0	1,0	k 123
2.MP14	Ø315	-63,0	63,4	1,0	a 124
2.MP10	Ø315	-63,0	63,4	1,0	a 124
2.MP30	Ø315	-344,0	63,4	29,4	j 131
2.MP28	Ø315	-344,0	63,4	29,4	j 131
2.MP26	Ø315	-344,0	63,4	29,4	j 131
2.MP24	Ø315	-344,0	63,4	29,4	j 131

A1

B1

C1

D1



Poistoilmakanaviston mitoitusarvot.

Mitoitustilanne (q <sub>max</sub> ), kaikissa tiloissa maksimi ilmvirta										Vain juhlasali j131 käytössä, muissa tiloissa minimi-ilmavirta									
Tila	IMS_ID	Ø <sub>k...</sub>	q (l/s)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)	Tila	IMS_ID	Ø <sub>k...</sub>	q (l/s)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)
lk 101	1.MP9	Ø200	93	14,1	48	85	14,1	48	85	lk 101	1.MP9	Ø200	25	111	52	29	119,2	52	28
lk 102	1.MP2	Ø250	174	18,9	54	85	18,9	54	85	lk 102	1.MP2	Ø250	40	112,5	49	29	120,7	50	28
lk 103	1.MP5	Ø250	204	26	54	80	26	54	80	lk 103	1.MP5	Ø250	40	114,8	49	29	123,1	50	28
lk 104	1.MP11	Ø200	123	24,6	54	85	24,6	54	85	lk 104	1.MP11	Ø200	25	113,6	52	29	121,8	52	28
lk 105	1.MP15	Ø200	118	22,6	53	85	22,6	53	85	lk 105	1.MP15	Ø200	25	108,8	52	29	117	52	28
th 111	1.MP7	Ø160	39	6,3	45	85	6,3	45	85	th 111	1.MP7	Ø160	16	102,5	50	30	110,8	51	29
th 112	1.MP32	Ø160	32	4,3	45	85	4,3	45	85	th 112	1.MP32	Ø160	16	95,1	50	30	103,3	50	30
th 113	1.MP34	Ø160	32	4,3	45	85	4,3	45	85	th 113	1.MP34	Ø160	16	95,1	50	30	103,3	50	30
k 121	1.MP17	Ø315	224	12,5	43	80	12,5	43	80	k 121	1.MP17	Ø315	63	110,1	52	31	118,3	53	30
k 122	1.MP3	Ø250	196	24	53	80	24	53	80	k 122	1.MP3	Ø250	40	114,5	49	29	122,8	50	28
k 123	1.MP14	Ø250	188	22,1	52	85	22,1	52	85	k 123	1.MP14	Ø250	40	114,1	49	29	122,3	50	28
a 124	1.MP19	Ø315	298	22,1	50	80	22,1	50	80	a 124	1.MP19	Ø315	63	107,8	52	31	116	53	30
a 124	1.MP21	Ø315	298	22,1	50	80	22,1	50	80	a 124	1.MP21	Ø315	63	104,1	52	31	112,3	53	30
j 131	1.MP24	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	1.MP24	Ø315	344	29,4	54	78	37,6	57	75
j 131	1.MP26	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	1.MP26	Ø315	344	29,4	54	78	37,6	57	75
j 131	1.MP28	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	1.MP28	Ø315	344	30,4	54	78	38,7	57	75
j 131	1.MP30	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	1.MP30	Ø315	344	30,4	54	78	38,7	57	75

Muuttuvapaine									
Tulo	Poisto	Tulo	Poisto						
q (l/s)	Δp (Pa)	q (l/s)	Δp (Pa)						
1848	119,5	-1848	117,9						
3395	127,7	-3395	129,1						

Vakiopaine									
Tulo	Poisto	Tulo	Poisto						
q (l/s)	Δp (Pa)	q (l/s)	Δp (Pa)						
1848	127,7	-1848	129,1						
3395	127,7	-3395	129,1						

(mitoitus tilanne, q<sub>max</sub>)

Tila	IMS_ID	Ø <sub>k...</sub>	q (l/s)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)	Tila	IMS_ID	Ø <sub>k...</sub>	q (l/s)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)	Δp (Pa)	L <sub>w,tot</sub>	peltili (%)
lk 101	2.MP17	Ø200	-93	14,1	48	85	14,1	48	85	lk 101	2.MP17	Ø200	25	110,3	52	29	121,5	52	28
lk 102	2.MP16	Ø250	-174	18,9	54	85	18,9	54	85	lk 102	2.MP16	Ø250	40	112	49	29	123,2	50	28
lk 103	2.MP21	Ø250	-204	26	54	80	26	54	80	lk 103	2.MP21	Ø250	40	113,7	49	29	124,9	50	28
lk 104	2.MP6	Ø200	-113	24,6	54	85	24,6	54	85	lk 104	2.MP6	Ø200	25	113	49	29	124,2	50	28
lk 105	2.MP11	Ø200	-118	22,6	53	85	22,6	53	85	lk 105	2.MP11	Ø200	25	104,5	52	30	115,6	52	29
th 111	2.MP1	Ø160	-39	6,3	45	85	6,3	45	85	th 111	2.MP1	Ø160	16	100,9	50	30	112,1	51	29
th 112	2.MP32	Ø160	-32	4,3	45	85	4,3	45	85	th 112	2.MP32	Ø160	16	94,3	50	30	105,5	50	30
th 113	2.MP33	Ø160	-32	4,3	45	85	4,3	45	85	th 113	2.MP33	Ø160	16	94,3	50	30	105,4	50	30
k 121	2.MP19	Ø315	-224	12,5	43	80	12,5	43	80	k 121	2.MP19	Ø315	63	109,2	52	31	120,4	53	30
k 122	2.MP4	Ø250	-196	24	53	80	24	53	80	k 122	2.MP4	Ø250	40	113,4	49	29	124,6	50	28
k 123	2.MP9	Ø250	-188	22,1	52	85	22,1	52	85	k 123	2.MP9	Ø250	40	112,7	49	29	123,9	50	28
a 124	2.MP14	Ø315	-298	22,1	50	80	22,1	50	80	a 124	2.MP14	Ø315	63	102,6	52	31	113,7	53	30
a 124	2.MP10	Ø315	-298	22,1	50	80	22,1	50	80	a 124	2.MP10	Ø315	63	102,9	52	31	114,1	53	30
j 131	2.MP28	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	2.MP28	Ø315	-344	29,4	54	78	40,6	53	75
j 131	2.MP30	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	2.MP30	Ø315	-344	29,4	54	78	40,6	53	75
j 131	2.MP24	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	2.MP24	Ø315	-344	30,9	54	78	42	53	75
j 131	2.MP26	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	2.MP26	Ø315	-344	30,9	54	78	42	53	75

Yhteenveto tilojen ilmvirtasäätimien arvoista.



LIITE 8. Mallikohteen tarkastelutilanne 5.

A <sub>ip</sub>	q <sub>i</sub> (l/s)	Δp <sub>i</sub> (Pa)	q <sub>e</sub> (l/s)	Δp <sub>e</sub> (Pa)	Δp <sub>suutale</sub>	Δp <sub>korotale</sub>	Δp <sub>ms</sub>	tila	Δp <sub>suu</sub>	Δp <sub>ms, suu</sub>
LMP34	32	78,4	16,0	19,6		102,9	84,3	th 113	115,7	97,2
LMP32	32	78,4	16,0	19,6		102,9	84,3	th112	115,7	97,2
<b>A5</b>	64	78,4	<b>32,0</b>		19,6	<b>102,9</b>			115,7	
A5_A4	64	10,5	32,0	2,6						
LMP11	123	88,9	25,0	3,7		105,5	102,8	lk 104	118,4	115,7
<b>A4</b>	187	88,9	<b>57,0</b>		22,2	<b>105,5</b>			118,4	
A4_A3	187	18,3	57,0	1,7						
LMP14	188	107,2	188,0	107,2		107,2	22,1	k123	120,1	35,0
<b>A3</b>	375	107,2	<b>245,0</b>		107,2	<b>107,2</b>			120,1	
A3_A1	375	0,1	245,0	0,0						
LMP5	204	93,4	40,0	3,6		102,4	99,8	lk 103	115,3	112,7
LMP3	196	93,4	196,0	93,4		102,4	33,0	k122	115,3	45,9
<b>A2</b>	400	93,4	<b>236,0</b>		93,4	<b>102,4</b>			115,3	
A2_A1	400	13,9	236,0	4,8						
<b>A1</b>	775	107,3	<b>481,0</b>		107,2	<b>107,2</b>			120,1	
A1_AB	775	18,6	481,0	7,2						

C <sub>ip</sub>	q <sub>i</sub> (l/s)	Δp <sub>i</sub> (Pa)	q <sub>e</sub> (l/s)	Δp <sub>e</sub> (Pa)	Δp <sub>suutale</sub>	Δp <sub>korotale</sub>	Δp <sub>ms</sub>	tila	Δp <sub>suu</sub>	Δp <sub>ms, suu</sub>
LMP2	174	79,4	40,0	4,2		104,9	101,7	lk 102	117,8	114,6
LMP9	93	79,4	25,0	5,7		104,9	100,2	lk 101	117,8	113,1
<b>C3</b>	267	79,4	<b>65,0</b>		5,7	<b>104,9</b>			117,8	
C3_C2	267	8,0	65,0	0,5						
LMP7	39	87,4	16,0	14,7		105,4	91,7	th 111	118,3	104,6
<b>C2</b>	306	87,4	<b>81,0</b>		14,7	<b>105,4</b>			118,3	
C2_C1	306	14,4	81,0	1,0						
LMP17	224	101,8	224,0	101,8		106,4	17,1	k 121	119,3	30,0
<b>C1</b>	530	101,8	<b>305,0</b>		101,8	<b>106,4</b>			119,3	
C1_CD	530	24,2	305,0	8,0						

ims-taulukko, jossa alkupainehäviö

IMS <sub>ie</sub>	Ø <sub>.....</sub>	q <sub>i</sub> (l/s)	k-kerroin	p (Pa)	tila
LMP9	Ø200	93,0	24,8	14,1	lk 101
LMP2	Ø250	174	40,0	18,9	lk 102
LMP5	Ø250	204	40,0	26,0	lk 103
LMP11	Ø200	123,0	24,8	24,6	lk 104
LMP15	Ø200	118,0	24,8	22,6	lk 105
LMP7	Ø160	39,0	15,5	6,3	th 111
LMP32	Ø160	32,0	15,5	4,3	th 112
LMP34	Ø160	32,0	15,5	4,3	th 113
LMP17	Ø315	224,0	63,4	12,5	k 121
LMP3	Ø250	196,0	40,0	24,0	k 122
LMP14	Ø250	188,0	40,0	22,1	k 123
LMP19	Ø315	298,0	63,4	22,1	a 124
LMP21	Ø315	298	63,4	22,1	a 124
LMP24	Ø315	344,0	63,4	29,4	j 131
LMP26	Ø315	344,0	63,4	29,4	j 131
LMP28	Ø315	344	63,4	29,4	j 131
LMP30	Ø315	344	63,4	29,4	j 131

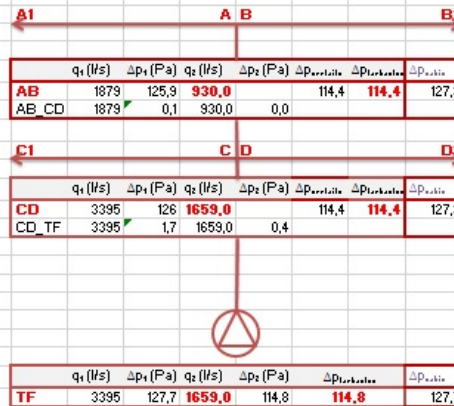
TF <sub>max</sub>		TF <sub>tot</sub>	
q	Δp	q	Δp
l/s	Pa	l/s	Pa
<b>3395</b>	<b>127,7</b>	<b>1659,0</b>	<b>114,8</b>

Yakiopaine	
127,7	

$$Q_1 = \frac{n_1}{n_2} \quad H_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad P_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

$$Q_2 = \frac{n_1}{n_2} \quad H_2 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad P_2 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$



B <sub>ie</sub>	q <sub>i</sub> (l/s)	Δp <sub>i</sub> (Pa)	q <sub>e</sub> (l/s)	Δp <sub>e</sub> (Pa)	Δp <sub>suutale</sub>	Δp <sub>korotale</sub>	Δp <sub>ms</sub>	tila	Δp <sub>suu</sub>	Δp <sub>ms, suu</sub>
LMP26	344	102,8	63,0	3,4		111,7	109,3	juhlasali 131	124,6	122,1
LMP24	344	102,8	63,0	3,4		111,7	109,3	juhlasali 131	124,6	122,1
<b>B3</b>	688	102,8	<b>126,0</b>		3,4	<b>111,7</b>			124,6	
B3_B2	688	9,0	126,0	0,3						
LMP19	298	111,8	298,0	111,8		112,0	22,3	aula 124	124,9	35,2
<b>B2</b>	986	111,8	<b>424,0</b>		111,8	<b>112,0</b>			124,9	
B2_B1	986	1,8	424,0	0,3						
LMP15	118	113,6	25,0	5,1		112,4	108,3	lk 105	125,2	121,2
<b>B1</b>	1104	113,6	<b>449,0</b>		112,1	<b>112,4</b>			125,2	
B1_AB	1104	12,3	449,0	2,0						

D <sub>ie</sub>	q <sub>i</sub> (l/s)	Δp <sub>i</sub> (Pa)	q <sub>e</sub> (l/s)	Δp <sub>e</sub> (Pa)	Δp <sub>suutale</sub>	Δp <sub>korotale</sub>	Δp <sub>ms</sub>	tila	Δp <sub>suu</sub>	Δp <sub>ms, suu</sub>
LMP30	344	90,4	63	3,0		110,3	108,3	juhlasali 131	123,2	121,1
LMP28	344	90,4	63	3,0		110,3	108,3	juhlasali 131	123,2	121,1
<b>D2</b>	688	90,4	<b>126</b>		3,0	<b>110,3</b>			123,2	
D2_D1	688	16,4	126	0,6						
LMP21	298	106,8	298	106,8		110,9	26,2	aula 124	123,7	39,0
<b>D1</b>	986	106,8	<b>424</b>		3,6	<b>110,9</b>			123,7	
D1_CD	986	19,2	424	3,6						

Tuloilmakanaviston mitoitusarvot.

A <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ristustus</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
2.MP16	-174	71,8	-40	3,8			116,3	lk 102	121,8	119,0
2.MP17	-93	76,6	-25	5,5			116,3	lk 101	121,8	117,3
<b>A2</b>	-267	89,7	<b>-65</b>		5,5		<b>116,3</b>			
A2_A1	-267	21,3	-65	1,3						
2.MP19	-224	111,0	-224	111,0			117,5	19,0 k 121	123,1	24,6
<b>A1</b>	-491	111,0	<b>-209</b>				<b>117,5</b>			
A1_AB	-491	10,0	-289	3,5						

B <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ristustus</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
2.MP6	-123	65,7	-25	2,7			91,1	89,4 lk 104	114,0	112,3
2.MP32	-32	86,1	-16	21,5			91,1	70,7 th 112	114,0	93,6
<b>B6</b>	-155	89,3	<b>-41</b>		21,5		<b>91,1</b>			
B6_B5	-155	0,1	-41	0,0						
2.MP33	-32	86,2	-16	21,5			91,1	70,7 th 113	114,0	93,6
<b>B5</b>	-187	89,4	<b>-57</b>		21,5		<b>91,1</b>			
B5_B4	-187	0,9	-57	0,1						
2.MP9	-188	90,3	-188	90,3			91,2	23,0 k 123	114,1	45,9
<b>B4</b>	-375	90,3	<b>-245</b>		90,3		<b>91,2</b>			
B4_B1	-375	17,6	-245	7,5						
2.MP21	-204	69,1	-40	2,7			111,5	109,8 lk 103	117,0	115,4
2.MP4	-196	94,1	-196	94,1			111,5	41,4 k 122	117,0	46,9
<b>B3</b>	-400	94,1	<b>-236</b>		94,1		<b>111,5</b>			
B3_B2	-400	4,3	-236	1,5						
2.MP1	-39	93,2	-16	15,7			113,0	98,4 th 111	118,5	103,9
<b>B2</b>	-439	98,4	<b>-252</b>		95,6		<b>113,0</b>			
B2_B1	-439	9,5	-252	3,1						
<b>B1</b>	-814	107,9	<b>-497</b>		98,7		<b>116,1</b>			
B1_B	-814	13,1	-497	4,9						

C <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ristustus</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
2.MP30	-344	72,0	-63	2,4			118,7	117,3 juhlasali 131	124,2	122,8
2.MP28	-344	72,0	-63	2,4			118,7	117,3 juhlasali 131	124,2	122,8
<b>C2</b>	-688	100,4	<b>-126</b>		2,4		<b>118,7</b>			
C2_C1	-688	4,9	-126	0,2						
2.MP14	-298	105,3	-298	105,3			118,9	35,7 aula 124	124,4	41,2
<b>C1</b>	-986	105,3	<b>-424</b>		105,3		<b>118,9</b>			
C1_C	-986	20,1	-424	3,7						

D <sub>10</sub>	q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ristustus</sub>	ΔP <sub>ms</sub>	tila	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
2.MP26	-344	70,1	-63	2,4			119,1	117,7 juhlasali 131	124,6	123,3
2.MP24	-344	70,1	-63	2,4			119,1	117,7 juhlasali 131	124,6	123,3
<b>D3</b>	-688	98,5	<b>-126</b>		2,4		<b>119,1</b>			
D3_D2	-688	5,7	-126	0,2						
2.MP10	-298	104,2	-298	104,2			119,3	37,2 aula 124	124,8	42,7
<b>D2</b>	-986	104,2	<b>-424</b>		104,2		<b>119,3</b>			
D2_D1	-986	2,8	-424	0,5						
2.MP11	-118	85,4	-25	3,8			119,8	117,0 lk 105	125,3	122,5
<b>D1</b>	-1104	107,0	<b>-449</b>		104,7		<b>119,8</b>			
D1_D	-1104	20,7	-449	3,4						

PFmax		Pftot	
q l/s	Δp Pa	q l/s	Δp Pa
-3395	129,1	-1659,0	123,6
<b>Vakiopaine</b>			
123,1			

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad H_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

ims-taulukko, jossa alkupainehäviö					
IMS <sub>10</sub>	Ø.....	q <sub>1</sub> (l/s)	k-kerroin	p (Pa)	tila
2.MP17	Ø200	-25,0	24,8	1,0	lk 101
2.MP16	Ø250	-40,0	40,0	1,0	lk 102
2.MP21	Ø250	-40,0	40,0	1,0	lk 103
2.MP6	Ø200	-25,0	24,8	1,0	lk 104
2.MP11	Ø200	-25,0	24,8	1,0	lk 105
2.MP1	Ø160	-16,0	15,5	1,1	th 111
2.MP32	Ø160	-16,0	15,5	1,1	th 112
2.MP33	Ø160	-16,0	15,5	1,1	th 113
2.MP19	Ø315	-224,0	63,4	12,5	k 121
2.MP4	Ø250	-196,0	40,0	24,0	k 122
2.MP9	Ø250	-188,0	40,0	22,1	k 124
2.MP14	Ø315	-298,0	63,4	22,1	a 125
2.MP10	Ø315	-298,0	63,4	22,1	a 125
2.MP30	Ø315	-63,0	63,4	1,0	j 131
2.MP28	Ø315	-63,0	63,4	1,0	j 131
2.MP26	Ø315	-63,0	63,4	1,0	j 131
2.MP24	Ø315	-63,0	63,4	1,0	j 131



q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ristustus</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
AB	-1305	121	<b>-786</b>		121,0	<b>121,0</b>
AB_C	-1305	4,4	-786	1,6		

q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ristustus</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
C	-2291	125,4	<b>-1210</b>		122,6	<b>122,6</b>
C_D	-2291	2,3	-1210	0,6		

q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ristustus</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
D	-3395	127,7	<b>-1659</b>		123,2	<b>123,2</b>
D_PF	-3395	1,4	-1659,0	0,3		

q1 (l/s)	Δp1 (Pa)	q2 (l/s)	Δp2 (Pa)	ΔP <sub>varuste</sub>	ΔP <sub>ristustus</sub>	ΔP <sub>ms,tila</sub>
PF	-3395	129,1	<b>-1659</b>		123,6	<b>123,6</b>

Poistoilmakanaviston mitoitusarvot.

Mitoitustilanne ( $q_{max}$ ), kaikissa tiloissa maksimi ilmavirta										Päivätilanne = kaikissa tiloissa minimi-ilmavirta, paitsi käytävät (joihin ajetaan maksimi ilmavirta)									
Tila	IMS_ID	$\varnothing_{k...$	q (l/s)	$\Delta p$ (Pa)	$L_{w,tot}$	peltili (%)	$\Delta p$ (Pa)	$L_{w,tot}$	peltili (%)	Tila	IMS_ID	$\varnothing_{k...$	q (l/s)	$\Delta p$ (Pa)	$L_{w,tot}$	peltili (%)	$\Delta p$ (Pa)	$L_{w,tot}$	peltili (%)
lk 101	1.MP9	Ø200	93	14,1	48	85	14,1	48	85	lk 101	1.MP9	Ø200	25	100,2	51	30	113,1	51	29
lk 102	1.MP2	Ø250	174	18,9	54	85	18,9	54	85	lk 102	1.MP2	Ø250	40	101,7	49	29	114,6	48	29
lk 103	1.MP5	Ø250	204	26	54	80	26	54	80	lk 103	1.MP5	Ø250	40	99,8	49	29	112,7	48	29
lk 104	1.MP11	Ø200	123	24,6	54	85	24,6	54	85	lk 104	1.MP11	Ø200	25	102,8	51	30	115,7	51	29
lk 105	1.MP15	Ø200	118	22,6	53	85	22,6	53	85	lk 105	1.MP15	Ø200	25	108,3	52	29	121,2	51	29
th 111	1.MP7	Ø160	39	6,3	45	85	6,3	45	85	th 111	1.MP7	Ø160	16	91,7	49	32	104,6	50	30
th 112	1.MP32	Ø160	32	4,3	45	85	4,3	45	85	th 112	1.MP32	Ø160	16	84,3	49	32	97,2	50	30
th 113	1.MP34	Ø160	32	4,3	45	85	4,3	45	85	th 113	1.MP34	Ø160	16	84,3	49	32	97,2	50	30
k 121	1.MP17	Ø315	224	12,5	43	80	12,5	43	80	k 121	1.MP17	Ø315	224	17,1	46	78	30	50	70
k 122	1.MP3	Ø250	196	24	53	80	24	53	80	k 122	1.MP3	Ø250	196	33	55	78	45,9	55	78
k 123	1.MP14	Ø250	188	22,1	52	85	22,1	52	85	k 123	1.MP14	Ø250	188	22,1	53	83	35	55	78
a 124	1.MP19	Ø315	298	22,1	50	80	22,1	50	80	a 124	1.MP19	Ø315	298	22,3	50	80	35,2	54	77
a 124	1.MP21	Ø315	298	22,1	50	80	22,1	50	80	a 124	1.MP21	Ø315	298	26,2	50	79	39	55	75
j 131	1.MP24	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	1.MP24	Ø315	63	109,3	51	30	122,1	52	30
j 131	1.MP26	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	1.MP26	Ø315	63	109,3	51	30	122,1	52	30
j 131	1.MP28	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	1.MP28	Ø315	63	108,3	51	30	121,1	52	30
j 131	1.MP30	Ø315	344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	1.MP30	Ø315	63	108,3	51	30	121,1	52	30

Muuttuvapaine										Vakiopaine									
Tulo	Poisto	Tulo	Poisto	Tulo	Poisto	Tulo	Poisto	Tulo	Poisto	Tulo	Poisto								
q (l/s)	$\Delta p$ (Pa)	q (l/s)	$\Delta p$ (Pa)	q (l/s)	$\Delta p$ (Pa)	q (l/s)	$\Delta p$ (Pa)	q (l/s)	$\Delta p$ (Pa)	q (l/s)	$\Delta p$ (Pa)								
1659	114,8	-1659	123,6	1659	127,7	-1659	129,1	3395	127,7	-3395	129,1								
(mitoitus tilanne, $q_{max}$ )																			

Tila	IMS_ID	$\varnothing_{k...$	q (l/s)	$\Delta p$ (Pa)	$L_{w,tot}$	peltili (%)	$\Delta p$ (Pa)	$L_{w,tot}$	peltili (%)	Tila	IMS_ID	$\varnothing_{k...$	q (l/s)	$\Delta p$ (Pa)	$L_{w,tot}$	peltili (%)	$\Delta p$ (Pa)	$L_{w,tot}$	peltili (%)
lk 101	2.MP17	Ø200	-93	14,1	48	85	14,1	48	85	lk 101	2.MP17	Ø200	-25	111,7	52	29	117,3	52	28
lk 102	2.MP16	Ø250	-174	18,9	54	85	18,9	54	85	lk 102	2.MP16	Ø250	-40	113,5	48	29	119	50	28
lk 103	2.MP21	Ø250	-204	26	54	80	26	54	80	lk 103	2.MP21	Ø250	-40	109,8	49	29	115,4	51	29
lk 104	2.MP6	Ø200	-113	24,6	54	85	24,6	54	85	lk 104	2.MP6	Ø200	-25	89,4	50	32	112,3	51	29
lk 105	2.MP11	Ø200	-118	22,6	53	85	22,6	53	85	lk 105	2.MP11	Ø200	-25	117	52	28	122,5	52	28
th 111	2.MP1	Ø160	-39	6,3	45	85	6,3	45	85	th 111	2.MP1	Ø160	-16	98,4	50	30	103,9	50	30
th 112	2.MP32	Ø160	-32	4,3	45	85	4,3	45	85	th 112	2.MP32	Ø160	-16	70,7	48	35	93,6	50	30
th 113	2.MP33	Ø160	-32	4,3	45	85	4,3	45	85	th 113	2.MP33	Ø160	-16	70,3	48	35	93,6	50	30
k 121	2.MP19	Ø315	-224	12,5	43	80	12,5	43	80	k 121	2.MP19	Ø315	-224	19	45	76	24,6	49	75
k 122	2.MP4	Ø250	-196	24	53	80	24	53	80	k 122	2.MP4	Ø250	-196	41,4	55	78	46,9	55	78
k 123	2.MP9	Ø250	-188	22,1	52	85	22,1	52	85	k 123	2.MP9	Ø250	-188	23	53	83	45,9	55	78
a 124	2.MP14	Ø315	-298	22,1	50	80	22,1	50	80	a 124	2.MP14	Ø315	-298	35,7	54	77	41,2	55	75
a 124	2.MP10	Ø315	-298	22,1	50	80	22,1	50	80	a 124	2.MP10	Ø315	-298	37,2	54	77	42,7	55	75
j 131	2.MP28	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	2.MP28	Ø315	-63	117,3	52	30	122,8	52	30
j 131	2.MP30	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	2.MP30	Ø315	-63	117,3	52	30	122,8	52	30
j 131	2.MP24	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	2.MP24	Ø315	-63	117,7	52	30	123,3	52	30
j 131	2.MP26	Ø315	-344	29,4	54	80	29,4	54	80	j 131	2.MP26	Ø315	-63	117,7	52	30	123,3	52	30

Yhteenveto tilojen ilmamääräsäätimien arvoista.