

Ari Hynynen

**PAINOVOIMAISEN ILMANVAIHDON SUUNNITTELU OMAKOTI-
TALOON**

PAINOVOIMAISEN ILMANVAIHDON SUUNNITTELU OMAKOTI- TALOON

Ari Hynynen
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Tutkinto-ohjelma, LVI-insinööri

Tekijä(t): Ari Hynynen

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Painovoimaisen ilmanvaihdon suunnittelu omakotitaloon

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Planning of Natural Stack Ventilation to a Private House

Työn ohjaaja(t): Tomi Jäävirta

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2020

Sivumäärä: 39 + 4 liitettä

Vuonna 2018 voimaan astunut rakennuslaki on mahdollistanut painovoimaisen ilmanvaihdon rakentamisen myös uudisrakennuksiin. Rakennuslaista poistettiin vaatimus ilmanvaihtolaitteiston lämmöntalteenotolle. Kempeleeseen on suunnitella hirsirakenteinen omakotitalo, johon on tavoitteena rakentaa painovoimainen ilmanvaihto. Tilaajan tarkoitus on saada toteutuksella aikaiseksi mahdollisimman huoltovapaa, pitkäikäinen ilmanvaihtojärjestelmä heikentämättä hyvän sisäilman laatua.

Sisäilman laatua ja ilmanvaihdon toimivuutta arvioitiin simuloimalla luonnoskuvan pohjalta tehtyä 3D-mallia IDA ICE -ohjelmistolla. Tulo- ja poistoilmavirrat mitoitettiin ympäristöministeriön antaman asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitusoppaan mukaisesti. Tässä työssä kuvataan painovoimaisen ilmanvaihdon suunnittelun perusteita, laskentaa ja esitetään yksi ratkaisumalli toteutukselle simulaation perusteella.

Paine-erolaskennan ja ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelun mitoituslämpötiloina käytettiin painovoimaisen ilmanvaihdon suunnitteluoppaan arvoja. Mitoituskäyttövoimapaine määritettiin korvausilmaventtiin ja poistoilmahormin poistoaukon 4,5 m:n korkeuserolle. Poistoilmahormiksi valittiin Schiedel Rondo -hormi keramisella hormielementillä sen kosteudensitominaisuuksien, tiilihormia tehokkaamman tilankäytön ja kohtuullisen painehäviön vuoksi.

Asiasanat: painovoimainen ilmanvaihto, paine-ero, käyttövoima, simulaatio, IDA ICE

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	5
2 PAINOVOIMAINEN ILMANVAIHTO	6
2.1 Poistoilmahormin käyttövoima	9
2.2 Suorakaiteen muotoinen poistoilmahormi	12
2.3 Pyöreä poistoilmahormi	13
3 ILMANVAIHDON SUUNNITTELU	14
3.1 Mitoitus	15
3.2 Hormin valinta	18
3.3 Poistoilman virtauksen rajoittaminen	19
3.4 Tuloilmalaitteen valinta	20
3.5 Tuloilman suodatus	22
3.6 Takaisinvirtaus	23
4 SIMULAATIO IDA ICE -OHJELMISTOLLA	25
4.1 Oletusasetusten syöttäminen	25
4.2 Mallin rakentaminen	26
4.3 Ilmanjako	27
4.4 Simulaation tulokset	31
5 YHTEENVETO	36
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Vuoden 2018 alussa voimaan astunut uudistettu rakennuslaki on mahdollistanut painovoimaisen ilmanvaihdon rakentamisen myös uudisrakennuksiin. Rakennuslaista poistettiin tuolloin vaatimus ilmanvaihtolaitteiston lämmöntalteenotolle. Aiemmin vaatimuksena ollut ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenotto ja sen aiheuttama painehäviö käytännössä esti uusien painovoimaisten ilmanvaihtoratkaisujen rakentamisen.

Kempeleeseen on suunnitteilla hirsirakenteinen omakotitalo, johon on tavoitteena rakentaa painovoimainen ilmanvaihto. Tarkoituksena on saada toteutuksella aikaiseksi mahdollisimman huoltovapaa, pitkäikäinen ilmanvaihtojärjestelmä heikentämättä hyvää sisäilman laatua. Huoltovapaassa ratkaisussa toivottiin olevan mahdollisimman vähän sähkökäyttöisiä laitteita, jotka voisivat vikaantuessaan aiheuttaa järjestelmän toimimattomuuden.

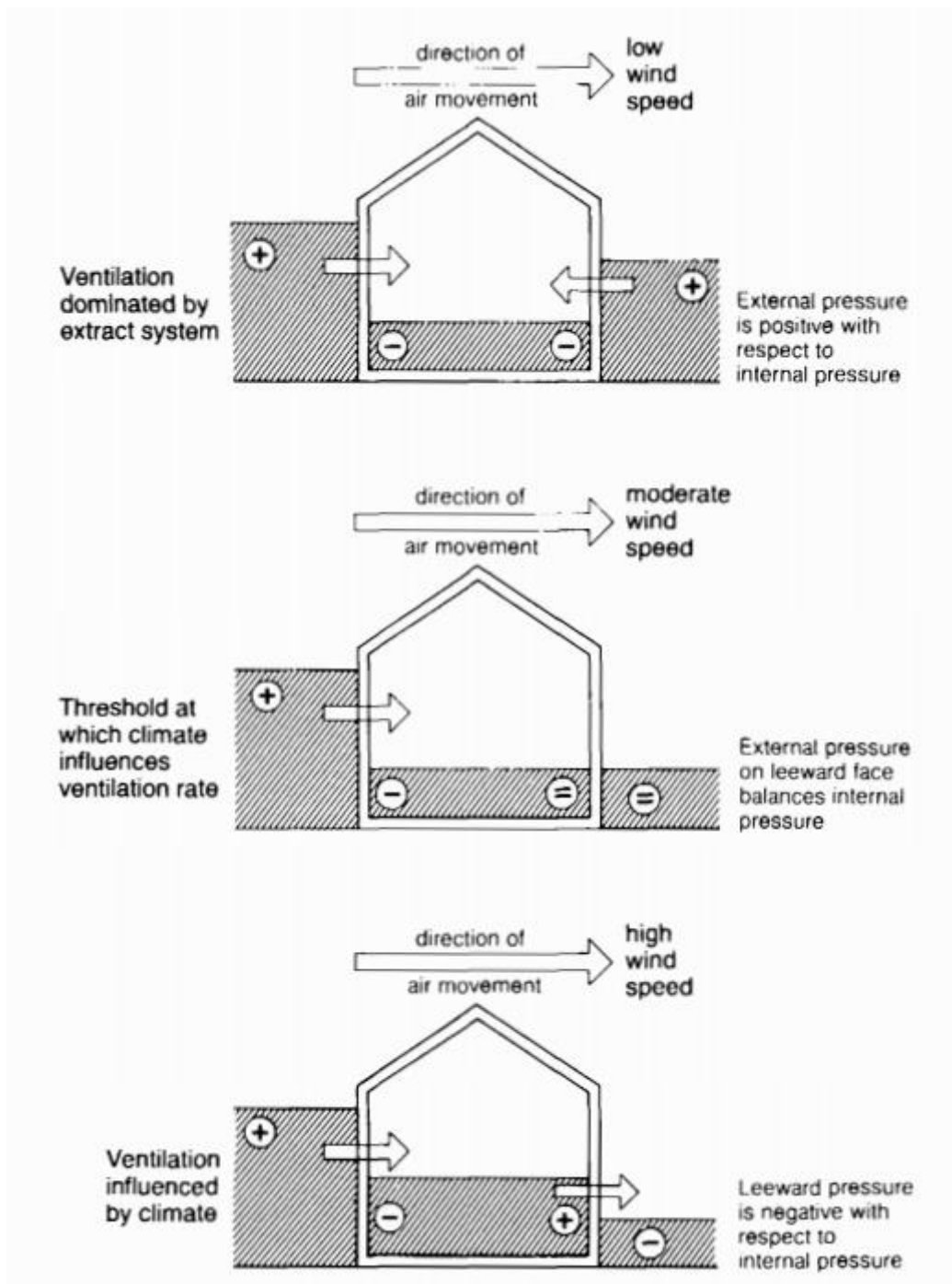
Työssä tutkittiin painehäviöitä erikokoisissa ja eri materiaalisissa poistoilmahormeissa sekä arvioitiin erilaisten tuloilmalaitteiden välisiä eroja. Sisäilman laatua ja ilmanvaihdon toimivuutta arvioitiin simuloimalla luonnoskuvan pohjalta tehtyä 3D-mallia IDA ICE -ohjelmistolla. Tulo- ja poistoilmavirrat mitoitettiin ympäristöministeriön antaman asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitusoppaan mukaisesti.

2 PAINOVOIMAINEN ILMANVAIHTO

Painovoimainen ilmanvaihto perustuu savupiippuvaikutukseen, jossa lämmennyt tiheydeltään pienentynyt ilma pyrkii nousemaan ylös, jolloin rakennuksen yläosa ylipaineistuu. Ylipaineisen lämpimän ilman poistuessa poistoilmareittien kautta rakennuksen yläosasta muodostuu rakennuksen alaosaan alipaineinen tila. Tämä alipaineinen tila täyttyy korvausilma reittien kautta tuloilmalla. Tämän lisäksi painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaan vaikuttaa oleellisesti poisto- ja tuloilmareittien korkeusero: suurempi korkeusero parantaa järjestelmän toimintaa.

Kylmä ilma on lämmintä ilmaa tiheämpää ja siksi painovoimainen ilmanvaihto toimii tehokkaimmin pakkasella. Kesällä ulkoilma saattaa olla sisäilmaa lämpimämpää, jolloin paine-ero kääntyy negatiiviseksi (1, s. 114). Tästä voi seurata ei-toivottua ilmavirran takaisinvirtausta, jolloin epäpuhdasta ilmaa pääsee rakennukseen savu-/poistoilmahormin kautta.

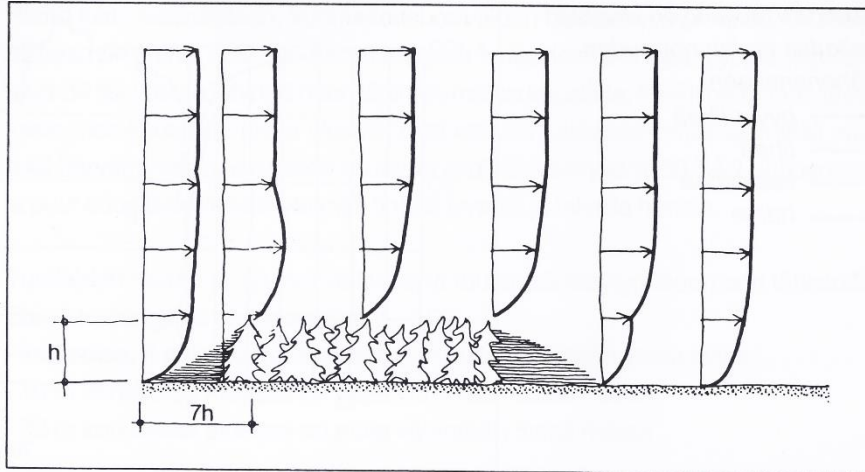
Tuulella on oma vaikutuksensa painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaan, minkä vuoksi rakennuksen muodolla ja rakennuspaikalla on merkitystä painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuuteen. Kuvassa 1 on visualisoitu, kuinka tuulesta aiheutuvat painesuhteet voivat vaihdella voimakkaasti rakennuksen ympärillä. Rakennuksen suojan puolelle muodostuu alipaine, jonka ilma pyrkii täyttämään, ja tuulenpuolella on samaan aikaan ylipaine (1, s. 45), jolloin voi aiheutua ilmavirtauksia rakennuksen läpi. Mitä epätiivimpi rakennus on, sitä suurempia nämä tuulen vaikutuksesta syntyvät ilmavirrat ovat. Suotuisissa olosuhteissa tuuli voi aiheuttaa myös takaisinvirtausta, jos tuuli puhaltaa ylhäältä suoraan poistoilmahormin päähän (2, s. 4).



KUVA 1. Tuulen vaikutus rakennuksen painesuhteisiin (3, s. 26)

Tuulen vaikutusta rakennukseen ja sen toimintaan voidaan pienentää sijoittamalla rakennus suojaisaan paikkaan. Käyttämällä metsää tai istutettuja puita ja pensaita tuulilaitana saadaan rakennuksen toimivuudelle luotua suotuisimmat

olosuhteet. Kuvassa 2 nähdään tuuliprofiilin muutos suojaavan metsän läheisyydessä. Lähelle maanpintaa muodostuu lähes tyyni alue, jonka syvyys on noin 7 kertaa metsän korkeus.

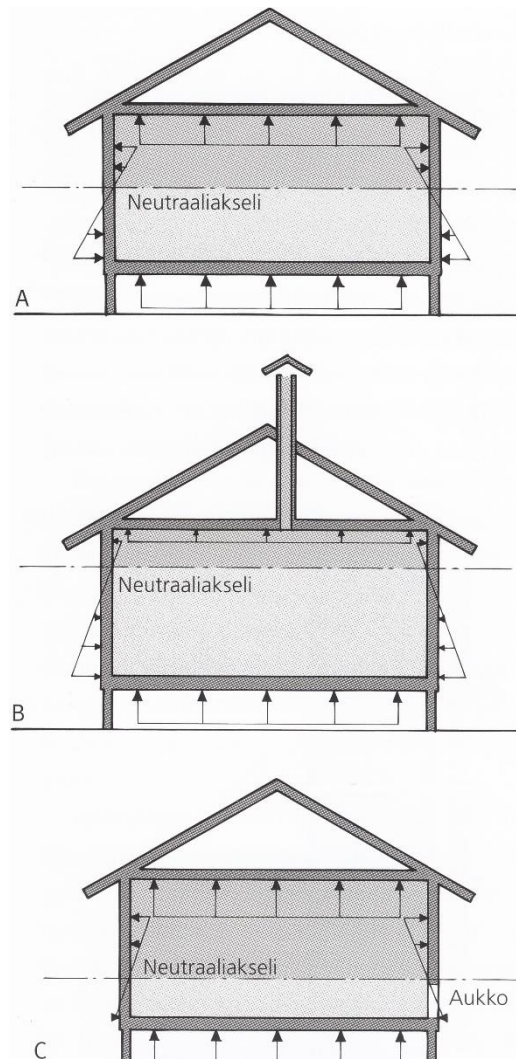


KUVA 2. Tuuliprofiilin muuttuminen metsän kohdalla (4, s. 43)

Paine-ero rakennusta ympäröivän ulkoilman ja sisäilman välillä saa aikaan sen käyttövoiman, jolla painovoimainen ilmanvaihto toimii. Tarkasteltaessa rakennuksen painesuhdetta ympäröivään ulkoilmaan muuttuu rakennuksen neutraaliakselin sijainti korvausilmareittien ja poistoilmahormin korkeuseron suhteessa. Neutraaliaksella tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä kohtaa rakennuksessa, missä sisäpuolen painetaso on sama kuin ulkoilman paine. Kuvan 3 kohdassa A rakennus on täysin suljettu, ja neutraaliakseli sijaitsee silloin rakennuksen keskiaksellilla. Rakennukset joissa rakennusvaipan aukot ovat rakennuksen yläosassa, sijoittuu neutraaliakseli selvästi rakennuksen keskiakselin yläpuolelle kuten kuvan 3 kohdassa B. Vastaavasti jos rakennusvaipan aukot sijoittuvat rakennuksen alosaan, voi neutraaliakseli sijaita huomattavasti huoneen keskiakselin alapuolella (kuva 3 kohta C).

Paineettoman tason sijaintiin vaikuttavat rakennuksen aukotukset, tulisijat hormimeeneen, avoimet ovet ja ikkunat. Ilman lämmitessä rakennuksen sisällä muodostuu rakennuksen yläosaan ylipaine lämmenneen ilman noustessa rakennuksen yläosaan. Tämän ylipaineisen osan korkeus riippuu rakennuksen vaipassa olevien aukkojen korkeusasemasta: mitä alempana aukot ovat, sitä korkeampi

ylipaineinen osa on. Rakennuksen yläosan ylipaineen vuoksi rakenteiden tiiveyteen tulee kiinnittää erityistä huomiota rakennusvaiheessa (5, s. 36.)



KUVA 3. Savupiippuvaikutus (5, s. 36)

2.1 Poistoilmahormin käyttövoima

Poistoilmahormin käyttövoimaan vaikuttavat oleellisesti ulko- ja sisäilman lämpötilaero sekä korvausilmaventtiilin ja poistoilmahormin poistoaukon välinen korkeusero. Käytettävissä oleva korkeusero tulee olla vähintään 4,5 m, jotta horminvaikutus olisi riittävän suuri. (2, s. 10.) Käytettävissä olevalla korkeuserolla tarkoitetaan sitä korkeutta, joka on tuloilma-aukon suulta poistoilmahormin suulle. Poistoilmahormin käyttövoima saadaan käytettävissä olevasta sisä- ja ulkoilman lämpötilaerosta ja se lasketaan kaavalla 1 (1, s. 114).

$$\Delta p = \frac{T_{sisä} - T_{ulko}}{T_{ulko}} * \rho_{i sisä} * g * h$$

KAAVA 1

Δp = käyttövoima paine [Pa]

$T_{sisä}$ = sisäilman termodynaaminen lämpötila [K]

T_{ulko} = ulkoilman termodynaaminen lämpötila [K]

$\rho_{i sisä}$ = sisäilman tiheys [kg/m³]

g = maan vetovoimakiinnyvyys [m/s²]

h = korvausilma-aukon ja poistoilmahormin poistoaukon välinen korkeusero

Käyttövoima voidaan vaihtoehtoisesti laskea suoraan sisä- ja ulkoilman tiheyksistä kaavalla 2 (1, s. 114).

$$\Delta p = (\rho_{i ulko} - \rho_{i sisä}) * g * h$$

KAAVA 2

Δp = käyttövoima paine [Pa]

$\rho_{i ulko}$ = ulkoilman tiheys [kg/m³]

$\rho_{i sisä}$ = sisäilman tiheys [kg/m³]

g = maan vetovoimakiinnyvyys [m/s²]

h = korvausilma-aukon ja poistoilmahormin poistoaukon välinen korkeusero

Ilman tiheys tietyssä lämpötilassa saadaan laskettua ideaalikaasun tilanyhtälöstä johdetulla kaavalla 3 (6, s. 43).

$$\rho = \frac{pM}{RT}$$

KAAVA 3

ρ = ilman tiheys [kg/m³]

p = ilman paine [Pa]

M = ilman moolimassa [kg/mol]

R = moolinen kaasuvakio [J/(mol*K)]

T = ilman termodynaaminen lämpötila [K]

Ilman tiheyteen vaikuttaa lämpötilan lisäksi sen sisältämä kosteus eli vesihöyry. Verrattaessa kuivan ilman moolimassaa 28,96 g/mol vesihöyryn moolimassaan 18,02 g/mol havaitaan vesihöyryn olevan keveämpää. Sekoittaessa kuivaan ilmaan vesihöyryä seoksen tiheys pienenee, mistä johtuen ilmankosteus tehostaa savupiippuvaikutusta.

Poistoilmahormin painehäviöön vaikuttavat kanavan materiaalin ja muodon lisäksi sisäänvirtauksen ja ulosvirtauksen kertavastukset. Laminaarisen virtauksen kitkavastus voidaan laskea kaavalla 4.

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad \text{KAAVA 4}$$

λ = kanavan kitkavastus [-]

Re = Reynoldsin luku [-]

Kanavan kitkavastus turbulenttiselle virtaukselle voidaan laskea likimäärin D.S. Millerin yhtälöllä, kaavalla 5 (7, s. 191).

$$\lambda = \frac{0,25}{\left[\log\left(\frac{k}{3,7*d_h} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right)\right]^2} \quad \text{KAAVA 5}$$

λ = kanavan kitkavastus [-]

k = kanavan pinnankarheus [m]

d_h = kanavan hydraulinen halkaisija [m]

Re = Reynoldsin luku [-]

Reynoldsin luku (kaava 5) kuvaa virtauksen laatua. Virtaus voi olla laminaarinen, turbulenttinen tai näiden välisellä siirtymävyöhykkeellä jotain niiden välistä. Virtaus katsotaan laminaariseksi, kun Reynoldsin luku on pienempi kuin 2000 ja turbulenttiseksi luvun ollessa yli 3000. Näiden välistä epästabiilia aluetta kutsutaan siirtymävyöhykkeeksi (8, s. 336.)

$$Re = \frac{v \cdot d_h}{\nu}$$

KAAVA 6

$Re = \text{Reynoldsin luku [-]}$

$v = \text{ilman virtausnopeus [m/s]}$

$d_h = \text{kanavan hydraulinen halkaisija [m]}$

$\nu = \text{ilman kinemaattinen viskositeetti } 15,11 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{/s]}$

Ilman virtausnopeus saadaan laskettua kaavalla 7 (9, s. 88).

$$v = \frac{q_v}{A}$$

KAAVA 7

$q_v = \text{ilman tilavuusvirta [m}^3\text{/s]}$

$A = \text{hormin poikkipinta-ala [m}^2\text{]}$

2.2 Suorakaiteen muotoinen poistoilmahormi

Vanhoissa rakennuksissa painovoimaisen ilmanvaihdon poistoilmahormit on rakennettu yleisimmin tiilistä muuraamalla ja joissain rakennuksissa hormit on rakennettu jopa puusta. Tiilihormien koko määräytyy normaalisti tiilenkoon mukaan joko 1/2-kiven, 3/4-kiven tai koko kiven hormiin. Hormien mitat ovat näissä 150 x 150 mm, 150 x 220 mm ja 150 x 290 mm. Muuratut tiilihormit rapataan sisäpinnaltaan sileiksi, jotta pinnankarheuden aiheuttama kitka tulisi mahdollisimman pieneksi (2, s. 11). Tyypillisesti käytetty pinnankarheudenarvo k raakamuuratulle hormille on 5,0 - 8,0 mm ja rapatulle hormille 2,0 - 3,0 mm.

Suorakaiteen muotoisen hormin virtaus on tyypillisesti huonompi kuin saman poikkipinta-alan pyöreässä hormissa. Tähän on syynä suorakaiteen muotoisen hormin pienempi hydraulinen halkaisija verrattaessa poikkipinta-alaltaan samankokoiseen pyöreään hormiin. Suorakaidehormin hydraulinen halkaisija lasketaan kaavalla 8. Laskemalla kokokiven hormin hydraulinen halkaisija voidaan havaita sen vastaavan halkaisijaltaan 198 mm:n pyöreää kanavaa. Poikkipinta-alojen osalta kokokiven hormi on 28 % suurempi kuin pyöreä 200 mm:n hormi.

$$d_h = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}$$

KAAVA 8

a ja b = kanavan sivujen pituudet [m]

2.3 Pyöreä poistoilmahormi

Yleisimmät pyöreät ilmanvaihtokanavat valmistetaan teräksestä tai muovista. Valmistajista esimerkiksi Tiileri (kuva 4) on tuonut markkinoille muurattavan tiiliharkkohormin, missä hormi on sisältä pyöreä. Tässä kohteessa käytettiin vaihtoehtoisena pyöreänä kanavamateriaalina Schiedel Rondo Plusaa keraamisella hormielementillä, jonka pinnankarheusarvona käytetään betonisen slammatun putken arvoa 0,3 - 0,6 mm kierresaumatun peltikanavan yleisen pinnankarheuden ollessa 0,15 mm (9, s. 90). Pyöreän kanavan kitkavastus lasketaan kaavalla 4.



KUVA 4. Tiileri-tiiliharkkohormin mallit

3 ILMANVAIHDON SUUNNITTELU

Rakennusten ilmanvaihdon suunnittelua ohjaa ympäristöministeriön antama asetus 1009/2017 uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta sekä painovoimaisen ilmanvaihdon opas. Asetuksessa määrätään, että asuinpinta-alaa kohden laskettu ulkoilmavirta tulee olla lattianeliömetriä kohden vähintään $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}$ (10, s. 5). Suunnitteilla olevan rakennuksen pohjapinta-ala on luonnoskuvissa noin 94 m^2 , jolloin pienin mitoitettava kokonaispoistoilmavirta olisi $94 \text{ m}^2 \times 0,35 \text{ dm}^3/\text{s} = 32,9 \text{ dm}^3/\text{s}$. Tähän kohteeseen tilakohtaisesti mitoitettut ilmavirrat löytyvät taulukosta 1.

TAULUKKO 1. Mitoitettut tulo- ja poistoilmavirrat

	$Q_v, \text{ tulo}$	$Q_v, \text{ poisto}$
	$[\text{dm}^3/\text{s}]$	$[\text{dm}^3/\text{s}]$
MH1	12	
MH2	8,5	
MH3	8,5	
WC1		7
PH		12
OH	15	15
K		10
Σ	44	44

Tilaaajan toive oli saada makuutilat rajattua oleskelutilasta omaksi rauhalliseksi alueekseen, mikä asettaa äänitekniisiä rajoituksia siirtoilmalaitteille. Koska painovoimaisen ilmanvaihdon käytettävissä oleva paine-ero jää pieneksi, tulee siirtoilmalaitteen paine-eron olla alle $0,5 \text{ Pa}$. Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi siirtoilmalaitteena käytettävän oviraon pinta-alan tulee olla vähintään 200 cm^2 tai $50 \text{ cm}^2 / 1 \text{ dm}^3/\text{s}$. Suunnittelussa on tärkeää huomata, että suorakaiteen muotoisen aukon painehäviö on suurempi kuin neliskanttisen. (2, s. 8.) Suuresta oviraosta johtuen tilojen välistä äänen kulkeutumista voi olla vaikeaa rajoittaa. Äänen siirtymistä oleskelutiloista makuutiloihin voidaan kuitenkin rajoittaa jakamalla tiloja erillisiin palvelualueisiin. Pohjakuvan ja tilakohtaisten ilmamäärien pohjalta suunnitellut poistoilmahormien palvelualueet on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Poistoilmahormien palvelualueet

Palvelualue	Tila	Poistoilmavirta (dm ³ /s)
1	Olohuone	15
2	Keittiö, WC1, makuuhuone 2, makuuhuone 3	17
3	Pesuhuone, makuuhuone 1	12

Painovoimaisen ilmanvaihdon suunnitteluoppaan mukaan (taulukko 3) halkaisijaltaan 200 mm pyöreän kanavan suurin mitoitettava ilmavirta yksikerroksisessa rakennuksessa on 9 dm³/s. Edellä mainitusta syystä mitoitetaan jokaista palvelualueetta kohti kaksi hormia.

Liesituulettimen käyttö keittiön ilmanvaihdon tehostustilanteessa saattaa aiheuttaa ei-toivottua takaisinvirtausta savu-/poistoilmahormeissa, mistä johtuen liesituulettimen käytön aikana tulisi tuuletusikkuna/-luukku avata korvausilman riittävyyden takaamiseksi.

3.1 Mitoitus

Mitoitukseen vertailtiin eri kanavavaihtoehtoja ja vertailuissa käytettiin painovoimaisen ilmanvaihto-oppaan taulukossa 3 esitettyä, kunkin kanavakoon ilmoitettua suurinta ilmavirtaa.

TAULUKKO 3. Suurin ilmavirta, joka voidaan mitoittaa poistoilmahormille, kun ulkoilma- ja siirtoilmalaitteen sekä poistoventtiilin yhteenlaskettu painehäviö on korkeintaan 1,5 Pa. (2, s. 9)

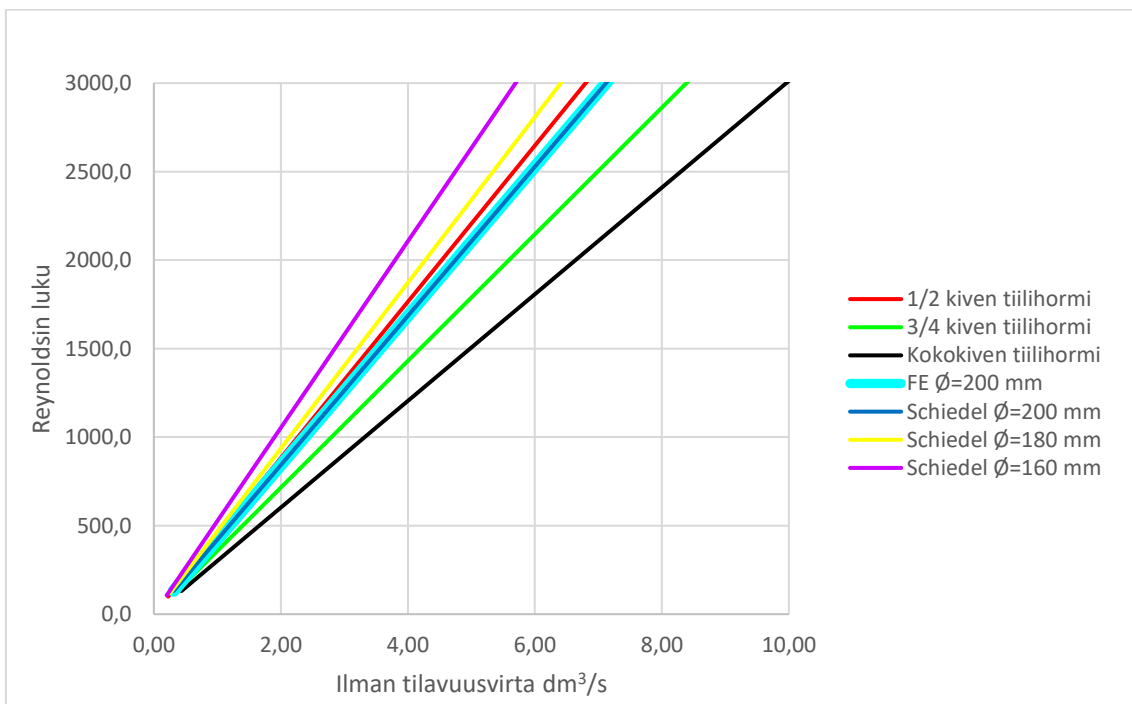
Mitoituslämpötilat: ulkolämpötila +10 °C (sisälämpötila +21 °C)							
Hormissa voi olla 3 kappaletta suunnanmuutoksia, kulma on korkeintaan 90°; sivuttaissiirtoa korkeintaan 10 % hormivaikutuksen korkeuserosta.							
Hormivaikutuksen korkeusero vähintään		Muurattu tiilihormi			Kierresaumakanavahormi		
Korkeusero ulkoilma-aukon keskikohdasta poistohormin ulospuhallusaukkoon oltava vähintään ilmoitettu metrimäärä, jotta rivin maksimi-ilmavirta toteutuu.		koko kivi n. 15x29 cm	3/4 kiveä n. 15x22 cm	puoli kiveä n. 15x15 cm	Ø 200 mm	Ø 160 mm	Ø 125 mm
		max. dm ³ /s	max. dm ³ /s	max. dm ³ /s	max. dm ³ /s	max. dm ³ /s	max. dm ³ /s
Seloste	metriä						
Ylimmän kerroksen hormit, yleensä	4	12	9	6	9	6	3
Toiseksi ylimmän kerroksen hormit, yleensä	7	28	20	13	21	13	8
Kolmanneksi ylimmän kerroksen hormit, yleensä	10	36	26	17	27	17	10

Tarkasteltaessa eri hormityyppien välisiä eroja voidaan huomata, että hormin poikkipinta-ala on pienillä ilman virtausnopeuksilla suurin yksittäinen vaikuttava tekijä hormin painehäviöön. Poikkipinta-aloja tarkasteltaessa ¾-kiven hormin ja 180 mm:n Schiedel-hormin voidaan todeta olevan lähes saman kokoisia, kuten on myös ½-kiven hormin ja 160 mm:n Schiedel hormin välillä. Hormien poikkipinta-alat löytyvät taulukosta 4.

TAULUKKO 4. Hormien poikkipinta-alat ja hydrauliset halkaisijat

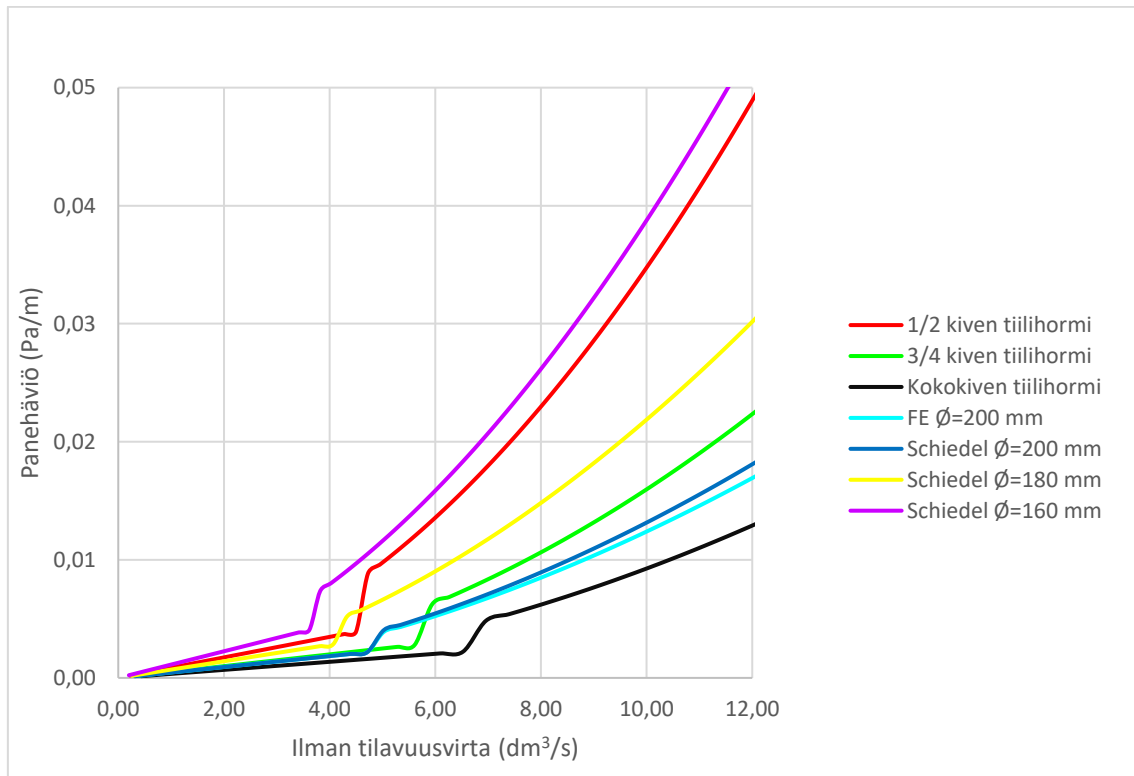
		Koko kivi	¾-kivi	½-kivi	Ø=200 mm	Ø=180 mm	Ø=160 mm
A	[m ²]	0,044	0,033	0,023	0,031	0,025	0,020
d _h	[m]	0,198	0,178	0,150	0,200	0,180	0,160

Kuvassa 5 nähdään Reynoldsin luvun suhde ilman tilavuusvirtaan. Turbulentissa virtauksessa kitkahäviöiden voittamiseen tarvitaan enemmän energiaa kuin laminaarisessa (8, s. 336). Koska poistoilmahormin käyttövoima on pieni, suurempi poikkipinta-ala on painovoimaisen ilmanvaihdon sovelluksissa pienempää suositellumpi.



KUVA 5. Reynoldsin luvun suhde ilman tilavuusvirtaan

Kuvassa 6 on vertailu eri kanavavaihtoehtojen painehäviöistä tilavuusvirran suhteen. Poikkipinta-alaltaan suurimman kokokiven hormin painehäviö on vertailuryhmän pienin, kierresaumakanavan ja suurimman Schiedel-hormin painehäviöt ovat lähes identtiset. Kierresaumakanavan Schiedel-hormia pienempi painehäviö johtuu kanavamateriaalin pienemmästä pinnankarheudesta.



KUVA 6. Hormien painehäviö vertailu.

Julkisivun luonnoskuvasta arvioidaan suunnitellun rakennuksen huonekorkeudeksi noin kolme metriä. Sijoittamalla korvausilmalaitteet tilaajan toivomusten mukaisesti ikkunoiden yläreunan tasalle noin 2 m:n korkeudelle lattiasta saavutetaan 4,5 m:n tavoite korvaus- ja poistoilmakkojen korkeuserosta. Lattialla seisovan hormin kokonaispituus on tällöin vähintään 6,5 m.

Taulukon 5 hormin mitoitustilanteen käyttövoima Δp laskettiin kaavalla 3 ja käytetyt ilman tiheydet laskettiin kaavalla 2 painovoimaisen ilmanvaihto oppaan ulko- ja sisälämpötilojen mukaisesti. Ilman suhteellisena kosteutena tilavuuden määrittämisessä käytettiin 20% RH.

TAULUKKO 5. Hormin käyttövoima mitoitustilanteessa

$\rho_{i \text{ ulko, } +10^{\circ}\text{C}}$	1,2455	[kg/m ³]
$\rho_{i \text{ sisä, } +21^{\circ}\text{C}}$	1,1978	[kg/m ³]
g	9,81	[m/s ²]
h	4,5	[m]
Δp	2,1	[Pa]

3.2 Hormin valinta

Hormin valintaan vaikuttaa moni tekijä, kuten soveltuvuus, asennuksen helppous, tilantarve ja hinta. Vertailtavista hormoneista muurattava tiilihormi on hitain ja kierresaumakanava nopein asentaa. Modulaarisista elementeistä rakennettava Schiedel-hormi asettuu näiden kahden väliin, mutta sen asennusaika on kuitenkin lähempänä tiilihormia.

Vertailtaessa hormien tilantarvetta on selvää, että vaihtoehtoista Schiedel-hormi ja muurattava tiilihormi vievät suurimman lattia pinta-alan ja vastaavasti kierresaumakanavalle ei tarvitse varata lattiapinta-alaa. Muurattavan ½-kiven tiilihormin tilan tarve on noin 410 x 410 mm ja koko kiven 410 x 550 mm. Kahden kokokiven hormin tilan tarve on noin 410 x 970 mm. Vastaavasti suurin yksireikäinen, halkaisijaltaan 200 mm:n sisähormilla oleva Schiedel-hormi tarvitsee 360 x 360 mm lattia alan ja Schiedel-tuplahormi kahdella 200 mm:n sisähormilla 360 x 670 mm.

Poistoilman mukana poistuu aina kosteutta, ja lämpötilaeroista johtuen osa kosteudesta tiivistyy kanavan pintaan. Osa kanavan seinämään tiivistyvistä kosteudesta valuu painovoiman vaikutuksesta kanavan seinämää alas ja saattaa siten aiheuttaa poistoilmaventtiiliä ympäröivään materiaaliin värjäämiä ja siten alentaa asumisviihtyvyyttä.

Schiedel Rondo Plus -hormi on varustettu vuorivillaeristeellä, joka ympäröi keeraamista sisähormia. Vuorivillaeristys yhdistettynä kevytsoraharkkorunkoon parantaa hormin toimintaa, koska ne vähentävät lämmön johtumista hormin rakenteen läpi ympäröivään ulkoilmaan.

Poistoilmahormiksi valittiin Schiedel Rondo Plus ja tilankäytöllisistä syistä käytetään Schiedel Rondo Plus -tuplahormia, jolloin käytetään tarvittaville ilmamäärille pienin mahdollinen lattia-ala. Lisäksi pyöreään hormiin on helpommin asennettavissa virtauksenrajoitin estämään tarpeettoman suurta ilmavirtaa, mikäli sellaista tarvitaan.

3.3 Poistoilman virtauksen rajoittaminen

Poistoilman virtaus voi kasvaa kovilla pakkasilla tarpeettoman suureksi, jolloin voi esiintyä epämiellyttävää vedontunnetta. Poistoilman virtausta voidaan rajoittaa asentamalla poistoilmahormeihin säätölaite, jolla rajoitetaan ilman virtaus asetettuun maksimiarvoon. Markkinoille on tullut uusia säätölaitteita, joissa ilmamäärän mittaus tapahtuu ultraäänisensoreilla. Tämä mittausmenetelmä ei lisää kanaviston painehäviötä. Poistoilmahormin käyttövoima on -32 °C:n pakkasella 11,8 Pa. Esimerkin $\text{Ø } 200\text{ mm:n}$ säätölaitteen painehäviö jo 10°:n säätöasennossa on suurempi kuin käytettävissä oleva paine-ero, joten säätöä on vaikea toteuttaa. Koska valmistajat eivät esitä laitteille ominaiskäyriä tämän käyttökohteen pienille ilmavirroille, ovat ne vain rajoituksin sovellettavissa painovoimaisen ilmanvaihdon säätöön.

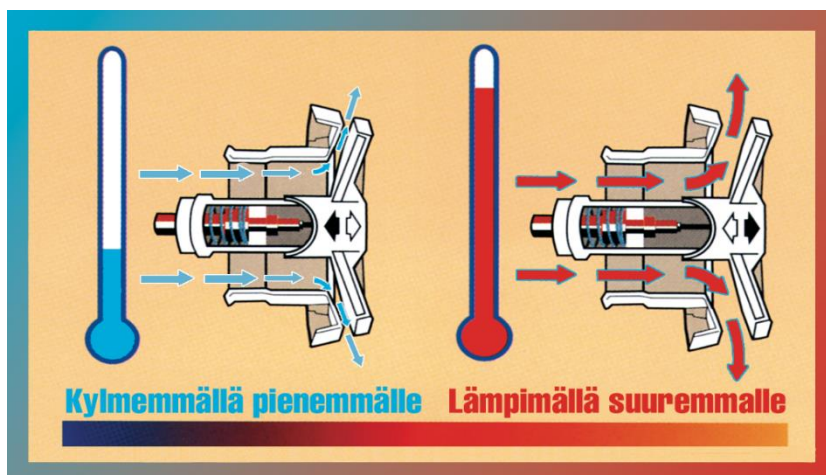
Esimerkkeinä ultraäänimittauksella varustetuista ilmavirtasäätimistä ovat Fläktin Optivent Ultra ja LindabUltraLink, joissa ilmavirtaa mitataan ultraääniantureilla. Optivent Ultra kykenee mittaamaan luotettavasti ilmavirtaa nopeuksilla 0,5–15 m/s, mittausepävarmuudella 10 % tai $\pm 1\text{ dm}^3/\text{s}$. LindabUltraLink kykenee mittaamaan 0,2–15 m/s mittausepävarmuudella 5 % tai $\pm 2\text{ dm}^3/\text{s}$, ja kun ilman nopeus on 0,1–0,2 m/s, on mittausepävarmuus 10 %. Säätimien ohjaus voidaan toteuttaa analogisilla viesteillä tai ModBus-väylän kautta. LindabUltraLink-säädin voidaan varustaa myös Bluetooth-yhteydellä, jolloin ohjaus voidaan toteuttaa Android- ja iOS-laitteilla. Fläktwoods Optivent Ultran tekninen erittely on liitteessä 2 ja LindabUltraLinkin liitteessä 3.

3.4 Tuloilmalaitteen valinta

Normaalin käyttötilanteen korvausilma pyritään johtamaan sisätiloihin hallitusti tuloilmalaitteiden kautta. Tuloilmalaitteen valinta on kriittinen painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuuden ja asumismukavuuden kannalta. Tuloilmalaitteen painehäviön tulee olla mahdollisimman pieni, jotta poistoilmahormin käyttövoima riittäisi silloinkin, kun ulkoilma on lämmintä.

Kovimmilla pakkasilla kylmä, esilämmittämätön ulkoilma laskeutuu lattialle ja aiheuttaa vedon tunnetta. Laitevalmistajilla on valikoimissaan kippiventtiilejä, joilla pyritään ohjaamaan kylmää ulkoilmaa ylöspäin, jotta se ehtisi sekoittua sisäilmassa ja siten vähentää vedontunnetta.

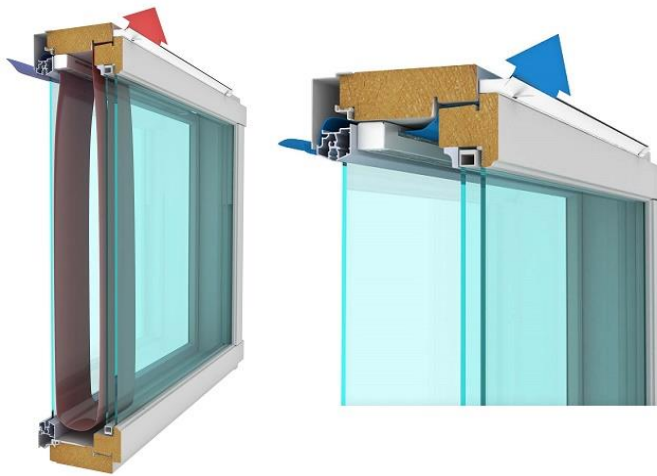
Termostaattisesti säätävä seinäventtiili vähentää asukkaiden tarvetta säätää ilmanvaihtoa olosuhteiden muuttuessa. Venttiili säätää termostaattisesti venttiilin avaumaa ja siten pienentää tai kasvattaa läpivirtaavan ilman virtausta, mistä esimerkkinä on Velco-venttiilin toimintaperiaate kuvassa 7. Myös Dir-Air Oy valmistaa termostaattisesti säätävää Air-In -tuloilmaventtiiliä. Tuloilmalaitte sijoitetaan normaalisti asuinhuoneeseen, josta ilma kulkeutuu siirtoilmareittiä poistoilmahormiin.



KUVA 7. Velco-venttiilin toimintaperiaate (12) lähteestä lainattu?

Seinälle asennettavien tuloilmalaitteiden lisäksi on markkinoilta saatavilla myös ikkunankarmiin asennettavia karmiventtiilejä sekä tuloilmaikkunoita, joissa venttiili on valmiiksi integroituna karmiin. Dir-air Oy:n valmistama Air-Termico -venttiili

(11) voidaan asentaa lähes kaikkiin ikkunatyyppeihin, ja sen etuna on tuloilman lämmitys sekä suuri ilmansuodattimen pinta-ala. Air-Termico -venttiili säätelee tuloilman esilämmityksen automaattisesti ulkolämpötilan mukaan. Kuvassa 8 on esitetty Air-Termico -venttiilin toimintaperiaate. Kuvassa vasemmalla venttiili on talviasennossa, jolloin kylmä ulkoilma laskeutuu uloimman ikkunalasin takana alas. Sisemmän lasin lämmittämänä ilman nousee lasien välissä ylös, purkautuen huonetilaan ikkunan yläpuolelta. Kesätilanteessa ulkoilma ohjataan suoraan huonetilaan ikkunan yläosista.



KUVA 8. Air-Termico -venttiilin havainnekuva

Air-Termico -venttiilin tuloilman esilämmitys vähentää ilmanvaihdosta aiheutuvaa vedon tunnetta, kun sitä verrataan tuloilmaventtiiliin, jossa ei ole ilman esilämmitystä. Kuvassa 9 vasemmalla on kuvattu tuloilman lämpeneminen ilmavirran ollessa $8 \text{ dm}^3/\text{s}$, jolloin ilma lämpenee $14,7 \text{ }^\circ\text{C}$. Kuvassa oikealla nähdään auringon vaikutuksesta tapahtuva ilman lämpeneminen keväällä, ja tällöin lämpötilaero on jopa $31,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Valmistajan suosittelema paine-ero rakennusvaipan yli on $5 - 15 \text{ Pa}$; suurempi paine-ero kasvattaa energiakustannuksia.



KUVA 9. Air-Termico PRV 800 -venttiilin tuloilman esilämmitys

Vertailluista tuloilmaventtiileistä Dir-Air:n Air-Termico -venttiili olisi suositeltavin vaihtoehto painovoimaisen ilmanvaihdon toteutukseen, pienen painehäviön ja tuloilman esilämmitysominaisuuksien vuoksi.

Kuten luvussa 2 mainitaan, rakennus saattaa olla tuulen vaikutuksesta voimakkaasti yli- tai alipaineinen (5, s. 37). Laitevalmistajilla on tarkoitukseen hyvin soveltuvia tuloilmalaitteita, joissa tuulen ylipainevaikutusta on pyritty minimoimaan ns. myrskysuojauksella. Sijoittamalla tuloilmalaitteet mahdollisuuksien mukaan rakennuksen niille seinille, jotka ovat parhaiten suojassa tuulelta, vähennetään tuulen vaikutusta rakennuksen painesuhteisiin.

Vertailluista korvausilmaventtiileistä mistään ei saada 1 Pa:n paine-erolla riittäviä ilmamääriä, mikäli niissä käytetään ilmansuodatusta. Tästä johtuen huoneisiin olisi asennettava useampia venttiilejä. Jos rakennuspaikka mahdollistaa korvausilmaventtiilin käytön ilman suodatinta, on suositeltavaa käyttää Velco 160 -venttiiliä.

3.5 Tuloilman suodatus

Tuloilman suodatus lisää korvausilmaventtiilin painehäviötä, ja kuten Terveysilman Velco-korvausilmaventtiilin mittaustuloksista voidaan nähdä (12), voi painehäviö kasvaa jopa 65 % verrattuna venttiiliin ilman suodatinta. Kasvanutta painehäviötä kompensoidaan joko suuremmalla venttiilillä tai lisäämällä tilakohtaisten tuloilmaventtiilien määrää. Velco-korvausilmaventtiilin virtausominaisuuksista on tietoja liitteessä 4.

3.6 Takaisinvirtaus

Paine-eron kääntymisestä tai tuulen vaikutuksesta aiheutuva takaisinvirtaus voidaan ehkäistä tai se voidaan estää asentamalla poistoilmahormin poistoaukolle tuulenojain (kuva 10) tai vedonparantaja (kuva 11).



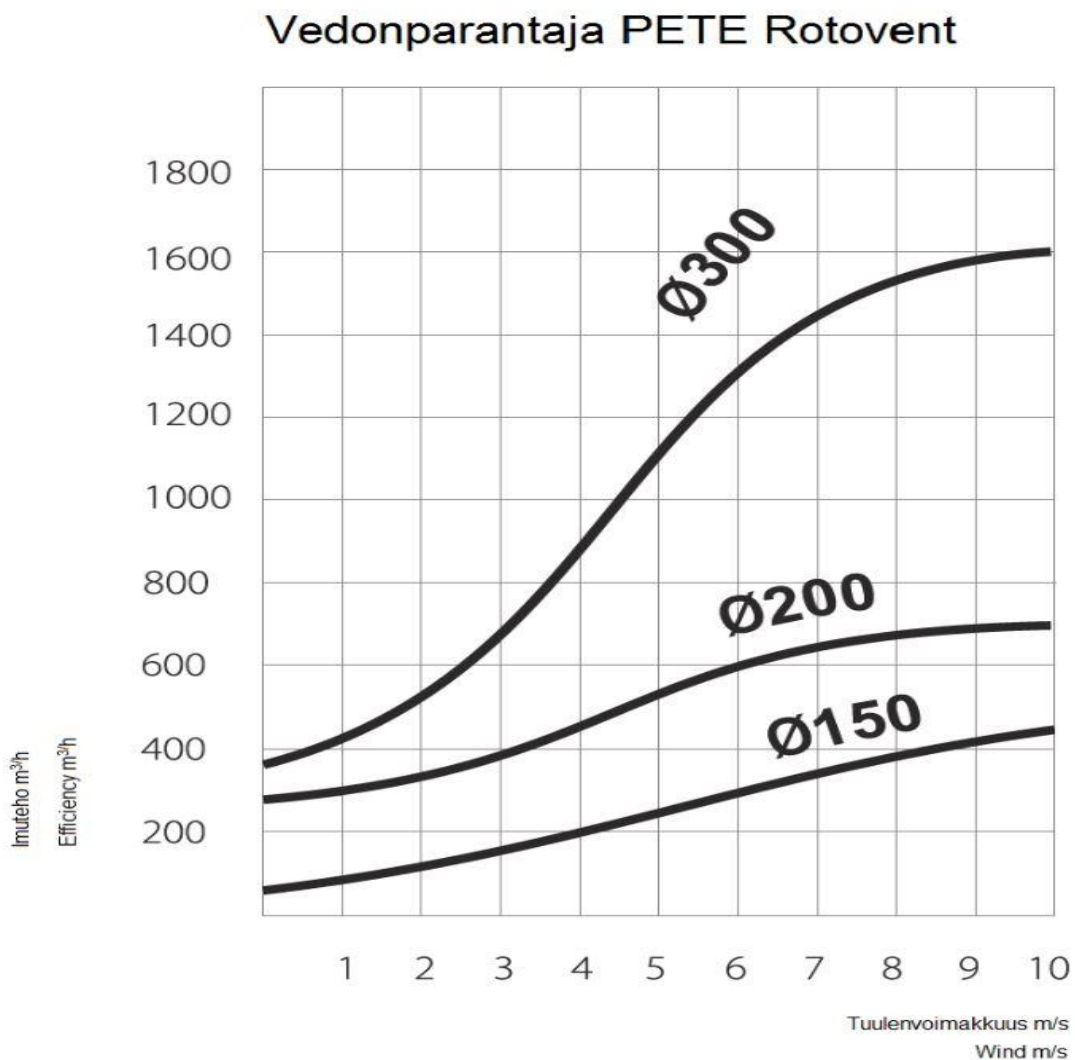
KUVA 10. Tuulenojain



KUVA 11. Vedonparantaja

Tuulenojaimen evä kääntää laitteen poistoaukon pois tuulesta. Tuulen ohivirtaus aiheuttaa laitteen suuaukolle alipaineen, joka tehostaa poistoilmahormin käyttövoimaa ja samalla estää tuulen puhaltamisen suoraan poistoilmahormiin. (2, s. 10 - 11.) Tuulenojaimen valmistajalla ei ole esittänyt laitteelle ominaiskäyrää, josta voisi arvioida sen tehostusominaisuutta.

Vedonparantaja tai tuuliturbiini perustuu Sawonius-roottoriin, jonka patentoi vuonna 1922 Sigurd Sawonius. Se kehittää alipaineen poistoilmahormin suulle tuulen vaikutuksesta. Tuulen osuessa tuuliturbiinin siipiin alkaa siivikko pyöriä, jolloin horminpoistoaukolle kehittyy alipaine. Sawonius-roottoriin perustuvista tuuliturbiineista on tehty yliopistotason tutkimuksia, joissa on arvioitu niiden tehokkuutta. Sydneyn yliopiston tutkimuksessa vuodelta 2004 on testattu muutamia tuuliturbiinimalleja ja testissä halkaisijaltaan 300 mm:n kanavaan asennettu laite tuotti 5 m/s keskituulennopeudella kanavistoon 5 Pa:n alipaineen hormin il-mavirran ollessa 9 dm³/s (13, s. 3). Kuvan 10 vedonparantajan valmistajalla oli esittää laitteesta kuvan 12 mukainen ominaiskäyrästä, mutta siitä ei ilmene mil-laisen alipaineen se kykenee kehittämään.



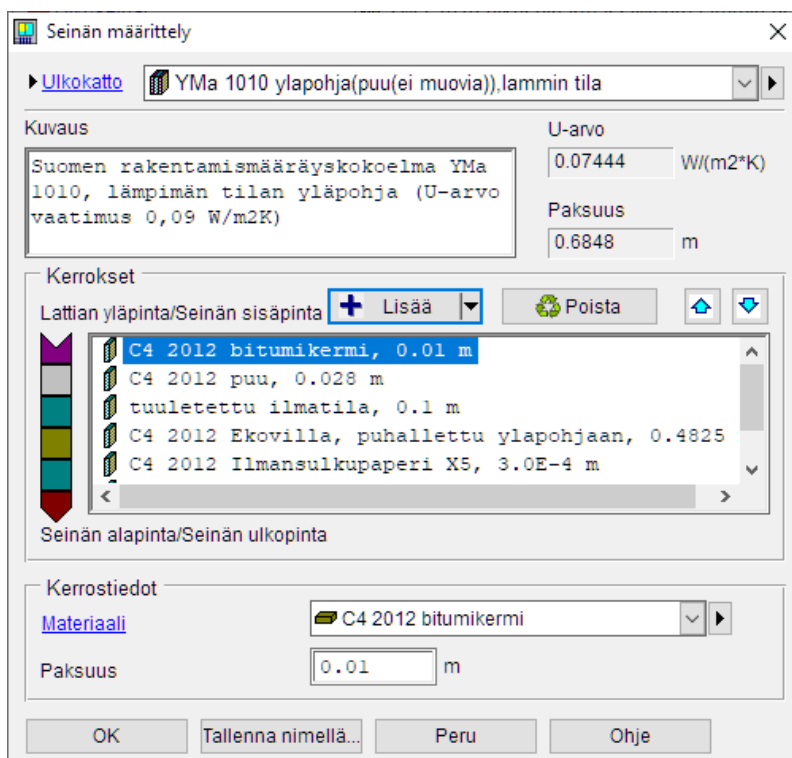
KUVA 12. PETE-Rotovent-vedonparantajan ominaiskäyrä

4 SIMULAATIO IDA ICE -OHJELMISTOLLA

IDA ICE (IDA Indoor Climate and Energy) on EQUA Simulation AB:n lisensoima simulointiohjelma, jolla rakennus ja sen järjestelmät säätölaitteineen voidaan mallintaa. Mallinnuksella saadaan tietoa rakennuksen energiankulutuksesta ja asumisviihtyvyyteen vaikuttavista tekijöistä. Ohjelmaan ladattavien säätiedostojen avulla simuloitujen mallien laskentatulokset saadaan vastaamaan maantieteellistä aluetta, jonne rakennusta ollaan suunnittelemassa.

4.1 Oletusasetusten syöttäminen

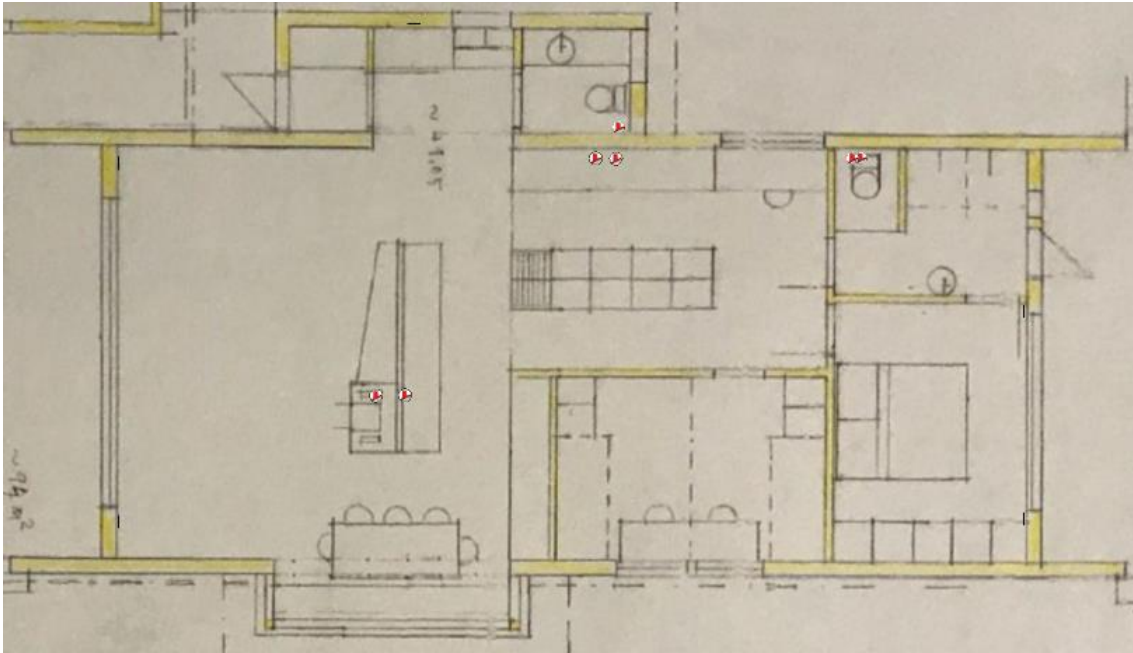
Ohjelmaan syötetään oletusasetuksiksi rakennuksen rakennekerrokset, jolloin ohjelma käyttää kaikissa rakenteissa automaattisesti syötettyjä tietoja. Syötettyjen tietojen pohjalta ohjelma laskee rakenteelle U-arvon, jota käytetään laskennassa. Ohjelmassa on valmiiksi tuotuna laaja kirjasto eri rakennusmateriaaleja ja valmiita rakenteita, joten rakennekerroksen luominen käy helposti. Mikäli rakennusmateriaalia ei löydy kirjastosta valmiina, voi ohjelmaan luoda omia materiaaleja ja kokonaisrakenteita (kuva 13).



KUVA 13. IDA ICE -rakennemäärittelyikkuna

4.2 Mallin rakentaminen

Simulaatiota varten tehtiin käytettävissä olleesta luonnoskuvasta 3D-malli, mutta tarkkojen mittatietojen puuttuessa malli on vain suuntaa antava. Tehdyn mallin pohjan pinta-ala poikkeaa luonnoskuvaan kirjatusta pinta-ala arviosta noin 10 m². Kuvassa 14 esitetään poistoilmahormien paikat pohjapiirroksessa.



KUVA 14. Poistoilmahormit pohjapiirroksessa

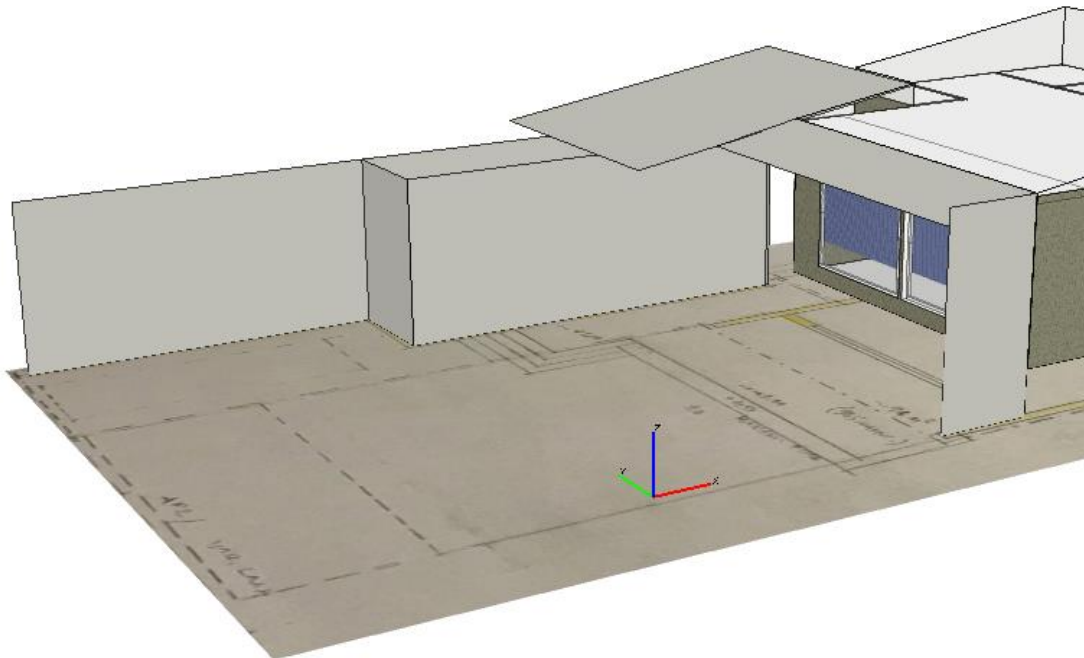
Kuvassa 15 on 3D-näkymä rakenteilla olevasta mallista.



KUVA 15. IDA ICE -simulaatiomalli

IDA ICE huomioi simulaatiossa käytettyyn säädataan perustuen myös auringon lämpösäteilyn vaikutuksen rakennuksen toimintaan. Tämän vuoksi malliin lisättiin varjostukseksi kuvan 16 mukaiset, pohjaluonnoksessa olleet muut ulkopuoliset rakenteet. Tarkkojen rakennuspaikkatietojen puuttuessa malliin ei voitu lisätä mahdollisia muita ympäröiviä rakennuksia eikä puustoa.

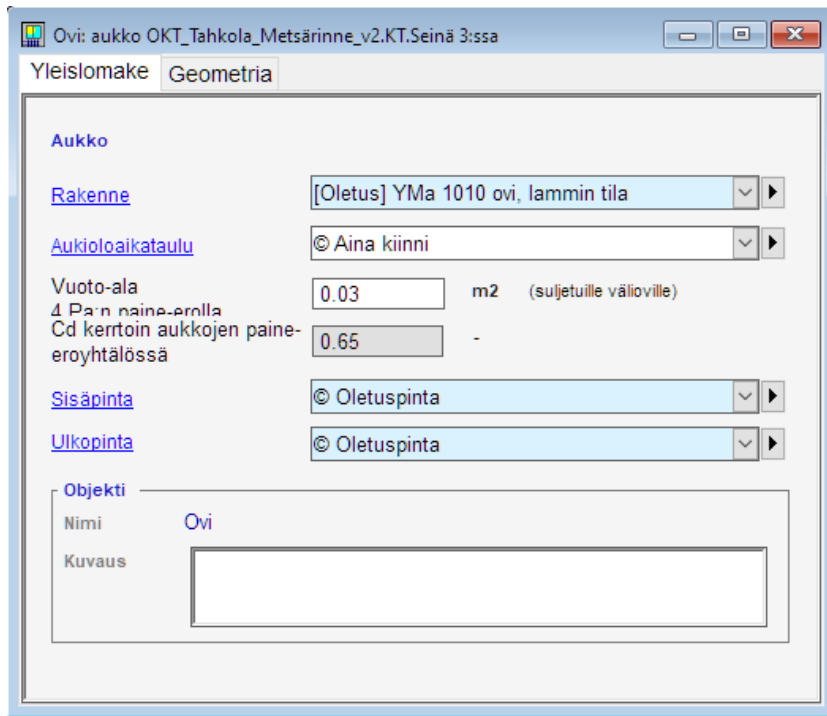
Malliin lisättäviä ikkunoita on ohjelmassa valmiina laaja kirjasto, ja niihin voidaan määrittellä varjostuksiksi erilaisia kaihtimia, rullaverhoja ja markiiseja. Varjostuksille voidaan määrittää ylhäällä/alhaalla aikataulut, tai ne voivat olla aina määritetyssä asennossa. Tämän mallin ikkunoihin lisättiin sisäpuoliset kaihtimet, jotka ovat aina alhaalla.



KUVA 16. Varjostavat rakenteet

4.3 Ilmanjako

Jos painovoimaisen ilmanvaihdon siirtoilmareittinä käytetään väliovien ovirakoja, täytyy malliin syöttää tieto aukon koosta. Se onnistuu valitsemalla kyseessä oleva ovi ja asettamalla oven yleislomakkeen vuotoala haluttuun arvoon. Vaihtoehtoisesti oven voi määrittää olemaan aina auki tai aukiololle voi myös määrittellä aukioaikataulun (kuva 17).



KUVA 17. Oven yleislomake

Mikäli siirtoilmareittinä käytetään seinään asennettavaa siirtoilmalaitetta, se lisätään malliin vuotoreittinä, jonka painehäviö määritetään ohjelmassa eksponenttiyhtälön kertoimen avulla (kuva 18). Vuotoreittejä käytetään myös mallin tuuloilma-aukkoina ja määrittely tapahtuu kuten siirtoilmareitissä. Eksponenttiyhtälö määritellään kaavalla 8, jossa käytetty eksponentti määräytyy ilmavirran laadun mukaan. Turbulenttisen virtauksen eksponentti on 0,5 ja täysin laminaarisen virtauksen 1,0 (11, s. 47). Taulukossa 6 on esitetty yhden vuotoilmareitin eksponenttiyhtälön laskennan tulokset.

$$m = C(\Delta p)^n$$

KAAVA 8

C = eksponenttiyhtälön kerroin [kg/(sPaⁿ)]

m = ilman massavirta [kg/s]

Δp = painehäviö vuotoilmareitin yli [Pa]

n = yhtälön eksponentti turbulenttiselle virtaukselle [-]

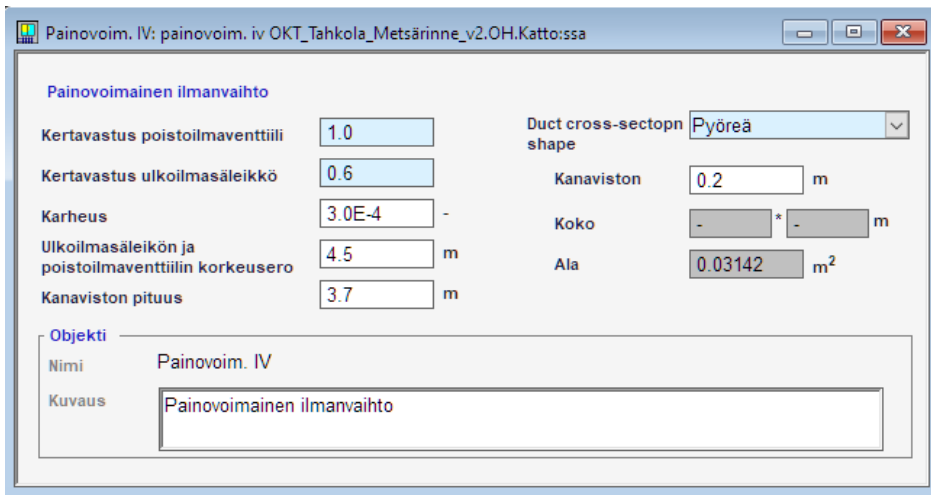
TAULUKKO 6. Vuotoreitin eksponenttiyhtälö

Mitoitustilanteen arvoja yhdessä vuotoreitissä		
Ilman massavirta	0,0042	[kg/s]
Vuotoreitin painehäviö	1	[Pa]
Yhtälön eksponentti	0,5	[-]
EkspONENTTI yhtälön kerroin	0,0042	[kg/(sPa ⁿ)]

Vuotoreitin määrittelyikkunan saa esille esimerkiksi mallin yleislomakkeelta, josta valitaan näytettäväksi yksityiskohdiksi vuotoreitit. Näin saadaan esille kaikki malliin määritetyt vuotoreitit, ja kaksoisnäpäyttämällä yhtä vuotoreittiä avautuu sen määrittelyikkuna (kuva 18).

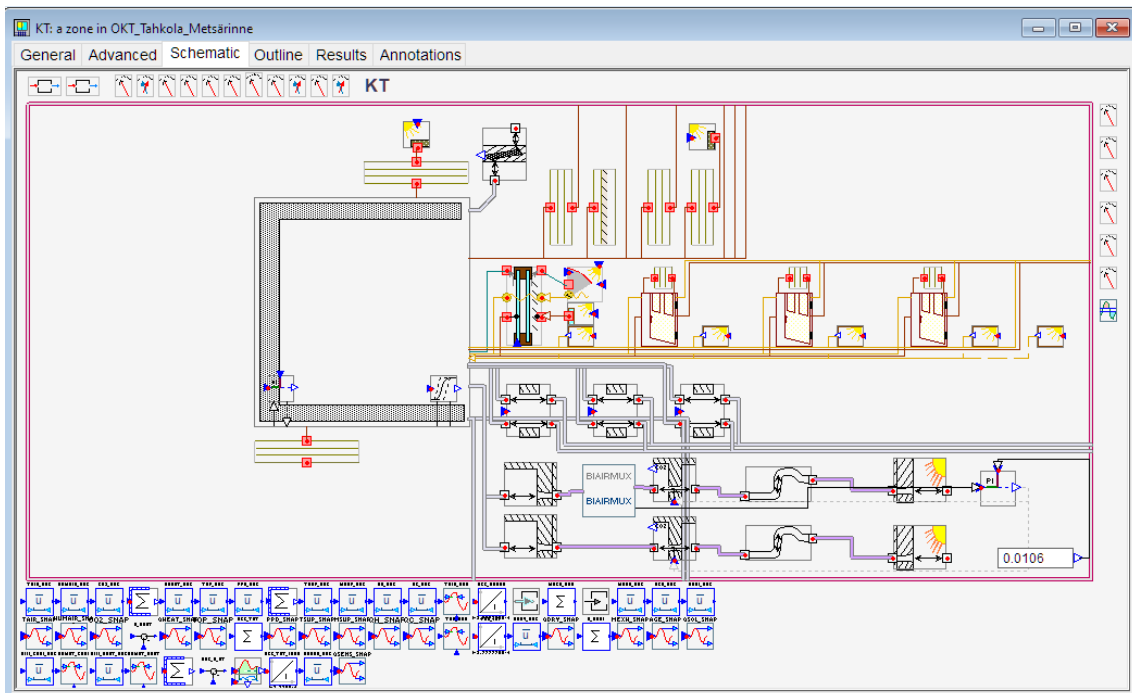
KUVA 18. Vuotoreitin määrittelyikkuna

Poistoilma-aukot määritetään ohjelmaan lisäämällä malliin painovoimaisen ilmanvaihdon objekti ja antamalla objektille arvot kuvan 19 mukaisiin soluihin.



KUVA 19. Painovoimaisen ilmanvaihdon määrittely

Simulaatiota varten poistoilmahormeihin lisättiin säätöpellit ilmamäärän mittauksella, jotta pakkaskausien tarpeetonta virtausta saadaan rajoitettua. Säätöpelti lisätään malliin kaavionäkymässä (kuva 20), missä tehdään myös säätöpellin määrittely. Säätöpellin ohjaus tapahtuu PI-säätimellä, jonka mittausarvoksi määritettiin ilman massavirran maksimiarvo palvelualueen mitoituksen mukaisesti. Suurimman massavirran arvon ylittyessä säätöpelti säätyy lineaarisesti asentoon, jossa se on lähes kiinni.

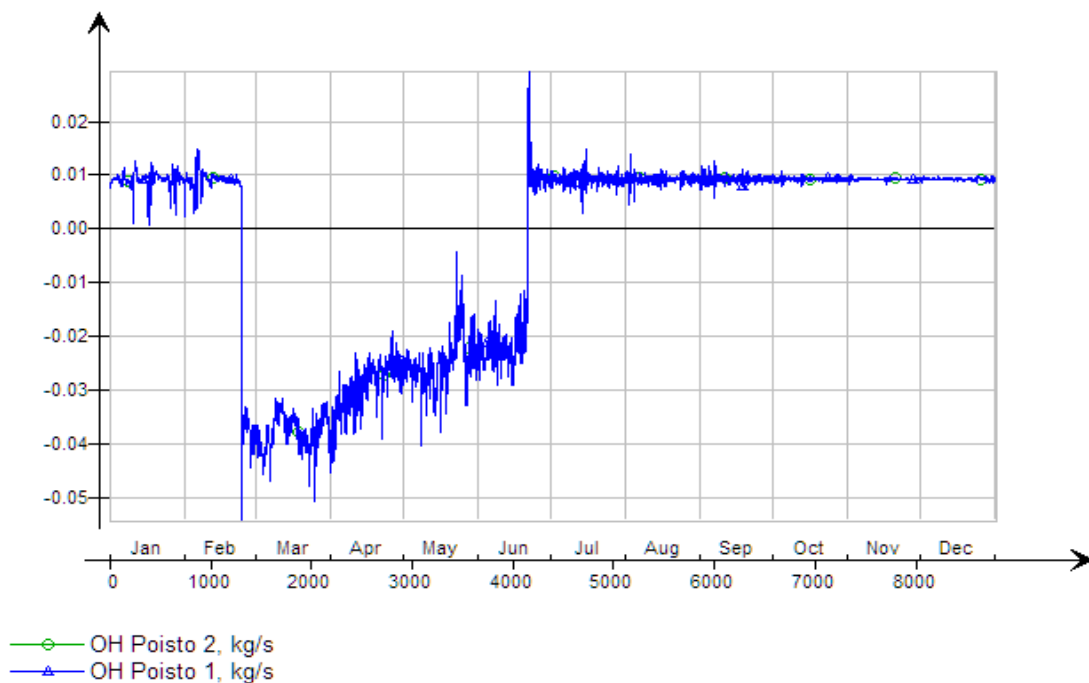


KUVA 20. Kaavionäkymä

4.4 Simulaation tulokset

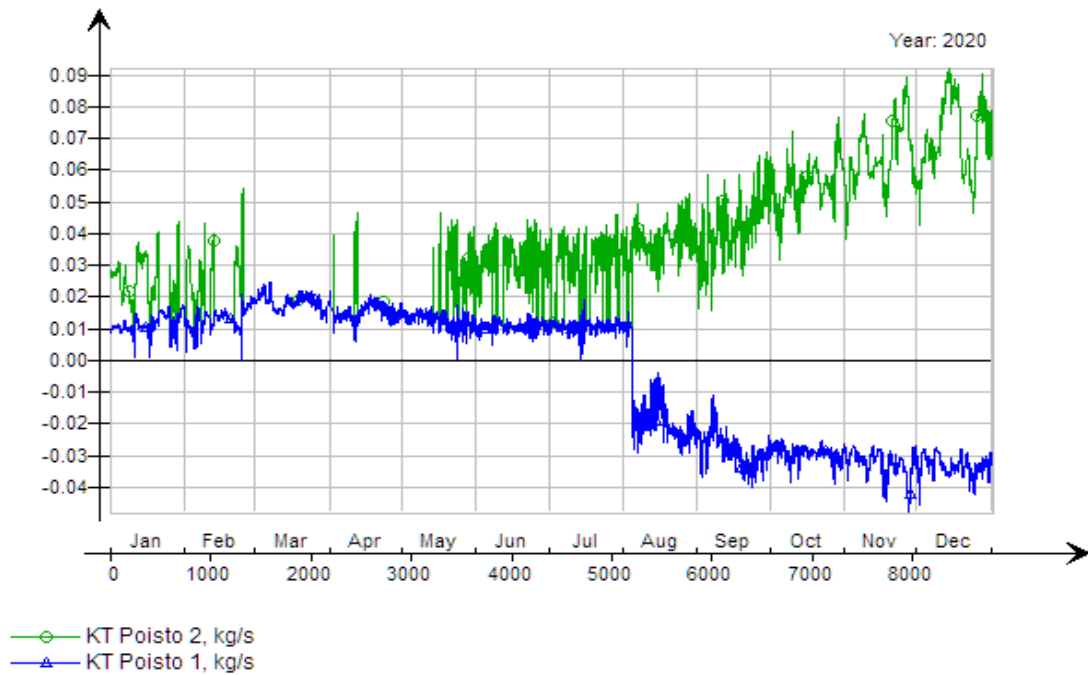
Simulaatio tehtiin tilanteessa, jossa rakennuksen kaikki muut väliovet olivat kiinni paitsi makuuhuoneista keittiöön avautuvat ovet. Tuloksia arvioitaessa voitiin todeta ilmavirran kääntyvän negatiiviseksi olohuoneen poistoilmahormeissa helmikuusta kesäkuuhun ja pesuhuoneessa kesäkuusta joulukuuhun väliseksi ajaksi. Ilmanvaihto ei toimi suunnitellusti edellä mainittuina ajankohtina.

Olohuoneen poistoilmahormit toimivat tuloilmalaitteina helmikuun lopulta aina kesäkuun puoleen väliin. Muulloin hormit toimivat suunnitellusti, ja niiden ilmavirrat ovat suunnitellun mukaiset (kuva 21).



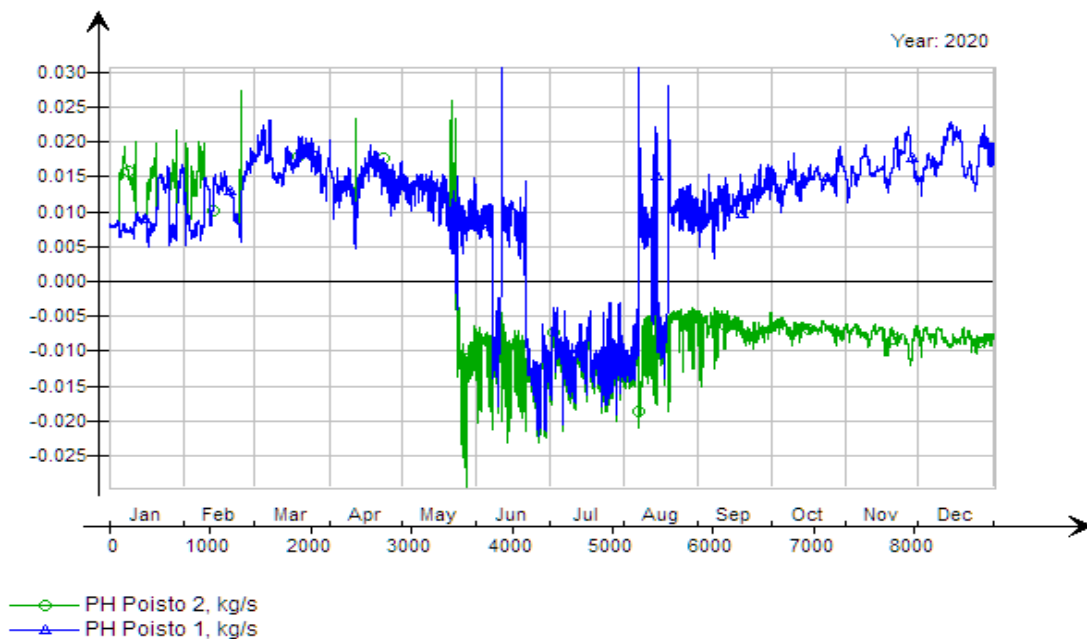
KUVA 21. Olohuoneen poistoilmahormien vuotuiset ilman massavirrat

Keittiössä nähdään kuvassa 22 toisen poistoilmahormin virtauksen kääntyvän negatiiviseksi elokuun alussa ja pysyvän siinä tilassa vuoden loppuun saakka.



KUVA 22. Keittiön poistoilmahormien vuotuiset ilman massavirrat

Pesuhuoneen poistoilmahormien virtaus käy negatiivisena toukokuussa ja kääntyy kokonaan negatiiviseksi 22. kesäkuuta. Molemmat pesuhuoneeseen mitoitettut poistoilmahormit toimivat suunnitellusti joulukuun puolesta välistä toukokuun loppuun (kuva 23).



KUVA 23. Pesuhuoneen poistoilmahormien vuotuiset ilman massavirrat

Makuuhuoneiden ilman lämpötila ylittää asetuksessa 1009/2017 määritellyn jäädytystarpeen ylärajan 27 °C kahtena heinäkuun päivänä. Taulukossa 8 on esitetty makuuhuoneen 1 lämpötilat heinäkuulta.

TAULUKKO 8. Makuuhuoneen 1 lämpötilat heinäkuussa

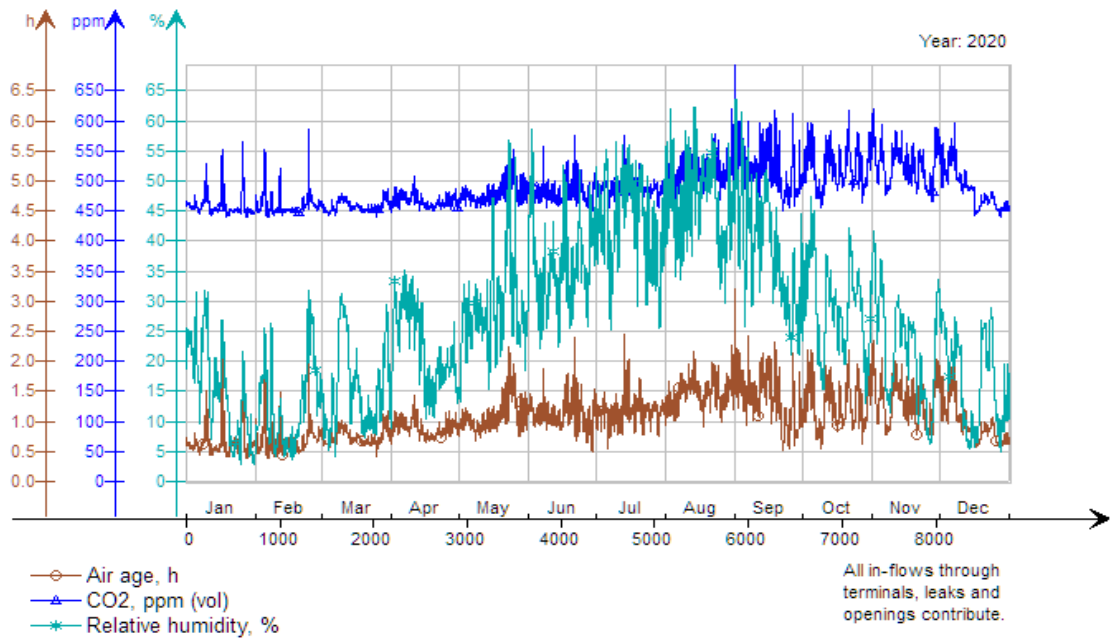
Date	Variables	
	Mean air temperature, degC	Operative temperature, degC
2020-07-01	26.3	26.33
2020-07-02	25.33	25.41
2020-07-03	24.27	24.35
2020-07-04	24.33	24.34
2020-07-05	23.99	24.03
2020-07-06	23.4	23.44
2020-07-07	23.64	23.66
2020-07-08	24.35	24.37
2020-07-09	24.94	24.95
2020-07-10	24.96	24.97
2020-07-11	25.12	25.14
2020-07-12	24.83	24.87
2020-07-13	26.26	26.22
2020-07-14	27.83	27.78
2020-07-15	27.38	27.41
2020-07-16	25.93	26.02
2020-07-17	25.13	25.19
2020-07-18	25.63	25.64
2020-07-19	26.24	26.24
2020-07-20	25.98	25.99
2020-07-21	25.86	25.88
2020-07-22	25.47	25.51
2020-07-23	25.02	25.02
2020-07-24	24.92	24.92
2020-07-25	24.45	24.48
2020-07-26	24.24	24.24
2020-07-27	24.0	24.01
2020-07-28	23.8	23.83
2020-07-29	23.62	23.64
2020-07-30	23.94	23.93
2020-07-31	24.56	24.54
mean	25.02	25.04
mean*744.0 h	18617.2	18632.6
min	23.4	23.44
max	27.83	27.78

Taulukossa 9 on esitetty makuuhuoneen 2 lämpötilat heinäkuulta. Lämpötila ylittää asetuksessa määritellyn ylärajan 14–15.7. välisenä aikana.

TAULUKKO 9. Makuuhuoneen 2 lämpötilat heinäkuussa

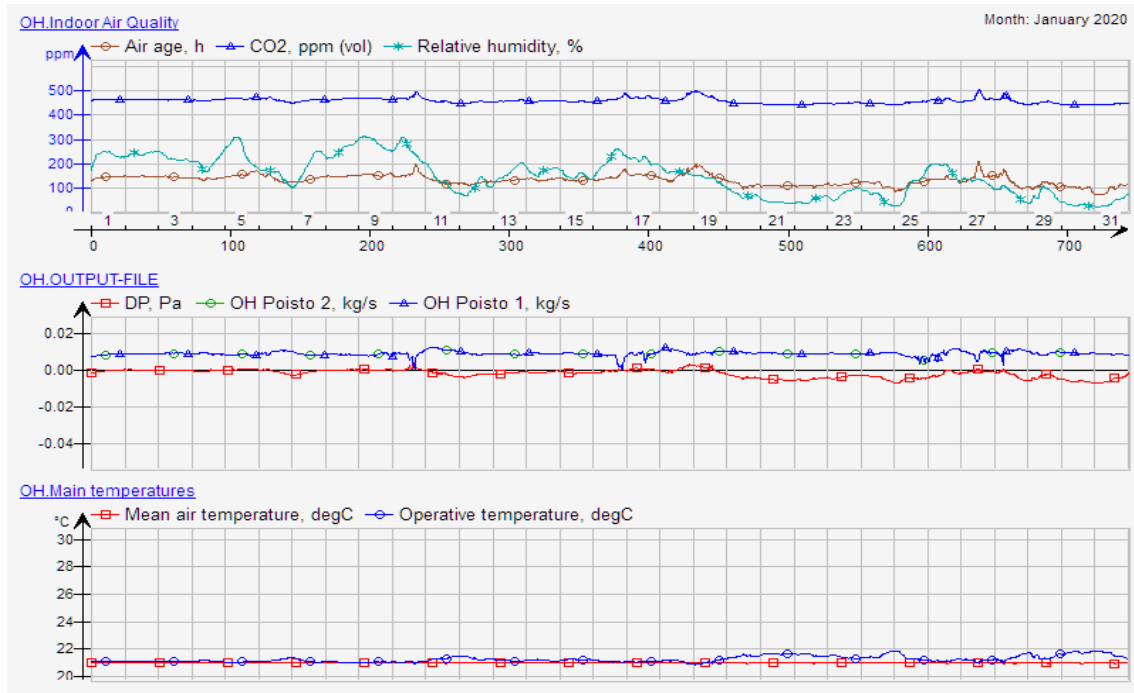
Date	Variables	
	Mean air temperature, degC	Operative temperature, degC
2020-07-01	26.96	27.0
2020-07-02	25.51	25.64
2020-07-03	24.68	24.78
2020-07-04	24.52	24.6
2020-07-05	23.98	24.06
2020-07-06	23.78	23.82
2020-07-07	24.15	24.2
2020-07-08	24.97	25.02
2020-07-09	25.58	25.57
2020-07-10	25.36	25.34
2020-07-11	25.72	25.7
2020-07-12	25.08	25.14
2020-07-13	26.7	26.7
2020-07-14	28.21	28.21
2020-07-15	27.7	27.72
2020-07-16	26.58	26.69
2020-07-17	25.27	25.38
2020-07-18	26.21	26.25
2020-07-19	27.05	27.07
2020-07-20	26.27	26.3
2020-07-21	26.38	26.41
2020-07-22	26.39	26.44
2020-07-23	25.63	25.7
2020-07-24	25.34	25.36
2020-07-25	25.26	25.32
2020-07-26	24.96	25.04
2020-07-27	24.5	24.56
2020-07-28	24.57	24.58
2020-07-29	24.45	24.53
2020-07-30	24.68	24.72
2020-07-31	25.56	25.55
mean	25.55	25.59
mean*744.0 h	19007.8	19041.9
min	23.78	23.82
max	28.21	28.21

Sisäilmanlaatu säilyy asuinhuoneissa ilmanvaihtojärjestelmän puutteista huolimatta hiilidioksidin osalta hyvänä läpi vuoden, eikä haitallisia hiilidioksidipitoisuuksia esiinny. Asetuksen 1009/2017 §:n 5 mukaan huonetilojen sisäilman käytönaikainen hiilidioksidipitoisuuden arvo ei saa ylittää ulkoilman pitoisuutta enempää kuin 800 ppm (14, sivu 3). Kuvassa 24 on esitetty esimerkkinä makuuhuoneen 1 ilmanlaatumittarit.



KUVA 24. Makuuhuoneen 1 ilmanlaatu

Kuvassa 25 on esitetty olohuoneen sisäilmanlaadun kuvaajat, poistoilmahormien massavirrat ja huoneen lämpötilat tammikuussa. Siitä nähdään, että simulaatiossa käytetty ideaalinen säätöpelti poistoilmahormissa saa pidettyä poistoilmamäärän vakaana, mitatun hormikohtaisen keskiarvon ollessa $7,5 \text{ dm}^3/\text{s}$.



KUVA 25. Olohuoneen simulaatiotulokset tammikuulta

5 YHTEENVETO

Tällä työllä oli tarkoitus selvittää, onko luonnosteltuun rakennukseen mahdollista toteuttaa painovoimaista ilmanvaihtoa ja millaisia ratkaisuja toteutus vaatii. Selvitys- ja suunnittelutyössä tehtyjen havaintojen pohjalta arkkitehtisuunnittelua voidaan ohjata painovoimaisen ilmanvaihdon kannalta toimivampaan suuntaan. IDA ICE -simulaatio, hormivaihtoehtojen painehäviölaskelmat ja hormien käyttövoiman laskenta olivat työn keskeisimmät menetelmät.

Simulaation avulla saatiin arvokasta tietoa painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnasta ja suunnitelluista ratkaisuista. Tulosten perusteella voitiin todeta, ettei luonnoksen rakennukseen saada luotua painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaedellytyksiä. Matalassa rakennuksessa hormin käyttövoima jää liian pieneksi, jotta ilmanvaihtojärjestelmällä olisi olemassa toimintaedellytykset läpi vuoden. Korvausilmareitin ja poistoilmahormin välistä korkeuseroa tulisi saada kasvatettua, jotta järjestelmän toimintaedellytykset saataisiin paremmin luotua. Esimerkiksi Z-kanavan käytöllä korvausilmareiteissä saataisiin korkeuseroa kasvatettua. Metrין lisäys korkeuserossa kasvattaisi hormin mitoitusilanteen käyttövoimapainetta 0,47 Pa. Tällainen ratkaisu olisi toteutettavissa tuuletusluukun rakenteissa, mutta tästä ei ole kaupallista ratkaisua saatavilla. On kuitenkin huomattava, ettei edellä mainittu metrין lisäys korkeuseroon yksin riitä saamaan järjestelmää toimivaksi. Lisäksi huonejärjestys osoittautui epäkäytännölliseksi olohuoneen poistoilmahormin ulottuessa yli kaksi metriä vesikaton yläpuolelle, jotta se täyttäisi vaatimuksen hormin minimi pituudesta.

Poistoilmahormien vertailussa havaittiin suuren poikkipinta-alan olevan selkeästi merkittävin tekijä hormin toiminnan kannalta. Tätä tulkintaa tukee Painovoimaisen ilmanvaihto-oppaan taulukko 1. Ilman virtausnopeuden kasvaessa kasvaa myös kitkavastusten voittamiseen tarvittavan energian tarve. Iso hormin poikkipinta-ala mahdollistaa ilman pienen virtausnopeuden mitoitetuille ilmavirroille ja parantaa täten hormin toimintaedellytyksiä.

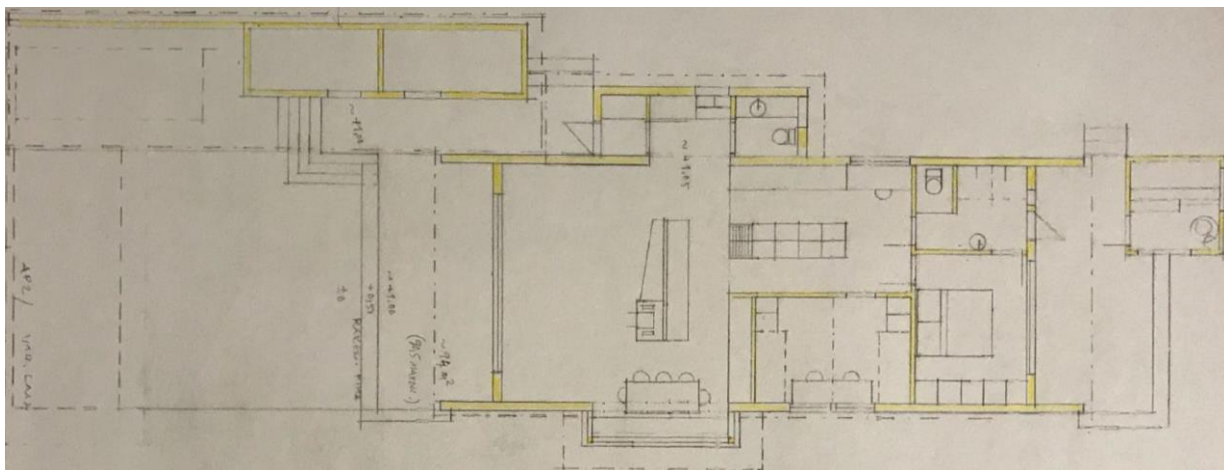
Luonnoksen pohjaratkaisulla kokeiltiin useita erilaisia huonekorkeuksia, horminpoikkileikkauspinta-aloja, hormipituuksia ja korvausilmareittien korkeuksia, mutta

mikään kokeilluista kombinaatioista ei tuottanut ilman apuvoimaa toimivaa ratkaisua. Jotta ilmanvaihtojärjestelmä toimisi tässä pohjaratkaisussa läpi vuoden, tulisi harkita kokonaan painovoimaisen järjestelmän sijasta hybridijärjestelmää, jossa ilmanvaihtoa tehostettaisiin tarvittaessa poistoilmahormiin asennettavalla harvalla aksiaalipuhaltimella, jolla on pieni painehäviö.

LÄHTEET

1. Sandberg, Esa 2016. Sisäilmasto- ja ilmastointijärjestelmät, ilmastointitekniikka osa 1. Forssa: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
2. Painovoimainen ilmanvaihto opas. 2018. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7B3729E8C3-9173-4EA5-ADB9-CD33C1432A01%7D/143101>. Hakupäivä 1.3.2020.
3. Liddament, Martin W 1986. AIVC Air Infiltration Calculation Techniques Guide, the AIVC Guide to Ventilation and the CIBSE Guide A Handbook. Coventry UK: The Air Infiltration and Ventilation Centre, University of Warwick Science Park
4. Erat, Bruno – Erkkilä, Vesa – Nyman, Christer – Peippo, Kimmo – Peltola, Seppo – Suokivi, Hannu 2008. Aurinko-opas. Porvoo: Aurinkotekninen Yhdistys ry.
5. Siikanen, Unto 2015. Rakennusfysiikka, perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto Oy.
6. Björkholtz, Dick 1997. Lämpö ja kosteus, rakennusfysiikka. Helsinki: Rakennustieto Oy.
7. Miller, D.S. 1990, Internal Flow Systems, Cranfield, Bedford UK: BHRA.
8. Inkinen, Pentti – Tuohi, Jukka 2012. Momentti 1, insinöörifysiikka. Helsinki: Otava.
9. Sandberg, Esa 2016. Ilmastointilaitoksen mitoitus, ilmastointitekniikka osa 2. Forssa: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
10. Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen. 2019. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7BC28A5C3D-0A1B-4504-98BB-14D9C1820FE9%7D/144725>. Hakupäivä 1.3.2020.

11. Air-Termico -venttiilit. Dir-Air Oy. Saatavissa: <https://www.dir-air.fi/fi/tuotteet/termico/tuloilmaikkunaventtiilit-termico/>. Hakupäivä 29.3.2020.
12. Velco-venttiilien ominaisuudet. Terveysilma. Saatavissa: <https://www.terveysilma.fi/tuotteet/korvausilmaventtiilit>. Hakupäivä 19.4.2020.
13. Revel, A – Huynh, B.P. 2004. 15th Australasian Fluid Mechanics Conference, Characterising Roof Ventilators. Sydney: The University of Sydney. Saatavissa: <https://people.eng.unimelb.edu.au/imarusic/proceedings/15/AFMC00120.pdf>.
14. 1009/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/name/%7BAAD7DB92-F571-4766-A3F1-BFF63383191B%7D/133875>. Hakupäivä 5.5.2020.

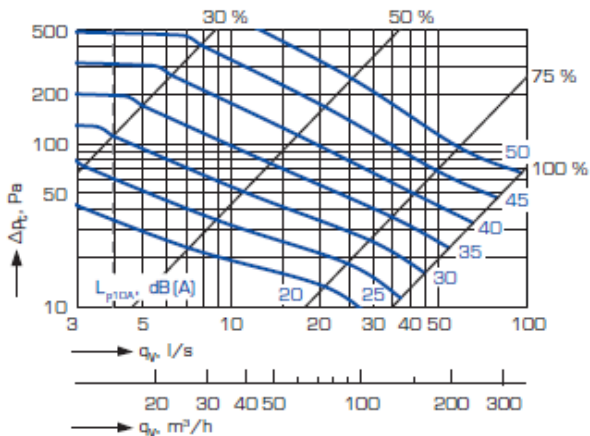


ÄÄNEN PAINETASO JA ILMAVIRTA

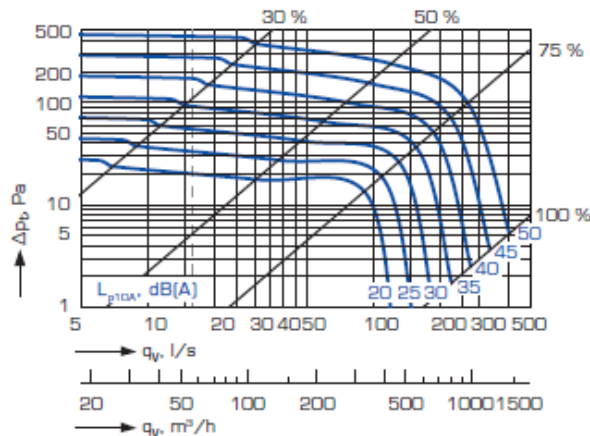
ÄÄNEN PAINETASO HUONEESSA

Säätöpeili auki 30 % = toiminta-alueen alaraja

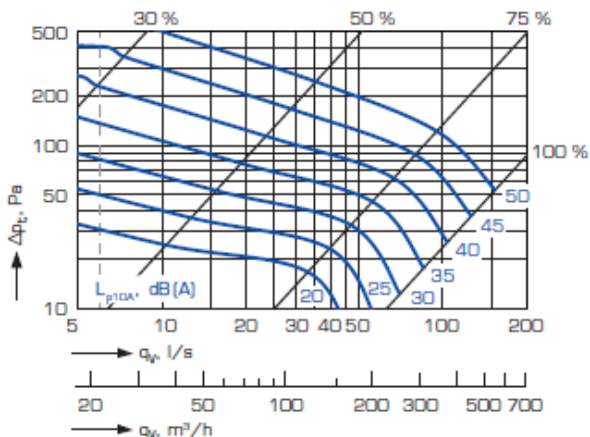
ULSA/ULDA-100



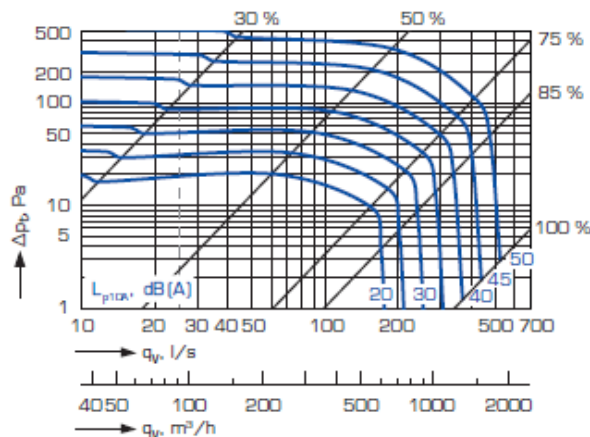
ULSA/ULDA-200



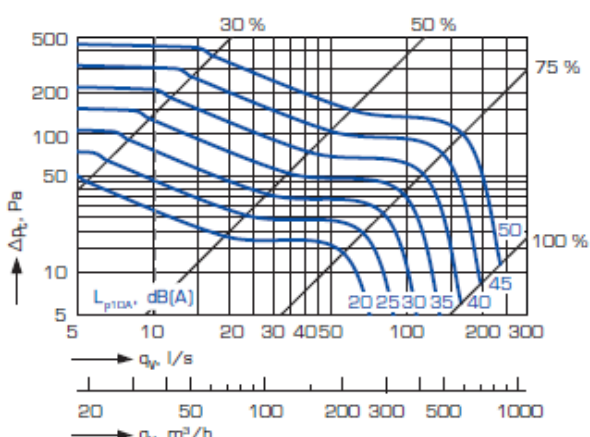
ULSA/ULDA-125



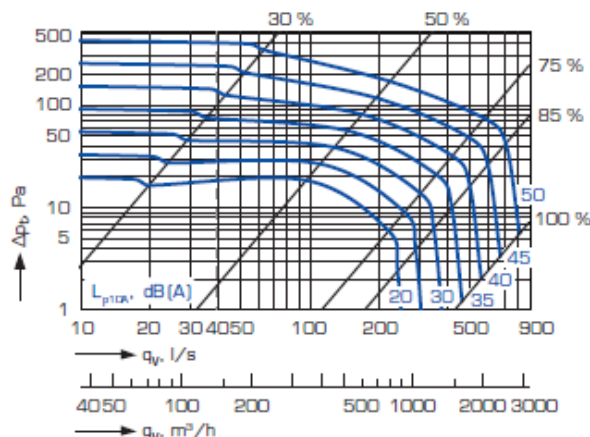
ULSA/ULDA-250



ULSA/ULDA-160



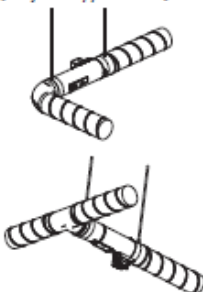
ULSA/ULDA-315



----- Kanavanopeus 0.5 m/s.

MITTAUSTARKKUUS JA KUVAUS

MITTAUSTARKKUUS

Asennustapa	Kanavanopeus (m/s)		
	0,5 - 1	> 1	> 4
Häiriölähteen jälkeen Ø 100-400 (suojaetäisyys = 0 x D) 	± 10% tai 1 l/s	± 8%	± 6%
Suorassa kanavassa (suojaetäisyys > 2 x D)	± 8% tai 1 l/s	± 5%	± 4%

Volmassa kun säätöpellin avaus on > 30%. Suositeltu maksimi ilman nopeus on 8 m/s alle 2 x D suojaetäisyyksillä. Kolssa 500 ja 630 tulee suojaetäisyys olla vähintään 2 x D.

Taulukossa esitettyjen tarkkuuksien saavuttamiseksi asennusasetus on valittava erillisen käyttöönotto-ohjeen mukaisesti.

Ota mulsa tapauksissa yhteyttä FläktGroupin tekniseen tukeen.

NIMELLISILMAVIRTA

Koko	q _{nom} (l/s)
100	118
125	184
160	302
200	471
250	736
315	1169
400	1664
500	2552
630	4052

KUVAUS

Ilmavirran ja lämpötilan mittauksella varustettu paineesta riippumaton tulo- ja polstollman IMS-/VIS-säädin tarpeenmukaiseen ilmanvaihtoon. Ultraäänitekniikkaan perustuva ilmavirran mittaus. Painehäviötön ilmavirran ja lämpötilan mittaus. Ilmavirta-alue 0,5–15 m/s, erinomainen tarkkuus. Pölyä sietävä ilmavirran mittaus. Ilmavirta ja asetusrivot, esimerkiksi V_{min} ja V_{max} luettavissa kompaktisäätimen näytöltä. Analoginen ja/tai Modbus-ohjaus. Asetusten asettelu ruuvitalalla tai rakennusautomaatiojärjestelmän kautta. Automaattinen kalibrointi käynnistyksessä ja säännöllisesti käytöstä riippuen. Suljetun säätöpellin tiivyluokka 3 ja valpan C (EN 1751:2014). Pakko-ohjaustoiminnot auki, kiinni, V_{min} ja V_{max}. Asennettavissa käyrän tai T-haaran jälkeen ilman suojaetäisyyttä tarkkuuden kärsimättä.

Merkintä:

Tuloliman IMS-säädin ULDA-5-160-1.

- Eristetty valppa
- Toimilalte 227 VMZ-MB
- Koko 160 mm
- Sinkitty valppa

UltraLink Ilmavirtasäädin

FTCU

Tekniset tiedot

Painehäviökäyrät äänitasoilla mitoitukseen



Yhtenäiset viivat esittävät painehäviön, Δp_T , pellin yli, ilmavirran q sekä pellin asennon α funktiona.

Katkoviivat esittävät A-painotetun äänen tehotason L_{WA} , dB kanavaan.

Pellin asento $^\circ$

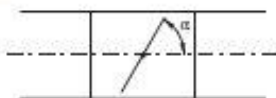
$\alpha = 0^\circ =$ auki

$\alpha = 90^\circ =$ kiinni

Pellin asento %

$\alpha = 100\% =$ auki

$\alpha = 0\% =$ kiinni



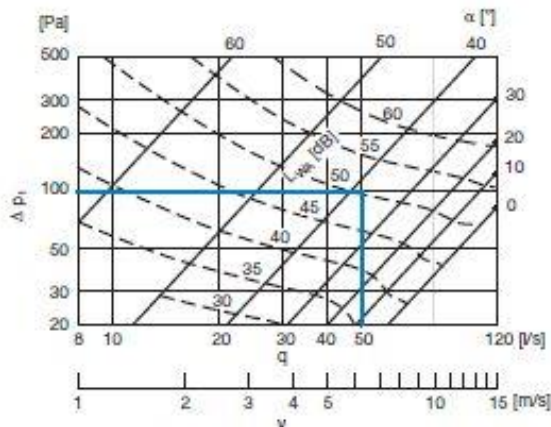
Esimerkki

Valittu:	Koko	Ø100
	Ilmavirta	50 l/s
	Painehäviö	100 Pa

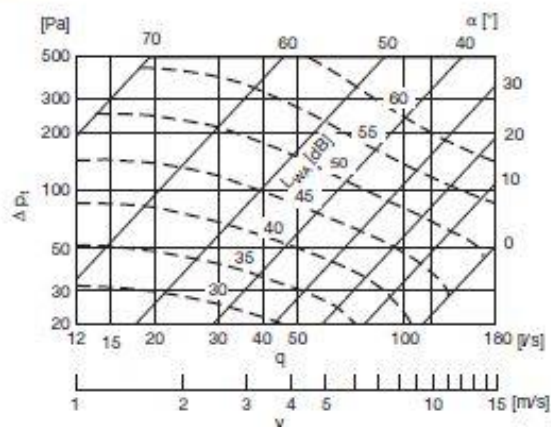
Käyrästä:

Pellin asento	39°
Äänen tehotaso	50,3 dB (A)

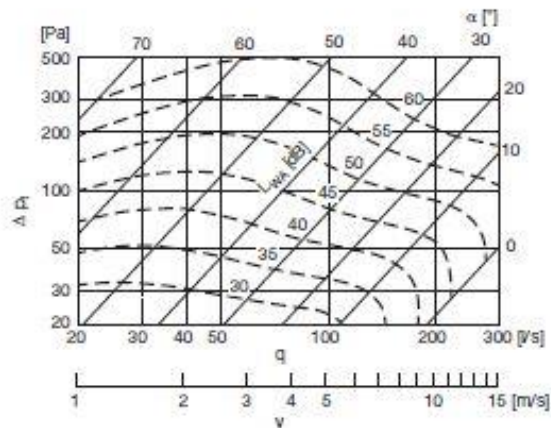
Ø100



Ø125



Ø160

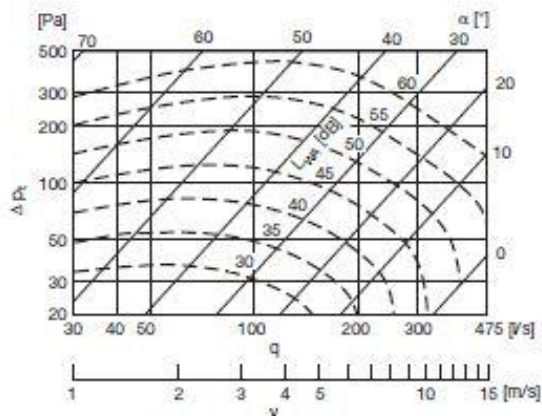


lindab | ultralink

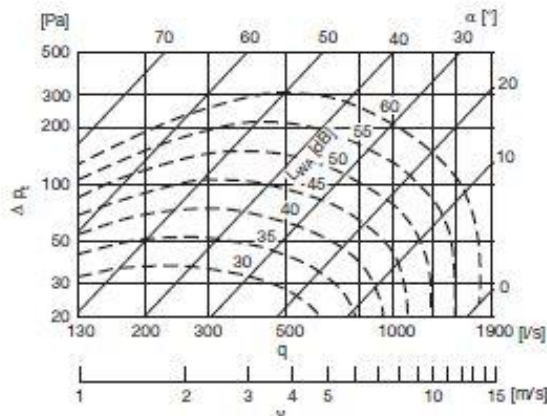
UltraLink Ilmavirtasäädin

FTCU

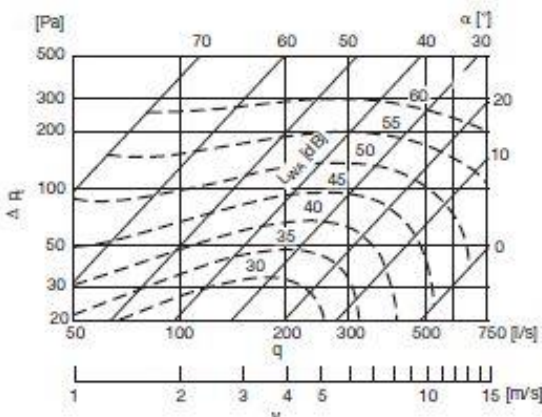
Ø200



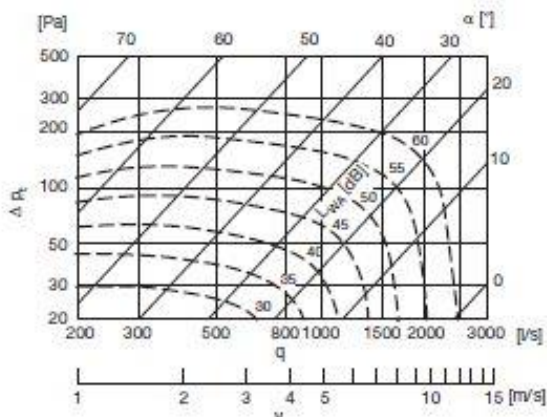
Ø400



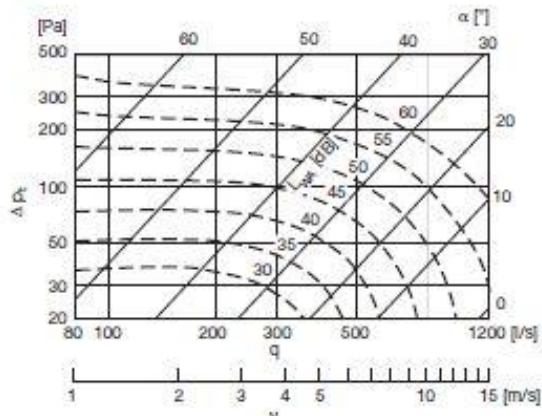
Ø250



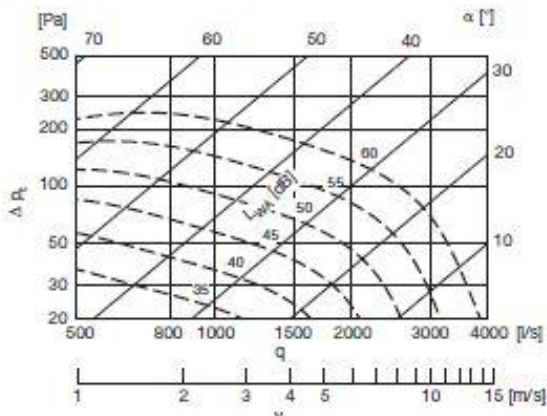
Ø500



Ø315



Ø630



Tutkittuja tuloksia

Velco- ja VLK-venttiilien virtausteknisten suoritusarvojen määrittämiseksi tilattiin tarvittavat mittaukset VTT Expert Service Oy:ltä, joka tutkimuksen yhteydessä vaihtoi omistajaa ja nimeä. Tämän vuoksi tutkimuksen raportin laatijana on Eurofins Expert Service Oy.

Taulukossa on esitetty mittaustulokset ilmavirroille eri sisä- ja ulkoilman välisille paine-eroille.

Ilmanvirrat suodattimella (L/s)

Venttiili	5 Pa	10 Pa	20 Pa
VT-80	2,5	3,8	6,0
VT-100	3,7	5,6	8,4
VT-125	5,3	8,6	14,1
VT-160	7,9	12,6	20,3

Ilmanvirrat ilman suodatinta (L/s)

Venttiili	5 Pa	10 Pa	20 Pa
VT-80	7,0	10,0	14,2
VT-100	8,9	12,7	18,1
VT-125	14,4	20,3	28,6
VT-160	17,9	25,3	35,7

Suodattimen vaikutus (%)

Venttiili	5 Pa	10 Pa	20 Pa
VT-80	-65	-62	-58
VT-100	-59	-56	-54
VT-125	-63	-57	-51
VT-160	-56	-50	-43