

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Talotekniikan koulutus

Katariina Tanskanen

ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN OPTIMOINTI

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2021



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2021
Talotekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Katariina Tanskanen

Nimeke
Ilmanvaihtojärjestelmän optimointi

Toimeksiantaja
Granlund Kuopio Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla eri mitoitusavoilla saatuja kanavakokoja, tilanvarauksia, paineenkorotustarvetta ilmanvaihtokoneella ja sen vaikutusta ilmanvaihtokoneen mitoittamiseen. Mitoitustapoina käytettiin staattista, toisin sanottuna takaisinsaanti-, dynaamista- ja kokemusperäistä (käsini)mitoitusmenetelmää. Mitoitustavan valinta vaikuttaa toteutuneeseen ilmanvaihtokanavistoon merkittävästi asennus- ja ääniteknisesti. Näiden edellä mainittujen lisäksi ilmanvaihtokanaviston mitoitus vaikuttaa myös hankintakustannuksiin ja järjestelmän elinkaarikustannuksiin.

Ilmanvaihtokanavistojen mitoitus tehtiin MagiCad-mitoitusohjelmalla. Mitoituskohteena oli Itä-Suomessa sijaitsevan koulu- ja päiväkotirakennuksen ilmanvaihtokanavistot. Mitoitettava alue oli kooltaan noin 1000 m².

Opinnäytetyön tuloksista havaittiin, että ilmanvaihto tulee mitoittaa muuttuville henkilö- ja erilaisten toiminnallisten tilatarpeisiin. Käsini tehdyn mitoituksen etuna voidaan pitää suuremman kanavakoon mahdollistamista, edullisempien komponenttien käyttöä ja parempaa äänitekniikkaa. Lisäksi suuremmat kanavakoot ja väljät kanavistot mahdollistavat paremmat lähtökohdat muutostöille, mikäli huonetilojen käyttötarkoitus muuttuu.

Kieli
suomi

Sivuja 52
Liitteet 4
Liitesivumäärä 10

Asiasanat

Ilmanvaihto, ilmanvaihtokanaviston mitoitus, tilantarve, paineenkorotus



THESIS
April 2021
Degree Programme in Building Services Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Katariina Tanskanen

Title
Optimization of Ventilation

Commissioned by
Granlund Kuopio Oy

Abstract

The aim of the thesis was to compare the duct sizes obtained using different sizing methods, the need for space requirements, the need for pressure increase with a ventilation machine and its effect on the sizing of the ventilation machine. The static, dynamic and experiential (manual) dimensioning methods were used as sizing methods. In addition to these, the dimensioning of the ventilation ducts also affects the acquisition costs and the life cycle costs of the system.

The dimensioning of the ventilation ducts was made using the MagiCad dimensioning program. The dimensioning object was the ventilation ducts of a school-kindergarten building located in Eastern Finland. The dimensioned area was about 1000 m².

The most important finding was that ventilation must be dimensioned for the changing number of people and different functional space requirements. The possibility of larger channel size, the use of cheaper components and better sound technology can be considered as advantages of manual dimensioning. In addition, larger duct sizes and loose ductwork allow for a better starting point for adjustment work if the purpose of use for the rooms changes.

Language

Finnish

Pages 52

Appendices 4

Pages of Appendices 10

Keywords

Ventilation, dimensioning of ventilation ducts, space requirements, pressure increase

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Toteutumisen varmistaminen	6
3	Ilmanvaihto	7
3.1	Vakio-ilmavirtajärjestelmät	9
3.2	Tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä	9
4	Ilmanvaihdon suunnittelu	10
4.1	Alhainen painetaso kanavistossa	10
4.2	Tasapainoinen kanavisto ja tasapainotusperiaatteet	11
4.3	Äänen huomioiminen ilmanvaihtokanavistoa suunniteltaessa	11
5	Ilmanvaihtokanaviston mitoitus yleisesti	12
5.1	Tiiviysluokat ilmanvaihdossa	14
5.2	Ilmanvaihdon lujuusvaatimukset	15
6	Mitoitusperiaatteet ilmavirroille	16
6.1	Ilmavirtojen mitoitus ohjearvojen avulla	16
6.2	Käyttöajan ulkopuolisen ilmavirran mitoitus	19
6.3	Ulkoilmavirran mitoittaminen kuormituksen avulla	20
6.3.1	Ulkoilmavirran suunnitteluarvon laskenta hiilidioksidikuormituksen avulla	21
6.4	Staattisen mitoitustavan periaate	22
6.5	Dynaamisen mitoitustavan periaate	24
6.6	Kokemusperäisen eli käsin mitoituksen periaate	25
7	Tilanvaraustarpeet	25
7.1	Ilmanvaihtokonehuone	26
7.2	Ilmanvaihtokone	27
7.3	Ilmanvaihtokanavisto	27
8	Ominais sähköteho eli SFP ilmanvaihtojärjestelmässä	28
9	Ilmanvaihdon toteutumisen varmistaminen mittauksilla	30
10	Esimerkkikohde	31
10.1	Taustaa koulu-päiväkotirakennusten ilmanvaihdonmitoituksesta	31
10.2	Mitoitus	32
10.2.1	Dynaaminen mitoitus	32
10.2.2	Staattinen mitoitus	33
10.3	Tasapainotus	33
10.4	Kanavan vaikeimman päätelaitteen selvittäminen	35
11	Toteutuneiden kanavakokojen vertailu	36
11.1	Vertailukohteena kanavahaara eri mitoitustavoilla	36
11.2	Vertailukohteena yhden kerroksen kanavakoot	37
11.3	Vertailukohteena huonetila 205	41
12	Tilanvaraustarpeiden vertailu	43
13	Paineenkorotustarve ilmanvaihtokoneella	46
13.1	Vaikutus ilmanvaihtokoneen mitoitukseen	47
14	Yhteenveto	48
14.1	Tulosten luotettavuus	49
14.2	Pohdinta	49
	Lähteet	51

Liitteet

- | | |
|---------|--|
| Liite 1 | Tarkasteltavan rakennussiiven huonetilat |
| Liite 2 | Tarkasteltava tuloilmakanavahaara dynaamisella mitoituksella |
| Liite 3 | Tarkasteltava tuloilmakanavahaara staattisella mitoituksella |
| Liite 4 | Tarkasteltava tuloilmakanavahaara käsin mitoituksella |

1 Johdanto

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Granlund Kuopio Oy. Opinnäytetyön aiheena oli ilmanvaihdon mitoitusapojen vertailu. Työssä vertaillaan kolmella eri mitoitus-tavalla saatuja kanavakokoja, tilavaraustarpeita, paineenkorotustarvetta ilman-vaihtokoneella ja sen vaikutusta ilmanvaihtokoneen mitoitukseen. Mitoitusta-poina käytetään staattista, dynaamista ja kokemusperäistä mitoitusta. Ilmanvaihtokanaviston mitoitukseen käytettiin AutoCAD MagiCad-ohjelmaa. Mi-toitettava kohde oli noin 1000 m², ja kyseessä oli yksi siipi koulu-päiväkotiraken-nuksesta Itä-Suomessa.

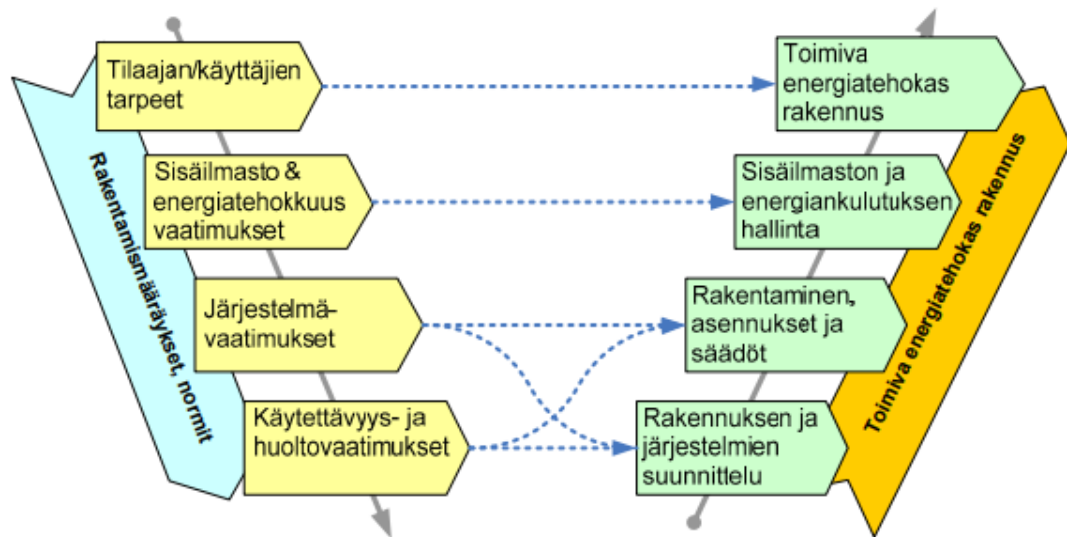
Granlund Kuopio kuuluu koko ajan kasvavaan Granlund konserniin, ja yrityksen palvelutarjontaan kuuluu konsultointi, suunnittelu- ja ohjelmistopalvelut, sekä ra-kennuttaminen ja valvonta.

2 Toteutumisen varmistaminen

Toimivuuden varmistaminen kehittyi, kun tajuttiin, etteivät rakennuksen valmistu-misen jälkeiset tarkastus- ja korjaustoimenpiteet riitä tuottamaan laadukasta, toi-mivaa ja virheetöntä rakennuslopputulosta. Tämän vuoksi kaikkia prosesseja jotka koskevat esimerkiksi rakennuksen tavoitteiden asettelua, suunnittelua, val-mistumista tai käyttökokeita, alettiin varmistamaan, jotta rakentamisen lopputu-lokset olisivat laadukkaampia. [26, 16.]

ToVa-prosessi, eli toimivuuden varmistaminen on oleellinen osa rakennusprojek-tia nykyaikana. Prosessi käynnistyy jo rakennushankkeen tavoitteita määriteltä-essä eli aivan alussa. Tällöin tarkistetaan esimerkiksi energiatehokkuuden sekä sisäilmastovaatimuksien toteutuminen rakennussuunnitelmissa ja pidetään huolta käyttäjien ja tilaajan tarpeiden täyttymisestä. [26, 16.]

Kuvassa 1 käydään läpi toimivuuden varmistamisen periaatteet. Rakennuspro-sessissa siis asetetaan tavoitteet, joiden tulee täyttyä. Tavoitteisiin tulee tarken-nuksia hankkeen aikana. Kaikki hankkeen päävaiheet määritellään ja dokumen-toidaan. [26, 25.]



Kuva1. Toimivuuden varmistuksen periaatteita [26, 25].

3 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon on tarkoitus poistaa rakennuksen sisäilmassa olevat epäpuhtaudet ja tuoda rakennukseen puhdasta ilmaa. Kaikkia epäpuhtauksien lähteitä ei ole kuitenkaan mahdollista poistaa rakennuksesta. Sitä varten tarvitaan tarpeeksi hyvää ilmanvaihtoa. Hyvällä ilmanvaihdolla tarkoitetaan sitä, että hiilidioksidin, vesihöyryn ja VOC-yhdisteiden pitoisuustasot pidetään niin ihmisille kuin rakennuksellekin terveellisellä tasolla [23.]

Ilmanpaine-erot ovat perusta ilmanvaihdon toiminnalle, koska ilma virtaa suuremmasta paineesta pienempään paineeseen. Paine-ero rakennukseen saadaan toteutettua esimerkiksi lämpötilaeron ja tuulen yhteisvaikutuksella, jolloin puhutaan painovoimaisesti ilmanvaihdosta. Paine-erojen vuoksi likainen sisäilma virtaa rakennuksesta ulos ja puhdas ulkoilma sisään rakennukseen korvausilmaventtiilien kautta. Painovoimaisen ilmanvaihdon lisäksi paine-ero voidaan saada aikaan myös puhaltimella, jolloin kyseessä on koneellinen ilmanvaihto. Koneellinen ilmanvaihto jakautuu kahteen vaihtoehtoon. Rakennuksesta voidaan poistaa ilmaa puhaltimen avulla ja / tai tämän lisäksi on mahdollista tuoda rakennukseen puhdasta ilmaa toisella puhaltimella. Tällöin puhutaan poistoilmanvaihdosta tai tulo- ja poistoilmanvaihdosta. [23.]

Lämpötilavaihteluiden ja tuulisuuden lisäksi paine-eroihin vaikuttaa myös ilmanvaihdon säätö ja rakennuksen korkeusasemat. Esimerkiksi kerrostaloissa eri kerroksien ilmanpaine-eroissa voi olla eroavaisuuksia ja vuodenaika vaikuttaa osaltaan asiaan. Eri vuoden aikoina saatetaan joutua tekemään säätöjä, jotta ilmanpaine-eroja saataisiin tasattua. [33, 4.]

Nykyaikana rakennuksissa suoritetaan ilmanvaihtojärjestelmistä aiheutuvia paine-eromittauksia, joita voidaan käyttää apuna esimerkiksi ilmanvaihtojärjestelmien uudelleensäädössä apuna. Paine-eroja voidaan mitata hetkellisesti, seurantamittauksena, tai jatkuvatoimisena mittauksena. Hetkellisen mittauksen tarkoituksena on selvittää ulkoilman ja huonetilan välinen paine-ero tai paine-ero kahden eri tilan välillä. Seurantamittaus tehdään pidemmältä aikaväliltä ja sillä saadaan selville esimerkiksi ilmanvaihtokoneiden käyntiajat ja keskimäärinen paine-ero mittausjaksolta. Jatkuvatoimista mittauksista käytetään paine-eron pysyvyyden tarkasteluun ja mittaustietoa hyödynnetään ilmavirtojen säädössä. [33, 23-33.]

Käsitteiden ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien välillä on pieni ero ja ammattilaiset käyttävät termejä vaihtelevasti. Eroavaisuus tulee kuitenkin esille mitoittaessa ilmavirtaa ja käsiteltäessä tuloilmaa. Hallittaessa sisäilman laatua, eli puhautta, puhutaan ilmanvaihtojärjestelmästä, jonka säätäminen onnistuu tarvittaessa tarpeenmukaisesti. Mikäli halutaan hallita sisäilmanlaadun lisäksi myös muita sisäilmaan vaikuttavia tekijöitä esimerkiksi lämpöoloja, puhutaan ilmastointijärjestelmästä. Tällöin palveltavien tilojen tuloilmavirta mitoitetetaan jäähdytyskuorman perusteella, tai tilojen jäähdytys suunnitellaan toteutettavaksi huonekohtaisilla jäähdytykseen soveltuvilla päätelaitteilla. Ilmastointijärjestelmässä jäähdytettyä tuloilmaa kierrätetään huonetilassa ja sen määrä vaihtelee yksittäisten järjestelmien välillä. [1, 113.]

Rakennukseen sopivaa ilmanvaihto- tai ilmastointijärjestelmää valittaessa on huomioitava monia asioita. Näitä ovat esimerkiksi rakennuksen huoneiden käyttötavat, sisäolosuhteet, niin kesällä kuin talvella sisäilmaluokituksen mukaan. Edellä mainittujen lisäksi on huomioitava tilantarve huoneisiin sijoitettaville ilmastointilaitteille. Myös käyttöön ja huoltoon liittyvät kustannukset vaikuttavat valintaan. Sopivan järjestelmän löytämiseksi tulee asiakkaan tarpeet, mieltymykset ja

rakentamiseen liittyvät tavoitteet sovittavaa yhteen. Erikäyttötarkoituksiin tarkoitettut tilat suunnitellaan varustettaviksi erilaisilla ilmastointijärjestelmillä. Erilaisia huonetilojen käyttötarkoituksia ovat muun muassa ruokalat, luokkahuoneet ja toimistohuoneet. [1, 149-150.]

3.1 Vakio-ilmavirtajärjestelmät

Tulo- ja poistoilmajärjestelmän toteutus on mahdollista tehdä muihinkin kuin asuinrakennuksiin. Muita toteutuskohteita voivat olla esimerkiksi koulut, päiväkodit, palvelutalot ja myymälät. Ilmastointijärjestelmän suunnittelu on yleistä tällaisissa rakennuksissa, mutta rakennus voidaan toteuttaa myös pelkällä ilmanvaihtojärjestelmällä. Useimmiten tuloilmakoneet varustetaan koneosalla, johon voidaan kytkeä jäähdytyspatteri myöhemmin, mikäli rakennuksessa havaitaan jäähdytystarvetta. Jäähdytystarpeen laskenta voidaan suorittaa esimerkiksi dynaamisella IDA-ICE-laskentaohjelmalla. [1, 125-126.]

IDA-ICE-ohjelman avulla on mahdollista mallintaa rakennus ja siellä sijaitsevat järjestelmät. Sillä voidaan suorittaa rakennuksen tehontarve- ja energiasimuloinnit, ja se on hyödynnettävissä myös sisäolosuhteiden laskennassa ja energiatoistusten luomisessa. [32.]

3.2 Tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä

Tarpeenmukaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä säätö tehdään tilakohtaisesti, tai vyöhykekohtaisesti. Koulut ja päiväkodit ovat hyvä esimerkki rakennuksista, joissa ilmavirtaa ohjataan tällä menetelmällä. Koulussa luokkahuoneet voidaan säätää tilakohtaisesti, tai luokkahuoneet voidaan jakaa vyöhykkeisiin esimerkiksi suunnittelemalla samassa rakennussiivessä sijaitseviin luokkahuoneisiin vyöhykekohtaisen säädön. Tällaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä ilmavirran ohjaus tapahtuu läsnäolon, lämpötilan tai hiilidioksidipitoisuuden perusteella. [1, 126.]

4 Ilmanvaihdon suunnittelu

Hyvällä ilmanvaihtosuunnittelulla pyritään mahdollisimman hyvään sisäilmanlaatuun, energiatehokkuuteen, hiljaiseen ja ennen kaikkea toimivaan ilmanvaihtojärjestelmään. Lisäksi ilmanvaihtojärjestelmän tulee vastata rakennuksen käyttötarkoitusta mahdollisimman hyvin. Suunnittelussa otetaan huomioon rakennuksen käyttötarkoitus, jäähdytys- ja lämmitystarpeet ja mahdolliset erityisosaamista vaativat tilat, esimerkiksi puhdastilat. Lisäksi ilmanvaihdon toiminnan varmistus huomioidaan niin kesä- kuin talviolosuhteissa sisäilmastoluokituksen mukaan. [31.]

Ääniteknisesti paras lopputulos saadaan, kun suunnitellaan tasapainoinen ilmanvaihtokanavisto, jossa on alhainen painetaso. Tällöin huomiota tulee kiinnittää esimerkiksi siihen, että päätelaitteet toimivat samalla painealueella erityisesti kanavien lopussa viimeisillä eli vaikeimmilla päätelaitteilla. [8, 4.]

Ilmanvaihtokanavisto suunnitellaan niin, että se voidaan tasapainottaa ilman suuria ongelmia ja sen tulee olla helppo käyttää. Tärkeää on myös huomioida suunnittelussa kanaviston huollettavuus. Huollon tulisi olla mahdollisimman helppoa ja ennen kaikkea turvallista. [5, 116-118.]

4.1 Alhainen painetaso kanavistossa

Kanavisto kannattaa suunnitella niin, että sen painehäviöt pysyvät mahdollisimman alhaisina. Tällaiseen lopputulokseen päästään selkeällä ja suoraviivaisella kanavistolla, jossa on minimoitu muun muassa tarpeettomat mutkat ja koonmuutokset. Edellä mainittujen seikkojen lisäksi alhaiseen painetasoon päästään suunnittelemalla ”väljä” kanavisto. Väljässä kanavistossa, tai -mitoituksessa tavoitteena on pitää ilmannopeus mahdollisimman alhaisena, mikä vaikuttaa siihen, että kitkavastus pysyy pienenä. Painetaso ei saa olla liian alhainen, jotta kanaviston toiminnan kannalta tarvittavat säädöt saadaan tehtyä. Isoja rakennuksia suunniteltaessa ilmanvaihto kannattaakin toteuttaa usealla pienemmällä ilmanvaihtokoneella, kuin yhdellä suurella. Tällöin kanavakoot pysyvät järkevinä, kanavistot eivät ole turhan pitkiä ja ratkaisu on ääniteknisesti toimiva. [8, 4.]

4.2 Tasapainoinen kanavisto ja tasapainotusperiaatteet

Tasapainoisessa kanavistossa paine-ero runkokanavien ja siitä haarautuvien kanavien liitoskohdassa on niin pieni kuin mahdollista. Suunnittelijan kannattaa suunnitella painehäviöiltään symmetrinen kanavisto varmistaakseen ilmavirtojen suunnitellun mukaisen toiminnan kaikissa tilanteissa. Symmetrisessä kanavistossa ei esiinny niin paljon ääniongelmia, ja painehäviöt on helpompi tasoittaa säädöillä. [8,4.]

Kanavatasapainotuksessa painehäviöt määritetään poistoilmapuolella jokaiselta päätelaitteelta puhaltimelle mennessä, niin että syntyy sama painehäviö. Tuloilmapuoli toimii samalla tapaa, mutta silloin saman painehäviön on synnyttävä puhaltimelta päätelaitteelle. Nämä eivät päde silloin, kun tila on tarkoituksella yli- tai alipaineistettu, ja se otetaan huomioon laskelmissa. Vaihtoehtoisesti ilmavirtoja voidaan säätää eri tavoilla. Päätelaitteilla tai kanavahaaroissa voi olla erillisiä säätöpeltejä, tai päätelaitteiden asentoa voidaan säätää vakioilmavirtajärjestelmissä. Muuttuvailmavirtajärjestelmissä säätö voidaan toteuttaa paine- tai ilmavirtasäätimillä, ja siinä kiinnitetään erityistä huomiota päätelaitteiden heittokuvioille. [18, 101.]

4.3 Äänen huomioiminen ilmanvaihtokanavistoa suunniteltaessa

Kanavamitoitusta tehdessä kannattaa käyttää alhaista ilmannopeutta. Yhden päätelaitteen kytkentäkanavan ilmannopeus ei saa ylittää 2 m/s. Näin saadaan aikaan alhaisen painehäviön kanavisto, jossa ei yleensä aiheudu ääniongelmia. Mikäli kohde on ääniteknisesti haastava, suositeltua olisi käyttää kanavissa tiiviysluokkaa C. Mahdollisimman loivina tehdyt kanavien suunnan ja koon muutokset ovat hyödyksi myöhemmin esimerkiksi nuohousta tehtäessä. Runkokanavaa ei kannata ääniteknikan vuoksi tehdä putkikokoa pienentäen, vaan pyrkiä pitämään putkikoko yhdessä kanavakoossa.

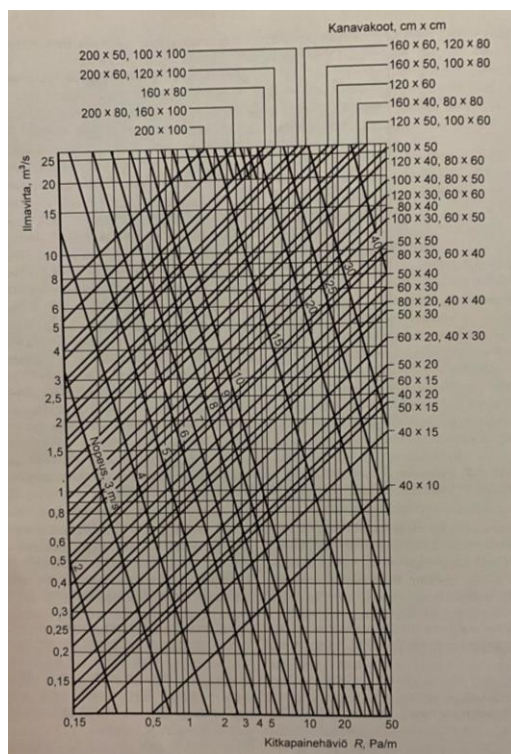
Kannakoinnilla estetään kanaviston välityksellä siirtyvät äänet. Sen lisäksi muita äänen siirtymistä estäviä tai vähentäviä ratkaisuja ovat kanavaääntä vaimentavalla materiaalilla eristäminen ja äänenvaimentimet. [27, 163.]

5 Ilmanvaihtokanaviston mitoitus yleisesti

Ilmavirtojen ja ilmakanaviston mitoitukseen perustan luovat jo ilmanvaihdon suunnittelu luvussa läpikäydyt asiat, kuten käyttötarkoitus. Mitoitukseen vaikuttavat myös yhteydessä ääni- ja perustekniseen säätöön, sähkötekniisiin suoritusarvoihin ja lisäkustannuksiin, joita syntyy huonetilojen käyttötarpeiden muutoksesta. Tällöin muutoksia joudutaan tekemään rakenteisiin ja ilmanvaihtokanavistoon. Mitoituksen pääasiallinen tehtävä on luoda päätelaitteille ja virtaussäätimille tarpeeksi hyvät toimintaedellytykset. Usein ongelmakohtana on kanavalinjan viimeisen päätelaitteen toimintaedellytyksien täyttäminen. Esimerkiksi muuttuvailmavirtajärjestelmässä ilmavirrat pienenevät aikaohjauksella, tai muusta syystä, jolloin päätelaitteen toimintaedellytys ei välttämättä täyty. Mitoitusilmavirran enimmäisnopeuden tai vakiopainehäviön perusteella voidaan mitoittaa kanavisto. Tällöin pääkanavissa pidetään ilmavirran nopeus maksimissaan 5...6m/s ja haarakanavissa 2...3m/s. Pyöreiden kanavien painehäviöitä on mahdollista arvioida taulukon 1 perusteella, jossa suositukset on merkitty taulukon tummemmilla viivoilla. Suorakaidekanavien painehäviöitä voidaan arvioida taulukon 2 perusteella. Virtausnopeuksiin ja painehäviöihin perustava mitoitus on vain yksi monista tavoista mitoittaa ilmanvaihtokanavisto. [5, 116-118.]

Kanava	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	V = dm³/s R = Pa/m
Ø 80	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
	0,8	1,7	2,5	4,0	6,0	7,0	9,0	13,0	18,0	
Ø 100	16	24	32	40	48	56	64	72	80	
	0,6	1,4	2,0	3,0	4,2	5,8	7,0	8,5	10,0	
Ø 125	24	36	48	60	72	84	96	108	120	
	0,5	1,1	1,7	2,7	3,5	4,7	6,0	7,0	8,0	
Ø 160	40	60	80	100	120	140	160	180	200	
	0,4	0,8	1,3	2,0	2,8	3,6	4,5	5,5	6,5	
Ø 200	62	93	124	155	186	217	248	280	310	
	0,3	0,6	1,0	1,5	2,2	2,8	3,5	4,0	5,0	
Ø 250	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
	0,3	0,7	1,1	1,6	2,2	2,8	3,8	4,2	5,0	
Ø 315	155	235	310	390	470	545	624	702	780	
	0,2	0,6	0,9	1,4	1,8	2,2	3,0	3,5	4,0	
Ø 400	250	380	505	630	755	880	1010	1135	1260	
	0,2	0,4	0,7	1,1	1,5	2,0	2,5	3,0	3,2	
Ø 500	390	590	785	980	1175	1370	1570	1765	1960	
	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	
Ø 630		935	1250	1560	1870	2180	2495	2800	3120	
		0,3	0,4	0,7	1,0	1,2	1,6	2,0	2,2	
Ø 800		1500	2000	2510	3010	3515	4015	4520	5020	
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,4	1,5	1,8	
Ø 1000			3140	3925	4710	5495	6280	7065	7850	
			0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,4	1,5	
Ø 1250				4910	6135	7360	8590	9815	11040	12270
				0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2
Venttiilien kytkentä- kanavat		Haara- kanavat			Runko- kanavat kerroksissa					

Taulukko 1. Mitoitustaulukko pyöreille kanaville hyödyntäen ilmamäärää ja painehäviötä [29, 58].



Taulukko 2. Mitoitustaulukko suorakaidekanaville hyödyntäen ilmavirtaa ja kitkapainehäviötä [5, 118].

5.1 Tiiviysluokat ilmanvaihdossa

Suurimmat sallitut vuotoilmavirrat pinta-alaa $q_{VIA} (dm^3 / s / m^2)$ kohti koepaineella p_s (Pa) eri tiiviysluokissa ilmanvaihtojärjestelmässä, kanavaosissa ja ilmakäytävissä ovat:

Tiiviysluokka Sallittu vuotoilma enintään $q_{VIA} (dm^3 / s / m^2)$

ABCDE

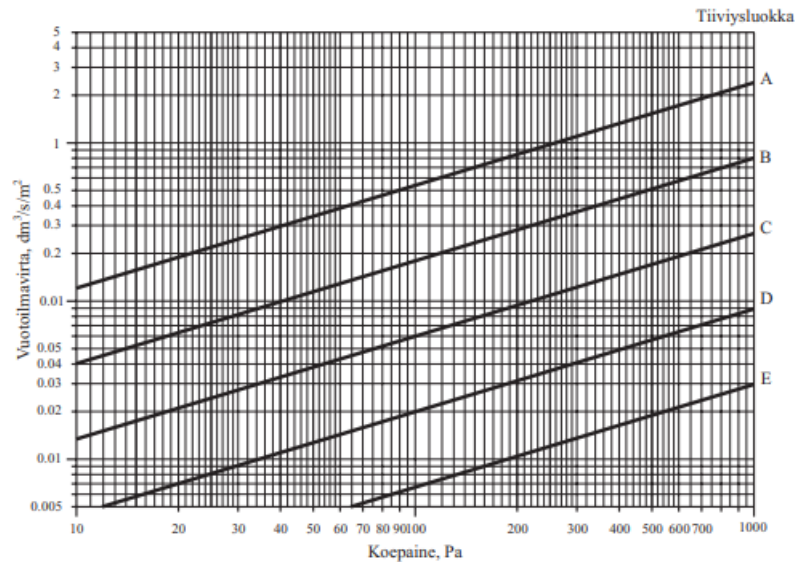
$0,027 \times p_s^{0,65}$ $0,009 \times p_s^{0,65}$ $0,003 \times p_s^{0,65}$ $0,001 \times p_s^{0,65}$ $0,0003 \times p_s^{0,65}$

[17, 19§.]

Koneellisen tai painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän tulee olla luja ja tiiviysluokaltaan vähintään B. Mikäli poistoilmassa on huomattavasti muitakin kuin ihmisestä peräisin olevia epäpuhtauksia (esimerkiksi rakennusmateriaaleista irtoavat hiukkaset) tiiviysluokan tulee olla vähintään C. [17, 20§.]

Konehuoneen ulkopuolella sijaitsevat poistoilmakanavat tulee suunnitella alipaineisiksi koneellisessa poistoilmajärjestelmässä. Kanaviston tiiviysluokan on oltava vähintään C, jotta rakennuksen sisälle suunniteltavat poistoilmaluokan 1 ja 2 poistoilmakanavat voidaan suunnitella ylipaineisiksi. Asuntokohtaisten ulospuhallusilmakanavien ja poistoilmakanavien, jotka kuuluvat poistoilmaluokkaan 3 voidaan suunnitella ylipaineisiksi edellyttäen kanavistolle vähintään D tiiviysluokkaa. Mikäli kanavisto ei voisi rakennuksen sisällä sijaitsevat poistoilmaluokan 4 poistoilmakanavat suunnitella ylipaineisiksi. [17, 20§.]

Taulukossa 3 on esitetty ilmanvaihtojärjestelmää ja sen osia koskevat suurimmat sallitut vuotoilmavirrat vaipan pinta-alaa kohden eri tiiviysluokissa [13,19].



Taulukko 3. Suurimmat sallitut vuotoilmavirrat eri tiiviysluokissa [13,19].

5.2 Ilmanvaihdon lujuusvaatimukset

Ilmakanavien kannakointi tulee suunnitella ja toteuttaa eurokoodin (EC) mukaisesti, jos se voi aiheuttaa henkilövaaraa [35].

Jäykistys tulee suunnitella painovoimaisessa ja koneellisessa ilmanvaihtojärjestelmässä niin, että kanavat kestävät puhdistusta, paineenvaihteluita ja muuta rasitusta. Ilmakanavien tulee ennen kaikkea pysyä tukevasti paikassa, johon ne on asennettu. [17, 20§.]

Koneellisessa ilmanvaihtojärjestelmässä ilmanvaihtokoneiden ja -kammioiden täytyy kestää puhaltimen aiheuttama painekuormitus silloin, kun sulkupellit ovat suljettuina. Ulko- ja ulospuhalluskanavat täytyy varustaa automaattisesti sulkeutuvilla sulkupelleillä, mikäli järjestelmä pysähtyy ja ilmanvaihtojärjestelmän ilmakanavan poikkipinta-ala on suurempi kuin $0,6 \text{ m}^2$ koneellisessa ilmanvaihtojärjestelmässä. Sulkupelleillä tulee olla riittävä momentti sulkeutuakseen ja ilmanvaihtokoneen painesuhteet eivät saa estää peltiä sukeutumasta. [17, 20§.]

6 Mitoitusperiaatteet ilmapirroille

Yleensä rakennusten ilmapirrojat suunnitellaan tasapainoon, eli tulo- ja poistoilmapirrojat mitoitetaan yhtä suuriksi. Poikkeuksia ovat asuinrakennukset ja huoneistot, joissa alipaineisella ilmanvaihdolla pyritään estämään sisäilmassa olevan kosteuden siirtyminen höyrysulun tai höyrysulkuna toimivan rakennekerroksen lävitse rakenteisiin. Tällaisessa tilanteessa koko rakennuksen poistoilmapirta on viidestä kymmeneen prosenttia suurempi kuin kokonaistuloilmapirta. Poistoilmapirtan määrä on riippuvainen rakennuksen kerrosluvusta ja rakennuksen sijainnista. On kuitenkin olemassa joitain kohteita, joissa tiettyjä tiloja voidaan harkitusti toteuttaa ylipaineisiksi. Tällaisia tiloja on esimerkiksi sairaaloissa. [1, 97.]

6.1 Ilmapirtojen mitoitut ohjearvojen avulla

Jäähdytystarve määrittää huonetilaan tulevan ilmapirtan määrän, mikäli ilmaa jäähdytetään. Ilmanpuhtauden mukaan ilmapirtoja mitoitettaessa ei ole kannattavaa laskea kaikkia ulkoilmapirtoja yksittellen huone kerrallaan, vaan käytetään asiantuntijoiden julkaisemia ohjearvoja. Ohjearvot on eritelty huonetilojen käyttötarkoituksen ja epäpuhtauskuormituksen mukaan. Lisäksi rakennuksen ja tilan käyttöajan ulkopuolelle jäävälle ajalle on määritelty omat ulkoilmapirta-arvot. Yleensä ulkoilmapirtoja koskevat ohjearvot on esitetty muodossa ($l/s, hlö$) eli kuinka monta litraa sekunnissa tilaan virtaa ulkoilmaa henkilöä kohden. Ohjearvoissa on myös esitetty ulkoilmapirtan määrä lattiapinta-alan ($l/s, m^2$) mukaan, koska aina ei ole tiedossa ihmismäärä, jolle tila on mitoitettu. [1, 106.]

Suunnitteluvaiheessa rakennuksen jäähdytystehon tarvetta voidaan arvioida esimerkiksi seuraavasti:

Arvioitu koulu-päiväkotirakennuksen koko on $14\,414\,m^2$.

Koneellisesti jäähdytetty tuloilmapirta = $2,5\,dm^3/s, m^2 \times 14\,414\,m^2 = 36\,m^3/s$

Tuloilmakoneiden jäähdytyspatterien yhteenlaskettu jäähdytystehontarve

= $1,2\,kg/m^3 \times 36\,m^3/s \times 18\,kJ/kg\,k.i. = 778\,kW$

Arvioitu huonelaitteiden yhteenlaskettu jäähdytystehontarve

$$30 \text{ W/m}^2 \times 14\,414 \text{ m}^2 = 432 \text{ kW}$$

Rakennuksen jäähdytystehontarve samanaikaisuus huomioituna

$$= 0,9 \times 778 \text{ kW} + 0,7 \times 432 \text{ kW} = 1002 \text{ kW} \quad [28, 41-42.]$$

Ulkoilmavirran tulee lain mukaan olla oleskelutiloissa vähintään $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ henkilöä kohden rakennuksen käyttöaikana, mikäli ei ole tarvetta lisäilmavirralle. Ulkoilmavirran tulee kuitenkin olla vähintään $0,35 (\text{dm}^3/\text{s})/\text{m}^2$ lattia pinta-alaa kohden koko rakennuksessa käyttöaikana. Poikkeuksena tapaukset, joissa rakennuksen tiloilla esiintyy lisäilmavirran tarvetta poikkeavan käyttötarkoituksen vuoksi. Ulkoilmavirraksi tulee mitoittaa asuinhuoneistoissa vähintään 18 dm^3 [17,9§]

SFS-EN 16798-3:2017 standardissa on määritelty ulkoilmavirratt, ja tilojen ilmanvaihto suunnitellaan niiden mukaan. Sisäilmaluokituksessa on kolme eri luokkaa, jotka vastaavat standardin asettamia puhtausluokkia. Esimerkiksi Sisäilmasto luokituksen S2-luokka vastaa standardissa esitettyä luokkaa 2. Alapuolella on ulkoilmavirratt eri puhtaus luokille, jotka täyttävät vähäpäästöisen rakennuksen kriteerit

S1-luokan ohjearvo ulkoilmavirrallle on $0,5 (\text{l/s}, \text{m}^2)$ ja $10 \text{ l/s}, \text{hlö}$

S2-luokan ohjearvo ulkoilmavirrallle on $0,35 (\text{l/s}, \text{m}^2)$ ja $7 \text{ l/s}, \text{hlö}$

S3-luokan ohjearvo ulkoilmavirrallle on $0,35 (\text{l/s}, \text{m}^2)$ ja vähintään $6 \text{ l/s}, \text{hlö}$ [21, 15.]

Sisäilmastoluokituksen antamia kaavoja, ja taulukkojen suunnitteluarvoja voidaan käyttää apuna suunnittelussa alustavia ilmavirtoja mitoitettaessa. Taulukossa 4 on esitetty eri puhtausluokkien mukaisia suunnitteluarvoja eri käyttöön soveltuville tiloille. Ne ovat kuitenkin ohjearvoja, joten todellisuudessa tiloihin voidaan joutua viemään enemmän ulkoilmavirtaa ja ilmavirtojen tulee olla lain mukaiset. [21, 15-16.]

Tila	Lattia-ala m ² /hlö	S1-luokka		S2-luokka		S3-luokka	
		dm ³ /s, hlö	dm ³ /s, m ²	dm ³ /s, hlö	dm ³ /s, m ²	dm ³ /s, hlö	dm ³ /s, m ²
Toimitila, normaali tilatehokkuus	10–12	16	1,5	11	1,0	6	1,0
Toimitila, suuri tilatehokkuus	6–8	14	2,0	9	1,5	6	1,5
Neuvotteluhuone	3	12	4,0	8	3,5	6	3,0
Taukotila, kahvio	1,5	11	5,0	8	4,0	6	2,0
Hotellihuone		10		8		6	
Opetustila tai muu oleskelutila	2	11	5,5	8	4,0	6	3,0
Luentosali		10		8		6	
Päiväkodin ryhmätilat	3	12	4,0	8	3,0	6	3,0
Käytävä ja porrashuone			1,0		0,5		0,5
Käytävä, aula			1,5		1,0		1,0
Ruokala ja kahvila	2	11	5,5	8	4,0	6	3,0
Kuumennus- ja jakelukeittiö ¹⁾			10		10		5–10
Valmistuskeittiö ¹⁾			15–40		15–40		15–25
Astianpesuhuone ¹⁾			12–20		10–15		10
Liiketila, myymälä ¹⁾		10	1–3	8	1–3	6	1–3
Näyttelytila			3		3		2
Kirjasto			3		2		2
Salit (konsertti-, teatteri-, elokuva-, koulun sali)		10		8		6	
Lämpö			5		5		5
Kuntosali			6		6		6
Liikuntahalli, urheilijat			2,5		2		2
Liikuntahalli, katsojat		10		8		6	
Potilashuone ²⁾		15	3,5	12	3	10	2,5
Varasto, arkisto (poisto)			0,5		0,5		0,35

Taulukko 4. Suunnittelu arvoja ulkoilmavirroille eri tiloissa [21, 16].

Tiloihin joihin tulee on poistoilmavirtaa ja tuloilmaa siirtoilmana löytyy ohjearvoja Ympäristöministeriön julkaisemasta Suomen rakentamismääräyskokoelmasta D2. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi WC ja muut hygieniatilat. Poistoilmavirratt voidaan ilmoittaa joko ($l/s, m^2$), tai paikkakohtaisesti. Esimerkiksi WC-tiloissa poistoilmavirta ilmoitetaan yhtä WC-istunta tai urinaalia kohden. Ohjearvoja on monen eri käyttökohteen rakennuksille. Esimerkkinä taulukossa 5 on toimistorakennusten ja oppilaitosten poistoilman ohjearvoja joillekin huonetiloille. [1, 106.]

TAULUKKO 2. TOIMISTORAKENNUKSET #1

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta	Ulkoilma- virta	Poistoilma- virta	Äänitaso $L_{A,eq,T}/$ $L_{A,max}$ dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
	(dm ³ /s)/hlö	(dm ³ /s)/m ²	(dm ³ /s)/m ²			
Toimistohuone ja vastaavat tilat		1,5		33 / 38 *	0,20 / 0,30	*C1 ohje
Neuvotteluhuone	8	4		33 / 38	0,20 / 0,30	#3
Asiakastila		2		38 / 43	0,30 / 0,40	#2
Käytävätila		0,5		38 / 43	0,30	#2
Kahvio, taukotila		5		38 / 43	0,25	
Arkisto, varasto			0,35			
Tupakkahuone:						
– rakennuksen käytön aikana		10	20	38 / 43	0,30	#4
– rakennuksen käytön ulkopuolella			10			#4
Kopiointihuone		1	4			

#1 Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11 Hygieniatilat.

#2 Kiinteiden työpisteiden ilman nopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa.

#3 Jos rakennuksessa on kolme tai useampia neuvotteluhuoneita, on niiden ilmanvaihto oltava ohjattavissa tarpeen mukaan.

#4 Tupakkahuoneen on aina oltava alipaineinen ympäröiviin tiloihin nähden.

TAULUKKO 3. OPPILAITOKSET #1

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta	Ulkoilma- virta	Poistoilma- virta	Äänitaso $L_{A,eq,T}/$ $L_{A,max}$ dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
	(dm ³ /s)/hlö	(dm ³ /s)/m ²	(dm ³ /s)/m ²			
Opetustilat	6	3		33 / 38 *	0,20 / 0,30	#4, *C1 ohje
Käytävät / Aulat		4		38 / 43		#2
Liikuntasali:						#3
– liikuntasalikäyttö		2		38 / 43	0,30	
– juhlasalikäyttö		6		33 / 38	0,25	
Luentosali	8	6		33 / 38	0,20 / 0,30	#4
Ryhmätyötila	8	4		33 / 38	0,20 / 0,30	#4
Ruokala	6	5		33 / 38	0,25	
Varastot			0,35			#S

#1 Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11 Hygieniatilat.

#2 Kiinteiden työpisteiden ilmannopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa.

#3 Sisäilmasto ja ilmanvaihto mitoitetaan vaativimman käytön mukaisesti, oltava ohjattavissa tarpeen mukaan eri käyttötilanteisiin.

#4 Tilan ilmanvaihto on oltava ohjattavissa tarpeen mukaan.

#S Voi käyttää siirtoilmaa

Taulukko 5. Ohjearvoja poistoilmavirroille [24,22].

6.2 Käyttöajan ulkopuolisen ilmapvirran mitoitus

Rakennuksen ilmanvaihdon takaamiseksi rakennuksessa pidetään minimi-ilmanvaihtoa päällä myös käyttöajan ulkopuolisena aikana. Käyttöajan ulkopuolisella ilmanvaihdolla huolehditaan, ettei ulko- ja sisäilman paine-ero pääse muuttumaan liikaa sen vuoksi, että ilmanvaihtoa ei ole, tai se on liian tehokas käyttöön nähden. Huomioitavaa on, ettei sitä saa käyttää muulloin kuin huonetilojen ollessa tyhjinä. [21, 15-16.]

Lain mukaan ulkoilmavirran tulee olla asuinrakennuksessa vähintään $0,35 (dm^3/s)/m^2$ lattia pinta-alaa kohden käyttöajan ulkopuolella ja ilman tulee vaihtua kaikissa rakennuksen tiloissa. [3, 9.]

Tulo- ja poistoilmavirtojen tulee olla tehostettavissa rakennus- tai asuntokohtaisesti vähintään 30 prosenttia suuremmaksi kuin suunnitellut käyttöajan ilmavirrat. Mikäli ilmavirtoja voidaan ohjata asuntokohtaisesti, niitä voidaan käyttöajan ulkopuolella pienentää enintään 60 prosenttia. [17,10§]

6.3 Ulkoilmavirran mitoittaminen kuormituksen avulla

Mitoitettaessa ilmavirtoja kuormituksen avulla tulee suunnittelijalla olla tiedossa erilaiset kuormitukset, tai hänen tulee osata laskea ne. Kuormitukset voidaan laskea kosteus-, lämpö- tai epäpuhtaustietojen perusteella. Tässä tapauksessa kuitenkin tarkastellaan kuormituksen mitoitusta ainoastaan ihmisen hiilidioksidituoton avulla. Tiloihin syntyy ja tulee epäpuhtauksia esimerkiksi ruuanlaitosta, ihmisistä ja laitteista, viereisistä huonetiloista ja ulkoilmavirran mukana. Edellä mainittujen lisäksi myös rakennusmateriaalit, lattia ja huonekalut ovat epäpuhtauksien lähteitä. Rakennusmateriaaleille ja kalusteille onkin olemassa oma M-luokitus, jonka avulla epäpuhtauspitoisuuksia valvotaan. [1, 99.]

Osa ulkoilmavirrassa esiintyvistä epäpuhtauksista on peräisin ilmanvaihtotuotteista. Ilmanvaihtotuotteille on määritelty oma M-puhtausluokitus, jota ei pidä sotkea rakennusmateriaalien puhtausluokitukseen. Näitä luokituksia yhdistää M-kirjain, joten aina tulee huomioida, että puhutaanko rakennusmateriaaleista vai ilmanvaihtotuotteista. Ilmanvaihtotuotteilla on ainoastaan yksi puhtausluokka, eli M1. Luokkaan liittyy yleisiä vaatimuksia: esimerkiksi tuote ei saa huonontaa tuloilmanlaatua hajullaan tai epäpuhtaushiukkasmäärällään ja sen pitää olla helposti puhdistettava. Tuotteille ei tehdä rakennustyömaalla haju- ja emissiomitauksia, vaan hyväksymismerkintöjen todetaan olevan kunnossa kaikissa toimitetuissa tuotteissa. [21,21.]

6.3.1 Ulkoilmavirran suunnitteluarvon laskenta hiilidioksidikuormituksen avulla

Tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa ilmavirtaa voitiin ohjata huonetilan puhtaan ilmantarvetta esimerkiksi hiilidioksidipitoisuuden avulla. Tällaisen tilan ohjaus voidaan mitoittaa ulkoilmavirran suunnitteluarvo hiilidioksidikuormituksen perusteella. Ennen ulkoilmavirran suunnitteluarvoa tulee kuitenkin laskea hiilidioksidikuormitus tilaan. Esimerkiksi kouluissa ja toimistorakennuksissa CO_2 on yleisin tarkasteltava indikaattori.

Hiilidioksidikuormitus tilaan lasketaan kaavalla 1

$$V'_{CO_2} = RQ * \frac{0,00276 * A_{keho} * M}{0,23 * RQ + 0,77} \quad (1)$$

V'_{CO_2} yhden henkilön hiilidioksidituotto tilavuusvirtana (dm^3/s)

RQ hengitysosamäärä

M fyysinen aktiivisuus (met)

A_{keho} kehon keskimääräinen pinta-ala (m^2)

[22, 8.]

Kehon keskimääräisen pinta-alan laskemiseen voidaan käyttää kahta eri kaavaa 2 tai 3

$$A_{keho} = (W^{0,425} * H^{0,725}) / 139,2 \quad \text{DuBois (2)}$$

$$A_{keho} = (W^{0,5} * H^{0,5}) / 60 \quad \text{Monstaller (3)}$$

W henkilön paino (kg)

H henkilön pituus (cm)

[22, 8.]

Tilan ulkoilmavirran suunnitteluarvo lasketaan kaavalla 4

Suunnitteluarvon laskentaan sovelletaan tasapainotilanteen laskenta periaatteita, kaava (4). Tällöin tarkasteluajankohtana tilaan tulevat ja sieltä lähtevät hiilidioksidivirrat ovat yhtä suuret.

$$q_{ulko} * C_{ulko} + q_{korvaus} * C_{korvaus} + G = q_{poisto} * C_{poisto} \quad (4)$$

q_{ulko} ulkoilmavirta (dm^3/s)

$q_{korvaus}$ korvausilmavirta (dm^3/s)

q_{poisto} poistoilmavirta (dm^3/s)

C_{ulko} ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (ppm)

$C_{korvaus}$ korvausilman hiilidioksidipitoisuus (ppm)

C_{poisto} poistoilman hiilidioksidipitoisuus (ppm), sisäilman suunnitteluarvo

G tilassa oleskelevien henkilöiden hiilidioksidintuotto tilaan (dm^3/s)

Oletettaessa tilan ulko- ja poistoilmavirtojen olevan yhtä suuret ($q_{ulko} = q_{poisto}$) ja korvausilman olevan nolla ($q_{korvaus} = 0$) saadaan kaavasta 5:

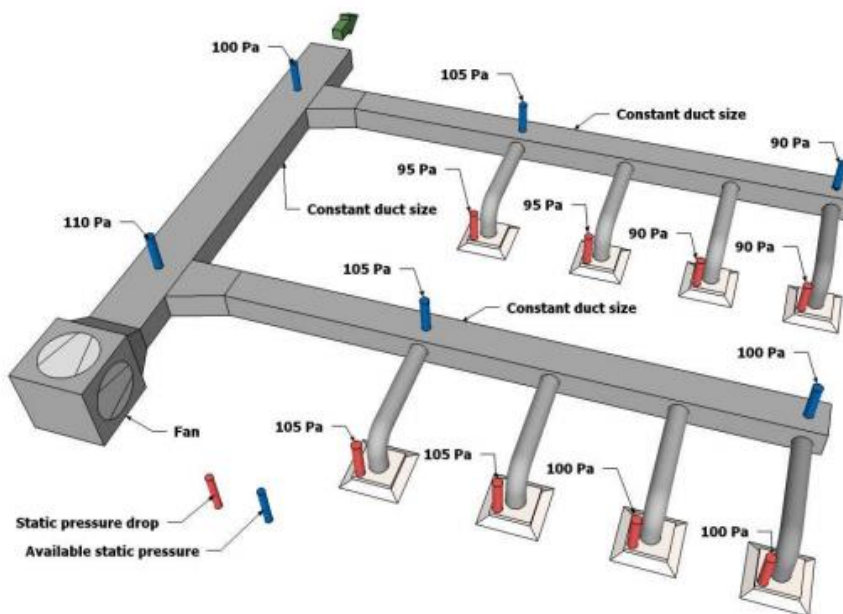
$$q_{ulko} = \frac{G}{C_{korvaus} - C_{ulko}} \quad (5)$$

[22, 9.]

6.4 Staattisen mitoitustavan periaate

Staattisen paineen takaisinsaantimenetelmää hyödynnetään tuloilmakanavistoa mitoitettaessa. Staattisen paineen avulla ilmaa, joko imetään tai puhalletaan kanavassa. Kanava on helppo mitoittaa niin, että ilma virtaa samankokoisista rei'istä tasaisesti. Poistoilmakanavistoa ei tällä menetelmällä voida mitoittaa, koska dynaaminen paine ja häviöt vaikuttavat samaan suuntaan. [18, 98-99.]

Puhuttaessa staattisesta paineesta, sillä tarkoitetaan absoluuttisen kanavan staattisen paineen ja absoluuttisen ympäristön ilmanpaineen erotusta. Virtausuunnalla ei ole merkitystä staattisessa paineessa, koska se vaikuttaa kaikkiin suuntiin, toisin kuin dynaaminen paine. [18, 98-99.]



Kuva 2. Staattisella paineella mitoitettu kanavisto [30,67].

Staattisella paineella tai toisin sanottuna loppupainehäviöllä mitoitettaessa kanaviston ulkonäkö on periaatteellisesti kuvan 2 mukainen. Tällä menetelmällä mitoitettaessa maksimi ilmannoisuus kanavistossa on 5 m/s ja staattinen paine enintään 120 Pa. Poikkeuksena ovat jakelukanavat, joissa ilmannoisuus rajoitetaan 3 m/s ja staattinen paine 100 Pa. Periaate noudattaa maksiminopeusvaatimusta suurissa kanavissa ja se ei pienennä kanavakokoa merkittävästi. Yhden kerroksen, vyöhykkeiden ja pystynousujen tulisi olla samaa kanavakokoa alusta loppuun saakka. Tällä mitoitustavalla saadaan matala ilmannoisuus kanavistoon, jolloin paineenlasku kanavan alusta loppuun on lähes sama eli noin 100 Pa. Painehäviö metriä kohden ei ole vakio, vaan se pienenee, minkä seurauksena staattinen paine on sama. [30, 67.]

6.6 Kokemusperäisen eli käsin mitoituksen periaate

Kokemusperäisessä tai toisin sanottuna käsin mitoituksessa eri kanavakokoihin määritetään niissä virtaavan ilman maksiminopeus. Maksiminopeudet on mahdollista määrittää esimerkiksi painehäviökäyrästä. Käytettäessä suunnitteluohjelmistoa on tarkistettava ja määritettävä suunnittelussa käytettävät nopeudet ennen suunnittelun aloitusta (kuva 4). Pyöreissä kanavissa käytetään hieman suurempia ilmannopeuksia kuin suorakaidekanavissa. [18, 110-111.]

Name	Description
OG Nomaali (v-max 3-9 m/s)	OG Nomaali (v-max 3-9 m/s)
OG Likainen poisto (v-max 3-12 m/s)	OG Likainen poisto (v-max 3-12 m/s)
OG Asunnot (v-max 2,3-9 m/s)	OG Asunnot (v-max 2,3-9 m/s)
OG Teollisuus (v-max 3-12 m/s)	OG Teollisuus (v-max 3-12 m/s)

Kuva 4. Suunnitteluohjelma MagiCadiin asetetut ilmannopeudet

7 Tilanvaraustarpeet

Suunnittelun alkaessa on hyvä tehdä alustavat järjestelmäkaaviot, joihin on merkitty tulo- ja poistoilmakoneet sijainteineen. Tässä vaiheessa on jo siis mietitty roilojen ja nousukanavien sijainnit, liitoskohdat konehuoneeseen, kerroskohtaisten kanavakoot ja -pituudet. Edellä mainitut asiat vaikuttavat suunnittelukohteessa tehtäviin tilavarauksiin. Niillä on vaikutusta esimerkiksi kerroskorkeuteen, konehuoneen kokoon ja kerrosten pinta-alaan. [18, 113]

Nämä seikat eivät itsessään riitä, vaan tiedossa tulee olla ilmanvaihtokoneiden lukumäärä, eli koneluettelot, koska ne vaikuttavat oleellisesti tilanvaraustarpeisiin. [15, 185.]

Alakattotiloille, ilmanvaihtokoneille ja roiloille tulee jättää tarpeeksi tilaa, että ilmanvaihtokanaviston ja -koneen kokoa tarvitse pienentää tilanpuutteiden vuoksi.

Koon pienentäminen aiheuttaa tarpeettoman painehäviön kasvun järjestelmässä.
[11, 3.]

7.1 Ilmanvaihtokonehuone

Ilmanvaihdon konehuoneissa tulee olla tarpeeksi tilaa ilmanvaihtokoneille ja niiden huoltamiselle. Edellytyksenä on myös, että konehuoneisiin päästään kulkemaan turvallisesti niin tavarankuljetusta kuin henkilöitä ajatellen. Yksi ilmanvaihtokone vie vähemmän tilaa kuin kaksi, vaikka kokonaisilmavirta olisikin sama. Konehuoneeseen varataan tilaa myös komponenttien vaihdolle. Tarpeellisen tilan puuttuessa tarpeellisia vaihtotoimenpiteitä jätetään tekemättä, jolloin esimerkiksi kohtalaisen usein vaihdettavan suodattimen vaihto jätetään suorittamatta. Lisäksi koneen rakenne vaikuttaa osaltaan tilanvaraustarpeisiin. Esimerkiksi ilmanvaihtokoneet, joissa on mukana lämmöntalteenotto vievät huomattavasti enemmän tilaa kuin kompaktit pakettikoneet. [15,185.]

Konehuoneen korkeus määräytyy useimmiten suurien ilmanvaihtokoneiden mukaan. Kaavassa 6 on esitetty karkea arvio ilmanvaihtokoneen korkeustarpeesta. Putkisto- kaapelihyllyt ja kanavat määrittelevät ilmanvaihtokoneen yläpuolelle tarvittavan tilanvarauksen konehuoneessa.

Ilmanvaihtokoneen korkeustarve:

$$A = \frac{2q_v}{1,2} ; H = \frac{A}{B} \quad (6)$$

A = otsapintanopeus koneen poikkipinnasta ulkomittojen mukaan (m^2)

q_v = suurempi ilmavirta (m^3/s)

H =koneen leveys ja korkeus ilman jalvoja ja aluskehikkoa (m)

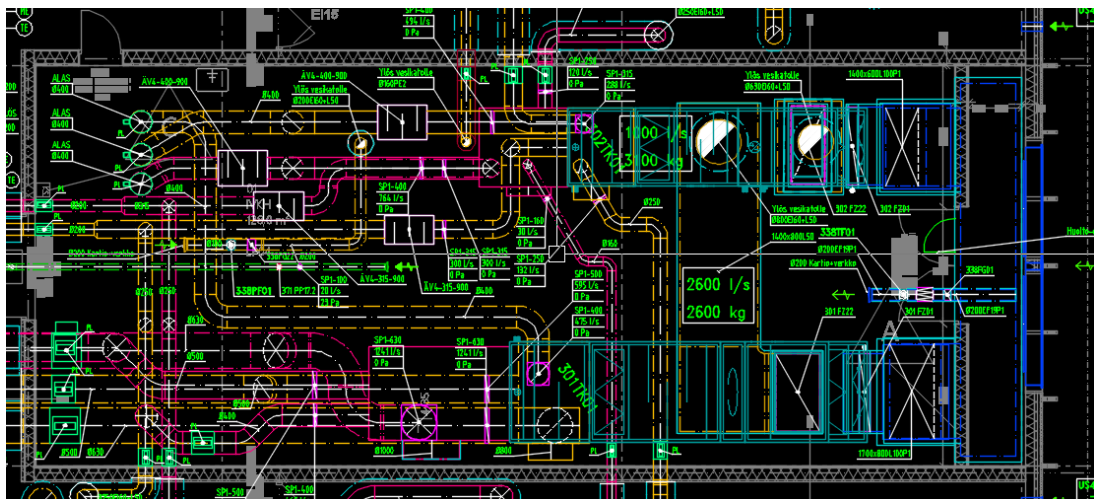
B = koneen leveys (m)

[1, 208.]

7.2 Ilmanvaihtokone

Yleensä ilmanvaihtokoneet sijoitetaan, joko ullakkokerroksessa tai katolla sijaitsevaan konehuoneeseen, mutta myös muut ratkaisut ovat mahdollisia. Esimerkiksi puukerrostaloissa ilmanvaihtokoneet sijoitetaan alakertaan, koska se on betonia ja samalla ääniteknisesti kannattavampaa kuin puurakenteiseen ullakkotilaan tai katolle sijoittaminen. [15,185.]

Koneen pituus on riippuvainen sen sisältämistä toiminto-osista, ja sen viereen sijoitetaan aina pumppuryhmä, jolle varataan lisätilaa. Huoltotilaksi riippuu koneen leveyden verran oleva vapaatila. Jos konehuoneeseen tulee useita ilmanvaihtokoneita, huoltotila on esimerkiksi kahdella koneella yhteinen. Koneiden väliin jätetään 0,5-1 m tilaa kulkureitiksi ja varmistetaan samalla huolto-oven avautuminen (kuva 5). [1, 209.]



Kuva 5. Ilmanvaihtokoneiden väliin jätetty huoltotila ja kulkureitti

7.3 Ilmanvaihtokanavisto

Suunniteltaessa on huomioitava itse kanaviston tarvitsema tila ja tämän lisäksi eristyksien ja kanavaristeilyjen tuoma lisätilantarve. Eristys- ja asennustyöt, sekä huolto on otettava huomioon suunniteltaessa tilanvarauksia. Samassa tilassa ilmanvaihtokanavien kanssa kulkee myös muita putkia, ja sähköjohtoja, jotka vaikuttavat osaltaan tilantarpeeseen. Riittävät tilanvaraukset ovatkin merkittäviä

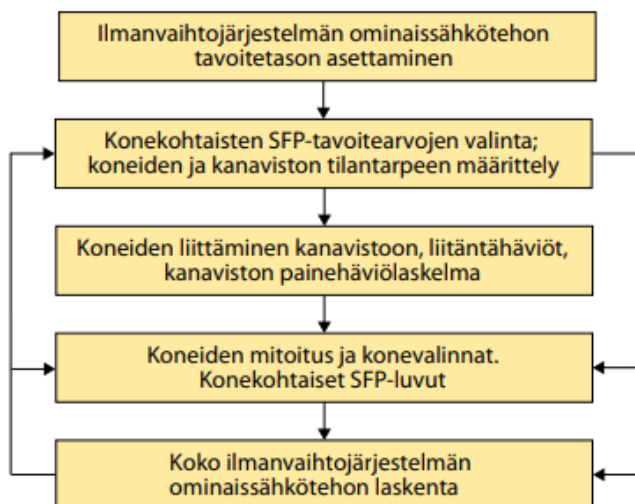
suunnittelussa, koska kanava voidaan joutua asentamaan eri korkoon tai eri tavalla kuin on suunnitelmissa, mikäli tilaa ei ole varattu tarpeeksi. Tällainen taas vaikuttaa edespäin muihin asennuksiin, jolloin kanaviin voi tulla ylimääräisiä kanavamutkia, tai sivuttaissiirtoja. Virtauspoikkipinta-alankin pieneneminen on mahdollista. [1, 220.]

8 Ominais sähköteho eli SFP ilmanvaihtojärjestelmässä

Ominais sähköteho kuvaa tässä tapauksessa sitä kuinka paljon sähkötehoa järjestelmä käyttää yhden ilmakehän siirtoon sekunnissa. Voisi myös sanoa SFP-luvun kuvaavan ilmanvaihdon sähkökäytön hyötysuhdetta, eli mitä pienempi luku on, sitä pienemmän sähkötehon ilman kuljettaminen vaatii. SFP-luku on yksinkertaisimmillaan ilmanvaihtojärjestelmän kokonaispainehäviö jaettuna hyötysuhteella. SFP-lukuarvo määritellään jokaiseen projektiin erikseen, niin että otetaan huomioon rakennusmääräykset, investointikustannukset ja haluttu käyttökustannustaso, ja muut kohdekohtaiset vaatimukset.

Ilmanvaihtokoneen painehäviötä, joihin sisältyy liitäntähäviöt, ilmanvaihtojärjestelmien painehäviötä ja puhaltimen kokonaishyötysuhdetta muuttamalla voidaan vaikuttaa SFP-lukuun. Sitä voidaan käyttää apuna suunnittelussa ja toteutuksessa, kun halutaan lopputuloksen olevan tiettyä tasoa, ja voidaan estää epäedullisen järjestelmän toteutus. SFP-luku on mahdollista määrittää ilmanvaihtokoneelle, ilmanvaihtojärjestelmälle tai yksittäiselle puhaltimelle erikseen. Se ei siis ole ainoastaan esimerkiksi ilmakehäsittelykoneen ominaisuus, vaan myös ilmanvaihtojärjestelmään kytketyn koneen ominaisuus. Samaa ilmanvaihtokonetta käytettäessä on mahdollista määrittää useita eri SFP-lukuja, mikäli kone käsittelee eri ilmamääriä sen kokoon suhteutettuna, tai kanaviston kokonaispainehäviön suuruus on eri. [11, 2.]

Kuvassa 6 on ominaissähkötehon suunnittelua ja laskentaa koskevat vaiheet. Oikeilla laitevalinnoilla ja suunnittelulla on mahdollista vaikuttaa sähkönkulutukseen, mikä taas edelleen vaikuttaa koko rakennuksen elinkaarikustannuksiin, ja aiheutuneeseen ympäristökuormitukseen. [11, 3.]



Kuva 6. Ominaissähkötehon suunnittelu ja laskenta [11,3].

Suunnitteluvaiheessa pyritään välttämään ilmanvaihtokanaviston mitoitukseen, koska myös ilmanvaihtokoneen ulkopuoliset painehäviöt vaikuttavat ominaissähkötehoon. Kanavisto suunnitellaan reilusti SFP-luvun kautta tullutta vaatimustasoa alhaisemmaksi, koska niukasti vaatimukset täyttävä kanavisto saattaa aiheuttaa toteutusvaiheessa ongelmia. Mikäli asennusvaiheessa SFP-luvun vaatimustaso ylittyy, tulee kanavistoa supistaa, tai siihen lisätään suora-kaideosuuksia ja mutkia. Näin myös risteilytarkastelujen merkitys kasvaa. [11,3]

Ympäristöministeriön asetuksen rakennusten energiatehokkuudesta mukaan koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho voi olla suuruudeltaan enintään $1,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Koneellisessa poistoilmajärjestelmässä sallittu arvo on enintään $0,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Ominaissähkötehon suuruus voi kuitenkin olla poikkeuksellisesti suurempi, mikäli rakennuksen sisäilmasto vaatii tavanomaisesti poikkeavaa ilmastointia. Tällainen poikkeus kohde voi olla esimerkiksi sairaala tai laboratorio. [34.]

Lisäksi standardissa SFS-EN 13779 määritellään sallitut enimmäisylitysarvot joillekin ilmapuhaltuskoneen komponenteille, jotka on esitetty kuvassa 7 [11,4].

Komponentti	Sallittu ylitys kW/(m ³ /s)
Mekaaninen lisäsuodatusosa	+ 0,3
HEPA-suodatin	+ 1,0
Kaasusuodatin	+ 0,3
Korkean (yli 70 %) hyötysuhteen LTO-osa	+ 0,3
Suurtehojäähdytin	+ 0,3

Kuva 7. Suurimmat perustason ylitykset ilmapuhdistuskoneen komponenteille. [11,4].

9 Ilmanvaihdon toteutumisen varmistaminen mittauksilla

Suunnitteluvaiheessa huolehditaan tarkastuslistan mukaisesti, että vastaanotto- ja käyttöönottovaiheessa on mahdollista suorittaa ToVa-mittaukset. ToVa-käynnillä suoritetaan käyttöönottovaiheessa mittaukset pistokoemaisesti. Tällöin mitataan oleskelutiloista normaali- ja tehostustilanteissa saatavat tulo- ja poistoilmamäärät. Samat mittaukset suoritetaan tiloja palveleville ilmanvaihtokoneille, ja lisäksi mitataan sisä- ja ulkoilman väliset paine-erot. [26, 145-146.]

Ilmanvaihtolaitteiden puhtaustaso tarkistetaan aistinvaraisesti käyttö- ja ylläpito-vaiheessa suoritettavalla ToVa-käynnillä. Tämän lisäksi suoritetaan myös edellä mainitut pistokokeenomaiset mittaukset uudelleen. [26, 145-146.]

Ennen rakennuksen käyttöönottoa rakennushankkeen toteuttajan tulee huolehtia, että ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho on määritetty, ilmavirrat mitattu ja säädetty, sekä järjestelmän toimivuus suunnitelman mukaisesti. Merkin-
nän ilmanvaihtojärjestelmän suunnitelmien vastaavuudesta tekee rakennusvaiheen vastuhenkilö rakennustyön tarkastusasiakirjaan. Mittaustulokset saavat poiketa suunnitelluista arvoista huoneisto- ja ilmavirta järjestelmä koh-
taisesti ± 10 prosenttia, ilmavirtakohtaisesti ± 20 prosenttia, niin että poikkeama on aina vähintään $1 \text{ dm}^3/\text{s}$ ja ominaissähköteho $+ 10$ prosenttia koskien ilman-
vaihtojärjestelmää. [17, 27§]

Hyväksytyissä poikkeamissa esitetään mittaustulokset, mittaustulos poikkeamat, ja mittausepävarmuus. Mittauslaitteen- ja menetelmän tulee olla sopivia ilmavirtojen mittaukseen ja mittalaitteen tulee olla kalibroitu. [17, 27§]

10 Esimerkkikohde

10.1 Taustaa koulu-päiväkotirakennusten ilmanvaihdonmitoituksesta

Opinnäytetyössä esimerkkitilana käytettiin Itä-Suomessa sijaitsevaa koulu-päiväkotirakennusta. Rakennuksessa on kaksi kerrosta, joissa sijaitsee erilaisia opetus- ja varhaiskasvatustiloja, ja tämän lisäksi on myös ullakkokerros, jossa sijaitsevat ilmanvaihtokoneet. Kohteen laajuuden vuoksi opinnäytetyön tarkastelun kohteeksi valittiin rakennuksesta yksi rakennussiipi. Tarkasteltavassa siivessä sijaitsevat tilat ovat nähtävillä liitteessä 1, ja niiden lisäksi ullakkokerroksessa sijaitsee ilmanvaihtokonehuone.

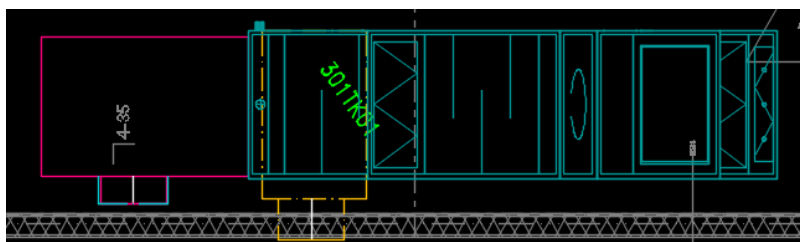
Tällaiseen rakennukseen ilmanvaihtoa mitoitettaessa pitää huomioida opetus- ja varhaiskasvatussuunnitelmien mukaiset vaatimukset rakennuksen tiloille ja käytölle. Monikäyttöisiä oppimis- ja toimintatiloja on käytössä entistä enemmän opetus- ja päiväkotirakennuksissa, jolloin myös ilmanvaihto tulee mitoittaa muuttuville henkilömäärille tilan eri osissa. Kaikki tällaisten rakennuksien tilat eivät ole koko ajan käytössä enimmäismäärällä, joten se otetaan huomioon myös ilmanvaihdon mitoituksessa. Rakennuksen ilmanvaihto tulee kuitenkin mitoittaa niin, että ilmanvaihto on riittävä rakennuksen suunnitellulle lapsi-, oppilas- ja henkilöstömäärälle. Ulkoilmavirta tulee ohjata sinne missä sille, milloinkin on tarvetta, ja on huolehdittava, että kaikille rakennuksen alueilla ohjataan vähimmäisulkoilmavirta, eli $0,35 \text{ dm}^3/\text{m}^2$.

Lisäksi suunniteltaessa ilmanvaihtoa on huomioitava rakennuksen tilojen käyttö varsinaisen toiminta-ajan ulkopuolelle. Tilojen toiminta-ajan ulkopuolista käyttöä on esimerkiksi saleissa- ja taide-/taitoaineiden opetustiloissa ja muissa tiloissa kansalaisten toimintoja varten.

Mitoitusperusteena koulu- ja päiväkotirakennuksissa käytetään yleisesti ulkoilmavirtaa $6 \text{ dm}^3/\text{s, hlö}$ Lisäilmanvaihdon tarvetta on liikuntatiloissa, sekä taide- ja taitoaineiden tiloissa. Taide- ja taitoaineiden tiloissa opetukseen voidaan käyttää aineita, jotka voivat määrätä ilmanvaihdon tarpeen. [3, 9.]

10.2 Mitoitus

Opinnäytetyössä tarkasteltava kohde oli jo valmistunut. Mitoitusmetodina kohdessa oli käytetty käsin mitoitusta. Ennen itse mitoitusta on hyvä tarkistaa, että mitoitettavissa kuvissa toimii yhteys kuvien välillä ja että kanavaliitokset ovat kunnossa. Mitoitusta tehtäessä ilmanvaihtokoneen kammioihin tehdään mahdollisimman suuret kanavaliitokset ja niiden päät jätetään auki. Kammioihin tehdyt avoimet päät ovat nähtävillä kuvassa 8.



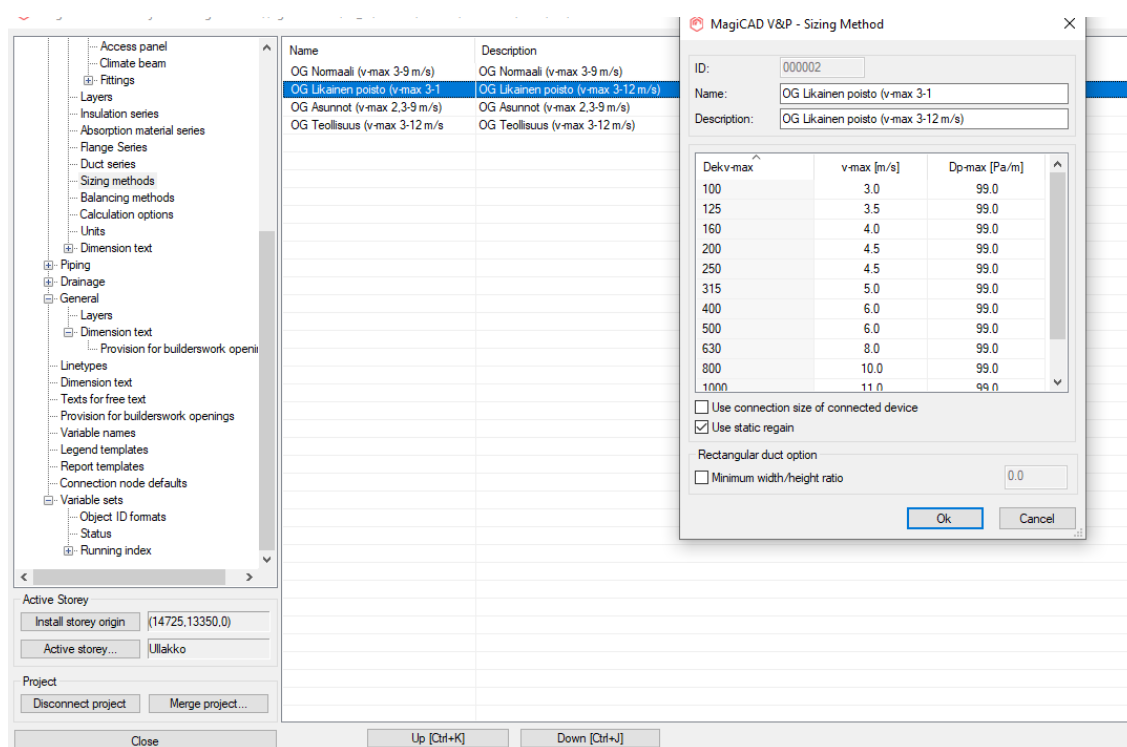
Kuva 8. Ilmanvaihtokoneen kammioiden avoimet päät

10.2.1 Dynaaminen mitoitus

Dynaamista, eli vakiokitkapainehäviö mitoitusta tehtäessä MagiCad-ohjelmassa valitaan ylhäältä valikko Technical ja valikon alapuolelta kohta sizing. Tämän jälkeen klikataan kammioihin tehtyjä avoimia kanavanpäitä ja ohjelma mitoittaa tiedostossa olevan ilmanvaihtokanaviston automaattisesti. Dynaamisen mitoituksen jälkeen tarkistetaan kanavakokojen muutosten aiheuttamat liitosten irtoamiset, eli liitetään kanavat uudelleen yhteen. Mitoituksen jälkeen kanavisto tulee tasapainottaa.

10.2.2 Staattinen mitoitus

Staattisen paineen eli takaisinsaantimenetelmän mitoitusta tehtäessä itse mitoittaminen toimii samalla tavoin kuin yläpuolella läpikäydyssä dynaamisessa mitoituksessa. Poikkeuksena tässä metodissa tulee kuitenkin tehdä seuraavaksi mainittu toimenpide, (staattisen takaisinsaantimenetelmän aktivointi), ennen itse mitoitusta. Valitaan Magicad- ohjelman ylävalikosta Project, avautuu uusi ikkuna, josta valitaan Sizing methods. Näkyvillä on projektiin määritellyt maksimi ilmavirrat, jotka valitaan aktiivisiksi. Avautuneeseen ikkunaan käydään valitsemassa Use static regain -kohta aktiiviseksi. Tämä toimenpide on esitetty kuvassa 9.

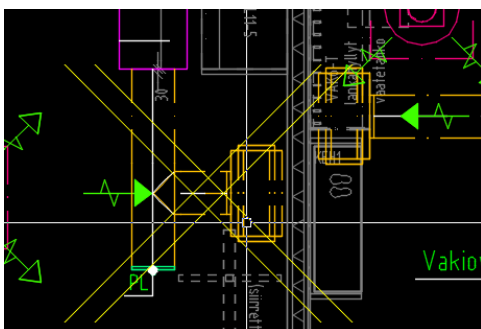


Kuva 9. Staattisen takaisinsaanti menetelmän aktivointi MagiCad-ohjelmassa

10.3 Tasapainotus

Tasapainotus onnistuu valitsemalla MagiCad-ohjelman ylävalikosta Technical valikon alta kohta Balancing. Tämän jälkeen klikataan hiirellä ilmanvaihtokoneella tehtyjä avoimia kanavienpäitä ja ohjelma tasapainottaa kanaviston. Suuressa

osassa tapauksista eri osiin ilmanvaihtokanavistoa ilmestyy keltaisia rasteja, joista yksi on esitetty kuvassa 10. Tämä tarkoittaa, että kyseisessä kohdassa on jotakin vialla. Syy voi olla esimerkiksi irronneessa kanavaliitännässä, liian lähellä olevassa suunnanmuutoksessa tai päätelaitteessa. Rastien syyt tulee selvittää ja vikakohdat korjata. Loppujen lopuksi kuvaan ei enää tule yhtään rastia ja kanavisto on tasapainossa. Kuvassa 11 on ohjelman antama tasapainotusraportti, jossa on nähtävillä esimerkiksi kanavakoot, ilmannonpeudet ja painehäviöt.



Kuva 10. MagiCad ohjelman ilmoittama vika tasapainotuksen yhteydessä

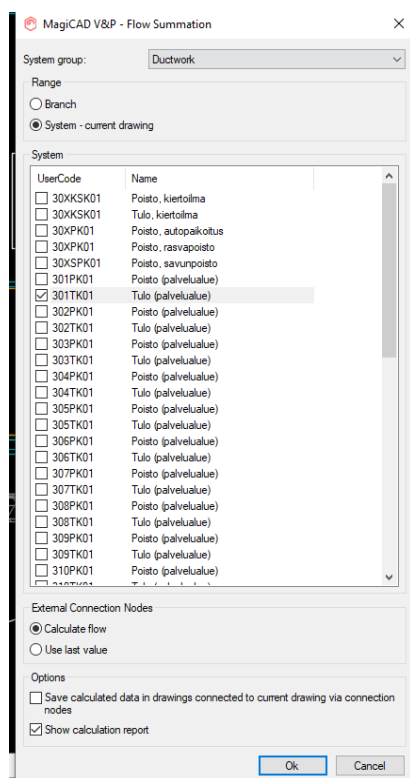
M360C3 - Student Balancing Report														
EOL		☐ Supply ☐ Dollar value		☐ General results		☐ Calculate multi-leaf for utilization terminals								
Object		☐ Dollar amount		☐ Utilization amount										
utilization														
Location	Level	Date	Name	Type	Series	Product	Size	Ln	Position	Ln	Ln	Qd	Qd	
												Pa	Pa	
☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐														
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.5	0.0	1/10/1/18	2011.1	4.8	0	3.36	294
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	13	0.27	294
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	20	0.18	13.81
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.1	0.1	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	2	0.27	171
1	(Maine)	30/1/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000	0.2	0.2	1/2/0/1.0	1241.0	4.0	0	0.27	191
	(Maine)	1/5/2021	DUCT	PA	303A-6-000	000								

Kuva 11. MagiCad -ohjelmasta saatava tasapainotus raportti

10.4 Kanavan vaikeimman päätelaitteen selvittäminen

Ilmanvaihdon suunnittelukappaleessa tuotiin ilmi, että ilmanvaihtokanaviston päätelaitteiden tulisi toimia samalla painealueella ja huomiota tulisi kiinnittää etenkin kanavien päässä sijaitseviin viimeisiin päätelaitteisiin.

MagiCad -ohjelmalla on mahdollista selvittää kanaviston vaikein eli viimeinen päätelaite, johon on vaikeinta saada paine riittämään. Valitaan MagiCadin ylävalikosta Technical, Route Examination ja valitaan ilmanvaihtokoneen kammioon tehtyä avointa kanavapäättä. Tämän jälkeen avautuu kuvassa 12 näkyvä valintaruutu, josta on mahdollista tarkastella ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistokanavisto tai ainoastaan toinen. Suositeltavaa on valita aktiiviseksi Show calculation report -kohta, jolloin saadaan nähtäville raportti vaikeimman päätelaitteen sijainnista ja esimerkiksi painetasosta.



Kuva 12. Valintaruutu vaikeinta pistettä määritettäessä

11 Toteutuneiden kanavakokojen vertailu

Vertailtaessa toteutuneita kanavakokoja puhutaan kanavakoosta, esimerkiksi Ø160. Tällöin tarkoitetaan siis kanavan olevan halkaisijaltaan 160 mm. Erityisesti dynaamisessa mitoituksessa kanavakokojen suppenemista sellaisissakin paikoissa, joissa olisi asennus-, kustannus- ja ääniteknisesti järkevämpää olla pienentämättä kanavakokoa. Kanavankoon suppeneminen johtuu vakiokitkapainehäviö-mitoituksesta. Lisäksi mitoituksessa kanavistoihin tuli sellaisia kanavaosia, joista osa ei ole standardiosia.

Käsin mitoituksessa kanavakokojen pienenemistä ei ole niin paljon kuin staattisessa ja dynaamisessa mitoituksessa. Syynä on se, että putkikokoja ei mitoiteta paineen, vaan ilmannopeuden avulla. Ilmannopeus on monin paikoin käsin mitoitettussa kanavassa alhaisempi kuin muissa mitoituksissa. Korkea ilmannopeus lisää kanava- ja päätelaitemelua.

11.1 Vertailukohteena kanavahaara eri mitoitustavoilla

Vertailtavana olevat kanavahaarat on esitetty liitteissä 2-4. Ilmanvaihtokoneet sijaitsevat ullakolla, joten suurimmat kanavakoot lähtevät sieltä. Kanavakoot pienenevät alaspäin mentäessä ja supistuvat kanaviston päissä pienimmilleen. Yhtä kanavahaaraa tarkastellaan tuloilmakanavistosta, koska staattista menetelmää ei voida hyödyntää poistoilmavirroille.

Dynaamisen tasapainotusraportin mukaisesti tuloilmavirran runkokanava alkaa koosta Ø630 ja laskee 2. kerrokseen mentäessä kokoon Ø200. Tässä vaiheessa ilmannopeus on laskenut 4 m/s...3 m/s ja painetaso on pudonnut 191 Pa...129 Pa. 2. kerroksessa kanavakoko jatkaa supistumistaan Ø160...Ø100 välillä, riippuen siitä kuinka paljon vertailun kohteena oleva kanava haarautuu. Kanavan loppua kohden mennessä painetaso on matalimmillaan 40 Pa ja matalin paine on päätelaitteessa. Ilmannopeus 2. kerroksessa vaihtelee 3 m/s...2,4 m/s välillä.

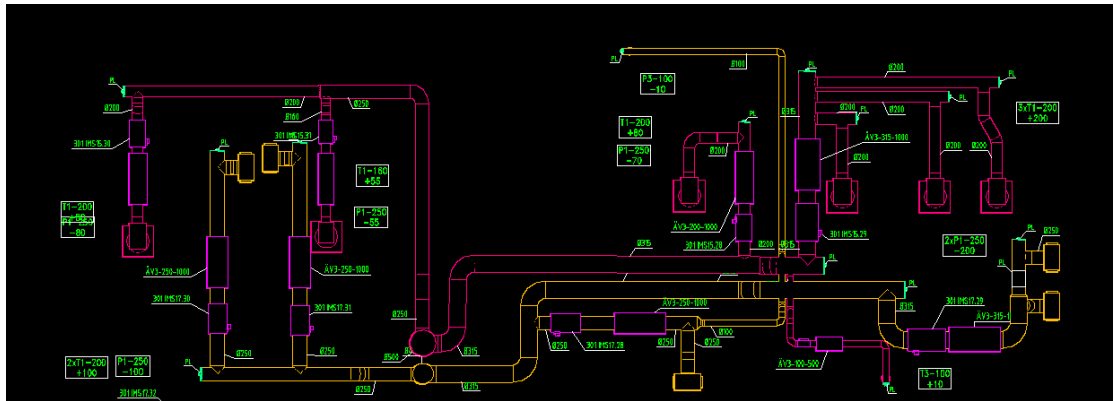
Staattisessa tasapainotusraportissa runkokanavan koko on suurimmillaan myös Ø630 ja kanavakoko laskee kokoon Ø200 2. kerrokseen mentäessä. Ilmannonpeus kanavan alusta 2. kerrokseen tultaessa vaihtelee välillä 4m/s...3m/s, ja painetaso on laskenut 191 Pa...129 Pa. Toisessa kerroksessa kanavan koko vaihtelee Ø200 ja Ø100 välillä, niin kuin dynaamisessakin mitoituksessa, ja ilmannonpeuskin on likimain sama. Voisi kuitenkin sanoa paineiden vaihtelun olevan hieman tasaisempaa, vaikka suurista eroista ei olekaan kysymys.

Käsin mitoituksessa kanavakoko alussa on jälleen sama kuin kahdessa edellisessä, eli Ø630. Huomiota herättää se, ettei kanavakoko supistu niin äkillisesti, vaan kanavakoon suppeneminen tapahtuu lähes yksi koko kerrallaan. Staattisessa ja dynaamisessa mitoituksessa ilmannonpeus laski tasaisesti, mutta käsin mitoituksessa huomiota herättää äkillinen ilmannonpeuden kasvu 4 m/s...6,0 m/s siirryttäessä kanavakoosta Ø630...Ø500. Muutos on kuitenkin hetkellinen, ja ilmannonpeus laskeekin 1,2 m/s ennen alempaan kerrokseen menoa. 2. kerrokseen mentäessä kanakoko on Ø315, eli monta kokoa suurempi kuin edelle olleissa mitoitusavoissa, mutta painetaso on lähes sama (128 Pa). Kanavakoko on alimmillaan Ø125, ja alin paine (40 Pa) löytyy jälleen päätelaitteelta.

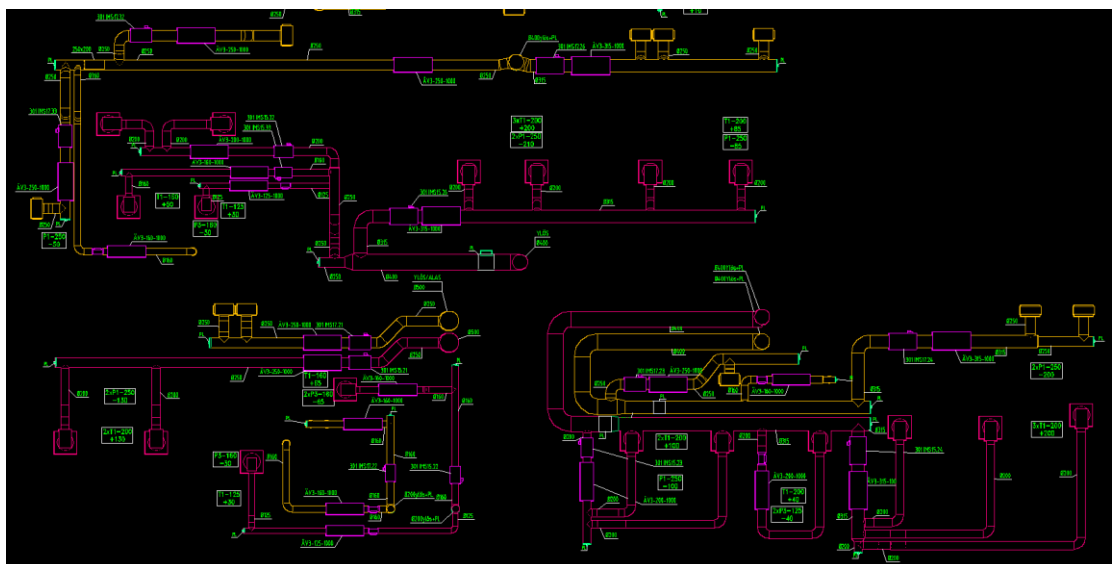
Yhtä kanavahaaraa tarkasteltaessa ei voida tehdä suuria yleistyksiä, mutta jo sen perusteella voidaan todeta käsin mitoituksessa kanavakoon supistuvan maltillisemmin.

11.2 Vertailukohteena yhden kerroksen kanavakoot

Kerroksen kanaviston vertailun helpottamiseksi alapuolella olevissa kuvissa on käytetty MagiCad -ohjelmiston Objekt Viewer -ominaisuutta. Tällöin näkyvistä häviää pohjakuva ja kanavisto tulee tarkasteltavaksi 3D-mallina. Kerrokset näkyvät kahdessa eri kuvassa, jotta kanavakoot on mahdollista nähdä paremmin. 2. kerroksen eri mitoitusavoilla saadut kanavistot on esitetty kuvissa 13-18.

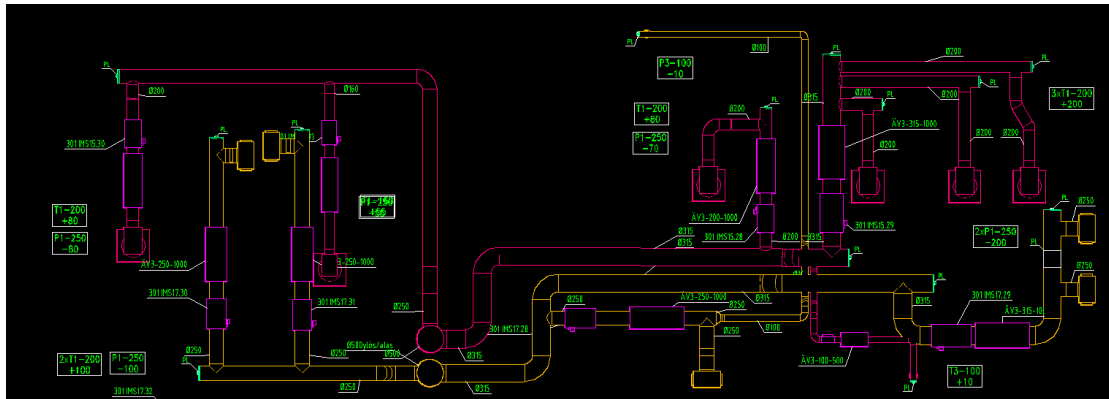


Kuva 13. 2. kerroksen dynaaminen mitoitus tapa, kanavisto-osa 1

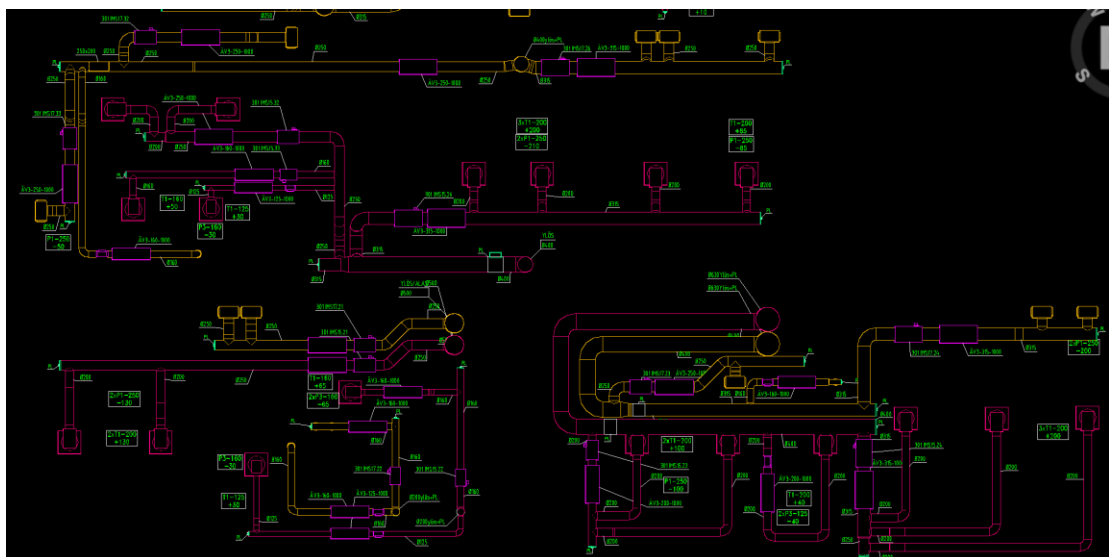


Kuva 14. 2. kerroksen dynaaminen mitoitus tapa, kanavisto-osa 2

Kuvissa 13 ja 14 voidaan huomata dynaamisen mitoitus tavan ilmanvaihtokanavistolle tyypillinen piirre, eli kanavakoon supistuminen kesken linjavedon. Yllä olevissa kuvissa on pyöreinä ympyröinä näkyviä nousukanavia, joista lähtee kanavahaara 1. kerrokseen tai ullakolle. Nousukanavalta kanavahaaran loppua kohti edetessä huomataan jo runkokanavien koossa muutoksia. Esimerkiksi kuvan 14 yläosassa sijaitsevassa tuloilmakanavassa voidaan havaita merkittävä koon muutos. Kanavakoko muuttuu koosta Ø400...Ø250, mikä on tyypillistä, mutta ei järkevää. Supistuminen johtuu pyrkimyksestä saada kanaviston loppupäähän mahdollisimman matala staattinen paine.

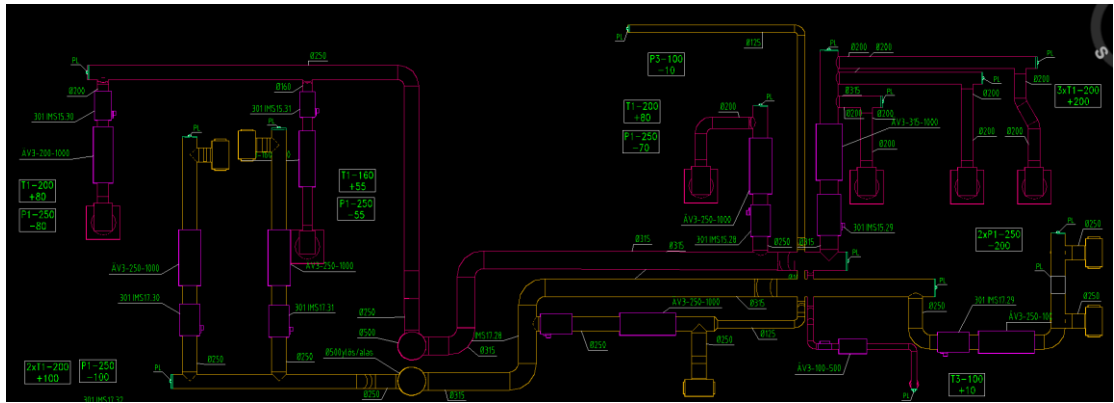


Kuva 15. 2. kerroksen staattinen mitoitus, kanavisto-osa 1

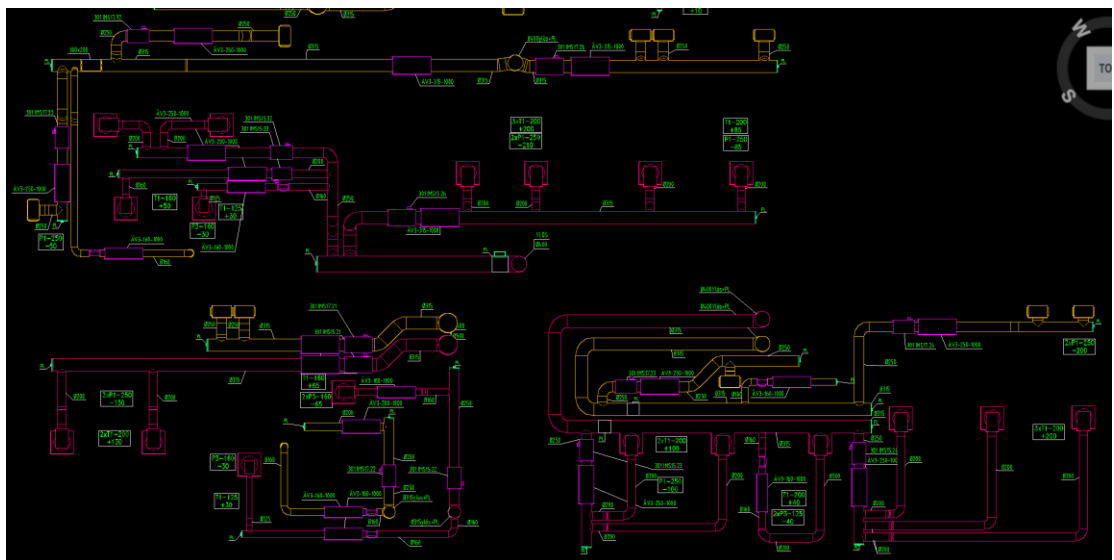


Kuva 16. 2. kerroksen staattinen mitoitus, kanavisto-osa 2

Tämän opinnäytetyön eri mitoitusapoja teoreettisesti käsittelevässä luvussa viitattiin jo siihen, kuinka staattisessa periaatteessa pyritään pitämään pääkanavien kanavakoko esimerkiksi yhden kerroksen sisällä samana. Tämä voidaan huomata staattisen mitoituksen kanavistoa tarkasteltaessa. Kuvista 15 ja 16 voidaan huomata, ettei runko/pääkanavan kanavakoko ei muutu kesken linjavedon. Kuvia tarkasteltaessa voidaan myös huomata, ettei kanavakoko vaihtelee läheskään niin paljon kuin ylläoleissa dynaamisen mitoituksen kuvissa.



Kuva 17. 2. kerroksen käsin mitoitustapa, kanavisto-osa 1



Kuva 18. 2. kerroksen käsin mitoitustapa, kanavisto-osa 2

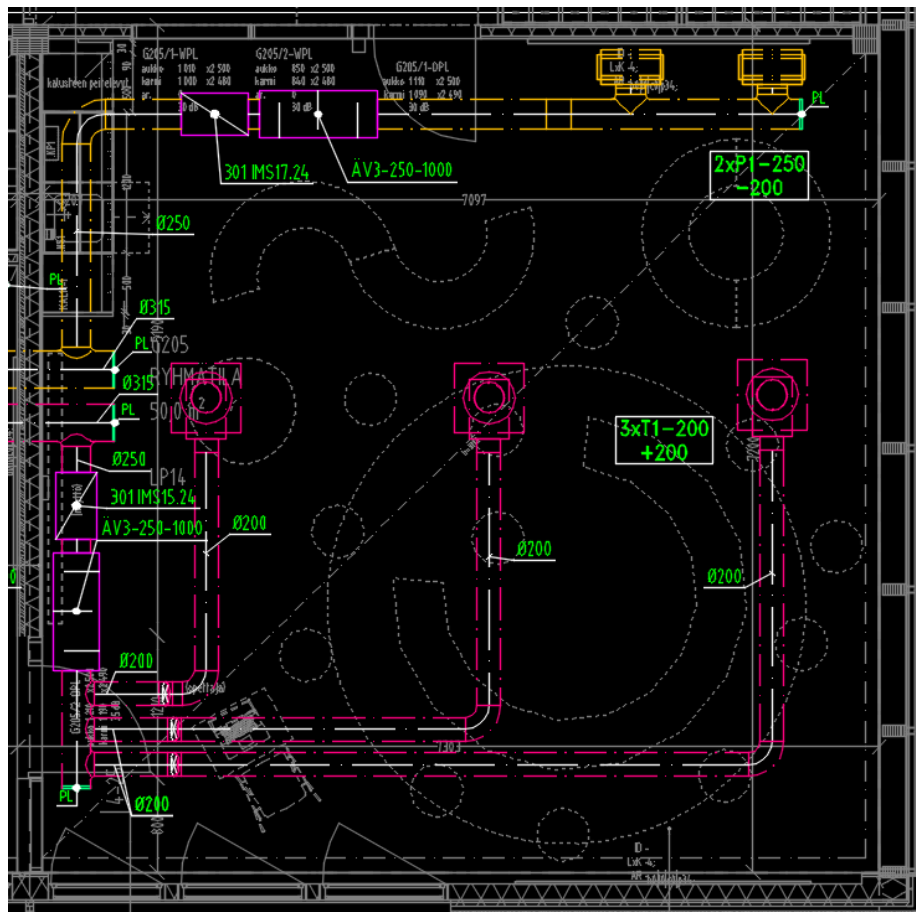
Vertailtaessa kuvia 17 ja 18 edellä olleisiin 2. kerroksen kanavisto-osien kuviin, voidaan todeta käsin mitoitettujen kanavakokojen olevan suurempia kuin kahdessa muussa mitoitustavassa. Käsin mitoituksessa runkokanavan koko ei vaihdu kesken linjavedon samoin kuin staattisessa mitoituksessa. Kuvien perusteella voidaan huomata kanaviston putkikokojen olevan maltillisempia, kuin muissa kahdessa mitoitustavassa.

Eri mitoitustapojen kerroskuviin tarkasteltaessa huomattiin kokoojakanavissa olevan eroavaisuuksia. Jälleen dynaamisen mitoituksen lopputulos kanavistossa huomataan kanavakoon supistumista sellaisissa paikoissa, joissa se ei olisi tarpeellista. Kahdessa muussakin mitoituskanaavistossa tapahtuu suppenemista ko-

koojakanavissa, mutta se ei ole niin radikaalia kuin dynaamisessa. Käsini mitoituksessa on selvästi pyritty pitämään kokoojakanavienkin kanavakoko samana, niin kuin runkokanavissa. Kytöntakanavissa kanavakoko ei juurikaan ollut eroavaisuuksia eri mitoitusapojen lopputuloksissa.

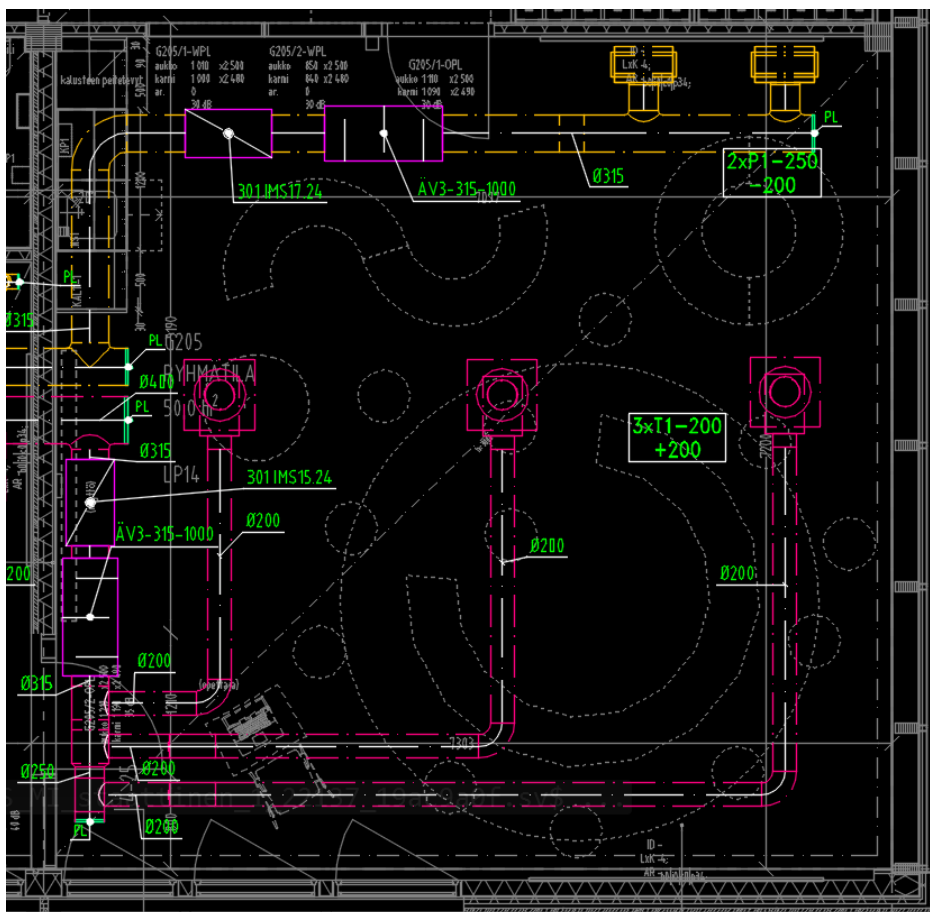
11.3 Vertailukohteena huonetila 205

Tilassa 205 sijaitsevat tuloilmakanavat eivät itsessään millään mitoitusavalla ole erikokoisia, mutta päätelaitteiden kokoojakanavassa on eroavaisuuksia. Eroavaisuudet on esitetty kuvissa 16-18. Käsini mitoitus (kuva 16) on järkevin ratkaisu, niin asennusteknisesti kuin kustannussäästöllisestikin. Kokoojakanavan kokoa ei pienennetä, vaan koko pidetään samana, eli koossa Ø250. Tällöin vältetään ylimääräisiltä supistuskappaleilta, ja kanaviston asentaminen on nopeampaa.



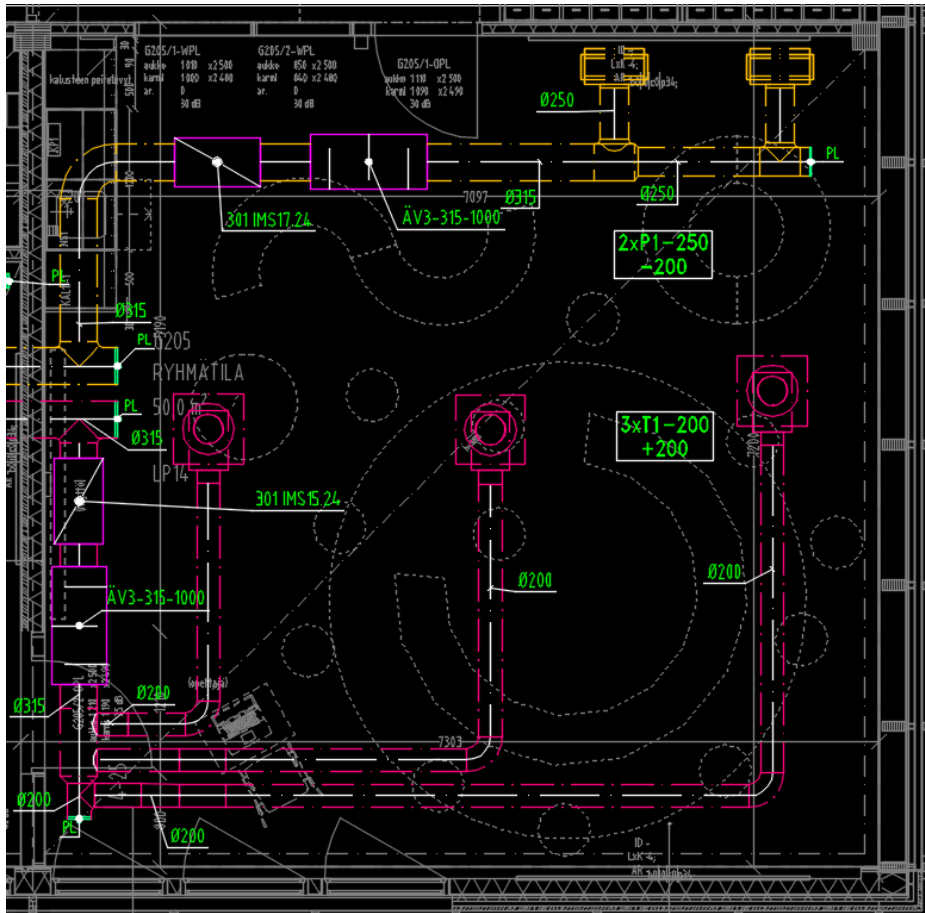
Kuva 16. Käsini mitoitettu tuloilman kokoojakanava

Saman huonetilan staattista mitoitusta (kuva 17) tarkasteltaessa voidaan huomata päätelaitteiden liitäntäkanavien kokoojakanavan koon olevan suurempi kuin edellä. Kanavakoko on Ø315, mutta ennen kolmatta liitäntäkanavaa kanavakoko supistuu Ø250. Supistuksella ei itsessään ole mitään muuta etua, kuin se että kaikilla päätelaitteilla painetasot pysyvät lähes samoina.



Kuva 17. Staattisesti mitoitettu tuloilman kokoojakanava

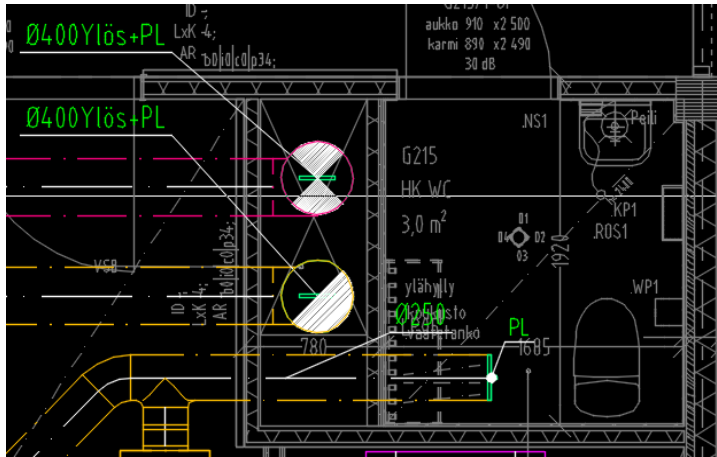
Dynaamisella mitoituksella (kuva 18) tapahtuu samassa kohtaa kanavakoon muutos, mutta kokoojakanava supistuu suoraan kanavakoosta Ø315...Ø200. Tällä mitoistavalla on hyvin yleistä, että kanavakoko muuttuu paljon kerrallaan, koska mitoitusperusteena on vakiopainehäviö.



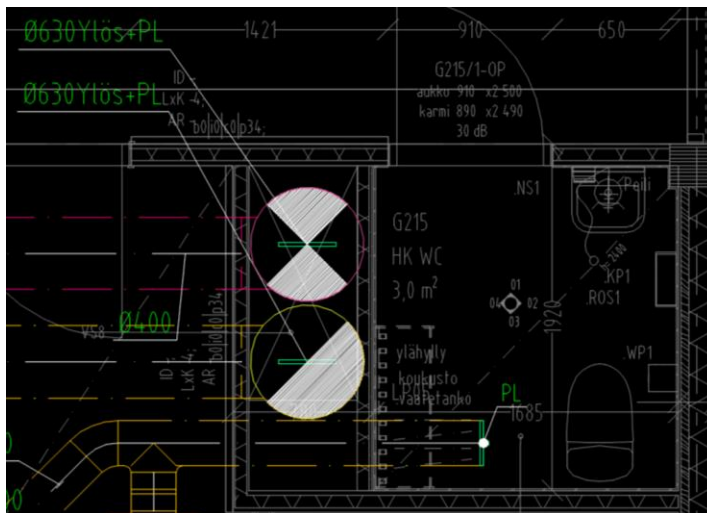
Kuva 18. Dynaamisesti mitoitettu tuloilman kokoojakanava

12 Tilanvaraustarpeiden vertailu

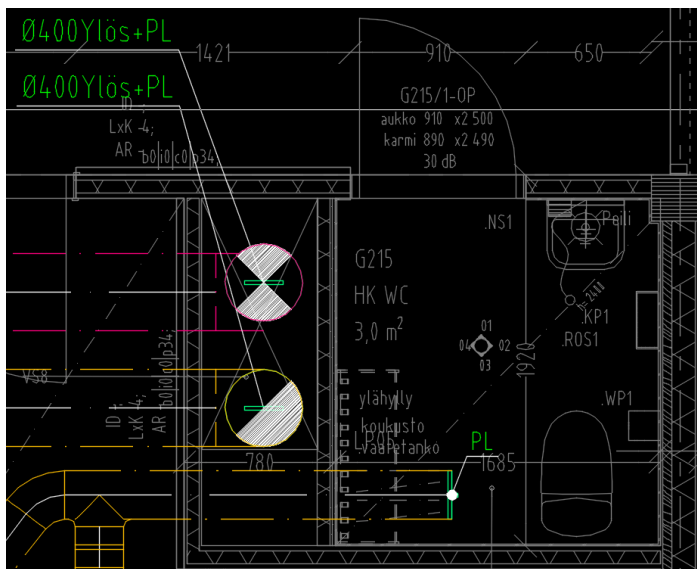
Eräs huomattavampi ero nousukanavien koossa voidaan huomata henkilökunnan WC:n vieressä sijaitsevassa koteloinnissa, jossa on tulo- ja poistoilmakanava (kuvat 19-21). Dynaamisella paineella ja käsin mitoituksella saadut kanavat ovat kooltaan Ø400, mutta staattisessa mitoituksessa kanavat ovat kooltaan huomattavasti suuremmat eli Ø630. Kokoero on jo huomattava ja sillä on vaikutusta tilanvarauksiin. Tämänhetkinen kotelon koko on suuremmalle kanavakoolle liian pieni, joten kotelon kokoa tulisi suurentaa. Siitä kuitenkin seuraisi vieressä sijaitsevan WC-tilan pinta-alan pieneneminen.



Kuva 19. Kanavakoot ja tilanvaraus käsin mitoituksella

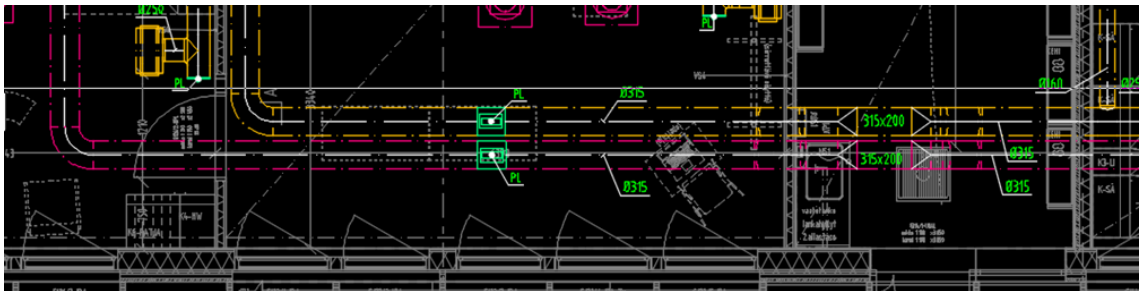


Kuva 20. Kanavakoot ja tilanvaraus staattisella mitoituksella



Kuva 21. Kanavakoot ja tilanvaraus dynaamisella mitoituksella

Joillakin kanavisto-osuuksilla oli käytetty suorakaidekanavaa. Eri mitoitustavoilla voitiin huomata kanavisto-osuuden koossa eroja, mikä itsessään vaikuttaa tilanvarauksisiin, etenkin jos kanavatyyppin muutos on tehty kanavaristeilyjen tai tilanpuutteen vuoksi. Kuvissa 22-24 on esitetty edellä mainittu kanavaosuus. Käsillä mitoituksella saatu kanavaosuus on siis todellisuudessa paikalleen asennettu ja siinä on otettu huomioon tilanvaraukset ja kanavaristeily. Kuvassa 22 on vasemmalla sekä poisto että tuloilmakanavat, joiden kanavakoko on Ø315 ja suorakaidekanavien koot Ø315x200, tämän jälkeen pyöreän kanavan koko on taas Ø315. Voidaan siis olla varmoja, että tämän kokoiset kanavat mahdutaan asentamaan paikalleen.



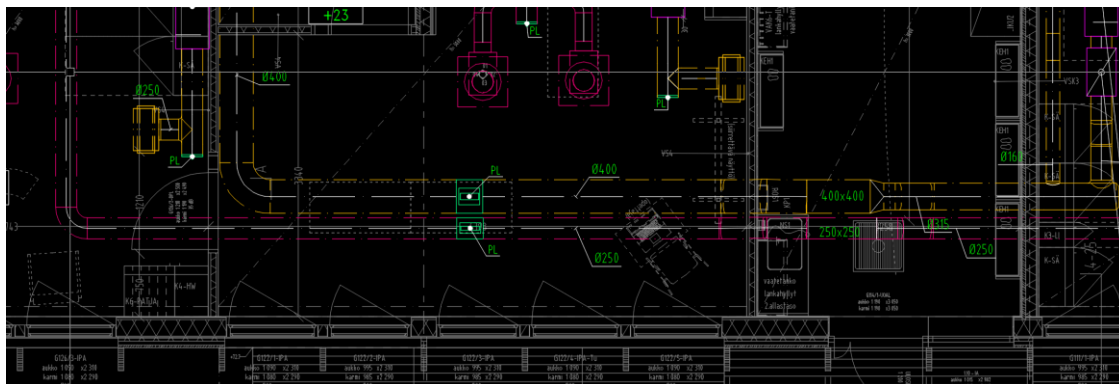
Kuva 22. Käsillä mitoitettu kanavaosuus



Kuva 23. Staattisella paineella mitoitettu kanavaosuus

Yllä olevassa kuvassa 23 on sama kanavaosuus staattisen paineen avulla mitoitettuna. Vaakasuunnassa olevat kanavat ovat erikokoiset kuin käsillä mitoituksessa. Vasemmalla pyöreän poistoilmakanavan koko on Ø400, suorakaidekanavaksi muuttuessa Ø400x400 ja takaisin pyöreäksi kanavaksi muuttuessa Ø315. Tuloilmakanavaa tarkasteltaessa huomataan kanavan olevan Ø250 kokoa olevaa pyöreäkanavaa, Ø250x250 suorakaidekanavaa ja sen jälkeen taas kanava-

kokoa Ø250 olevaa pyöreää ilmanvaihtokanavaa. Alapuolella sijaitsevassa kuvassa 24 on esitetty samat kanavat dynaamisen mitoituksen osalta. Tarkasteltaessa huomataan kanavakokojen olevan täysin samat, kuin staattisen mitoituksen kuvassa.



Kuva 24. Vakiokitkapainehäviöllä mitoitettu kanavaosuus

Johtopäätöksenä voidaan siis pitää sitä, että tällä tarkasteltavalla suora-kaideosuudella nykyiset tilanvaraustarpeet eivät välttämättä riitä, koska korkeusero alkuperäiseen eli käsin mitoitukseen oli 50-200 millimetriä. Poistoilmakanavan kohdalla korkeusero kanavassa oli 200 millimetriä, mikä on puolet enemmän kuin alkuperäisessä. Voidaan hypoteettisesti sanoa, ettei kanavaa mahduta asentamaan 400 millimetriä korkeana, kun otetaan huomioon muut samassa tilassa kulkevat kanavat, putket ja muut talotekniikan laitteet. Tuloilmakanavassa kanavakoko pieneni alkuperäiseen verrattuna, joten muidenkin mitoitustapojen mukaiset kanavat voitaisiin asentaa paikoilleen ilman lisätilantarpeita.

13 Paineenkorotustarve ilmanvaihtokoneella

Ilmanvaihtokoneen puhaltimen energiatehokkuuteen vaikuttaa esimerkiksi kanaviston mitoitus. Väljässä kanavistossa ilmannopeudet ovat matalia, ja samalla saadaan helposti säädettävä, energiatehokas ja meluton järjestelmä. [18, 106]

Kokonaispainehäviöstä suurin osa muodostuu ilmankäsittelykoneesta, jolloin sillä on siis suuri merkitys. Koneen ominaisuudet, tai sen hyvyys/huonous vaikuttavat ilmanvaihtokanaviston aiheuttamaan sähkönkulutukseen. Tälle syynä on ilmanvaihtokanaviston paineenkorotustarve, ja joka itsessään tuotetaan ilmanvaihtokoneen puhaltimessa. [11,2.]

Käsin mitoitus	
Tulo	207 Pa
Poisto	-205 Pa
Staattinen mitoitus	
Tulo	204 Pa
Poisto	-206 Pa
Dynaaminen mitoitus	
Tulo	204 Pa
Poisto	-238 Pa

Taulukko 6. Järjestelmien kokonaispaineet eri mitoituksissa

Taulukossa 6 on esitetty eri mitoitustavoilla saadut ilmanvaihtokanaviston kokonaispaineet, tai toisin sanottuna paineenkorotustarpeet. Painetasot ovat kaikilla mitoitustavoilla niin lähellä toisiaan, että ilmanvaihto voidaan toteuttaa samalla ilmanvaihtokoneella. Dynaamisen mitoituksen poistoilmakanaviston painetaso on kahta muuta mitoitustapaa korkeampi, joten suunnittelijan tulee tarkastella, onko paine-ero niin merkittävä, että muutostöimenpiteille on tarvetta.

13.1 Vaikutus ilmanvaihtokoneen mitoitukseen

Aiemmin opinnäytetyössä puhuttiin SFP-luvusta eli ominaissähkötehosta, siitä kuinka liian lähellä vaatimustasoa suunniteltu ilmanvaihtokanavisto ei saata läpäistä vaatimustasoa asennuksen jälkeen. Tällöin kanavakokoa joudutaan supistamaan ja lisäämään mutkia kanavistoon. Mikäli kanaviston aiheuttama paineenkorotustarve on liian suuri nykyiselle ilmankäsittelykoneelle ja ilmanvaihtokoneen SFP-luku ylittyy, lähdetään kanaviston aiheuttamaa painehäviötä pienentämään. Vaihtoehtona olisi myös valita rakennuskohteeseen suurempikokoinen ilmankäsittelykone, mutta siinä tapauksessa kustannukset olisivat luultavasti suuremmat

kuin kanavistoihin tehdyissä suunnittelumuutoksissa. Lisäksi suurempi ilmankäsittelykone lisäisi tilantarvetta konehuoneessa. [11,3.]

14 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla eri mitoitustavoilla saatuja kanavakokoja, tilanvaraustarpeita, paineenkorotustarvetta ilmanvaihtokoneella ja sen vaikutusta ilmanvaihtokoneen mitoitukseen. Mitoitustapoina käytettiin staattista, dynaamista- ja kokemusperäistä (käsini-) mitoitustapaa, Mitoitustavan valinta vaikuttaa toteutuneeseen ilmanvaihtokanavistoon merkittävästi niin asennus- ja ääniteknisesti. Näiden edellä mainittujen lisäksi ilmanvaihtokanaviston mitoitustapa vaikuttaa myös hankinta- ja järjestelmän elinkaarikustannuksiin.

Eri mitoitustapojen avulla saatujen ilmanvaihtokanavistojen todettiin olevan pääpiirteittäin samankaltaisia, mutta eroavaisuuksiakin löytyi. Suurimmat eroavaisuudet olivat käsini mitoituksen ja dynaamisen mitoituksen välillä. Paikoittain kanavakoissa oli huomattavampiakin kokoeroja, jolloin ei voida olla varmoja siitä, olisiko niitä mahdollista asentaa. Kanavistoja tulisi tarkastella mahdollisten tilapuuotteiden, kanavaristeilyjen ja -törmäilyjen vuoksi myös 3D-mallinnuksella.

Opinnäytetyön prosessoinnissa haastavinta oli ymmärtää, kuinka suuri kokonaisuus ilmanvaihto ja sen suunnittelu ovat. Suunnittelu- ja rakennusprosessi on pitkä ja haasteellinen, koska kaikki eri osatekijät tulee huomioida koko rakennuksen elinkaaren ajan. Taustatiedon etsimiseen kului paljon aikaa, vaikka itse mitoitukset tehtiin nopeasti. Mikäli aikaa olisi ollut enemmän kanavakokoja, -paineita ja ilmannopeuksia olisi voitu käsitellä tarkemmin. Yhdeksän 22-sivuisen tasapainotusraportin tarkempi läpikäynti olisi vaatinut aikaa reilusti enemmän. Juuri edellä mainitut seikat voisivatkin toimia jatkokehitysmahdollisuutena, mikäli sellaiselle on tarvetta. Lisäksi tulosten analysoiminen ymmärrettävään muotoon kolmansille osapuolille oli vaikeaa, koska aiheeseen perehtyminen ja sisäistäminen vei itseltä paljon aikaa.

14.1 Tulosten luotettavuus

Opinnäytetyön mitoitukset tehtiin ainoastaan MagiCad –ohjelmalla, jota käytetään suunnittelutoimistoissa yhtenä monista suunnittelutyökaluista ympäri maailman. Kokemusperäiset eli käsin mitoitukset taas oli tehnyt suunnittelualan ammattilaiset, joilla on vuosien työkokemus suunnittelusta. Tärkeä ja mitoitustulosten luotettavuuteen vaikuttava tekijä oli tarkistaa, että kaikissa mitoitettavissa tiedostoissa oli sama ilmamäärä, eli 2311 l/s käytössä.

Eri mitoituksissa oli eri numeroilla merkittyjä connection nodeja, joista voisi käyttää sanaa yhteyspiste. Esimerkiksi tilassa 229 saattoi olla staattisessa mitoituksessa yhteyspiste numero 12, ja dynaamisessa mitoituksessa taas numero 20. Eri numeroita jouduttiin käyttämään, koska osa kuvissa olleista kanavayhteyksistä eli nodeista oli katkennut ja yhteyspisteet täytyi tehdä uudelleen. Dwg-tiedostot oli kytketty suurempaan projektiin, jolloin ei ollut mahdollista käyttää samaa jo käytössä ollutta connection nodea/ yhteyspistenumeroa. Tämä ei itsessään vaikuttanut tulosten luotettavuuteen, mutta saattoi hämmentää henkilöä, joka ei ollut perehtynyt projektiin. Mitoituksiin olisi voinut halutessaan vaihtaa ilmannopeudet MagiCad -ohjelmassa, mikä olisi osaltaan vaikuttanut tuloksiin, mutta ei luotettavuuteen.

14.2 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli saada valmistuneet insinöörit ja insinööriopiskelijat ymmärtämään paremmin, mitä eroja eri mitoituserusteilla mitoitetuissa kanavistoissa on ja samalla tuoda esille erilaisten kanavistojen mahdollisia haittapuolia. Lisätavoitteena oli tarkastella kanavistojen aiheuttamia erilaisia mitoitustarpeita ja paineenkorotusta. Paineenkorotuksella voi olla suuria vaikutuksia etenkin tilanvarauksiin ja kustannuksiin, siksi koen tärkeänä aiheena sen käsitellyn. Lisäksi aiheena oli myös ilmanvaihdon optimointi, jossa käytiin läpi seikkoja, jotka vaikuttavat ilmanvaihdon tarpeeseen ja kuinka siitä saataisiin suunniteltua mahdollisimman hyvä niin tilaajan kuin käyttäjänkin näkökulmasta. Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää jatkossa sekä opetus että suunnittelutyötä tukevana materiaalina. Hyvin ja käyttäjäkohtaisesti suunniteltu ilmanvaihto ei aiheuta tilaajalle

lisäkustannuksia tai muuta harmia. Toimivuuden lisäksi siinä on huomioitu myös huollettavuus jatkoa ajatellen, jotta puhdas sisäilma voitaisiin taata myös tulevaisuudessa.

Kohteiden ilmanvaihtokanavien mitoituksessa on entisaikoina käytetty vakioitkapainehäviömenetelmää, mutta nykyään sen käyttö on vähäisempää, koska kaikkiin huonetiloihin tarvittaisiin säätöpellit ja äänenvaimentimet ilmanvaihtome-lun minimoimiseksi. Edellä mainitulla menetelmällä ei olisi myöskään täysin var-maa saadaanko kanavalinjan viimeiselle päätelaitteelle tuotua haluttua ilmamää-rää. Ilmanvaihto on mahdollista toteuttaa ilman ylimääräisiä komponentteja takaisinsaanti- tai käsin mitoitusmenetelmällä. Modernilla suunnittelulla varaudu-taan ennakoivasti huonetilojen käyttötarkoituksen muuttumiseen suunnittele-malla väljä kanavisto, jolloin muutostöitä ei tarvitse tehdä niin paljon. Nykyaikana panostetaan rakennuksen energiatehokkuuteen ja suuri osa julkisista rakennus-kohteista noudattaa elinkaarimallia. Ennen kohteiden rakentamista ei dokumen-toitu ja valvottu niin tarkasti, jolloin lopputulos oli heikompilaatuinen. Nykyisin kaikkiin kohteeseen liittyviin päävaiheisiin kiinnitetään erityistä huomiota, jotta voidaan taata turvallinen ja terveellinen lopputulos.

Lähteet

1. Sandberg, E. 2016. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, ilmastointitekniikka osa 1. Helsinki. Talotekniikka-julkaisut Oy.
2. Harju, P. & Matilainen, V. 2001. LVI-tekniikka, Korjausrakentaminen. Helsinki: Opetushallitus, Suomen LVI-liitto.
3. FINVAC ry. 30.11.2019. korjaus 28.1.2020. Opas ilmanvaihdon mitoittamiseen muissa kuin asuinrakennuksissa. https://www.talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/opas_ilmanvaihdon_mitoittukseen_muissa_kuin_asuinrakennuksissa_2019b.pdf. Luettu 12.10.2020
4. LVI 05-10417. 2007. Rakennusten sisäilmaston suunnitteluperusteet. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto ry.
5. Seppänen, O. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
6. Seppänen, O. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki: Suomen LVI- yhdistysten Liitto.
7. RT07-10564. 1995. Rakennuksen sisäilmasto. Rakennustietosäätiö.
8. LVI 30-10333. 2002. Ilmanvaihtolaitteiden äänitekkinen suunnittelu ja äänenvaimennus rakennuksissa. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto.
9. Puhallintekkinen käsikirja. 2007. Fläkt Woods Oy.
10. Halme, A. & Seppänen, O. 2002. Ilmastoinnin äänitekniikka. Helsinki: Suomen LVI-liitto.
11. LVI 30-10529. 2013. Ilmavaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP. LVI-kortisto. Rakennustieto Oy,
12. Säteri, J. & Backman, H. Sisäilmastoseminaari 2009. Helsinki: Sisäilmayhdistys ry, 2009.
13. SFS-käsikirja 103. Ilmastointitekniikka, osa 2. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto, 1992
14. Seppänen, O. & Seppänen, M. 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Espoo: Sisäilmätieto Oy.
15. Seppänen, O. & Seppänen, M. 2007. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Espoo: Sisäilmätieto Oy.
16. FINVAC Ry. 2017. Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet. <https://www.sulvi.fi/wp-content/uploads/2017/11/D2-raporttiluonnos-02112017.pdf>. Ympäristöministeriö. Luettu 11.12.2020
17. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 1009/2017.
18. Sandberg, E. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointitekniikka osa 2. Helsinki. Talotekniikkajulkaisut Oy
19. Rakennusmääräyskokoelman osan D2 (Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto)
20. LVI 30-40008. 1991. Muuttuvailmavirtaiset ilmastointijärjestelmät. Helsinki: Rakennustieto Oy.
21. LVI 05-10627. 2018. Sisäilmastoluokitus 2018. Rakennustieto Oy.
22. Liljeström, K. Loikkanen, O. Salomaa, R. Tilan ulkoilmanvirran mitoitus hiilidioksidikuormituksen perusteella, 28.2.2018. Laskentaopas. Ympäristö-

- ministeriö. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Opas-tilan-ulkoilmavirran-mitoituksesta-hiilidioksidikuormituksen-perusteella_20180228-E961AA41_6DF6_4708_B8D2_0553271D8354-144135.pdf/c287d7c2-6d5c-c426-4f52-9e9eb4eb4974/Opas-tilan-ulkoilmavirran-mitoituksesta-hiilidioksidikuormituksen-perusteella_20180228-E961AA41_6DF6_4708_B8D2_0553271D8354-144135.pdf?t=1603260095807. Luettu 19.11.2020
23. Sisäilmayhdistys ry - Puolueetonta tietoa sisäilmasta, Ilmanvaihdon perusteet. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet>. Luettu 24.11.2020
 24. D2- Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Ympäristöministeriö. 2003
 25. Hengitysliitto. Ilmanvaihtojärjestelmät. <https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat/>. Luettu 21.12.2020
 26. Pietiläinen, J. Kauppinen, T. Kovanen, K. Nykänen, V. Nyman, M. Paiho, S. Peltonen, J. Pihala, H. Kalema, T. Keränen, 2007. ToVa-käsikirja. Rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilman kannalta. VTT. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2007/T2413.pdf>. Luettu 23.12.2020
 27. Harju, P. 2008. Ilmastointitekniikan oppikirja 1. Penan Tieto-Opus Ky.
 28. Svahn, T. 4.10.2016. Advanced HVAC Design. Aalto-yliopisto. https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/370155/mod_folder/content/0/Lecture%203a.pdf?forcedownload=1 Luettu 4.1.2021
 29. Suomen kalenterit. 2020. LVI-kalenteri, Helsinki.
 30. Seppänen, O. Brelih, N. Bertilsson, T. Maripuu, M-L. Lamy, H. Vanden, B. 2012. Rehva guidebook: Design of energy efficient ventilation and air-conditioning systems. Romania.
 31. Enervent Ilmanvaihdon suunnittelu. <https://www.enervent.fi/ilmanvaihdon-suunnittelu-hyvaen-lvi-suunnittelijan-tunnusmerkit/>. Luettu 3.2.2021
 32. Teekkarin LVI-kerho. IDA-ICE -perehdytys.20.01.2020. <https://lvi.ayy.fi/?event=ida-ice-perehdytys-4>. Luettu 11.2.2021
 33. A-INSINÖÖRIT. Rakennusten paine-erojen mittausohje -projektin loppuraportti. 14.10.2019. https://www.talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/rakennusten_paine-erojen_mittausohje_2019-10-11.pdf. Luettu 11.2.2021
 34. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 1010/2017.
 35. Hilti. TOPTEN -KÄYTÄNTÖJEN JA EUROKOODIEN MUKAINEN KANNATUSSUUNNITTELU. <https://www.hilti.fi/content/hilti/E1/FI/fi/engineering/design-center/modular-support-systems/design-guidelines/top-tenkaytannot.html#nav/close>. Luettu 23.2.2021

Tarkasteltavan rakennussiiven huonetilat

1.krs	102	Toimisto	2.krs	205	Ryhmätila
	103	PVK JOHTO		212	Oppimistila
	109	Ryhmähuone		213	Säh
	110	Ryhmähuone		214	Oppimistila
	111	Ryhmähuone		216	Ryhmätila
	122	Ryhmähuone		217	Ope/Pienryhmä
	123	Ryhmähuone		218	Pienryhmä
	126	Ryhmähuone		219	Pienryhmä
	128	Ryhmähuone		220	Varasto
	129	Ryhmähuone		221	Pienryhmä
	131	Ryhmähuone		222	Pienryhmä
	133	Ryhmähuone		223	Ryhmätila
	134	Ryhmähuone		224	Ryhmätila
				225	Ryhmätila

Tarkasteltava tuloilmakanavaaara dynaamisella mitoituksella

Location	Level	Node	System	Type	Series	Product	Size	L [m]	Insulation	qv [l/s]	v [m/s]	dpt [Pa]	dp/L [Pa/m]	pt [Pa]	pst [Pa]	adj.	Warnings
	Ullakko	720	301TK01	ROOT NODE						2311,1							
	Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-080	800	0,3	EF19P1/19	2311,1	4,6	0	0,26	204	192		
	Ullakko	675	301TK01	BOX			630			2311,1		13		204			
	Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630	0,2		1241,0	4,0	0	0,27	191	182		
	Ullakko	676	301TK01	FLOWDAMPE		IRIS-630	630			1241,0	4,0	20		191		3,9 (L)	
	Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630	0,1		1241,0	4,0	0	0,27	171	162		
	Ullakko		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-063	630			1241,0	4,0	2		171			
	Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630	0,1		1241,0	4,0	0	0,27	169	159		
	Ullakko		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-063	630			1241,0	4,0	2		169			
	Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630	0,0		1241,0	4,0	0	0,27	166	157		
	Ullakko		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-063	630			1241,0	4,0	2		166			
	Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630	0,0		1241,0	4,0	0	0,27	164	154		
	Ullakko		301TK01	BEND-45	PK	BDEB-45-063	630			1241,0	4,0	1		164			
	Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630	0,2		1241,0	4,0	0	0,27	162	153		
	Ullakko		301TK01	BEND-45	PK	BDEB-45-063	630			1241,0	4,0	1		162			
	Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630	3,1		1241,0	4,0	1	0,27	161	152		
	Ullakko		301TK01	ACCESS PAN		Cleaning cove	630			1241,0	4,0			160			
	Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630	3,1		1241,0	4,0	1	0,27	160	151		
	Ullakko		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-063	630		EB60+L50/1	1241,0	4,0	2		159			

Tarkasteltava tuloilmakanavaaera dynaamisella mitoituksella

Location	Level	Node	System	Type	Series	Product	Size	L [m]	Insulation	qv [l/s]	v [m/s]	dpt [Pa]	dp/L [Pa/m]	pt [Pa]	pst [Pa]	adj.	Warnings
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630		0,7	Ei60+L50'i	1241,0	4,0	0	0,27	157	147		
Ullakko		301TK01	ACCESS PAN			Cleaning cove	630		Ei60+L50'i	1241,0	4,0			157			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630		0,5	Ei60+L50'i	1241,0	4,0	0	0,27	157	147		
Ullakko		301TK01	BEND-30	PK	BDEB-30-063	630			Ei60+L50'i	1241,0	4,0	1		157			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630		0,7	Ei60+L50'i	1241,0	4,0	0	0,27	156	146		
Ullakko		301TK01	BEND-30	PK	BDEB-30-063	630			Ei60+L50'i	1241,0	4,0	1		156			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630		1,0	Ei60+L50'i	1241,0	4,0	0	0,27	155	145		
Ullakko		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-063	630			Ei60+L50'i	1241,0	4,0	2		155			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630		0,3	Ei60+L50'i	1241,0	4,0	0	0,27	152	143		
Ullakko		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-063	630			Ei60+L50'i	1241,0	4,0	2		152			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630		0,2	Ei60+L50'i	1241,0	4,0	0	0,27	150	140		
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630		0,3	Ei60+L50'i	1241,0	4,0			150			
Ullakko	677	301TK01	TAP	PK	BDEA-1-063-0630/200				Ei60+L50'i	95,0	3,0	11		150			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-020	200		0,4	Ei60+L50'i	95,0	3,0	0	0,66	139	134		
Ullakko		301TK01	BEND-15	PK	BDEB-15-020	200			Ei60+L50'i	95,0	3,0	0		139			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-020	200		0,3	Ei60+L50'i	95,0	3,0	0	0,66	139	133		
Ullakko		301TK01	BEND-15	PK	BDEB-15-020	200			Ei60+L50'i	95,0	3,0	0		138			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-020	200		0,4	Ei60+L50'i	95,0	3,0	0	0,66	138	132		
Ullakko		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-020	200			Ei60+L50'i	95,0	3,0	2		138			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-020	200		2,4	Ei60+L50'i	95,0	3,0	2	0,66	136	130		
Ullakko		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-020	200			Ei60+L50'i	95,0	3,0	2		134			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-020	200		0,5	Ei60+L50'i	95,0	3,0	0	0,66	132	126		
Ullakko		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-020	200			Ei60+L50'i	95,0	3,0	2		132			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-020	200		0,6	Ei60+L50'i	95,0	3,0	0	0,66	130	124		
Ullakko	738	301TK01	CONN.NODE			200				95,0	3,0			129			
2. kerros	739	301TK01	CONN.NODE			200				95,0	3,0			129			
2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-020	200		0,5		95,0	3,0	0	0,66	129	124		
2. kerros		301TK01	JOINT	PK	BDEB-1-020	200				95,0	3,0			129			
2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-020	200		0,1		95,0	3,0	0	0,66	129	123		
2. kerros	630	301TK01	X-BRANCH	PK	BDEK-1-020-0200/160/125					95,0	3,0	6		129			
2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-012	125		0,3		30,0	2,4	0	0,81	123	119		
2. kerros		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-012	125				30,0	2,4	2		122			
2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-012	125		1,9		30,0	2,4	2	0,81	121	117		
2. kerros		301TK01	REDUCER	PK		125/100				30,0	2,4	0		119			
2. kerros	631	301TK01	FLOWDAMPE		ECSS-1-100-	100 (L)				30,0	3,8	65		119			
2. kerros		301TK01	REDUCER	PK		125/100				30,0	3,8	2		54			
2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-012	125		0,1		30,0	2,4	0	0,81	53	49		
2. kerros	632	301TK01	SILENCER		BDEB-73-012	125				30,0	2,4	6		53			
2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-012	125		1,9		30,0	2,4	2	0,81	47	43		
2. kerros	633	301TK01	T-BRANCH	PK	BDET-1-012-0125/125					30,0	2,4	4		45			

Tarkasteltava tuloilmanavahaara dynaamisella mitoituksella

Location	Level	Node	System	Type	Series	Product	Size	L [m]	Insulation	qv [l/s]	v [m/s]	dpt [Pa]	dp/L [Pa/m]	pt [Pa]	pst [Pa]	adj.	Warnings
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-012	125	0,1		30,0	2,4	0	0,81	41	37		
	2. kerros		301TK01	REDUCER	PK		125			30,0	2,4			41			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-012	125	1,1		30,0	2,4	1	0,81	41	37		
	2. kerros	634	301TK01	SUPPLY		EAGLE Cb 16 125 (L)				30,0	2,4	40		40	59		
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-012	125	0,1						45	45		
	2. kerros		301TK01	PLUG+AP	PK	Cleaning cove 125								45			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-016	160	0,5		65,0	3,2	1	0,99	122	116		
	2. kerros	635	301TK01	FLOWDAMPE		ULDA-5-160	160			65,0	3,2	59		121	62		
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-016	160	1,9		65,0	3,2	2	0,99	63	56		
	2. kerros	636	301TK01	T-BRANCH	PK	BDET-1-016-0/160/160				65,0	3,2	8		61			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-016	160	0,6		65,0	3,2	1	0,99	53	47		
	2. kerros		301TK01	BEND-15	PK	BDEB-15-016	160			65,0	3,2	0		52			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-016	160	0,1		65,0	3,2	0	0,99	52	46		
	2. kerros		301TK01	BEND-15	PK	BDEB-15-016	160			65,0	3,2	0		52			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-016	160	0,2		65,0	3,2	0	0,99	52	45		
	2. kerros	637	301TK01	SILENCER		BDEB-73-016	160			65,0	3,2	11		51			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-016	160	0,5		65,0	3,2	1	0,99	41	34		
	2. kerros	638	301TK01	SUPPLY		EAGLE Cb 20 160 (L)				65,0	3,2	40		40	34		
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-016	160	0,5						61	61		
	2. kerros		301TK01	PLUG+AP	PK	Cleaning cove 160								61			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-020	200	0,2						129	129		
	2. kerros		301TK01	PLUG+AP	PK	Cleaning cove 200								129			

Tarkasteltava tuloilmakanavahaara staattisella mitoituksella

Location	Level	Node	System	Type	Series	Product	Size	L [m]	Insulation	qv [l/s]	v [m/s]	dpt [Pa]	dp/L [Pa/m]	pt [Pa]	pst [Pa]	adj.	Warnings
	Ullakko	720	301TK01	ROOT NODE						2311,1							
	Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-080	800	0,3	EF19P1/19	2311,1	4,6	0	0,26	204	192		
	Ullakko	675	301TK01	BOX			630			2311,1		13		204			
	Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630	0,2		1241,0	4,0	0	0,27	191	182		
	Ullakko	676	301TK01	FLOWDAMPE		IRIS-630	630			1241,0	4,0	20		191		3,9 (L)	
	Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630	0,1		1241,0	4,0	0	0,27	171	162		
	Ullakko		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-063	630			1241,0	4,0	2		171			
	Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630	0,1		1241,0	4,0	0	0,27	169	159		
	Ullakko		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-063	630			1241,0	4,0	2		169			
	Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630	0,0		1241,0	4,0	0	0,27	166	157		
	Ullakko		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-063	630			1241,0	4,0	2		166			
	Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630	0,0		1241,0	4,0	0	0,27	164	154		
	Ullakko		301TK01	BEND-45	PK	BDEB-45-063	630			1241,0	4,0	1		164			
	Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630	0,2		1241,0	4,0	0	0,27	162	153		
	Ullakko		301TK01	BEND-45	PK	BDEB-45-063	630			1241,0	4,0	1		162			
	Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630	3,1		1241,0	4,0	1	0,27	161	152		
	Ullakko		301TK01	ACCESS PAN		Cleaning cove	630			1241,0	4,0			160			
	Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630	3,1		1241,0	4,0	1	0,27	160	151		
	Ullakko		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-063	630		EF10+L50/1	1241,0	4,0	2		159			

Tarkasteltava tuloilmakanavahaara staattisella mitoituksella

Location	Level	Node	System	Type	Series	Product	Size	L [m]	Insulation	qv [l/s]	v [m/s]	dpt [Pa]	dp/L [Pa/m]	pt [Pa]	pst [Pa]	adj.	Warnings
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630		0,7	E80+L50/I	1241,0	4,0	0	0,27	157	147		
Ullakko		301TK01	ACCESS PAN			Cleaning cove 630			E80+L50/I	1241,0	4,0			157			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630		0,5	E80+L50/I	1241,0	4,0	0	0,27	157	147		
Ullakko		301TK01	BEND-30	PK	BDEB-30-063	630			E80+L50/I	1241,0	4,0	1		157			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630		0,7	E80+L50/I	1241,0	4,0	0	0,27	156	146		
Ullakko		301TK01	BEND-30	PK	BDEB-30-063	630			E80+L50/I	1241,0	4,0	1		156			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630		1,0	E80+L50/I	1241,0	4,0	0	0,27	155	145		
Ullakko		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-063	630			E80+L50/I	1241,0	4,0	2		155			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630		0,3	E80+L50/I	1241,0	4,0	0	0,27	152	143		
Ullakko		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-063	630			E80+L50/I	1241,0	4,0	2		152			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630		0,2	E80+L50/I	1241,0	4,0	0	0,27	150	140		
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630		0,3	E80+L50/I	1241,0	4,0			150			
Ullakko	677	301TK01	TAP	PK	BDEA-1-063-0630/200				E80+L50/I	95,0	3,0	11		150			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-020	200		0,4	E80+L50/I	95,0	3,0	0	0,66	139	134		
Ullakko		301TK01	BEND-15	PK	BDEB-15-020	200			E80+L50/I	95,0	3,0	0		139			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-020	200		0,3	E80+L50/I	95,0	3,0	0	0,66	139	133		
Ullakko		301TK01	BEND-15	PK	BDEB-15-020	200			E80+L50/I	95,0	3,0	0		138			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-020	200		0,4	E80+L50/I	95,0	3,0	0	0,66	138	132		
Ullakko		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-020	200			E80+L50/I	95,0	3,0	2		138			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-020	200		2,4	E80+L50/I	95,0	3,0	2	0,66	136	130		
Ullakko		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-020	200			E80+L50/I	95,0	3,0	2		134			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-020	200		0,5	E80+L50/I	95,0	3,0	0	0,66	132	126		
Ullakko		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-020	200			E80+L50/I	95,0	3,0	2		132			
Ullakko		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-020	200		0,6		95,0	3,0	0	0,66	130	124		
Ullakko	738	301TK01	CONN.NODE			200				95,0	3,0			129			
2. kerros	739	301TK01	CONN.NODE			200				95,0	3,0			129			
2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-020	200		0,5		95,0	3,0	0	0,66	129	124		
2. kerros		301TK01	JOINT	PK	BDEB-1-020	200				95,0	3,0			129			
2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-020	200		0,1		95,0	3,0	0	0,66	129	123		
2. kerros	630	301TK01	X-BRANCH	PK	BDEX-1-020-0200/160/125					95,0	3,0	6		129			
2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-012	125		0,3		30,0	2,4	0	0,81	123	119		
2. kerros		301TK01	BEND-90	PK	BDEB-90-012	125				30,0	2,4	2		122			
2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-012	125		1,9		30,0	2,4	2	0,81	121	117		
2. kerros		301TK01	REDUCER	PK		125/100				30,0	2,4	0		119			
2. kerros	631	301TK01	FLOWDAMPE		ECSS-1-100-	100 (L)				30,0	3,8	65		119			
2. kerros		301TK01	REDUCER	PK		125/100				30,0	3,8	2		54			
2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-012	125		0,1		30,0	2,4	0	0,81	53	49		
2. kerros	632	301TK01	SILENCER		BDER-73-012	125				30,0	2,4	6		53			
2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-012	125		1,9		30,0	2,4	2	0,81	47	43		
2. kerros	633	301TK01	T-BRANCH	PK	BDET-1-012-0125/125					30,0	2,4	4		45			

Tarkasteltava tuloilmakanavaaara staattisella mitoituksella

Location	Level	Node	System	Type	Series	Product	Size	L [m]	Insulation	qv [l/s]	v [m/s]	dpt [Pa]	dp/L [Pa/m]	pt [Pa]	pst [Pa]	adj.	Warnings
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-012	125	0,1		30,0	2,4	0	0,81	41	37		
	2. kerros		301TK01	REDUCER	PK		125			30,0	2,4			41			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-012	125	1,1		30,0	2,4	1	0,81	41	37		
	2. kerros	634	301TK01	SUPPLY		EAGLE Cb 16 125 (L)				30,0	2,4	40		40	59		
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-012	125	0,1						45	45		
	2. kerros		301TK01	PLUG+AP	PK	Cleaning cove 125								45			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-016	160	0,5		65,0	3,2	1	0,99	122	116		
	2. kerros	635	301TK01	FLOWDAMPE		ULDA-S-160	160			65,0	3,2	59		121	62		
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-016	160	1,9		65,0	3,2	2	0,99	63	56		
	2. kerros	636	301TK01	T-BRANCH	PK	BDET-1-016-0160/160				65,0	3,2	8		61			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-016	160	0,6		65,0	3,2	1	0,99	53	47		
	2. kerros		301TK01	BEND-15	PK	BDEB-15-016 160				65,0	3,2	0		52			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-016	160	0,1		65,0	3,2	0	0,99	52	46		
	2. kerros		301TK01	BEND-15	PK	BDEB-15-016 160				65,0	3,2	0		52			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-016	160	0,2		65,0	3,2	0	0,99	52	45		
	2. kerros	637	301TK01	SILENCER		BDER-73-016 160				65,0	3,2	11		51			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-016	160	0,5		65,0	3,2	1	0,99	41	34		
	2. kerros	638	301TK01	SUPPLY		EAGLE Cb 20 160 (L)				65,0	3,2	40		40	34		
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-016	160	0,5						61	61		
	2. kerros		301TK01	PLUG+AP	PK	Cleaning cove 160								61			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-020	200	0,2						129	129		
	2. kerros		301TK01	PLUG+AP	PK	Cleaning cove 200								129			

Tarkasteltava tuloilmakanavahaara käsin mitoituksella

Location	Level	Node	System	Type	Series	Product	Size	L [m]	Insulation	qv [l/s]	v [m/s]	dpt [Pa]	dp/L [Pa/m]	pt [Pa]	pst [Pa]	adj.	Warnings
Ullakko		720	301TK01	ROOT NODE						2311,1							
Ullakko			301TK01	DUCT	PK		1000 (L)	0,3	EF19P1/19	2311,1	2,9	0	0,09	207	202		
Ullakko		675	301TK01	BOX			630 (L)			2311,1		7		207			
Ullakko			301TK01	DUCT	PK		630 (L)	0,2		1241,0	4,0	0	0,27	200	190		
Ullakko		676	301TK01	FLOWDAMPE		IRIS-630	630 (L)			1241,0	4,0	20		200		3,9 (L)	
Ullakko			301TK01	DUCT	PK		630 (L)	0,1		1241,0	4,0	0	0,27	180	170		
Ullakko			301TK01	BEND-90	PK		630 (L)			1241,0	4,0	2		180			
Ullakko			301TK01	DUCT	PK		630 (L)	0,1		1241,0	4,0	0	0,27	177	168		
Ullakko			301TK01	BEND-90	PK		630 (L)			1241,0	4,0	2		177			
Ullakko			301TK01	DUCT	PK		630 (L)	0,0		1241,0	4,0	0	0,27	175	165		
Ullakko			301TK01	BEND-90	PK		630 (L)			1241,0	4,0	2		175			
Ullakko			301TK01	DUCT	PK		630 (L)	0,0		1241,0	4,0	0	0,27	172	163		
Ullakko			301TK01	BEND-45	PK		630 (L)			1241,0	4,0	1		172			
Ullakko			301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-063	630 (L)	0,2		1241,0	4,0	0	0,27	171	161		
Ullakko			301TK01	BEND-45	PK		630 (L)			1241,0	4,0	1		171			
Ullakko			301TK01	DUCT	PK		630 (L)	3,1		1241,0	4,0	1	0,27	169	160		
Ullakko			301TK01	ACCESS PAN		Cleaning cove	630 (L)			1241,0	4,0			169			
Ullakko			301TK01	DUCT	PK		630 (L)	3,1		1241,0	4,0	1	0,27	169	159		
Ullakko			301TK01	BEND-90	PK		630 (L)		Ei60+L50/1	1241,0	4,0	2		168			

Tarkasteltava tuloilmakanavahaara käsin mitoituksella

Location	Level	Node	System	Type	Series	Product	Size	L [m]	Insulation	qv [l/s]	v [m/s]	dpt [Pa]	dp/L [Pa/m]	pt [Pa]	pst [Pa]	adj.	Warnings
			301TK01	DUCT	PK		630 (L)	0,7	Ei80+L50/i	1241,0	4,0	0	0,27	165	156		
			301TK01	ACCESS PAN		Cleaning cove	630 (L)		Ei80+L50/i	1241,0	4,0			165			
			301TK01	DUCT	PK		630 (L)	0,5	Ei80+L50/i	1241,0	4,0	0	0,27	165	156		
			301TK01	BEND-30	PK		630 (L)		Ei80+L50/i	1241,0	4,0	1		165			
			301TK01	DUCT	PK		630 (L)	0,7	Ei80+L50/i	1241,0	4,0	0	0,27	164	155		
			301TK01	BEND-30	PK		630 (L)		Ei80+L50/i	1241,0	4,0	1		164			
			301TK01	DUCT	PK		630 (L)	1,0	Ei80+L50/i	1241,0	4,0	0	0,27	163	154		
			301TK01	BEND-90	PK		630 (L)		Ei80+L50/i	1241,0	4,0	2		163			
			301TK01	REDUCER	PK		630/500			1241,0	4,0	1		161			
			301TK01	DUCT	PK		500 (L)	0,2	Ei80+L50/i	1241,0	6,3	0	0,84	160	136		
			301TK01	BEND-90	PK		500 (L)		Ei80+L50/i	1241,0	6,3	6		160			
			301TK01	DUCT	PK		500 (L)	0,2	Ei80+L50/i	1241,0	6,3	0	0,84	154	130		
			301TK01	DUCT	PK		500 (L)	0,4	Ei80+L50/i	1241,0	6,3			153			
		677	301TK01	TAP	PK		500/315 (L)		Ei80+L50/i	95,0	1,2	24		153			
			301TK01	DUCT	PK		315 (L)	0,4	Ei80+L50/i	95,0	1,2	0	0,07	129	128		
			301TK01	BEND-15	PK		315 (L)		Ei80+L50/i	95,0	1,2	0		129			
			301TK01	DUCT	PK		315 (L)	0,3	Ei80+L50/i	95,0	1,2	0	0,07	129	128		
			301TK01	BEND-15	PK		315 (L)		Ei80+L50/i	95,0	1,2	0		129			
			301TK01	DUCT	PK		315 (L)	0,2	Ei80+L50/i	95,0	1,2	0	0,07	129	128		
			301TK01	BEND-90	PK		315 (L)		Ei80+L50/i	95,0	1,2	0		129			
			301TK01	DUCT	PK		315 (L)	2,1	Ei80+L50/i	95,0	1,2	0	0,07	129	128		
			301TK01	BEND-90	PK		315 (L)		Ei80+L50/i	95,0	1,2	0		129			
			301TK01	DUCT	PK		315 (L)	0,2	Ei80+L50/i	95,0	1,2	0	0,07	128	127		
			301TK01	BEND-90	PK		315 (L)		Ei80+L50/i	95,0	1,2	0		128			
			301TK01	DUCT	PK		315 (L)	0,5	Ei80+L50/i	95,0	1,2	0	0,07	128	127		
		738	301TK01	CONN.NODE			315 (L)			95,0	1,2			128			
		739	301TK01	CONN.NODE			315 (L)			95,0	1,2			128			
2. kerros			301TK01	DUCT	PK	BDEK-6-031	315 (L)	0,5		95,0	1,2	0	0,07	128	127		
2. kerros			301TK01	JOINT	PK		315 (L)			95,0	1,2			128			
2. kerros			301TK01	DUCT	PK		315 (L)	0,1		95,0	1,2	0	0,07	128	127		
2. kerros	630		301TK01	X-BRANCH	PK		315/250/160 (L)			95,0	1,2	1		128			
2. kerros			301TK01	DUCT	PK		160 (L)	0,2		30,0	1,5	0	0,24	127	125		
2. kerros			301TK01	BEND-90	PK		160 (L)			30,0	1,5	1		126			
2. kerros			301TK01	DUCT	PK		160 (L)	1,9		30,0	1,5	0	0,24	126	124		
2. kerros			301TK01	REDUCER	PK		160/100			30,0	1,5	1		125			
2. kerros	631		301TK01	FLOWDAMPE		ECSS-1-100-	100 (L)			30,0	3,8	75		125			
2. kerros			301TK01	REDUCER	PK		160/100			30,0	3,8	4		50			
2. kerros			301TK01	DUCT	PK		160 (L)	0,1		30,0	1,5	0	0,24	46	45		
2. kerros	632		301TK01	SILENCER		BDER-73-016	160 (L)			30,0	1,5	2		46			
2. kerros			301TK01	DUCT	PK		160 (L)	1,9		30,0	1,5	0	0,24	44	42		

Tarkasteltava tuloilmakanavahaara käsin mitoituksella



Location	Level	Node	System	Type	Series	Product	Size	L [m]	Insulation	qv [l/s]	v [m/s]	dpt [Pa]	dp/L [Pa/m]	pt [Pa]	pst [Pa]	adj.	Warnings
	2. kerros	633	301TK01	T-BRANCH	PK		160/125 (L)			30,0	1,5	2		43			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK		125 (L)	0,1		30,0	2,4	0	0,81	41	37		
	2. kerros		301TK01	REDUCER	PK		125 (L)			30,0	2,4			41			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK		125 (L)	1,1		30,0	2,4	1	0,81	41	37		
	2. kerros	634	301TK01	SUPPLY		EAGLE Cb 16	125 (L)			30,0	2,4	40		40	59		
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK		160 (L)	0,1						43	43		
	2. kerros		301TK01	PLUG+AP	PK	Cleaning cove	160 (L)							43			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK		250 (L)	0,4		65,0	1,3	0	0,11	127	126		
	2. kerros	635	301TK01	FLOWDAMPE		ULDA-5-250	250 (L)			65,0	1,3	71		127	44		
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK		250 (L)	1,9		65,0	1,3	0	0,11	56	55		
	2. kerros	636	301TK01	T-BRANCH	PK		250/160 (L)			65,0	1,3	2		55			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK		160 (L)	0,6		65,0	3,2	1	0,99	53	47		
	2. kerros		301TK01	BEND-15	PK		160 (L)			65,0	3,2	0		52			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK		160 (L)	0,1		65,0	3,2	0	0,99	52	46		
	2. kerros		301TK01	BEND-15	PK		160 (L)			65,0	3,2	0		52			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK		160 (L)	0,2		65,0	3,2	0	0,99	52	45		
	2. kerros	637	301TK01	SILENCER		BDER-73-016	160 (L)			65,0	3,2	11		51			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK		160 (L)	0,5		65,0	3,2	1	0,99	41	34		
	2. kerros	638	301TK01	SUPPLY		EAGLE Cb 20	160 (L)			65,0	3,2	40		40	34		
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK		250 (L)	0,5						55	55		
	2. kerros		301TK01	PLUG+AP	PK	Cleaning cove	250 (L)							55			
	2. kerros		301TK01	DUCT	PK		315 (L)	0,2						128	128		
	2. kerros		301TK01	PLUG+AP	PK	Cleaning cove	315 (L)							128			