

Mikael Heinonen

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelun perusteet

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

6.4.2016

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Mikael Heinonen Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelun perusteet 48 sivua + 3 liitettä 6.4.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, suunnittelupainotteinen
Ohjaajat	toimitusjohtaja Jussi Annala osaamisaluepäällikkö, DI Jorma Säteri
<p>Insinööriyössä käydään läpi nykyiset rakentamismääräykset täyttävän painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelun perusteet sekä uudis- että saneerauskohteiden osalta. Työn tavoitteena oli luoda apudokumentti painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelua varten sekä kehittää työkalu painovoimaistenpoistohormien ja tuuletusaukkojen mitoitukseen.</p> <p>Työ on jaettu kolmeen pääalueeseen, joista ensimmäisessä käsitellään painovoimaisen ilmanvaihtoteorian ja kaavat, joilla järjestelmän toimintaa voidaan tarkastella laskennallisesti. Toisessa pääalueessa paneudutaan painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmien historiaan käymällä läpi erilaisia järjestelmien toteutustapoja ja niiden kehitystä viimeisen 150-vuoden ajalta. Historian läpikäymisen tarkoituksena on antaa lukijalle käsitys siitä, minkälaisiin järjestelmiin voidaan törmätä saneerauskohteissa joissa painovoimainen ilmanvaihto on vielä käytössä. Kolmas pääalue keskittyy painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän käytännön suunnittelun ja vuoden 2012 Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 erityisesti painovoimaisiin ilmanvaihtojärjestelmiin vaikuttavien määräysten sekä ohjeiden esittelyyn.</p> <p>Kolmen pääalueen lisäksi työssä käsitellään lyhyesti painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän yleisiä käyttökohteita saneerauksissa sekä uudisrakentamisessa ja sitä, mitkä määräykset ovat kulloinkin voimassa. Työn lopussa esitellään kehitetyn mitoitustyökalun toimintaa tarkastelemalla sen avulla, saneeratun pientalon painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa eri olosuhteissa.</p> <p>Painovoimainen ilmanvaihto on nykypäivänä vähän käytetty järjestelmä, jonka suunnitteluun ei löydy ajantasaista eikä kattavaa suomenkielistä ohjeistusta. Insinööriyö tarjoaa tähän tarpeeseen laajan ja yhtenäisen kokonaisuuden, jota voidaan käyttää painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelun apuna.</p>	
Avainsanat	painovoimainen ilmanvaihto, luonnollinen ilmanvaihto, luonnollinen ilmanvaihto, suunnittelu

Author Title	Mikael Heinonen The Planning Basis for a Natural Ventilation System
Number of Pages Date	48 pages + 3 appendices 6 April 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructors	Jussi Annala, Chief Executive Officer Jorma Säteri, Head of Department
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to study the natural ventilation systems from the planning perspective. The second main goal of the project was to develop a sizing tool for natural ventilation stacks and openings.</p> <p>Up-to-date and relevant information about the natural ventilation, from the planning perspective, was gathered from various literature sources. The equations introduced in the literature were also the basis for the sizing tool.</p> <p>The main result of the final year project was the thesis, which is composed in such a way that it serves as a planning guidebook. With the help of the thesis the designer understands the physical fundamentals of the stack effect and wind-induced ventilation. The brief history of the use of natural ventilation in Finland should prepare the designer for various renovation cases, and the collection of current legal regulations, guidelines and planning instructions affecting the planning of natural ventilation systems helps the designer in his or her work.</p> <p>The thesis offers a comprehensive basis for modern natural ventilation planning in Finnish, something that did not exist earlier. Also, the new sizing tool is both fast and simple to use, although it suffers the limitations of the simplified empirical equations.</p>	
Keywords	natural ventilation, stack effect, wind-induced ventilation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Teoriaa	2
2.1	Hormivaikutus	2
2.1.1	Ilman virtaus hormissa	5
2.1.2	Painejakauma tilassa	8
2.2	Tuulen vaikutus	10
2.2.1	Tuulen hyödyntäminen rakennuksen ilmanvaihdossa	11
2.2.2	Tuuletus	12
2.2.3	Läpituuletus	15
2.2.4	Rakomaiset aukot	16
3	Historia	17
3.1	1800–luku	18
3.2	1900–1919	19
3.3	1920–1939	20
3.4	1940–1949	21
3.5	1950–1970	21
3.6	1970–rakentamismääräysten aika	22
4	Uudisrakennukset	23
4.1	Painovoimainen ilmanvaihto uudisrakennuksessa	23
4.2	Voimassaolevat rakennusmääräykset	24
5	Saneerauskohteet	24
5.1	Painovoimainen ilmanvaihto saneerauskohteissa	24
5.2	Saneerauskohteita koskevat rakennusmääräykset	25
6	Yleiset periaatteet painovoimaisen ilmanvaihdon suunnitteluun	25
6.1	Mitoittavat sisä- ja ulkoilman olosuhteet	26
6.1.1	Sisäilman olosuhteet	26
6.1.2	Sääolosuhteet	27
6.2	Painovoimaiset poistohormit	28

6.2.1	Uuden hormin suunnittelu	28
6.2.2	Vanhan hormin kunnostus	30
6.2.3	Pystyhormin jälkeiset vaakakanavoinnit	32
6.2.4	Poistoilmaventtiilit	32
6.2.5	Lämmöntalteenotto poistoilmasta	32
6.3	Tuuletus	33
6.3.1	Tuuletuksen suunnittelu	33
6.3.2	Ikkunan avautumistavan vaikutus tuuletukseen	34
6.4	Ulkoilman sisäänotto	35
6.4.1	Ulkoilman suodatus	37
6.4.2	Äänenvaimennus	37
6.5	Siirtoilmareitit	38
6.6	Painovoimaisen ilmanvaihdon tehostus	38
6.6.1	Liesituuletin	38
6.6.2	Tuulitoimiset apulaitteet	40
7	Esimerkki painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnan laskennallisesta tarkastelusta	41
7.1	Mitoitustiedot	41
7.2	Ilmanvaihto hormin kautta	42
7.3	Tuuletuksen aikainen ilmanvaihto	42
8	Laskennallisen tarkastelun validointi	43
8.1	Hormivaikutuksen laskennan validointi	43
8.2	Tuuletuksen laskennan validointi	44
9	Lopuksi	45
	Lähteet	46
	Liitteet	
	Liite1. Eri kanavaosien kertavastuskertoimia	
	Liite 2. Tuulen painekertoimia eri tilanteissa	
	Liite 3. Laskentaraaportti painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnasta esimerkkikohteessa.	

Lyhenteet

CFD	Computational Fluid Dynamics, numeerinen virtausdynamiikan laskentamenetelmä, jolla simuloidaan tietokoneiden avulla fluidien käyttäytymistä.
C1	Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1. Määräyksiä ja ohjeita koskien äänieristystä ja meluntorjuntaa rakennuksessa.
D2	Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2. Määräyksiä ja ohjeita koskien rakennusten sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa.
D3	Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3. Määräyksiä ja ohjeita koskien rakennusten energiatehokkuutta.
E7	Suomen rakentamismääräyskokoelman osa E7. Ohjeita koskien ilmanvaihtolaitteistojen paloturvallisuutta
E-luku	Energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden.

1 Johdanto

Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä määritellään Suomen rakentamismääräyskoelman osassa D2 järjestelmäksi, jonka toiminta perustuu korkeus- ja lämpötilaerojen sekä tuulen aiheuttamiin paine-eroihin. Painovoimaisesta ilmanvaihdosta käytetään myös nimityksiä luonnollinen sekä luonnonmukainen ilmanvaihto. Mikäli muuten painovoimaisesti toimivaa ilmanvaihtojärjestelmää tehostetaan suunnitteluarvojen saavuttamiseksi sähköisten puhaltimien avulla, on kyseessä hybridi-ilmanvaihtojärjestelmä. (1, s. 1) Tässä insinöörityössä keskitytään pelkästään painovoimaiseen ilmanvaihtoon ja sen suunnittelussa huomioitaviin seikkoihin.

Suomessa painovoimainen ilmanvaihto oli selvästi yleisin ilmanvaihdon toteutustapa kaikissa rakennustyypeissä aina 1950-luvulle asti. Tämän jälkeen koneellinen poisto syrjäytti painovoimaisen ilmanvaihdon isoissa rakennuksissa, mutta pientaloissa painovoimainen ilmanvaihto säilytti asemansa vielä 1970-luvulle saakka. Nykyään painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä on uudisrakennuksissa harvinainen ratkaisu. Vain reilussa prosentissa uusista pientaloista päädytään painovoimaiseen ilmanvaihtoon. (2) Isommissa rakennuksissa täysin painovoimaista ilmanvaihtoa ei käytetä enää ollenkaan, ja hybridi-ilmanvaihdolla toteutettuja kohteitakin on vain muutamia. (1, s. 1 – 8)

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän harvinaisuuden takia sen suunnittelua ei enää yleisesti hallita (3). Suunnittelulle on kuitenkin kysyntää erityisesti saneerauskohteissa, joissa vanha painovoimainen ilmanvaihto halutaan säilyttää. Painovoimainen ilmanvaihto voidaan suunnitella joko laskennallisesti tai CFD-simuloinneilla. Varsinkin isommissa kohteissa simulointi on vähätisempi vaihtoehto, ja sillä päästään tarkempaan arvioon ilmanvaihdon todellisesta toiminnasta. Tässä työssä painovoimaisen ilmanvaihdon suunnittelu oletetaan kuitenkin tapahtuvan ilman tietokonesimulointia.

Tämän insinöörityön on tilannut linjasaneeraussuunnitteluun erikoistunut Insinööritöimistö Putkimaailma Oy, ja työn on tarkoitus toimia apudokumenttina painovoimaisen ilmanvaihdon suunnittelussa. Työssä esitellään kattavasti kaavat joilla painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa voidaan tarkastella laskennallisesti sekä käydään läpi suunnitteluun vaikuttavia erityispiirteitä sekä saneeraus- että uudiskohteiden osalta. Lisäksi työssä esitellään eri aikakausina käytettyjä painovoimaisen ilmanvaihdon toteutustapoja ja voimassa olleita määräyksiä.

2 Teoriaa

Termillä painovoimainen ilmanvaihto tarkoitetaan kahta erilaista luonnon voimiin perustuvaa tapaa, joilla voidaan toteuttaa ilmanvaihto rakennukseen. Nämä tavat ovat ulko- ja sisäilman tiheyseroon perustuva hormivaikutus sekä tuuletus. Suomen sääolosuhteissa painovoimainen ilmanvaihto ei voi perustua vain toiseen näistä tavoista, vaan riittävän ilmanvaihdon takaamiseksi jokaisena vuodenaikana on molempia tapoja hyödynnettävä. Tässä luvussa käydään läpi laskentakaavat hormivaikutuksen sekä tuuletuksen aikaansaaman ilmanvaihdon laskemiseen.

2.1 Hormivaikutus

Ilman konvektiovirtaukset saavat aikaan niin kutsun hormivaikutuksen. Konvektiovirtauksessa vähemmän tiheä fluidi kohoaa nosteen vaikutuksesta ylemmäs kuin tiheä aine. Puhuttaessa painovoimaisesta ilmanvaihdossa kohoava fluidi on sisäilma. Suurin, mutta ei ainoa ilman tiheyteen vaikuttava tekijä on lämpötila. Tämän takia hormivaikutuksen aikaansaama paine-ero, eli painovoimaisen hormin käyttövoima, voidaan laskea kaavan 1 mukaisesti pelkästään sisä- ja ulkolämpötilojen eron avulla. (4, s. 313.) Tämä on mahdollista, koska ilman tiheys on ideaalikaasun tilayhtälön mukaisesti kääntäen verrannollinen sen lämpötilaan. Lämpötilaeron avulla saatu tulos onkin riittävän tarkka käytännön suunnitteluun. Kaavaan sijoitettavan ulkolämpötilan mitoitusarvon valintaa käydään läpi luvussa 6.1.1.

$$\Delta p_h = \rho_u \times g \times h \times \left(1 - \frac{T_u}{T_s}\right) \quad (1)$$

Δp_h on hormin käyttövoima [Pa]

ρ_u on ulkoilman tiheys [kg/m^3]

g on maan vetovoiman kiihtyvyys [$9,81 \text{ m}/\text{s}^2$]

h on hormin ylä- ja alapään välinen korkeusero [m]

T_u on ulkoilman lämpötila [K]

T_s on sisäilman lämpötila [K]

Koska hormivaikutuksen aikaansaava voima on noste, tarkka arvo hormin käyttövoimalle lasketaan sisä- ja ulkoilman tiheyseron avulla kaavalla 2. (5, s. 36.)

$$\Delta p_h = g \times h \times (\rho_u - \rho_s) \quad (2)$$

Δp_h hormin käyttövoima [Pa]

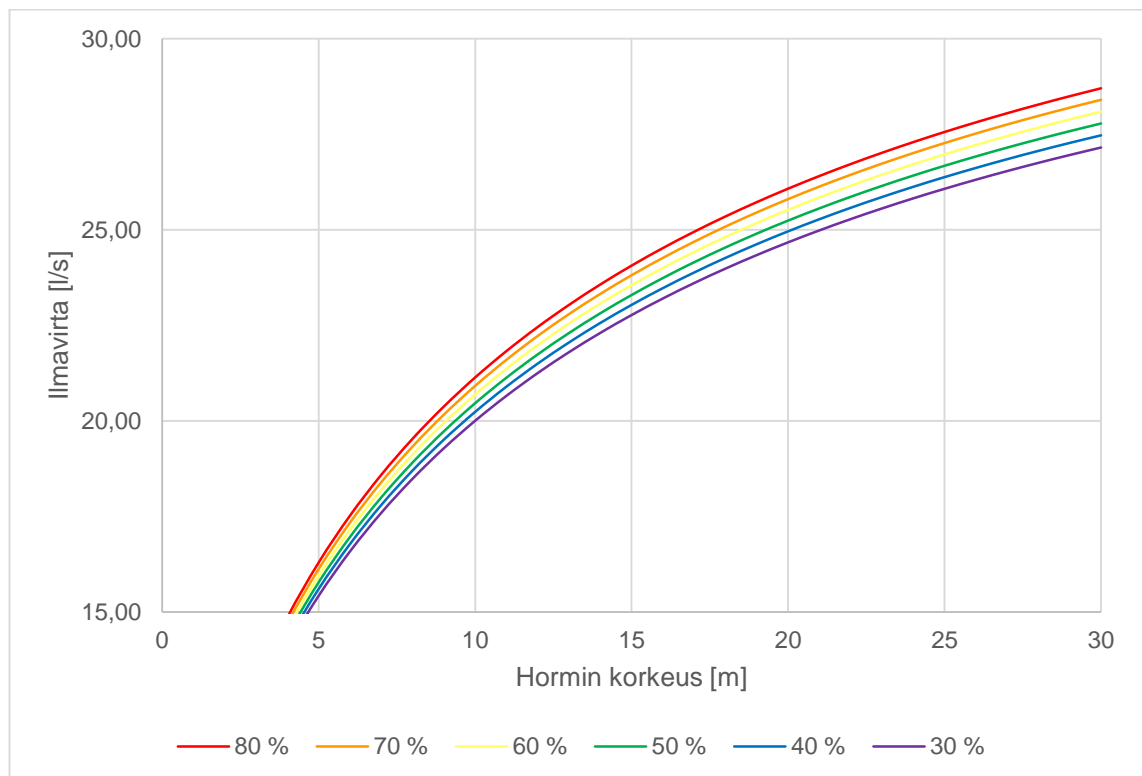
g on maan vetovoiman kiihtyvyyys [9,81 m/s²]

h on hormin ylä- ja alapään välinen korkeusero [m]

ρ_u on ulkoilman tiheys [kg/m³]

ρ_s on sisäilman tiheys [kg/m³]

Lämpötilan jälkeen toiseksi eniten ilman tiheyteen vaikuttava seikka on ilman absoluuttinen kosteus. Koska kostean ilman tiheys on kuivaa ilmaa pienempi, sisäilman kosteuden nousulla on pieni ilmanvaihtoa tehostava vaikutus painovoimaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä. Kosteuden nousun tehostavaa vaikutusta on havainnollistettu kuviossa 1. Muiden kuin lämpötilan ja absoluuttisen kosteuden vaikutus ilman tiheyteen on niin vähäinen, ettei niiden arviointi ole mielekäästä.



Kuvio 1. Laskennallisia ilmavirtoja uudessa 1½-kiven hormissa (15 cm x 15 cm) eri sisäilman suhteellisilla kosteuksilla ulkoilman ollessa +10 °C, RH 60 %.

Kostean ilman tiheys voidaan laskea kaasun tiheyden kaavalla 3, johon on sovellettu Daltonin osapainelakia, jonka mukaan kaasuseoksen paine on sen kaasujen osapaineiden summa. (6, s. 125.)

$$\rho_i = \frac{p_{ki} \times M_{ki} + p_h \times M_h}{R \times T} \quad (3)$$

ρ_i on kostean ilman tiheys [kg/m³]

p_{ki} on kuivan ilman osapaine [Pa]

M_{ki} on kuivan ilman moolimassa [0,028964 kg/mol]

p_h on vesihöyryn osapaine [Pa]

M_h on vesihöyryn moolimassa [0,018916 kg/mol]

R on kaasuvakio [8,314 J/(K×mol)]

T on kostean ilman lämpötila [K]

Vesihöyryn osapaine lasketaan kylläisen vesihöyryn paineen ja vallitsevan suhteellisen ilmankosteuden avulla. (6, s. 125)

$$p_h = \frac{\varphi}{100} \times p_{h'} \quad (4)$$

p_h on vesihöyryn osapaine [Pa]

φ on suhteellinen ilmankosteus [%]

$p_{h'}$ on vesihöyryn kyllästyspaine [Pa]

Vesihöyryn kyllästyspaine tarkoittaa vesihöyryn painetta, kun vallitseva suhteellinen ilmankosteus on 100 %. Kyllästyspaine vaihtelee ilman lämpötilan mukaan ja lämpimässä ilmassa kyllästymispaine on suurempi kuin kylmässä. Vesihöyryn kyllästyspaineen arvioimiseksi tietyssä lämpötilassa on olemassa monia erilaisia kaavoja. Kaikki yleisesti käytössä olevat kaavat antavat lähes samoja tuloksia ilman lämpötilan pysyessä luonnossa törmättävissä rajoissa. Tässä insinööriyössä käytetään teollisuusilmanvaihtoprosessien suunnittelun avuksi kehitettyä kaavaa kylläisen vesihöyryn paineen laskemiseen. (6, s. 125.)

$$p_{hv} = 100000 \times e^{11,78 \times \frac{T-372,79}{T-43,15}} \quad (5)$$

p_{hv} on vesihöyryn kyllästyspaine ilman lämpötilassa T [Pa]

e on Neperin luku [~2,718]

T on ilman lämpötila [K]

Kaavassa 3 tarvittava kuivan ilman osapaine saadaan vähentämällä vesihöyryn osapaine vallitsevasta ilmanpaineesta

$$p_{ki} = p_i - p_h \quad (6)$$

p_{ki} on kuivan ilman osapaine [Pa]

p_i on ilmanpaine [Pa]

p_h on vesihöyryn osapaine [Pa]

Ilmanpaine tarkoittaa tietyn pisteen päällä olevan ilmassan painoa pinta-alayksikköä kohden. Ilmanpaine tietyssä pisteessä ei ole vakio vaan ilmakehässä tapahtuu jatkuvaa ilmanpaineen muutosta, joka aiheuttaa monet sääilmiöt. Vallitsevasta ilmanpaineesta meren pinnan tasolla on kuitenkin olemassa lukuisia erilaisia standardeja. Standardi ISO 13443 määrittelee ilmapaineeksi meren pinnan tasolla 101,325 kPa lämpötilan ollessa 15 °C ja suhteellisen kosteuden 0 %. Tätä arvoa voidaan käyttää ilmanpaineena kuivan ilman osapainetta laskettaessa.

2.1.1 Ilman virtaus hormissa

Ilman tilavuusvirta hormissa lasketaan kertomalla hormin poikkipinta-ala virtaavan ilman nopeudella, (7, s. 113).

$$q_v = A \times v \quad (7)$$

q_v on ilman tilavuusvirta hormissa [m³/s]

A on hormin poikkipinta-ala [m²]

v on ilman virtausnopeus hormissa [m/s]

Ilman virtausnopeus hormissa lasketaan hormivaikutuksen aikaansaaman käyttövoiman ja ilmanvirtauksen aiheuttaman painehäviön avulla. Laskussa horminkäyttövoima ja painehäviöt hormissa tasapainottuvat yhtä suuriksi. (7, s. 113).

$$v = \frac{\sqrt{\Delta p_h}}{\sqrt{\left(\sum \zeta + \frac{\lambda \times l}{d_h}\right) \times \frac{1}{2} \times \rho_s}} \quad (8)$$

v on ilmavirtausnopeus hormissa [m/s]

Δp_h on hormin käyttövoima [Pa]

ζ on kertavastuskerroin, liite 1

λ on hormin kitkakerroin

l on hormin pituus sisältäen myös vaakasuorat osuudet [m]

d_h on hormin hydraulinen halkaisija [m]

ρ_s on sisäilman tiheys [kg/m³]

Kitkakerroin on riippuvainen hormin ominaisuuksista sekä virtauksen laadusta ja se voidaan joko arvioida Moodyn diagrammista tai laskea. Virtaus voi olla laadultaan laminaarista, turbulentista tai näiden väliltä. Virtauksen laatua kuvaa Reynoldsin luku, jonka jäädessä alle 2 320:n, virtaus on laminaarista. Arvon 4 000 ylittävä Reynoldsin luku tarkoittaa turbulentista virtausta. Reynoldsin luvun laskemiseksi ilman virtausnopeus hormissa tulee iteroida tai arvioida. (7, s. 95.)

$$Re = \frac{d_h \times v_a}{\nu} \quad (9)$$

Re on Reynoldsin luku

d_h on hormin hydraulinen halkaisija [m]

v_a on arvioitu ilman virtausnopeus hormissa [m/s]

ν on ilman kinemaattinen viskositeetti, joka saa arvon $15,11 \times 10^{-6}$ lämpötilassa + 20 °C [m²/s]

Hydraulinen halkaisija on sellaisen pyöreän kanavan halkaisija, joka painehäviöiltään vastaa laskettavan suorakaiteen muotoisen hormin painehäviöitä. Mikäli hormi on pyöreä, voidaan hydraulisen halkaisijan paikalla käyttää hormin todellista sisähalkaisijaa. Suorakaiteen muotoisen hormin hydraulinen halkaisija voidaan laskea hormin sivujen pituuksien avulla.

$$d_h = \frac{2 \times a \times b}{a + b} \quad (10)$$

d_h on hormin hydraulinen halkaisija [m]

a on hormin pidemmän sivun pituus [m]

b on hormin lyhemmän sivun pituus [m]

Kun ilman ilmanvirtaus hormissa on turbulenttista eli pyörteellistä ($Re > 4000$), hormin sisäpinnan karheus vaikuttaa kitkakertoimeen. Turbulenttisen ilmapirtauksen kitkakertoimen laskemiseen on olemassa monia erilaisia kaavoja, jotka perustuvat kokeellisiin tutkimuksiin tai teoreettisiin tarkasteluihin. Tässä työssä käytetään Wadmarkin kaavaa, joka on pätevä turbulenttisesti virtauksessa, kun lasketaan hormivaikutuksen aikaan saama ilmapirtaa tavanomaisessa hormissa.

$$\lambda = \left(-2 \times \lg \left(\frac{k/d}{3,707} + \frac{5,6-37 \times k/d}{Re^{0,9}} \right) \right)^{-2} \quad (11)$$

λ on turbulenttisen virtauksen kitkakerroin

d_h on hormin hydraulinen halkaisija [mm]

k on hormin materiaalin karheus, taulukko 1 [mm]

Re on Reynoldsin luku

Reynoldsin luvun väliarvoille ($2350 > Re > 4000$), jolloin virtaus ei ole selkeästi turbulenttista tai laminaarista voidaan käyttää Blasiusin yhtälöä kitkakertoimen laskemiseen. (14)

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad (12)$$

λ on muutosalueen virtauksen kitkakerroin

Re on Reynoldsin luku

Ilmapirtauksen ollessa pyörteetöntä eli laminaarista ($Re < 2320$) hormin sisäpinnan epätasaisuus ei vaikuta hormin kitkakertoimeen. Käytännössä virtaus painovoimaisessa poistohormissa voi olla laminaarista vain päivisin kesäaikaan, kun sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero on pieni.

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (13)$$

λ on laminaarisen virtauksen kitkakerroin

Re on Reynoldsin luku

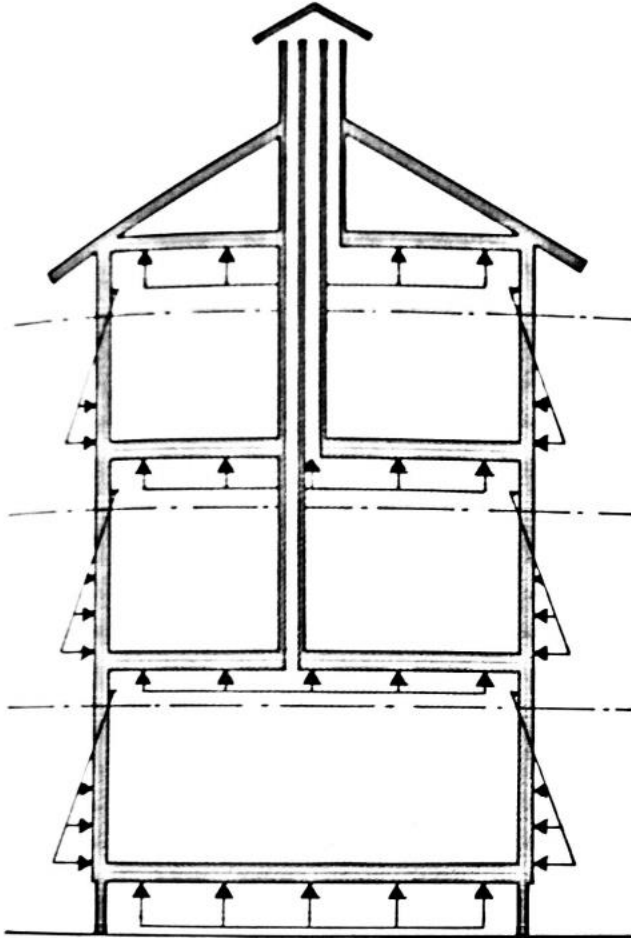
Taulukko 1. Eri materiaalien karheusarvoja (7, s. 96; 8)

Putki- tai pintamateriaali	karheus k, mm
Vedettyä putkea lasista, kuparista tai alumiinista	0–0,0015
Muoviputki	0,0015–0,007
Teräsputki, valssattu	0,01–0,05
Teräsputki, sinkitty	0,1–0,16
Teräsputki, vähän ruostunut	0,15–0,4
Teräsputki, hyvin ruostunut	2–4
Asbestisementtikanava	0,03–0,1
Peltikanava, kierresaumattu	0,15
Valurautaputki	0,2–0,6
Valurautaputki, bitumoitu	0,1–0,13
Betoniputki, teräsbetoni	0,1–0,15
Betoniputki, slammattu	0,3–0,8
Betoniputki, keskikarkea	1–2
Betoniputki, karkea	2–3
FuranFlex sukka	0,5
Saviputki, poltettu	0,7
Tiilimuuraus, tasoitettu	2–3
Tiilimuuraus, raaka	5–8

2.1.2 Painejakauma tilassa

Painovoimaisten poistoilmahormien hormivaikutus saa aikaan sen, ettei sisäilman paine tilassa ole tasainen vaan tilan yläosa on ulkoilmaan nähden ylipaineinen ja alaosa alipaineinen. Tietyllä korkeudella tilan ja ulkoilman paine on yhtä suuri. Tämä neutraalitaso on sitä lähempänä kattoa, mitä isompi hormivaikutus tilaa palvelevalla hormilla on. Koska

kerrostalossa hormipituus ja siitä seuraava hormivaikutus kasvaa, mitä alemmaksi mennään, kerroskohtainen tasapainopiste on sitä lähempänä kattoa, mitä alempi kerros on kyseessä. Tätä on havainnollistettu kuvassa 1.

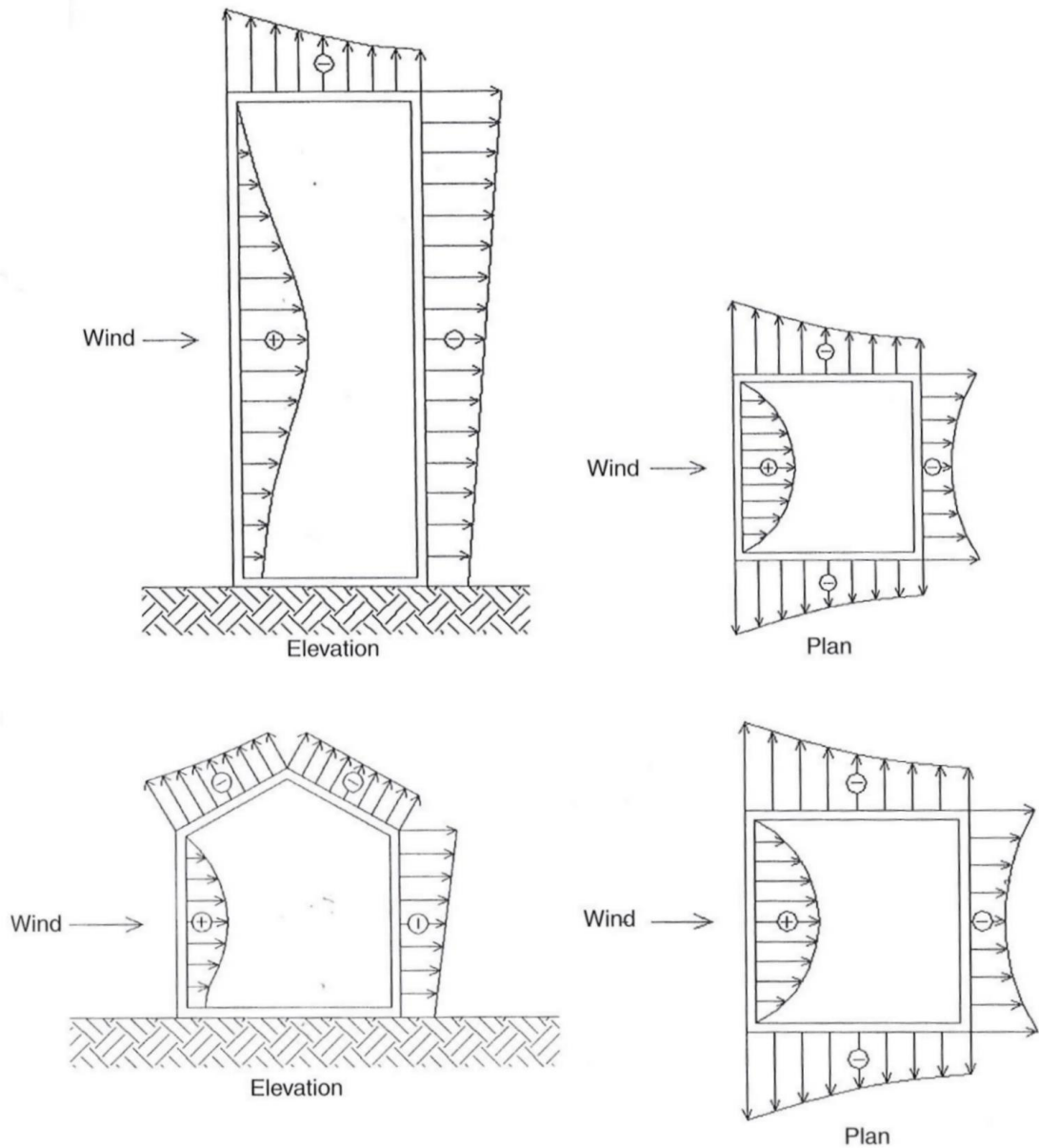


Kuva 1. Painejakauma kerrostalossa (5, s. 37).

Painejakauma syntyy myös ilman poistohormeja, kun lämmin ilma nousee tilassa ylöspäin tiheämmän kylmän ilman jäädessä tilan alaosaan. Ilmiö on merkittävä erityisesti korkeissa, ilmatilavuudeltaan suurissa tiloissa kuten rappukäytävissä. Painejakauma takia rappukäytävä on rakennuksen alaosan tiloihin nähden alipaineinen ja vastavuoroisesti ylipaineinen yläosan tiloihin nähden. Tästä voi seurata haitallisia ilmanvirtauksia esimerkiksi, rappukäytävästä asuntoihin postiluukkujen kautta. Ilman lämpenemisestä aiheutuvaa painejakaumaa voidaan kuitenkin myös hyödyntää, yksittäisten muusta rakennuksesta ilmanvaihdollisesti erillisten ei asuin käytössä olevien tilojen, kuten pientalon teknisen tilan tai varaston ilmanvaihtoon. Tämä tapahtuu sijoittamalla ilmanvaihtoreitti tilan ala- ja yläosaan.

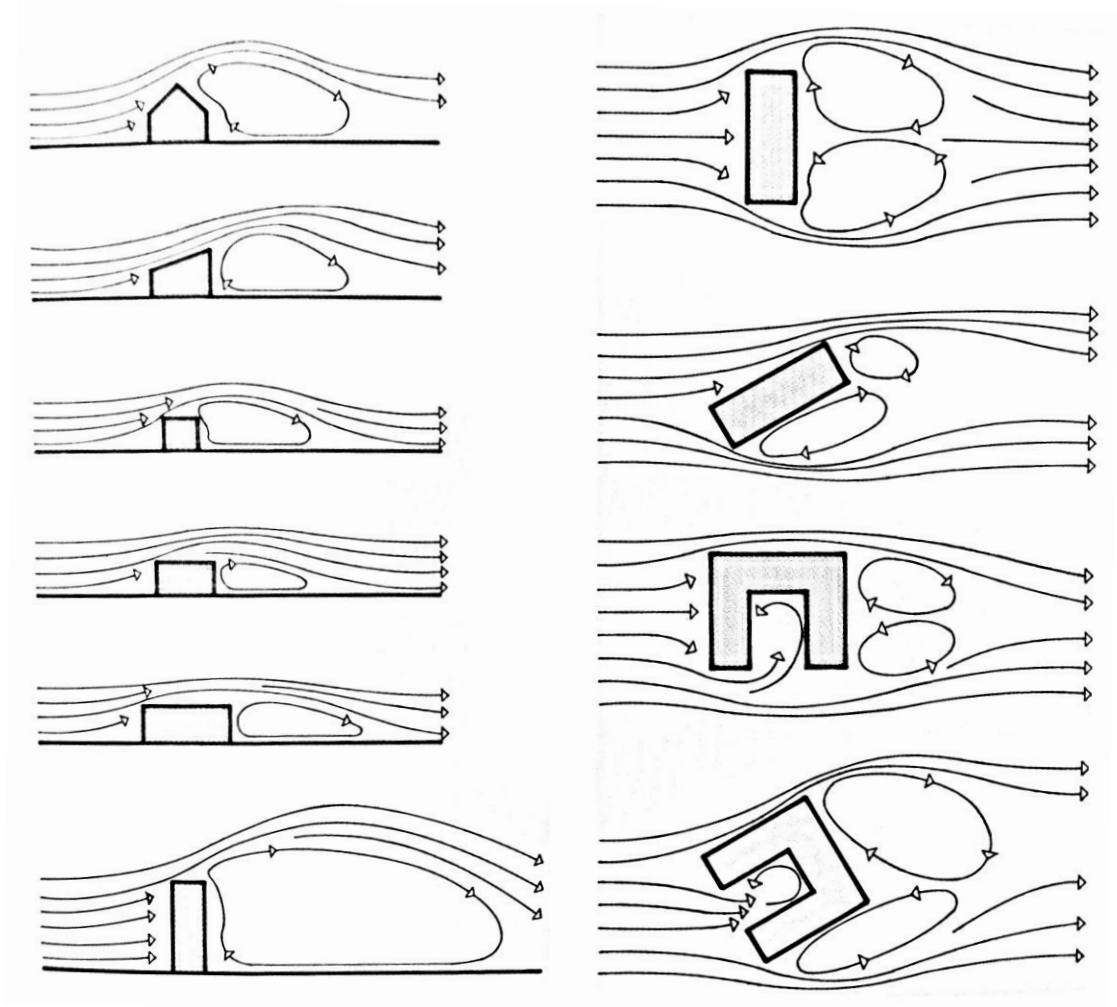
2.2 Tuulen vaikutus

Tuuli saa aikaan suunnaltaan ja suuruudeltaan erilaisia rakennuksen sisäilman ja ulkoilman välisiä paine-eroja. Nämä paine-erot saavat ilman liikkumaan rakennuksesta sisään tai ulos, riippuen siitä aiheuttaako tuuli sisäilmaan nähden yli- vai alipaineen. Tuulen aikaansaamia paineiden suuntia ja suhteellisia suuruuksia on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Tuulen aikaansaaman painekuvion muoto ja suunta (4, s. 309)

Kuten kuvasta huomataan, tulen aiheuttama painekuvio rakennuksen yksittäisellä ulkovaipan pinnalla ei ole vakio. Tämä johtuu tuulen käyttäytymisestä sen törmätessä rakennukseen sekä tuulen nopeuden vaihtelusta eri korkeuksilla. Tuulen käyttäytymistä eri tilanteissa on havainnollistettu alla kuvassa 3. Painekuvion vaihtelu on työlästä ottaa huomioon laskennassa, joten tämän luvun laskukaavoissa painekuvion oletetaan olevan tasainen. Simuloitaessa tuulen aikaansaamaa ilmanvaihtoa tietokoneella painekuvion vaihtelu pystytään ottamaan huomioon.



Kuva 3. Tuulen käyttäytyminen sen osuessa erilaisiin rakennuksiin (5, s. 15).

2.2.1 Tuulen hyödyntäminen rakennuksen ilmanvaihdossa

Tuulen merkitys painovoimaisessa ilmanvaihdossa korostuu etenkin lämpiminä kesäpäivinä, jolloin lämpötila-erosta käyttövoimansa saavat painovoimaiset poistoilmahormit ei-

vät toimi. Kesäaikaan riittävän ilmanvaihdon saavuttamiseksi tiloja onkin tuuletettava tarpeen mukaan avattavien tuuletusaukkojen kautta. Tuuletukselta voidaan käyttää myös muina vuodenaikoina painovoimaisen ilmanvaihdon hetkelliseen tehostamiseen. Tuuletusaukot voivat olla esimerkiksi avattavia ikkunoita tai tuuletusluukkuja. Tuuletusikkunaa käytettäessä on otettava huomioon, että ikkunan aukeamistapa vaikuttaa tuuletuksen tehokkuuteen sekä mahdolliseen vedon tunteeseen kylminä vuodenaikoina tuulettaessa. (4, s. 320–323.) Ikkunan aukeamistavan vaikutusta käsitellään tarkemmin tämän työn luvussa 6.3.2. Tuuletus voi tapahtua joko läpivirtauksena tilan poikki tai vain yhden seinän kautta. Lisäksi tuuli puhaltaa ympäri vuoden ilmaa rakennukseen sisään ulkoilmareiteistä ja vuotoilmana rakenteiden läpi.

2.2.2 Tuuletus

Tavallisessa tuuletuksessa tilan tuuletusaukko tai -aukot on sijoitettu vain yhdelle ulkoseinälle. Ilman virtaus sisään ja ulos tilasta tapahtuu saman aukon kautta. Sijoittamalla aukot näin saavutetaan tehokas ilmanvaihtuvuus, kun tuuletusaukon ja sen vastakkaisen seinän etäisyys on korkeintaan 2,5 kertaa tilan huonekorkeuden verran. (4, s. 325.) Yhden seinän tuuletuksen keskeinen etu on se, että sitä voidaan käyttää myös sellaisten tilojen ilmanvaihtoon, joissa ei ole kahta vastakkaista ulkoseinää. Yhden seinän tuuletuksen aikaansaama ilmanvaihto perustuu suurelta osin sisään puhaltavan tuulen vaikutukseen sekä osittain sisään tulevan ulkoilman lämpenemisestä aiheutuvaan virtaukseen. Koska nämä kaksi toimintamekanismia kumoavat osittain toisiaan, syntyviä virtauksia ei voida laskea suoraan yhteen. Ilmanvaihdon kokonaismäärää voidaan arvioida riittävällä tarkkuudella käyttäen Pythagoraan lausetta ilman lämpenemisen ja tuulen aiheuttaman virtaaman yhteen laskemiseen.

$$q_{v,tot} = \sqrt{q_{v,painov}^2 + q_{v,tuuli}^2} \quad (14)$$

$q_{v,tot}$ on tuuletuksen aikaansaama kokonaisilmanvaihto [m^3/s]

$q_{v,painov}$ on tuuletuksen aikainen ilman lämpenemisestä aiheutuva ilmavirta aukon läpi [m^3/s]

$q_{v,tuuli}$ on tuulesta aiheutuva ilmavirta aukon läpi [m^3/s]

Tuuletuksen aikainen sisään tulevan ulkoilman lämpenemisen aikaansaaman ilmanvaihto isojen aukkojen kuten tuuletusikkunoiden kautta lasketaan kaavalla 15. (4, s. 326.)

$$q_{v,painov} = \frac{\alpha \times A}{3} \times \sqrt{g \times h \times \frac{\Delta T}{T_s}} \quad (15)$$

$q_{v,painov}$ on tuuletuksen aikainen ilman lämpenemisestä aiheutuva ilmavirta aukon läpi [m³/s]

α on ilmasuihkun kuroutumiskerroin taulukosta 2

A on tarkasteltavan aukon pinta-ala [m²]

g on maan vetovoiman kiihtyvyys [9,81 m/s²]

h on aukon korkeus [m]

ΔT on ulkoilman ja sisäilman välinen lämpötilaero [K]

T_s on sisäilman lämpötila [K]

Tuulen aikaansaamat ilmavirat rakennuksesta sisään tai ulos rakennuksen vaipassa olevan aukon kautta lasketaan kaavalla 16 (4, s. 312, 7, s. 211).

$$q_{v,tuuli} = \alpha \times A \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta p_t}{\rho_u}} \quad (16)$$

$q_{v,tuuli}$ on tuulesta aiheutuva ilmavirta aukon läpi [m³/s]

α on ilmasuihkun kuroutumiskerroin

A on tarkasteltavan aukon pinta-ala [m²]

Δp_t on tuulesta aiheutuva paine-ero [Pa]

ρ_u on ulkoilman tiheys [kg/m³]

Kuroutumiskertoimen arviointi on hankalaa laskettaessa tuulen aiheuttamaa virtaamaa aukon läpi, sillä kuroutumiskerroin on aukon muodon ja koon lisäksi riippuvainen myös tuulen nopeudesta ja suunnasta. Kuroutumiskertoimen arvioinnille ei ole kehitetty laskukaavaa, vaan olemassa olevat taulukkoarvot on saatu käytännön kokeiden ja tietokonesimulaatioiden avulla. Per Heiselbergin vuonna 2001 tekemien mittausten perusteella tavanomaisesti käytetyn sivulta ripustetun ikkunan kuroutumiskertoimen arvo vaihtelee väliltä 1,0–0,6, riippuen siitä kuinka paljon ikkunaa on avattu. Täysin avonaisen ikkunan kuroutumiskerroin on pienempi kuin osittain avatun, mutta kuitenkin aina vähintään 0,6. (9, s. 859–869.) Muita erityyppisille aukoille mitattuja kuroutumiskertoimia esitellään taulukossa 2.

Taulukko 2. Ilmasuihkun kuroutumiskertoimia eri aukkotyypeille (7, s. 158)

Aukon tyyppi	α
Suuttimet	0,99
Teräväreunaiset pyöreät reiät	0,63
Suorakaiteen muotoiset aukot (pyöristetyt)	0,82–0,88
Rei'itetyt levyt	0,74–0,82
Säleiköt	0,66–0,74

Ilmavirran laskemiseksi on tiedettävä tarkasteltavan aukon yli vaikuttava paine-ero. Rakennuksen ulkopinnoille muodostuvat paikalliset yli- tai alipaineet ovat riippuvaisia tuulen suunnasta ja rakennuksen muodosta. Tuulen aiheuttamaa aukon yli vallitsevaa paine-eroa voidaan arvioida kaavalla 17, kun rakennuksen ulkopintojen painekuviot oletetaan tasaiseksi. (4, s. 308.)

$$\Delta p_t = \frac{1}{2} \times C_p \times \rho_u \times v_r^2 \quad (17)$$

Δp_t on tuulesta aiheutuva paine-ero [Pa]

C_p on rakennuksen muodosta ja tuulen suunnasta riippuva painekerroin, liite 2

ρ_u on ulkoilman tiheys [kg/m^3]

v_r^2 on tuulen referenssinopeus [m/s]

Viralliset tuulen nopeuden mittaukset suoritetaan yleensä 10 m maaston yläpuolelta. (5, s. 11) Koska rakennusta ympäröivät muut rakennukset sekä maasto vaikuttavat tuulen nopeuteen, on lähimmän sääaseman ilmoittamasta tuulen nopeudesta laskettava tuulen referenssinopeus. Referenssinopeus lasketaan yleensä rakennuksen räystäään korkeudelta, mutta korkeammissa rakennuksissa kuten kerrostaloissa on syytä laskea tuulen nopeus jokaiselle eri korkeudella sijaitsevalle ulkoilma-aukolle tai tuuletusikkunalle. (4, s.101, 7, s. 211.)

$$v_r = v_{10} \times K \times H^a \quad (18)$$

v_r on tuulen referenssinopeus korkeudella H [m/s]

v_{10} on lähimmällä säähavaintoasemalla 10 m korkeudelta mitattu tuulen nopeus [m/s]

K ja a ovat maastosta riippuvia vakioita taulukosta 3

H on korkeus, jolta tuulen nopeus halutaan laskea [m]

Taulukko 3. Maastosta riippuvia vakioita (7, s. 211)

	K	a
Avoin maasto	0,68	0,17
Peitteellinen maasto	0,52	0,20
Esikaupunkialue	0,35	0,25
Kaupunki	0,21	0,33

2.2.3 Läpituuletus

Läpituuleuksessa tuuletusaukot tai -aukkoja sijoitetaan tilan kahdelle vastakkaiselle ulkoseinälle. Läpituuleuksen toiminnan takaamiseksi vastakkaisten ulkoseinien etäisyys toisistaan tulisi olla vähintään 2,5 kertaa sekä maksimissaan noin 5 kertaa huonekorkeuden verran ja ilman virtausreitit tilan läpi tulisi olla esteetön. (4, s. 328.) Läpituuleuksessa saavutetaan yleensä parempi ilmanvaihtuvuus kuin yhden seinän tuuletuksella. Läpivirtauksen toiminta perustuu lähes täysin tuulen aikaansaamaan läpivetoon, ja ilman lämpenemisestä aiheutuva noste eli hormivaikutus vaikuttaa ilmavirtoihin vain jos vastakkaisten seinien tuuletusaukkojen korkeusero on merkittävä. Läpituuleuksen kokonaisilmavaihto lasketaan kaavalla 14 kuten yhden seinän tuuletuksessa.

Läpituuleuksessa on otettava huomioon ilman sisään- sekä ulosmenoaukon pinta-alat ja kuroutumiskertoimet, jotka lasketaan yhteen kaavassa 19. Mikäli läpituuleuksessa virtausreitillä on muita aukkoja, kuten oviaukkoja, tulee myös ne ottaa huomioon läpituuleuksen ilmavirtaa laskiessa.

$$q_{v,tuuli} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\alpha_1 \times A_1^2} + \frac{1}{\alpha_2 \times A_2^2}}} \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta p_t}{\rho_u}} \quad (19)$$

$q_{v,tuuli}$ on läpituuleuksen ilmavirta [m^3/s]

α on ilmasuihkun kuroutumiskerroin

A on tarkasteltavan aukon pinta-ala [m^2]

Δp_t on tuulesta aiheutuva paine-ero [Pa]

ρ_u on ulkoilman tiheys [kg/m^3]

Rakennuksen vastakkaisilla ulkoseinillä vallitsee usein erimerkkinen paine-ero, joka mahdollistaa läpituuletuksen toimimisen ja saa yhden seinän tuuletutusta korkeammat ilmavirrat. Joissakin tuulen puhallussuunnissa syntynyt paine-ero voi olla samanmerkinen tai jopa samansuuruinen, mikä estää läpivirtauksen syntymisen tai heikentää sitä.

$$\Delta p_t = \frac{1}{2} \times (C_{p1} - C_{p2}) \times \rho_u \times v_r^2 \quad (20)$$

Δp_t on tuulesta aiheutuva paine-ero [Pa]

C_p on rakennuksen muodosta ja tuulen suunnasta riippuva painekerroin, liite 2

ρ_u on ulkoilman tiheys [kg/m^3]

v_r^2 on tuulen referenssinopeus [m/s]

Muilta osin läpituuletuksen aikaansaaman ilmanvaihdon laskennassa käytetään samoja laskukaavoja, kuin yhden seinän tuuletusta laskettaessa.

2.2.4 Rakomaiset aukot

Ilmavirtaus rakomaisten aukkojen läpi on erilaista kuin suurempien aukkojen läpi. Tämän takia samoja laskukaavoja ei voida käyttää isojen ja rakomaisten aukkojen läpi virtaavan ilman laskentaan. Aukko on rakomainen, mikäli se on alle 10 mm korkea. Tuulen aikaansaaman ilmavirran laskemiseksi rakomaisen aukon läpi käytetään kaavaa numero 21. (7, s. 211.)

$$q_{v,tuuli} = k \times L \times \Delta p_t^n \quad (21)$$

$q_{v,tuuli}$ on tuulesta aiheutuva ilmavirta rakomaisen aukon läpi [l/s]

k on raolle tyypillinen vakio (tiivistetty ikkunarako 0,005 ... 0,2) [$\text{l/s} \cdot \text{m}$]

L on tarkasteltavan raon pituus [m]

Δp_t on tuulesta aiheutuva paine-ero [Pa]

n on raon ominaisuuksista riippuva eksponentti, hyvin pienet: 1 suuret: 0,5 keskiarvo: 0,61

Rakomaisen aukon läpi kulkeva sisään tulevan ulkoilman lämpenemisen aiheuttama ilmavirta voidaan laskea kaavalla 22. Käytännössä sitä ei kuitenkaan tarvitse ottaa huomioon, jos aukkoja on vain yksi, sillä ilmavirta on aukon pienestä korkeudesta johtuen

lähes olematon. Kaavaa 22 sopii kuitenkin myös muille pienille aukoille, joissa ilman lämpenemisen aiheuttaman ilmavirran profiili on tasainen.

$$q_{v,painov} = \alpha \times A \times \sqrt{g \times h \times \frac{\Delta T}{T_s}} \quad (22)$$

$q_{v,painov}$ on tuuletuksen aikainen ilman lämpenemisestä aiheutuva ilmavirta aukon läpi [m^3/s]

α on ilmasuihkun kuroutumiskerroin

A on tarkasteltavan aukon pinta-ala [m^2]

g on maan vetovoiman kiihtyvyys [$9,81 \text{ m/s}^2$]

h on aukon korkeus tai korkeusero kahden rakomaisenaukon välillä [m]

ΔT on ulkoilman ja sisäilman välinen lämpötilaero [K]

T_s on sisäilman lämpötila [K].

3 Historia

Rakennusten ilmanvaihtoon alettiin kiinnittää erityistä huomiota 1800-luvulla, jolloin vielä uskottiin miasmateorian mukaisesti tautien aiheutuvan ummehtuneesta sisäilmasta (10). Aluksi ilmanvaihdosta huolehdittiin ikkunoiden kautta tapahtuvalla tuuletuksella ja asuinhuoneistot suositeltiin rakentamaan niin, että läpituuletus olisi mahdollista. Lisäksi ilmaa poistui huoneista savuhormien kautta. Hormien tekeminen pelkästään ilmanvaihtokäyttöön alkoi kerrostalojen keskuslämmityksen yleistymisen myötä 1900-luvun alussa. Pääasiassa hormivaikutukseen perustuvaa painovoimaista ilmanvaihtoa käytettiin yleisesti asuin- ja kerrostalojen ilmanvaihtojärjestelmänä 1950-luvun alkuun saakka, pientaloissa painovoimainen ilmanvaihto säilytti suosionsa aina 1970-luvulle asti. Nykyäänkin painovoimaisen ilmanvaihdon tehostamiseen käytetyt hormien päähän asennettavat tuulihatut ja -roottorit ovat olleet käytössä jo 1800-luvulta. Myös ensimmäiset koneellisesti toimivat rakennusten ilmanvaihtolaitteet kehitettiin 1800-luvulla, mutta niiden käyttö yleistyi Suomessa vasta vuoden 1953 jälkeen yhteiskanavajärjestelmän hyväksynnän myötä. (11, s. 11.)

Taulukko 4. Erialaisten ilmanvaihtojärjestelmien käyttö eri vuosina. (11, s. 12)

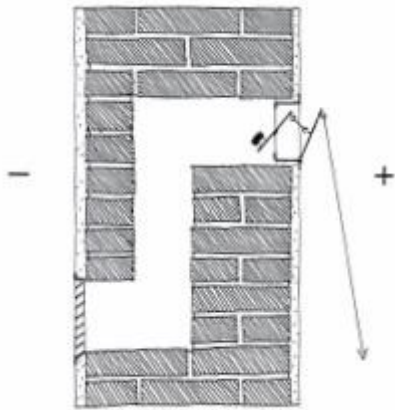
Rakentamisvuosi	Ilmanvaihtojärjestelmä, %:a rakennustilavuudesta		
	Painovoimainen poisto	Koneellinen poisto	Koneellinen tulo/poisto
– 1939	80	20	-
1940–1959	80	20	-
1960–1969	29	71	-
1970–1979	6	91	3

Alkuun painovoimaisen ilmanvaihdon suunnittelu tapahtui saksalaisten ohjeiden ja paikallakunta-kohtaisten määräysten mukaan, mutta 1900-luvun alun jälkeen kotimaisen ammattikirjallisuuden ja -lehtien tarjoamien ohjeiden sekä valtakunnallisten määräysten perusteella. Nykyään iso osa kerrostaloista, joissa on alkuperäisesti ollut painovoimainen ilmanvaihto, on muutettu linjasaneerausten tai muiden isojen korjaushankkeiden yhteydessä koneelliseksi poisto- tai tulo ja poistoilmanvaihdoksi.

3.1 1800-luku

Aikana ennen keskuslämmityksen yleistymistä huonekohtaisten lämmitysuunien savuhormit toimivat myös poistoilmahormeina. Jo vuoden 1875 Helsingin kaupungin rakennusjärjestyksessä savuhormeille oli asetettu paloturvallisuussyistä tarkkoja määräyksiä. Määräysten mukaan savuhormi tuli ympäröidä vähintään ½-kiven muurauksella, mutta kahden savuhormin välinen seinämä sai olla ¼-kiven paksuinen. Tyypillinen tiilestä muurattu savuhormi oli kooltaan 15 cm x 15 cm ja keittiön hellan hormi tätä suurempi. Sivuttaissiirrosta savuhormin suurimpana sallittuna kaltevuutena pidettiin 45°:ta. Savuhormin sijoittamista ulkoseinään pyrittiin välttämään hyvän vedon takaamiseksi. (12, s. 125–126). Lisäksi savuhormien toimintaa poistoilmareittinä voitiin tehostaa uunimallilla, jonka yläosaan on sijoitettu tulipesän ohittava poistoilmaventtiili. Tätä venttiiliä kautta ilma pääsi kulkemaan suoraan savuhormiin. Ulkoilma otettiin sisään vuotoilmana rakenteiden läpi 1800-luvun loppupuolelle saakka, eikä erillisiä ulkoilma-aukkoja käytetty. Erilliset ulkoilmakanavat alkoivat yleistymään Suomessa 1880-luvun aikana. Varhaiset ulkoilmakanavat olivat pystysuunnassa Z-muotoisilla, jolla pyrittiin estämään lumen ja sadeveden kulkeutuminen sisälle huoneistoon. Käytännön syistä ulkoilmakanavassa saatettiin

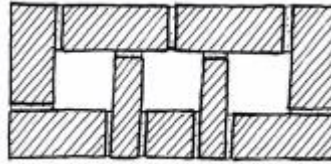
tehdä myös sivuttaissiirtoja, ja yksi kanava saattoi palvella useampaa huonetta. Jo ensimmäisissä ulkoilmakanavissa käytettiin ulkosäleikköjä sekä käsikäyttöisiä kaksoisläp-päventtiilejä, joilla voitiin säätää huoneeseen tulevaa ulkoilmavirtaa. Suurin ongelma ulkoilmakanavissa oli niiden aiheuttama vedontunne jota yritettiin ratkaista monin tavoin, kuten esimerkiksi johtamalla ulkoilma lattian alla uunin läheisyyteen. (12, s. 126.)



Kuva 4. Z-muotoinen ulkoilmakanava 2-kiven tiiliseinässä (13, s. 131).

3.2 1900–1919

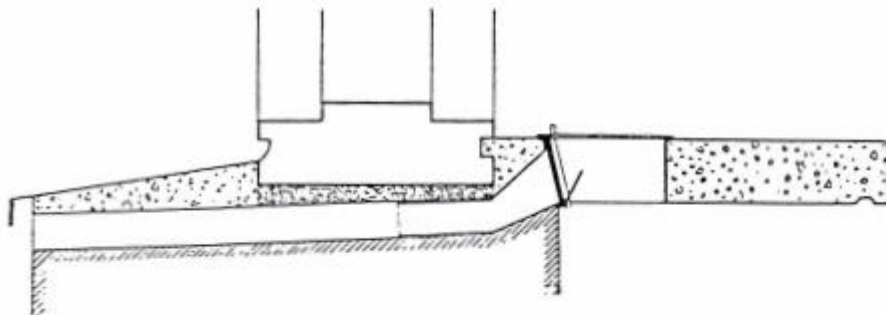
Kerrostalojen keskuslämmityksen yleistyttyä Suomessa 1910- ja 1920-luvuilla (12, s. 128) täytyi uusiin keskuslämmitteisiin kerrostaloihin rakentaa ilmanvaihdolle erillisiä poistohormeja korvaamaan käytöstä poistuneet savuhormit. Poistohormeja ei voitu enää missään tapauksessa rakentaa ulkoseiniin, sillä ilman savukaasujen lämmittävää vaikutusta ilma poistohormissa jäähtyy kylmän ulkoseinän vaikutuksesta, jonka takia lämpötilaeroon perustuva ilman liike poistohormissa hidastuu tai pahimmassa tapauksessa pysähtyy. (12, s. 132.) Savukaasujen lämmittävän vaikutuksen poistuminen heikensi myös ilmanvaihdon toimintaa ja vallitsevat sääolosuhteet vaikuttivat ilmanvaihdon toimintaan entistä enemmän (12, s. 133). Määräysten mukaan poistohormien tuli olla palamatonta materiaalia ja kaikki poistohormit rakennettiin aluksi tiilestä savuhormien tapaan. Tyypillinen tiilestä muurattu keittiön poistohormi oli kooltaan 15 cm x 22,5 cm ja muut poistohormit 15 cm x 15 cm. (12, s. 132.) Heti poistohormien rakentamisen yleistyttyä ymmärrettiin, ettei poistohormeja saa yhdistää keskenään, mutta sitovien määräysten puuttuessa niin saatettiin kuitenkin pakon edessä tehdä.



Kuva 5. Muurattu 1½-kiven homiseinä, jossa yksittäisen hormin koko 15 cm x 15 cm (13, s. 133)

3.3 1920–1939

Helsingin kaupungin rakennuskonttorin vuonna 1926 antamien määräysten mukaan keittiössä, makuuhuoneissa ja palvelijahuoneissa tuli olla ulkoilmakanava. 1920-luvulla perinteisten ulkoilmakanavien rinnalle tulivat ikkunalautaan tai sen alle asennettavat rakoventtiilit, joilla pyrittiin vähentämään vedon tunnetta johtamalla ulkoilman suoraan lämmityspaterin päälle. Poistoilmakanava vaadittiin keittiöön, palvelijahuoneeseen, kylpyhuoneeseen, WC- ja kaasulaitteelliseen tilaan sekä osaan makuuhuoneista. Määräysten mukainen hormimateriaalin palamattomuus voitiin saavuttaa tiiltä kevytrakenteisemmilla materiaaleilla ja 1920-luvulla siirryttiinkin vähemmän tilaa vievään esimerkiksi Lugino-massalevystä tai syrjätiilestä muurattuun hormiryhmään. (12, s. 132–133) Tiilestä muurattuja poistohormeja kuitenkin käytettiin pienemmissä rakennuksissa vielä 1950-luvun alkuun asti (11, s. 12).



Kuva 6. Poikkileikkaus ikkunan alle asennettavasta rakoventtiilistä (13, s. 132).

3.4 1940–1949

Ensimmäiset koko Suomessa yleisesti käytössä olleet painovoimaista ilmanvaihtoa koskevat määräykset olivat Helsingin kaupungin rakennustarkastajan 1940-luvulla antamia. Näiden määräysten mukaan ulkoilmakanava tuli olla pesutuvassa, kuivaushuoneessa, kellarissa, työhuoneessa, varastoissa, kattilahuoneessa, myymälä tiloissa sekä kaikista pohjakerroksen huoneissa. Poistohormin kooksi määriteltiin 30 cm x 15 cm kellareissa, pesutuvissa ja kattilahuoneissa. 22 cm x 15 cm keittiöissä ja kuivaushuoneissa. Lisäksi edellä mainittuja pienemmät poistohormit tuli olla varastoissa, työhuoneissa, kylpyhuoneissa, WC- ja myymälätiloissa sekä tiloissa joissa oli kaasutoiminen laite. Mikäli poistohormin sivuttaissiirroissa käytettiin yli 45°:n kaltevuutta tuli hormin poikkipinta-alaa kasvattaa 25 %. (12, s. 184.) Tilan säästämiseksi 1940-luvun lopulla luovuttiin monien tilojen poistohormivaatimuksista ja vain kylpyhuone, WC ja keittiö varustettiin painovoimaisella poistohormilla (12, s. 179). Poistohormit tuli tehdä voimassaolevien palomääräysten mukaan. Yli 3-kerroksisissa rakennuksissa käytettiin hormeissa yleisesti levy- tai asbestisementtikanavia ja betonirunkoisissa rakennuksissa valettuja betonikanavia. (12, s. 181.)

3.5 1950–1970

Koneellisen poiston yleistyminen alkoi 1950-luvulla, ja yli kolmekerroksiset asuinkerrostalot varustettiin pääsääntöisesti koneellisella poistolla (11, s. 11). Alle kolmekerroksisissa taloissa painovoimainen ilmanvaihto säilytti asemansa aina 1960-luvun loppuun asti (12, s. 179). Koneellisen poisto yleistyminen näkyy vuonna 1955 julkaistuissa lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden suunnittelun normaaliohjeissa, joiden mukaan painovoimaista ilmanvaihtoa ei saanut enää käyttää kokoushuoneissa, teattereissa tai elokuvateattereissa, tavarataloissa, suurmyymälöissä, ravintoloissa eikä niiden keittiöissä. Muuten painovoimaisen ilmanvaihdon käyttö sallittiin. Ulkoilmakanavia vaadittiin enää vain kaikkiin ensimmäisen kerroksen huoneisiin sekä suositeltiin 30 cm²:n suuruista ulkoilmakanavaa makuuhuoneisiin, joskin kaikissa asuinrakennuksen huoneissa tuli olla avattava ikkuna. Poistohormien kooksi määriteltiin keittiössä 330 cm², kylpyhuoneissa ja WC-tiloissa 200 cm² ja pesutuvissa 400 cm². (12, s. 184–185.) Vaadittu poistohormien koko ilmoitettiin poikkipinta-alana, mikä kertoo rakenneaineisista kanavista luopumisesta. 1950-luvulla työmailla ruvettiin valmistamaan suorakaiteen muotoisia kanavia sinkkitystä pellistä. Pyöreiden kierresaumakanavien sekä kanttikanavien teollinen valmistus alkoi

1960-luvulla. Seinämäpaksuudeltaan 5–10 mm:n asbestisementtikanaavat olivat kuitenkin yleisesti käytössä koko 50- ja 60-luvun ajan. (12, s. 182).

3.6 1970–rakentamismääräysten aika

Sisäasiainministeriön loi vuonna 1976 voimaan tulleen rakennusten ilmanvaihtoa koskevan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2, jota on vuoteen 2016 mennessä päivitetty viisi kertaa vuosina 1978, 1988, 2003, 2010 ja 2012 (15). Nykyään rakentamismääräyksistä vastaa ympäristöministeriö. Rakennusmääräykset ovat voimassa koko maassa, eikä niistä poikkeamista sallita erikseen haettavaa lupaa.

Rakentamismääräyskokoelman osa D2 vuodelta 1976 sisältää myöhemmistä osista poiketen pelkkiä määräyksiä. Vuoden 1976 D2:ssa koneellisen ilmanvaihdon käyttöä suositellaan, mutta painovoimainen ilmanvaihto sallitaan, tosin vain asuin-, työ- ja kokoon-tumistiloissa, ja mikäli tiloissa on mahdollisuus tuuletukseen. Lisäksi määritellään, että painovoimaiset ilmanvaihtohormit tulee toteuttaa toisistaan erillisinä, pääosin pysty-suorina ja johtaa aina rakennuksen harjakorkeuteen saakka. (16)

Vuoden 1978 D2 lisää asiakirjaan määräyksiä tarkentavia ohjeita, joiden mukaan toteutettu ratkaisu rakennusvalvontaviranomaisen tulee hyväksyä. Painovoimainen ilmanvaihto on saanut D2:n tässä osassa oman osion, numero 4. Edellisessä osassa esitetyt määräykset ovat myös tässä osassa, ja niiden lisäksi koneellisen ja painovoimaisen ilmanvaihdon yhdistämistä yhtenäisessä tilassa ei suositella. Ohjeissa opastetaan mitoittamaan painovoimainen ilmanvaihto niin, että vuoden keskilämpötilassa saavutetaan kyseisessä dokumentissa esitetyt tilakohtaiset ohjearovot tulo- ja poistoilmavirroille. Ohjeiden mukaan poistohormin vaakasuorien osuuskien pituus ei saa ylittää 10 %:a poistohormin pystysuudesta, vaakasuorien osuuskien tulisi nousta virtaussuuntaa kohden ja jyrkkiä mutkia tulee välttää. Lisäksi painovoimaisen ilmanvaihdon käyttö sallitaan kaikenkokoisissa ajoneuvosuojissa. (17)

Omaa osiota painovoimaiselle ilmanvaihdolle ei enää ole vuoden 1987 D2:ssa, eikä painovoimaisen ilmanvaihdon suunnittelulle anneta ohjeita. Painovoimainen ilmanvaihto mainitaankin suoraan vain yhdessä dokumentista löytyvästä määräyksessä. Tässä määräyksessä (3.4.3) kielletään yhdistämästä painovoimaista ja koneellista ilmanvaihtoa niin, että painesuhteet tai ilman virtaussuunnat voivat muuttua. Ohjeissa mainitaan, että

painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan käyttää lähinnä hiljaisilla ja ilmansaasteettomilla alueilla sijaitsevilla pientaloissa sekä tilapäisesti käytössä olevissa maanpäällisissä tiloissa. Painovoimaisen ilmanvaihdon käyttöä moottoriajoneuvosuojissa rajataan alle 60 m²:n kokosiin- ja riviautosuojiiin. (18)

Vuonna 2003 ja sen jälkeen julkaistuissa D2:ssa ei enää rajata, sitä minkälaisissa rakennuksissa painovoimaista ilmanvaihtoa saa käyttää. Uudessa rakennuksessa painovoimaisen ilmanvaihdon on kuitenkin täytettävä samat määräykset kuin koneellisen ilmanvaihdon, mikä tekee painovoimaisen ilmanvaihdon määräysten mukaisesta toteuttamisesta hankalaa. (19)

4 Uudisrakennukset

4.1 Painovoimainen ilmanvaihto uudisrakennuksessa

Lähtökohtana painovoimaisen ilmanvaihdon toteuttamiseen uudisrakentamisessa on pääsääntöisesti tavoite helppokäyttöisestä ja huoltovapaasta ilmanvaihtojärjestelmästä sekä joissain tapauksissa ajatuksesta painovoimaisen ilmanvaihdon terveellisyydestä koneellisiin ilmanvaihtojärjestelmiin verrattuna (3). Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä ei kuitenkaan ole täysin huoltovapaa, ja mikäli terveellisyysnäkökulmaa käytetään ilmanvaihtojärjestelmän valintaperusteena, on syytä muistaa, että painovoimainen ilmanvaihto ei takaa sitä, ettei rakennuksen voi syntyä home- ja kosteusongelmia. (20, s. 21.)

Painovoimaisen ilmanvaihdon käyttäminen uudisrakennuksissa on Suomessa harvinaista ja rajoittuu tiettyihin rakennustyyppihin, kuten eläinsuojiiin ja pieniin autotalleihin, joissa painovoimaisen ilmanvaihdon käyttö on vielä suosittua. Näiden rakennustyyppien lisäksi painovoimaista ilmanvaihtoa käytetään pienessä osassa uusista pientaloista. (2) Uusissa koulu-, liike-, julkisissa tai isommissa asuinrakennuksissa täysin painovoimaista ilmanvaihtoa ei käytetä enää lainkaan. Tulevaisuudessa painovoimaisen ilmanvaihdon käyttö pientaloissa saattaa kasvaa, sillä jotkut tahot pitävät sitä koneelliseen ilmanvaihtoon nähden kestäväenä ja ekologisena ratkaisuna. Esimerkiksi Suomen Kulttuurirahasto on julkistanut K3-hankkeensa kautta luonnossuunnitelmat viidestä pientalosta, jotka täyttävät nykyiset rakennusmääräykset ja joissa on painovoimainen ilmanvaihto. (21)

4.2 Voimassaolevat rakennusmääräykset

Uudisrakentamisessa on noudatettava nykyisiä rakentamismääräyksiä, eikä niissä anneta helpotuksia kiinteistöille, joissa on painovoimainen ilmanvaihto. Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän suunnitteluun vaikuttavat määräykset ja ohjeet ovat pääasiassa Suomen rakentamismääräyskokoelman osat D2 ja E7. Lisäksi rakennuksen on saavutettava sen rakennustyyppille määritelty E-lukuvaatimus, jotka määritellään Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3. E-luvun laskennassa ilmanvaihdon lämmöntalteenoton käytöstä saadaan etua, jota painovoimaisella järjestelmällä ei voida saada, sillä painovoimaisesta ilmanvaihdon jäteilmasta ei voida ottaa lämpöä talteen tehokkaasti. (22, 23, 24)

Maankäyttö- ja rakennuslain mukaisista säännöksistä, määräyksistä, kielloista tai rajoituksista on mahdollista hakea poikkeamispäätöstä. Se keneltä poikkeamispäätöstä haetaan, riippuu rakennuspaikkakunnasta ja poikkeamisen suuruudesta. Poikkeamista käsitellään maankäyttö- ja rakennuslain 171–174 §:ssa. Poikkeaminen kuitenkin edellyttää erityistä syytä, eikä halua käyttää painovoimaista ilmanvaihtojärjestelmää välttämättä katsota riittävän painavaksi syyksi poikkeamisen myöntämiseen. (25)

5 Saneerauskohteet

5.1 Painovoimainen ilmanvaihto saneerauskohteissa

Pien- ja asuinkerrostalojen saneerauksissa olemassa oleva painovoimainen ilmanvaihto saatetaan joissain tapauksissa haluta jättää ennalleen tai kunnostaa. Painovoimaisen ilmanvaihdon säilyttämistä harkittaessa on otettava huomioon se, että nykyaikaisesta asumisesta aiheutuu paljon suurempia kosteuskuormia kuin aikana, jolloin suurin osa painovoimaisista ilmanvaihtojärjestelmistä on rakennettu. (20, s.17.) Syytä painovoimaisen ilmanvaihdon säilyttämiselle voi olla esimerkiksi tilan puute tai kustannussäästöjen tavoittelu. Koneellinen ilmanvaihto vie painovoimaista järjestelmää enemmän tilaa, joten sen toteuttaminen ei ole välttämättä kaikkiin rakennuksiin mahdollista. Isompi tilantarve näkyy myös tarvittavien rakennustöiden määrässä. Koneellinen ilmanvaihto onkin vaadittavien laitehankintojen ja rakennuskustannuksien takia painovoimaisen järjestelmän

kunnostamista kalliimpi ratkaisu. Käyttökustannuksiltaan painovoimainen ilmanvaihto tulee lämmöntalteenoton puuttumisen vuoksi koneellisia ilmanvaihtojärjestelmiä kalliimmaksi, mutta suurista rakennuskustannuksista johtuen koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän takaisinmaksuaika on erittäin pitkä.

5.2 Saneerauskohteita koskevat rakennusmääräykset

Rakennus- tai toimenpideluvan alaisissa saneerauskohteissa on voimassa Ympäristöministeriön asetus 4/13 rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Asetus ei kuitenkaan koske esimerkiksi suojeltuja rakennuksia jos asetuksen noudattaminen aiheuttaisi suojeltuihin osiin muutoksia. Asetuksen kohdassa 1 § on listattua muita erikoistapauksia, jolloin asetus ei ole voimassa. Ilmanvaihdolle on asetuksessa oma kohta 11 §, jossa määrätään, että suunnittelussa sovelletaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa D2. Ilmanvaihtoa koskeva energiatehokkuuden parantamismääräys löytyy asetuksen kohdasta 5 §, jonka mukaan poistoilmasta on otettava lämpöä talteen 45 % vuotuisella hyötysuhteella. Painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä lämmöntalteenotto ei käytännössä ole mahdollista, joten kyseisen suuruinen energiansäästö on saavutettava muilla keinoin. (26) Kun energiansäästöä tavoitellaan rakenteiden ominaisuuksien muuttamisella, esimerkiksi lisäeristämällä, on muutosten vaikutus painovoimaiseen ilmanvaihdon toimintaan selvitettävä. (27 s. 84.) Rakennuksen energiankulutusta on pienennettävä kokonaisuutena niin, että rakennus alittaa laskentatavasta riippuen asetuksen kohdassa 6 § tai 7 § asetetut raja-arvot. Mikäli saneeraus on sellainen, ettei rakennus- tai toimenpidelupaa tarvita, voidaan noudattaa niitä rakentamismääräyksiä, jotka olivat voimassa saneerattavan rakennuksen rakennusluvan myöntöhetkellä.

6 Yleiset periaatteet painovoimaisen ilmanvaihdon suunnitteluun

Painovoimainen ilmanvaihto suunnitellaan D2:n liitteen 1 ilmavirtojen ohjearvojen mukaan siten, että ohjearvot toteutuvat suurimman osan ajasta vuodessa pelkästään poistohormeilla. Lämpimissä sääolosuhteissa poistohormien riittämätöntä vetoa kompensoidaan tuuletuksella, jonka avulla ilmanvaihto mitoitetaan riittäväksi myös kesäolosuhteissa. (17, s. 10.) Suunniteltujen ilman virtaussuuntien takaamiseksi koneellista ja painovoi-

maista ilmanvaihtoa ei yhdistetä samalla ilmanvaihtoalueella (22, s. 18). Jopa täysin oikein suunnitellun painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän suurin ongelma on se, ettei se sääolosuhteiden vuoksi aina toimi (20, s. 17).

Uudisrakentamisessa oikeilla suunnitteluratkaisuilla voidaan vaikuttaa merkittävästi ilmanvaihdon toimintaan, kun taas saneerauksessa vaikutusmahdollisuudet jo olemassa olevaan järjestelmään ovat yleensä rajalliset. Painovoimainen ilmanvaihto voidaan suunnitella joko tietokoneella simuloimalla tai laskennallisesti. Tässä luvussa suunnittelun oletetaan tapahtuvan laskennallisesti luvussa 2 esiteltyjen kaavojen avulla.

6.1 Mitoittavat sisä- ja ulkoilman olosuhteet

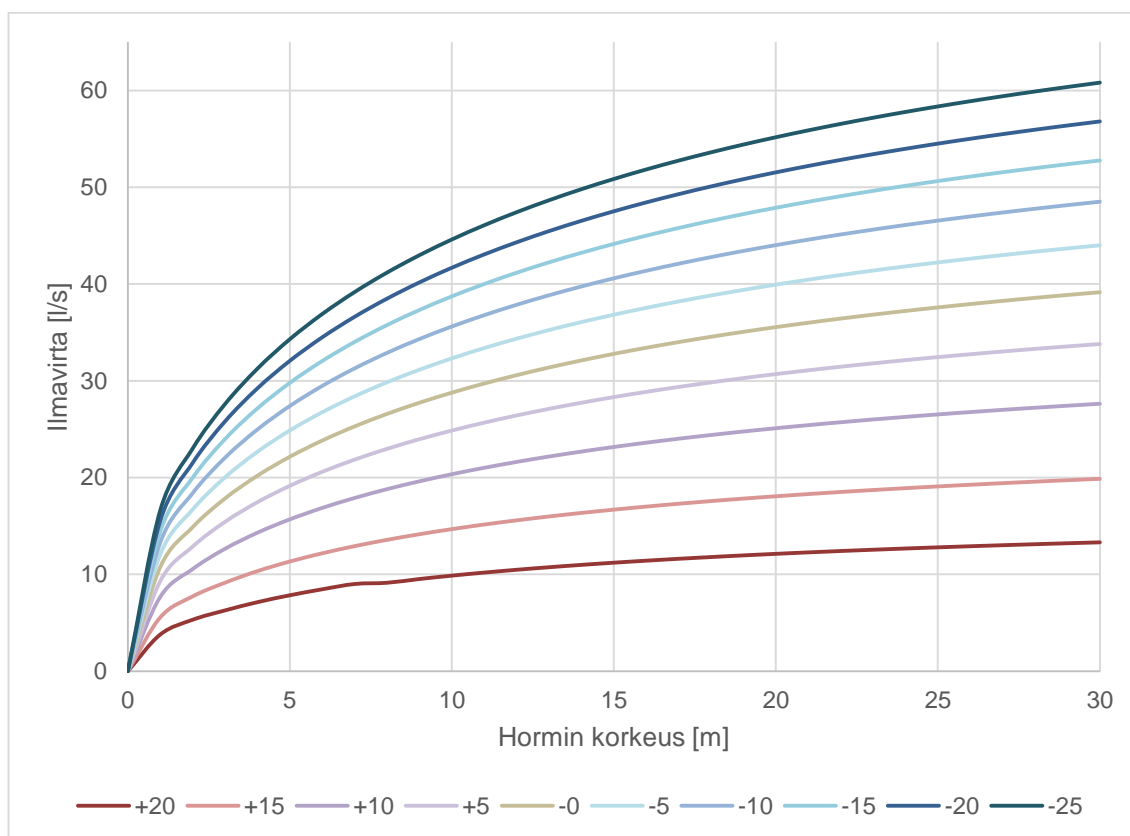
6.1.1 Sisäilman olosuhteet

Painovoimaista ilmanvaihtoa mitoittaessa voidaan sisäilman lämpötilana käyttää D2 kohdassa 2.2.1.1 annettuja ohjearvoja. Lämmityskaudella sisäilman lämpötilan ohjearvo on +21 °C ja kesäkaudella +23 °C. Lisäksi D2:ssa on määriteltäviä korkeampia ohjearvoja lämmityskaudelle kylpy-, pesu- ja kuivaushuoneelle. Lämpötilat ovat kylpy- ja pesuhuoneelle +23 °C ja kuivaushuoneelle +24 °C. (22, s. 6) Näissä tiloissa joissa ohjelämpötila on tavallista korkeampi, vaaditaan D2:n liitteen 1 mukaisesti myös poistoilmavirtaa. Luvun 2.1 kaavojen perusteella suurempi lämpötilaero sisä- ja ulkoilman välillä tehostaa hormivaikutusta, joten korkeampi sisälämpötila edesauttaa painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa. Saneerauskohteissa lämmitysjärjestelmä tulisi säätää niin, että painovoimaisen ilmanvaihdon mitoituksessa käytetyt tilakohtaiset lämmityskauden lämpötilat saavutetaan.

Lämmityskaudella sisäilman suhteellisen kosteuden arvona voidaan käyttää arvoa väliltä 40–20 % niin, että sisäilman kosteus pienenee pakkasen kiristyessä. Kesäaikaan sisäilman suhteellinen kosteus on väliltä 50–70 % ulkoilman kosteuden mukaan. (37) Kuten kuvioista 1 nähdään sisäilman kosteuden nousu tehostaa hormivaikutusta. Tämän seurauksena esimerkiksi suihkussa käynnin jälkeinen hetkellinen sisäilman kosteuden nousu tehostaa hieman painovoimaisen poistohormin toimintaa, mikä on kosteuden poiston kannalta hyvä asia.

6.1.2 Sääolosuhteet

Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta perustuu täysin vallitseviin sääolosuhteisiin. Tarkasteltaessa painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaedellytyksiä luvun 2 laskukaavoilla on tärkeää käyttää lähtötietoina rakennuspaikkakohtaisia säätietoja. Maantieteellisesti pienikin siirtymä voi vaikuttaa merkittävästi keskimääräisiin sääoloihin, esimerkiksi merenrannalta sisämaahan siirryttäessä tuulen nopeus voi pudota radikaalisti. Suomessa virallisia tilastoja säätilasta ylläpitää Ilmatieteen laitos. Riittävän tarkkuuden saamiseksi ei lähtötietona tule käyttää yksittäisen vuoden mittauksia, vaan lähtötietojen on oltava usean vuoden keskiarvoja. Hyvänä lähdemateriaalina säätiiedoille on Ilmatieteen laitoksen julkaisema raportti numero 2012:1 ”Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010”. Tilasto on tehty 106:n eri puolella Suomea sijaitsevan säänmittausaseman tulosten pohjalta. Raportissa mainitaan vuosikeskilämpötilan kohonneen 0,4 °C edelliseen vertailukauteen nähden. Koska keskimääräinen säätila muuttuu, mitoitukseen kannattaa käyttää uusinta julkaistua olevaa tilastoa. Uusia tilastoja julkaistaan 10 vuoden välein, ja seuraava julkaistava tilasto tulee käsittelemään vertailukautta 1991–2020. Tämä vertailukausi on myös seuraava Maailman ilmatieteen järjestön virallinen vertailukausi. (28, s. 7–16) Ulkolämpötilan vaikutusta painovoimaisen ilmanvaihtohormin toimintaan havainnollistetaan kuviossa 2.



Kuvio 2. Laskennallisia ilmavirtoja uudessa 1½-kiven hormissa (15 cm x 15 cm) eri ulkolämpötiloilla.

Painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan pitää sääolosuhteiden puolesta toimivana ratkaisuna, mikäli sillä saavutetaan asetetut suunnitteluarvot ilmamäärien osalta vuoden keskilämpötilassa lämpötilassa sekä kuumimpana kesäkuukautena heinäkuussa.

6.2 Painovoimaiset poistohormit

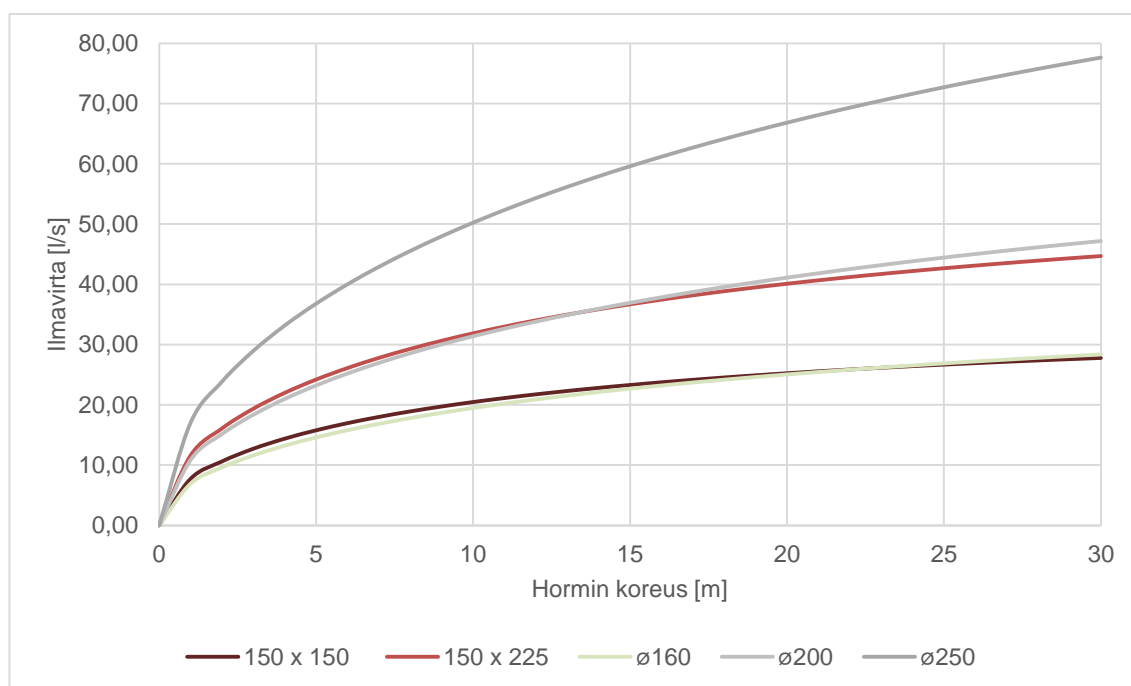
Painovoimaisen poistoilmahormin mitoituksessa ulkolämpötilan arvona voidaan käyttää rakennuspaikkaa lähimmän mittausaseman vuoden keskilämpötilaa, joka jää Suomessa kaikilla mittauspisteillä alle 10 °C:n (28, s. 20–56). Tämä tarkoittaa, että poistohormin tulee saada aikaa suunnitellut ilmavirrat, kun ulkoilman lämpötila jää alle vuotuisen keskilämpötilan (17, s. 10). Tuulen vaikutus painovoimaisen poistoilmahormin toimintaan on vähäinen ja se voidaan jättää huomioimatta (7, s. 210). Laskennassa käytettyjen sääolosuhteiden lähdeaineistoa käydään läpi tämän työn luvussa 6.1.2. Hormit ja niiden jälkeiset vaakakanavoinnit on suunniteltava siten, että ne voidaan tarvittaessa puhdistaa (22, s. 19–20).

6.2.1 Uuden hormin suunnittelu

Uudet hormit tulee suunnitella palvelemaan vain yhtä tilaa ja sijoittaa ne niin, ettei sivuttaissiirtoja tarvita. Mikäli hormin sivuttaissiirtoja on syystä tai toisesta pakko tehdä, ne toteutetaan yleensä 45°:n kulmassa virtaussuuntaan nousevasti. (29) Tätä loivempaa nousukulmaa käytettäessä sivuttaissiirron vaikutus hormin virtaamaan täytyy ehdottomasti tarkistaa laskennallisesti. Hormin materiaalia valittaessa on otettava huomioon palomääräykset ja hormin haluttu käyttöikä. Muurattu hormi rapistuu väistämättä iän myötä, kun taas alumiinista valmistetun kierresaumakanavan käyttöikä voi olla hyvinkin pitkä. Ylimääräisten vesikaton ja välipohjien läpivientien välttämiseksi hormit kannattaa keskitää yhteen ns. hormiryhmäksi. Keskitäminen edellyttää sitä, että poistoa vaativat tilat sijoitetaan lähelle toisiaan. (7, s. 209.) Hormeja ei kuitenkaan tule sijoittaa rakennuksen ulkoseinälle ja kylmissä tiloissa, kuten ullakolla, sijaitsevat painovoimaiset ilmanvaihtohormit lämmöneristään, sillä ilman jäähtyminen hormissa pienentää ulkoilman ja hormissa virtaavan ilman välistä tiheyseroa. Tiheyseron pieneminen johtaa hormivaikutuksen heikkenemiseen ja poistoilmavirran pienentämiseen. (4, s. 330.) Hormin ulospuhal-

lusaukon etäisyys savuhormin, tuuletusviemärin sekä koneellisen poiston jäteilmalaitteen aukosta tulee olla vähintään 1 m, ja lisäksi hormin yläpään tulee sijaita vähintään 0,9 m etäisyydellä kattopinnasta sekä mielellään rakennuksen harjakorkeuden yläpuolella. (22, s. 12–13.)

Uutta poistoilmahormi on mitoitettava riittävän isoiksi ja korkeaksi, jotta haluttu poistoilmavirta saavutetaan mitoituksessa käytettävässä sääolosuhteessa. Koska säätilojen vaihtelu on hyvin satunnaista, hormi kannattaa mitoitaa väljästi. (29) Kuten kuviosta 2 huomataan, hormin korkeuden vaikutus ilmavirtaan on aluksi hyvin merkittävä, mutta se pienenee nopeasti hormin korkeuden kasvaessa. Esimerkiksi +10 °C:n ulkolämpötilassa 1½-kiven hormin korkeuden kaksikertaistessa 10 metristä 20 metriin, ilmavirta hormissa kasvaa vain 25 %. Tämä johtuu hormin pituuden kasvamisesta seuraavasta hormin painehäviöiden kasvusta.



Kuvio 3. Laskennallisia ilmavirtoja +10 °C:n ulkolämpötilassa erikokoisissa muuratuissa sekä kierresaumakanavalla toteutetuissa hormeissa.

Mitä pienempi hormin poikkipinta-ala on, sitä nopeammin tulee vastaan raja, jossa hormin korkeuden kasvattaminen ei enää merkittävästi lisää ilmavirtaa. Tämä voidaan todeta kuviosta 3, josta näkyy myös se, että 1½-kiven hormi vastaa virtausominaisuuksiltaan ø160 kierresaumakanavasta tehtyä hormia ja 15 cm x 22,5 cm:n kokoinen muurattu hormi vastaa ø200 kanavasta tehtyä hormia.

6.2.2 Vanhan hormin kunnostus

Saneerauskohteissa on vielä nykyään mahdollista törmätä rakenneaineiseen hormiin, jota ei ole korjattu kertaakaan sen elinkaaren aikana. Nämä alkuperäiset hormit ovat lähes poikkeuksetta erittäin huonokuntoisia ja vaativat korjaustoimenpiteitä. Vanhojen rakenneaineisten hormien tiiveys on yleensä erittäin huono, sillä hormien väleistä voi laastin murenemisen johdosta puuttua jopa kokonaisia tiiliä. Yksi hormi voi myös palvella kahta tai useampaa eri huoneistoa joko tarkoituksella tai jälkikäteen tehtyjen muutostöiden johdosta. Lisäksi hormoneissa voi olla sortumien tai hormiin kuulumattomien esineiden aiheuttamia tukoksia.

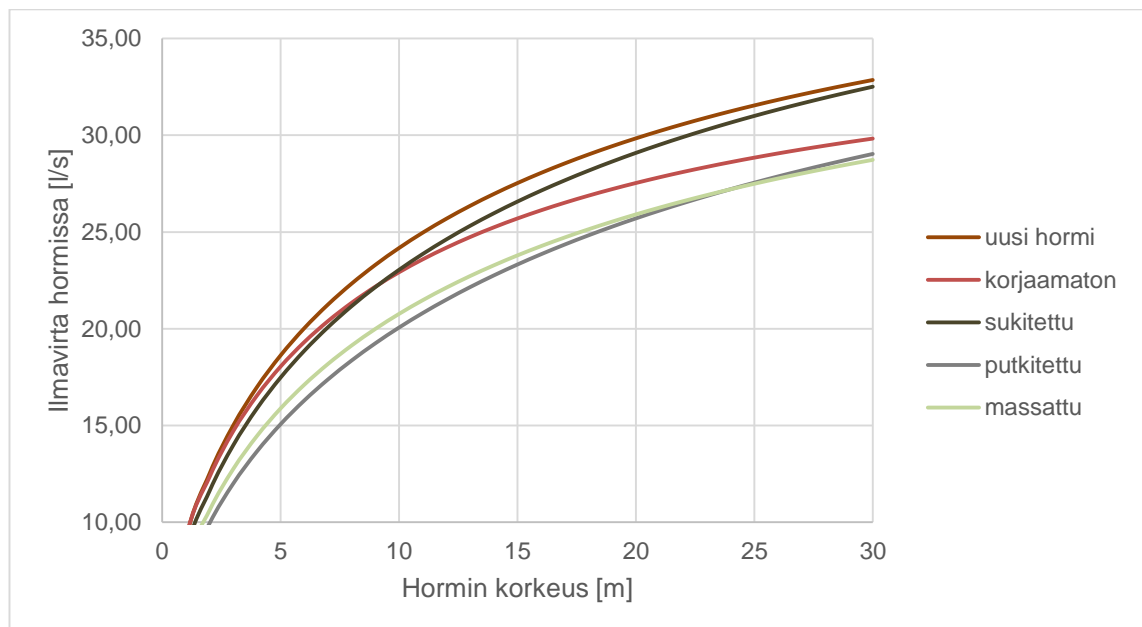
Hormien todellisen kunnan selvittämiseksi kiinteistölle on tehtävä hormien kuntotutkimus, jossa selvitetään hormien tiiveys ja muut mahdolliset ongelmakohdat kuten tukokset sekä määritetään hormoneille sopivin korjaustoimenpide. Kuntotutkimus tehdään hormiin laskettavan kameran ja savupainekokeiden avulla. (30) Kuntotutkimuksen osana tai sen lisäksi on syytä tehdä myös hormikartoitus, sillä yleensä hormipiirustuksia ei ole tai niitä ei ole päivitetty muutoksia tehdessä. (11, s. 14.) Hormikartoituksessa selvitetään jokaisen hormin nykyinen käyttötarkoitus ja palvelema tila. Erilaisia korjausmenetelmiä on verrattu toisiinsa laskennallisesti kuviossa 4.

Painovoimaisen ilmanvaihdon kannalta tärkeintä hormoneja korjattaessa on se, että korjauksen jälkeen yksittäinen hormi palvelee vain yhtä huoneistoa. Hormeja voidaan korjata purkamalla vanha hormi pois ja muuraamalla se uudelleen. Tämä on kuitenkin erittäin kallis korjausmenetelmä, ja sitä käytetäänkin vain mahdollisimman pienimuotoisesti silloin, kun muuta vaihtoehtoa ei ole, kuten pahojen sortumien korjaamiseen. Lisäksi ullakon ja vesikaton osuus hormistosta saatetaan joutua joissain tapauksissa muuraamaan uudelleen. Isommat koko hormiston kattavat korjaukset tehdään yleisesti joko massauksella, sukituksella tai putkituksella.

Massauksessa hormin sisäpinnalle valetaan korjausmassakerros. Hormin on oltava sortumien ja irtonaisten tiilien osalta korjattu ennen massausta. Menetelmän heikkoutena hormin sivuttaissiirrot joiden massaamiseksi hormiseinään on tehtävä työaukko. Hormi on massattava 2–3 kertaa ja yhden massauskerroksen paksuus on noin 3 mm seinämää kohden. Kuivunut massausainekerros vastaa karkeudeltaan slammattua betonia. Massattu hormi voi olla tiiveysluokaltaan jopa C. (31)

Sukituksessa hormiin pujotetaan komposiittimateriaalinen sukka, joka paineilman avulla laajenee hormin muotoon. Sukka pujotetaan metallisten kanavaosien läpi esimerkiksi päätelaitteiden liittämistä varten. Laajentunut sukka kovetetaan vesihöyryn avulla lopulliseen muotoonsa. Kovettuneen sukan seinämäpaksuus on vain 3 mm ja pinnan karheus 0,5 mm. Sukituksella on mahdollista tehdä jyrkkiäkin sivuttaissiirtoja ilman työaukkoja ja jakaa yksi isompi hormi kahdeksi pienemmäksi hormiksi käyttämällä kahta sukkaa. Irtonaiset tiilet eivät ole esteenä sukitukselle, mutta hormin mahdolliset sortumat ja tukokset tulee korjata ennen sukitusta. Hormin sukituksella saavutetaan valmiin pinnan sileyden ansiosta muurattua hormia suuremmat ilmamäärät, vaikka hormin pinta-ala marginaalisesti pienenee. Sukitettu hormi on tiiveysluokaltaan C. (31 & 8)

Putkituksessa hormin sisään asennetaan metallinen taipuisa tai jäykkä putki. Jäykkää putkea voidaan käyttää vain jos hormissa ei ole sivuttaissiirtoja. Taipuisaa putkea käytettäessä sivuttaissiirtoja voidaan tehdä, mutta taipuisan putken pinta ei ole sileä mikä lisää painehäviöitä hormissa. Hormi on korjattava sortumien ja vuotojen osalta ennen putkitusta, sillä putken ja vanhan hormin väliin jäävä tyhjä tila täytetään lopuksi täyteaineella. Putkitettaessa kantikasta hormia hormin pinta-ala pienenee merkittävästi, koska putket ovat muodoltaan pyöreitä. Pinta-alan pienenemisen johdosta putkitetulla hormilla ei päästä samoihin ilmamääriin kuin vanhalla kantikkaalla rakenneaineisellahormilla. (31)



Kuvio 4. Erilaisten korjausmenetelmien laskennallinen vaikutus ilmavirtoihin 1½-kiven hormissa (15 cm x 15 cm) ulkolämpötilan ollessa +6 °C.

6.2.3 Pystyhormin jälkeiset vaakakanavoinnit

Uudisrakennuksissa vaakakanavoinnit pyritään välttämään tilojen ja hormien järkevällä sijoittelulla (29). Tietyissä tilanteissa vaakakanavoinnit ovat kuitenkin välttämättömiä, kuten esimerkiksi joissain saneerauksissa tehtävissä tilamuutoksissa. Näissä tilanteissa vaakakanavointi tehdään hormin alapäästä haluttuun kohtaan mahdollisimman suoraa reittiä ja loivia käyriä käyttäen. Näin minimoidaan ylimääräisen kanavapituuden ja kana-vaosien aiheuttamat painehäviöt. Lisäksi vaakakanavat tulisi asentaa mahdollisimman jyrkästi ilmanvirtaussuuntaan nousevasti, jotta korkeuserosta aiheutuvasta hormivaikutuksesta saataisiin kaikki hyöty irti. Vanhoissa ohjeissa vaakakanavan maksimipituudeksi on määritelty 10 % pystyhormin pituudesta. (17, s. 10). Tämä on kuitenkin vain suuntaa antava arvo ja todellinen vaakakanavan maksimipituus voidaan määrittää laskennallisesti painehäviön perusteella, niin että haluttu ilmamäärä vuoden keskilämpötilassa saavutetaan vaakakanavoinnista huolimatta. Tarvittaessa vaakakanava voidaan suunnitella poikkipinta-alaltaan pystyhormia isommaksi. (20, s. 11.)

6.2.4 Poistoilmaventtiilit

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän poistoilmaventtiileinä on käytettävä siihen tarkoitettuja malleja. Nämä venttiilit on suunniteltu niin, että niiden painehäviöt jäävät mahdollisimman pieniksi asuntoilmanvaihdossa käytettävillä ilmamäärillä ja niiden käsittäminen on tehty käyttäjälle helpoksi. Poistoilmaventtiilien puhdistus on yksi painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän säännöllisesti vaatimista huoltotoimenpiteistä. (20)

Saneerauskohteissa voi törmätä tilanteeseen, jossa painovoimaisen poistoilmahormin päähän on asennettu koneelliseen poistoon tarkoitettu venttiili, jonka aiheuttama painehäviö on liian suuri painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnan kannalta. Tällaisissa tapauksissa venttiili on ehdottomasti vaihdettava painovoimaiseen ilmanvaihtojärjestelmään tarkoitettuun venttiilimalliin.

6.2.5 Lämmöntalteenotto poistoilmasta

Suomen markkinoilla ei ole tällä hetkellä tuotteita, joilla lämmöntalteenotto voitaisiin toteuttaa täysin painovoimaiseen ilmanvaihtojärjestelmään. Tämä johtuu siitä, että lämmöntalteenotto poistoilmasta painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä on lähes

mahdotonta, sillä lämmöntalteenottoa väistämättä seuraava poistohormissa virtaavan ilman lämpötilan merkittävä lasku pysäyttää painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnan tai heikentää sitä merkittävästi. Lisäksi mahdollisista lämmöntalteenottolaitteistosta aiheutuu ylimääräisiä painehäviöitä, jotka pienentävät poistoilmavirtaa. Hybridi-ilmanvaihdossa, jossa painovoimaista ilmanvaihtoa avustetaan sähkötoimisilla puhaltimilla, on mahdollista toteuttaa lämmöntalteenotto. (1)

Lämmöntalteenoton ongelmaa on yritetty ratkaista tuulikäyttöisellä roottorilla, joka puhalttaa jäteilman ulos rakennuksesta hormivaikutuksen lakattua lämmöntalteenoton jälkeen. Edellä mainittuun toimintaperiaatteeseen perustuvaa painovoimaisen ilmanvaihdon lämmöntalteenottojärjestelmää on joissain määrin käytössä Isossa-Britanniassa. (32) Kyseistä järjestelmää ei kuitenkaan ole saatavilla Suomeen, eikä se täytä D2:n ohjetta jäte- ja ulkoilmalaitteen välisestä etäisyydestä. Järjestelmän suunnittelussa ei myöskään ole otettu huomioon lämmöntalteenottolaitteiston jäätyminen riskiä.

6.3 Tuuletus

6.3.1 Tuuletuksen suunnittelu

Kesällä painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta perustuu pitkälti tuuletukseen, koska päivisin hormivaikutuksella ei järkevällä hormin koolla ja pituudella voida saavuttaa riittävää ilmanvaihtoa. Ulkolämpötilan kohotessa yli sisälämpötilan painovoimaiset poistohormit lakkaavat toimimasta kokonaan riippumatta hormin koosta. Lämmityskaudella tuuletuksella on tärkeä rooli painovoimaisen ilmanvaihdon tarpeenmukaisessa tehostamisessa. Tehostamismahdollisuuden takaamiseksi jokaisessa ulkoseinään rajoittuvassa tilassa tulee olla tarpeen mukaan avattava tuuletusaukko. (17, s. 10.) Rakennuksen ilmanvaihtoa ei tule kuitenkaan suunnitella pelkällä tuuletuksella toimivaksi, sillä tuulen nopeudet ja puhallussuunnat vaihtelevat satunnaisesti, minkä takia tuuletusaukot vaatisivat jatkuvaa käsin tai koneellisesti tapahtuvaa säätöä haluttujen ilmavirtojen takaamiseksi. Tämä olisi ongelma erityisesti talvella, jolloin liian suuret ulkoilmavirrat aiheuttavat vedontunnetta eikä rakennuksen lämmitysjärjestelmä kykene lämmittämään mahdollisia liian suuria ilmavirtoja.

Tuuletuksen aikaan saaman ilmanvaihdon laskemiseen käytetään tarkasteltavan kauden keskimääräistä tuulen nopeutta, joka sijoitetaan kaavaan 18. Realistinen arvio

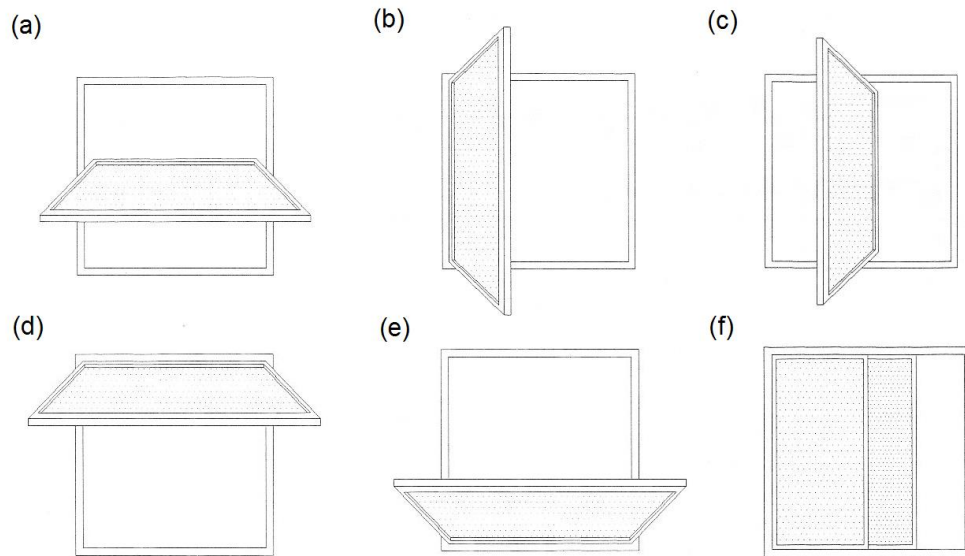
keskimääräisestä tuuletuksen aikaisesta ilmanvaihtoista saadaan, kun tuulen suunnat ja tyynet ajankohdat otetaan huomioon. Tämä tapahtuu laskemalla ilmanvaihto kaikille ilmoitetuille tuulen suunnille erikseen ja ottamalla saaduista tuloksista keskiarvo eri tuulensuuntien ja tyynen ajankohtien esiintymisprosenttien mukaan. Laskennassa käytettyjen sääolosuhteiden lähdeaineistoa käydään läpi tämä työn luvussa 6.1.2. Tuuletusaukkoja mitoittaessa on huomioitava, että laskennallinen tarkastelu antaa tulokseksi liian suuren ilmavirran. Tätä asiaa käsitellään tämän työn luvussa 8.2.

Saneerausessa tuuletusikkunoiden tai -aukkojen kokoon tai määrään ei yleensä enää voida vaikuttaa, mutta tuuletuksen toimintaedellytysten takaamiseksi on varmistettava, että kaikki tuuletusluukut ja -ikkunat ovat käyttäjän helposti käsin avattavissa ilman työkaluja. Lisäksi läpituuletuksen estävien väliseinien rakentamista tulisi muutostöiden yhteydessä välttää.

Uudisrakennuksissa tuuletus on syytä ottaa huomioon jo rakennusta suunnitellessa ja, mikäli mahdollista, mitään tilaa ei sijoiteta rakennuksen keskelle niin, ettei sillä ole yhteyttä ulkoseinää. Tilojen sijoittelussa kannattaa pyrkiä ratkaisuun, jossa läpituuletus on kaikkien tilojen osalta mahdollista, sillä läpituuletuksella päästään yhden seinän tuuletukselta suurempiin ilmavirtoihin. Uudisrakennuksessa tuuletusikkunat tai -aukot mitoitetaan niin suuriksi, että suunniteltuihin ilmamääriin päästään kesäaikaan tuuletuksen avulla. Mikäli rakennuspaikka on erittäin tuulinen, jossa tuulesta aiheutuu liiallista ilmanvaihtoa avonaisten ulkoilmareittien kautta, voidaan asiaan vaikuttaa tekemällä rakennukselle puolitiivis verhous paineentasausraolla. (7, s. 214.)

6.3.2 Ikkunan avautumistavan vaikutus tuuletukseen

Tuuletusikkunan tai -aukon avautumistapa vaikuttaa, siihen miten vapaasti ilma pääsee virtaamaan tuuletuksen aikana aukosta sisään sekä vedontunteeseen kylmällä säällä tuuletettaessa. Kuvassa 7 on esitelty ikkunoita erilaisilla avausmekanismeilla.



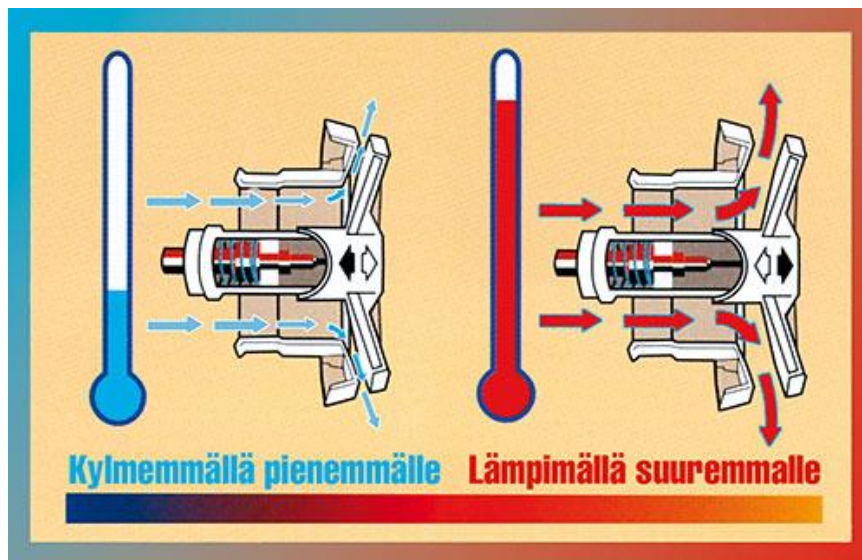
Kuva 7. Erilaisia tapoja toteuttaa tuuletusikkunan avausmekanismi (4, s. 321) muokattu

Suurin tuuletuksen aikainen virtaus ikkunan läpi saavutetaan ikkunan keskeltä leveyssuunnasta ripustetulla ikkunalla sekä liukuikkunalla (kuvassa a, c ja f). Tuuletettaessa sateen aikana keskeltä pituussuunnasta ripustettu ikkuna voi ohjata sadetta sisälle tilaan. Sateen ohjautuminen sisälle on ongelmana myös yleisesti käytössä olevassa sivusta ripustetulla ikkunalla (kuvassa b). Lisäksi kylmällä ilmalla tuuletettaessa sivusta ripustettu ikkuna voi aiheuttaa vedontunteen, kun kylmä ulkoilma tippuu suoraan lattianrajaan. Keskeltä leveyssuunnassa sekä alhaalta ripustetut ikkunat ohjaavat sisään tulevaa ilmaa niin, että vedontunne pienenee (kuvassa a ja d). Vedontunteen kannalta paras ikkunatyyppe on alhaalta ripustettu malli (kuvassa e). Alhaalta ja ylhäältä ripustettujen ikkunoiden ongelma on kuitenkin pieni virtaus tuuletuksen aikana, joten näin ripustetut ikkunat eivät yleensä pysty tarjoamaan riittävää ilmanvaihtoa kesäaikana. (4, s. 319–323.) Onkin suositeltavaa, että painovoimaisen ilmanvaihdon kanssa käytetään ikkunoita joissa on kaksi erilaista avausmekanismia samassa ikkunassa, kuten ala- ja sivuripustus. Näin ikkunatuuletuksen tehokkuutta pystytään säätämään tarpeen ja säätilan mukaan.

6.4 Ulkoilman sisäänotto

Sekä saneeraus- että uudiskohteissa ulkoilma on johdettava rakennukseen vedottomasti (22, s. 14). Tämä saadaan aikaan käyttämällä rakenteiden läpi tulevan vuotoilman sijasta

suunniteltuja hallittuja ulkoilmareittejä. Hallittu ulkoilmavirta ei kuitenkaan poista vedon tunnetta, mikäli ulkoilmavirta on liian suuri (20, s. 18), ja kuten luvussa 6.1.2 esitetystä kuviosta 2 nähdään hormivaikutuksen aikaansaama ilmavirta kasvaa radikaalisti ulkolämpötilan laskiessa. D2:n ohjeen mukaan ulkoilmalaitteen ilmavirtaa on voitava säätää (22, s. 15) ja sen korkeusero painovoimaisen poistohormiin yläpään on oltava vähintään 4,5 m (22, s. 19). Markkinoilla on olemassa lukuisia käsisäätöisiä ulkoilmalaitteita, mutta käyttömukavuuden kannalta on parasta, jos säätö tapahtuu automaattisesti ulkolämpötilan mukaan. Tämä on mahdollista saavuttaa mekaanisesti ilman sähköistä toimilaitetta käyttämällä venttiiliä, jossa on esimerkiksi kaksoismetallilla toteutettu automaattinen virtauksen säätöominaisuus. (4, s. 318–319.) Kuvassa 8 havainnollistetaan automaattisen virtauksensäätöominaisuuden erästä rakenteellista toteutusvaihtoehtoa.



Kuva 8. Erään ulkolämpötilan mukaan säätävän korvausilmaventtiilin poikkileikkaus. (33)

Vanhoissa rakennuksissa on tyypillisesti huonekohtainen ulkoilmareitti, ja saneerauksen yhteydessä on tyydyttävä ulkoilmareittien kunnostamiseen uudella ulkoilmalaitteella ja ulkoilmareittien lisäämiseen tarvittaessa. Uudisrakennuksissa on yleensä mahdollista tehdä keskitetty ulkoilmansisäänotto, jossa kaikki rakennuksen tarvitsema ulkoilma otetaan sisään yhtä isoa ulkoilmareittiä pitkin. Tämän menetelmän edut ovat paremmat säätömahdollisuudet, helpommin toteutettavissa oleva tuloilman lämmitys sekä sähkösuodatuksen mahdollisuus. Huonona puolena keskitetty ilmanotto voi lisätä painehäviöitä, mikä heikentää painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa tai vaatii erillisiä sähkötoimisia tuloilmapuhaltimia.

6.4.1 Ulkoilman suodatus

Voimassaolevassa vuoden 2012 D2:ssa ohjeistetaan, että oleskelutilojen tuloilma on yleensä suodatettava luokan F7 ilmasuodattimella. Taajama- ja teollisuusalueiden ulkopuolella ja etäällä vilkasliikenteisiltä liikenneväyliltä sijaitsevilla rakennuksissa voidaan käyttää heikompia, luokan G4 ilmasuodattimia. (22, s. 11.) Yleisin ilmanvaihtojärjestelmissä käytetty suodatintyyppi on kuitusuodatin, jonka toiminta perustuu hiukkasten ja suodatinkuitujen yhteen tarttumiseen (7, s. 269). Kuitusuodattimet toimivat kuitenkin huonosti painovoimaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä, sillä ne aiheuttavat yleensä painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän suurimmat yksittäiset painehäviöt. Kuitusuodattimen aiheuttamaa painehäviötä voidaan pienentää kasvattamalla sen pinta-alaa (34, s. 38). Käytettäessä tilakohtaista ulkoilman sisäänottoa ulkoilmalaitteiden kautta, ei suodattimen kokoon voida yleensä vaikuttaa. Tällöin painehäviön pienentäminen tapahtuu ulkoilmalaitteita lisäämällä. Vanhoissa painovoimaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä suodattimia ei yleensä ole käytetty ollenkaan.

Mikäli rakennuksessa on keskitetty ulkoilman sisäänotto, voidaan ulkoilmaa suodattaa myös sähkösuodattimella. Sähkösuodattimen toiminta perustuu sähköpurkauksessa syntyviin ioneihin, jotka tarttuvat suodattimen läpi virtaaviin hiukkasiin, suodattimen keräysosassa varauksen saaneet hiukkaset kerätään pois vastakkaismerkkisten keräyselektrodien avulla. (7, s. 273.) Sähkösuodatuksen etuina ovat pienet painehäviöt sekä mahdollisuus saavuttaa kuitusuodattimia parempi puhdistusteho. Eduista huolimatta sähkösuodattimet ovat painovoimaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä harvinaisia, sillä ne ovat kuitusuodattimiin verrattuna kalliita, vaativat enemmän huoltoa ja kuluttavat energiaa. Ne eivät myöskään sovi käytettäväksi tilakohtaisen ulkoilman sisäänotton kanssa.

Riippumatta siitä minkälainen suodatin painovoimaiseen ilmanvaihtojärjestelmään valitaan, on se vaihdettava tai huollettava säännöllisesti. Suodattimet ovatkin eniten huoltoa vaativa osa-alue painovoimaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä.

6.4.2 Äänenvaimennus

Rakennuksen ulkovaipan on täytettävä rakentamismääräyskokoelman osassa C1 asetettu ääneneristysvaatimus kokonaisuutena, johon vaikuttavat kaikki ulkovaipan rakeneosat mukaan lukien ulko- ja jäteilmalaitteet (22, s. 8) Suomessa on myynnissä useita

äänenvaimennuksella varustettuja ulkoilmalaitteita, joita markkinoidaan painovoimaiseen sopivina tuotteina. Ulkoilmareittejä suunniteltaessa kyseisten tuotteiden sopivuus on tarkistettava laskennallisesti niiden aiheuttamien painehäviöiden perusteella.

6.5 Siirtoilmareitit

Painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä siirtoilmana käytetään vain samanarvoisten tai puhtaampien tilojen ilmaa, kuten koneellisissa järjestelmissä (22, s. 14). Huoneiden välisenä siirtoilmareittinä toimii yleensä ovirako, jonka korkeus on oltava vähintään 2 cm (20, s. 20). Mikäli huoneiden välillä halutaan käyttää äänenvaimennettuja siirtoilmasäleikköjä, on varmistettava, etteivät ne aiheuta ilmanvaihdon toiminnan kannalta liian suuria painehäviöitä.

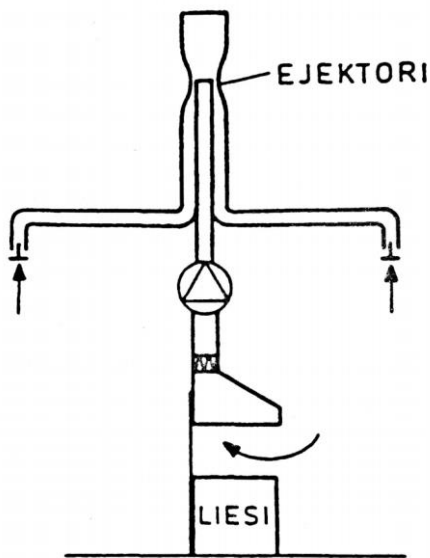
6.6 Painovoimaisen ilmanvaihdon tehostus

D2:n ohjeessa 3.2.3.1 määritellään, että asunnon ilmanvaihtoa on voitava tehostaa vähintään 30 % käyttöajan ilmavirroista (22, s. 10). Pääasiallinen keino painovoimaisen ilmanvaihdon käyttöajan tehostamiseen on tuuletus, jota on käsitelty tarkemmin tämän työn luvussa 6.3. Myös liesituuletinta voidaan käyttää ruuanlaiton aikaiseen käyttöajan tehostukseen painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä. Mikäli muuten painovoimaista ilmanvaihtoa tehostetaan koneellisesti, esimerkiksi riittävien ilmavirtojen saavuttamiseksi kesällä, on kyseessä hybridi-ilmanvaihtojärjestelmä. Käyttöajantehostuksen lisäksi painovoimaisen ilmanvaihdon jatkuvaan tehostamiseen on kehitetty hormin päälle asennettavia tuulihattuja ja -roottoreita.

6.6.1 Liesituuletin

Koneellisen ja painovoimaisen ilmanvaihdon yhdistäminen niin, että ilman virtaussuunnat huonetilojen välillä ja kanavistoissa voivat kääntyä, on kielletty D2:n määräyksessä (22, s. 18). Tämä on vaarana liesituuletinta käytettäessä, jolloin koko ilmanvaihtoalue voi alipaineistua, mikä johtaa ilmavirran suunnan vaihtumiseen muissa painovoimaisissa poistohormeissa. Kun ilma virtaa poistoilmahormissa väärään suuntaan, hormoneihin kertyneet epäpuhtaudet voivat irrota ja levitä huoneilmaan. Ilman virtaussuunnan kääntymi-

nen voidaan estää varmistamalla riittävä ulkoilman saanti tilaan, jossa liesituuletin sijaitsee. (22, s. 18.) Tällöin liesituulettimen aikaansaama alipaine ei vaikuta koko ilmanvaihtoalueen painesuhteisiin. Mikäli ilmanvaihtoalueen kaikki hormit nousevat katolle rinnakkain, voidaan takaisinvirtauksen estämiseksi käyttää myös ejektoriputkea, jonka kytkentäperiaate on esitetty kuvassa 7. (7, s. 214). Ejektoriputken avulla liesituuletin saa aikaan imun myös muihin hormoneihin. Suoraan hormiin kytkettyä liesituuletinta saa käyttää vain jos hormi on todettu tiiviiksi, sillä liesituulettimen käyttö aiheuttaa ylipaineen hormiin, mikä voi levittää epäpuhtauksia hormista toiseen. (20, s. 15). Uudet hormit ovat lähtökohtaisesti tiiviitä, mutta vanhojen hormien tiiveys tulee mitata ja hormi korjata tarvittaessa. Hormien korjausta on käsitelty tarkemmin tämän työn luvussa 6.2.2.



Kuva 9. Ejektoriputken käyttö liesituulettimen kanssa (7, s. 214).

Mikäli ruuanlaitosta aiheutuvia käryjä halutaan vähentää, mutta hormi ei ole tarpeeksi tiivis perinteiselle liesituulettimelle eikä hormia haluta kunnostaa, voidaan käyttää aktiivihiihitoimella varustettua liesituuletinta. Aktiivihiihitoiminen liesituuletin ei puhalla ilmaa hormiin vaan kierrättää sitä ilmaa puhdistavan aktiivihiihitoimisen läpi. Koska aktiivihiihitoiminen liesituuletin ei varsinaisesti tehosta ilmanvaihtoa, ei ylimääräistä ulkoilmaa tilaan myöskään tarvita. Parhaan mahdollisen ilmanlaadun saavuttamiseksi liesi kannattaa sijoittaa niin, että aktiivihiihitoimisen liesituulettimen ulospuhallusaukko on mahdollisimman lähellä painovoimaisen ilmanvaihdon poistoilmaventtiiliä.

6.6.2 Tuulitoimiset apulaitteet

D2 ohjeistaa käyttämään painovoimaisten poistohormien tehostamiseen tuuliohjaimia, -roottoreita tai muita vastaavia laitteita (22, s. 12). Tuuliohjain on tuulen mukaan kääntyvä hattu, jolla pyritään lisäämään tuulen aikaansaamaan alipainetta hormin päässä. Tuuliroottori on pohjimmiltaan tuulen voimalla toimiva huippuimuri, joka lisää painovoimaisen hormin ilmavirtaa 20–30 % riippuen tuulen nopeudesta ja roottorin koosta. (35) Tuulitoimiset apulaitteet asennetaan joko yksittäisen hormin päähän tai kokoojalaatikon avulla hormiryhmän päälle.



Kuva 10. Erään valmistajan tuuliohjain ja tuuliroottori (36).

Talviaikaan, jolloin tuulet ovat voimakkaampia (28) ja painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta on muutenkin tehokkaampaa suuremmasta lämpötilaerosta johtuen, tuulitoimisten apulaitteiden toimintaa tulisi pystyä rajoittamaan. (29) Rajoitin voi olla esimerkiksi ulkolämpötilaan reagoiva jarru tuuliroottorille. Mikäli mahdollista, tuulitoimiset apulaitteet tulee asentaa rakennuksen harjakorkeuden yläpuolelle, jotta tuuli osuu siihen kaikista suunnista. (35)

7 Esimerkki painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnan laskennallisesta tarkastelusta

Osana tätä insinööriä on kehitetty kaksi excel-asiakirjaa, joilla voidaan mitoittaa painovoimaisia poistoilmahormeja ja tuuletusaukkoja. Nämä asiakirjat soveltuvat myös olemassa olevan painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan laskennalliseen tarkasteluun. Excel-asiakirjojen kehittämiseen päädyttiin, koska varsinkin tuuletuksen laskennallinen tarkastelu on työlästä. Molemmat excel-asiakirjat pohjautuvat tämän työn luvussa 2 esitettyihin laskentakaavoihin. Lähtökohtana asiakirjojen kehittämiseksi oli mekaanisten työväiteiden poistaminen sekä selkeä raporttimainen ulkoasu. Molemmat lähtökohtana toimineet tavoitteet saavutettiin. Mitoittaminen onnistuu pelkällä lähtötietojen syötöllä ja excelistä on mahdollista tulostaa suoraan valmis raportti painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnasta.

Tässä luvussa tarkastellaan kehitettyjen excel-asiakirjojen avulla esimerkkitilanteen painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa ilmanvaihtojärjestelmää koskeneiden muutostöiden jälkeen. Esimerkkikohteeseen on Espoossa sijaitseva 1950-luvulla valmistunut kaksikerroksinen pientalo, jossa on jälkeempään rakennettu lisäsiipi märkätiloille. Lisäsiiven ilmanvaihto on toteutettu koneellisena poistona ja se on erotettu muusta rakennuksesta omaksi ilmanvaihtoalueeksi ovipumpulla varustetulla ilmatiiviillä ovella. Tässä luvussa esitellään tarkastelussa käytetyt lähtötiedot ja yhteenveto saaduista tuloksista. Täydellinen Excelillä tehty raportti rakennuksen ilmanvaihdosta on esitetty tämän työn liitteessä 3.

7.1 Mitoitustiedot

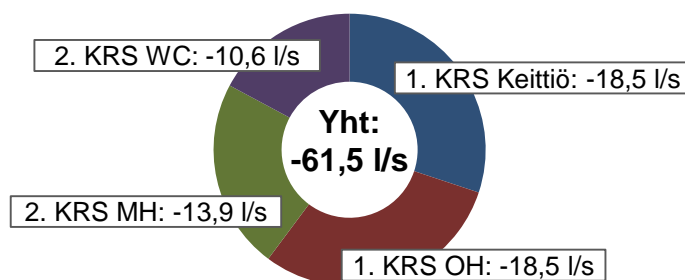
Koska suurin osa esimerkkitilanteen poistoa vaativista tiloista sijaitsee koneellisella poistolla varustetussa lisäsiivessä ja rakennuksen asuintilojen määrä on kokonaispinta-alan nähden suhteellisen pieni, rakennuksen ilmanvaihdon tavoitearvoksi valikoituu D2:n mukainen asuntojen ilmanvaihtokertoimen vähimmäisarvo 0,5 1/h. Painovoimaisen ilmanvaihtoalueen tilavuuden ollessa 380 m³ vaadituksi ilmanvaihtomääräksi tulee 52,7 l/s.

Rakennuskohdetta lähimpänä sijaitseva säähavaintoasema, jonka sijainti selvitettiin dokumentista "Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010", on Helsinki-Vantaan lentoasema. Kyseisen säähavaintoaseman keskimääräinen ulkolämpötila on 5,3 °C ja suhteellinen

kosteus 79 %. Keskimääräinen lämpötila on ylimmillään kyseisellä havaintoasemalla heinäkuussa kello 12.00, jolloin keskimääräinen ulkolämpötila on 21,0 °C suhteellisen kosteuden ollessa 55 %. Heinäkuussa Helsinki-Vantaan keskimääräinen tuulennopeus on 3,6 m/s, ja täysin tyyntä on vain 4 % koko ajasta.

7.2 Ilmanvaihto hormin kautta

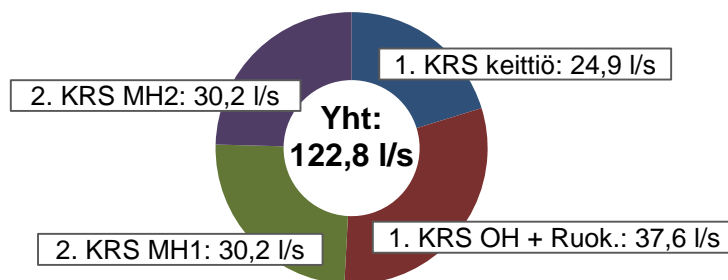
Rakennuksessa on tiilestä muurattu kuudella 1½-kiven hormilla varustettu hormiryhmä. Kuudesta hormista vain kolme on tällä hetkellä käytössä. Käytössä olevat hormit toimivat takan savuhormina sekä keittiön ja yhden makuuhuoneen poistohormina. Lisäksi taloon on WC-tilan lisäämisen yhteydessä rakennettu ø160 kierresaumakanavasta uusi poistohormi. Kuvio 5 voidaan nähdä, rakennuksen ilmanvaihto painovoimaisten hormien kautta vuoden keskimääräisessä ulkolämpötilassa ylittää D2:n minimivaatimuksen 52,7 l/s.



Kuvio 5. Ilmanvaihto rakennuksen hormien kautta keskimääräisessä ulkolämpötilassa 5,3 °C.

7.3 Tuuletuksen aikainen ilmanvaihto

Rakennuksen kaikki tilat jälkeenkäin rakennettua kuistia ja eteistä lukuun ottamatta on varustettu tavanomaisilla sivusta ripustetuilla tuuletusikkunoilla. Laskelmissa tuuletusikkunaa avautumaksi on oletettu vain 5 cm. Tuuletuksen aikaista ilmanvaihtoa laskettaessa on otettu tuuletusikkunoiden ominaisuuksien lisäksi huomioon tuulen puhallussuuntien vaihtelevuus, talon muoto ja asento tontilla sekä sijainti esikaupungissa pientaloalueella. Kuvio 6 voidaan todeta, että jo erittäin pienellä tuuletusikkunan avaumalla saadaan aikaa yli kaksikertainen ilmanvaihto D2:n vähimmäisarvoon nähden.



Kuvio 6. Keskimääräinen ilmanvaihto tuuletuksen aikana heinäkuussa.

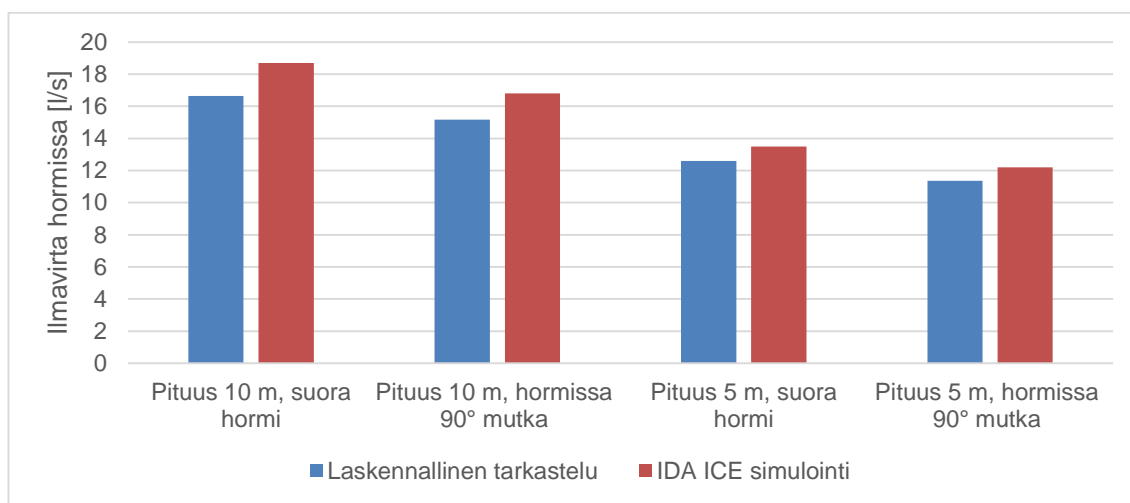
8 Laskennallisen tarkastelun validointi

Validoimalla selvitetään tutkimuksen keinoin, onko validoitava prosessi kelvollinen ja hyväksyttävä. Tässä luvussa validoidaan eli tutkitaan, ovatko tämän työn luvussa 2 esitetyt laskentakaavat tuloksiensa osalta riittävän tarkkoja, että niitä voidaan hyödyntää käytännön suunnittelussa. Validoinnit tehtiin vertaamalla laskennallisesti saatuja tuloksia simulointiohjelmiston antamiin tuloksiin sekä hyödyntämällä aiemmin samasta aiheesta tehtyjä validointeja. Vaikka tämän luvun validointituloksia ei voida pitää täysin virheettöminä, ne antavat hyvän kuvan laskennallisen tarkastelun tarkkuudesta.

8.1 Hormivaikutuksen laskennan validointi

Hormivaikutuksen aikaansaaman poistoilmavirran laskenta perustuu helposti selvitettäviiin ja melko vakiona pysyviin lähtöarvoihin. Suurimpana haasteena poistoilmavirran laskemisessa on käytetyn ulkoilmareitin painehäviöiden selvittäminen. Lisäksi hormin kitkeroin voi vaihdella turbulenttisen virtauksen alueella riippuen käytetystä laskenta kaavasta. Kun verrataan luvussa 2.1.1 esitetyillä kaavoilla laskettuja ilmavirtoja erityyppisissä hormoneissa IDA Indoor Climate and Energy, dynaamisella simulointiohjelmalla saattuihin tuloksiin vastaavan kaltaisten hormien osalta, voidaan todeta kuviossa 7 esitettyjen tulosten olevan samankaltaisia. IDA ICE on laskennallisilta malleiltaan validoitu ohjelmisto, jota käytetään Suomessa yleisesti rakennusten monivyöhykemallinnukseen. Saatujen tulosten perusteella tässä työssä esiteltyä hormivaikutuksen laskennallista tarkastelua voidaan pitää kohtuullisen luotettavana pyöreiden kierresaumakanavien osalta.

IDA ICE ei ole kuitenkaan ole paras mahdollinen ohjelmisto painovoimaisten poistohormien simuloimiseen, sillä painovoimaisten hormien muoto on IDA ICE rajoitettu pyöreäksi ja hormin materiaalia ei ilmoiteta eikä sitä voi vaihtaa. Esimerkiksi vanhoissa kerrostaloissa esiintyvien rakenneaineisten hormien toiminnan simulointi ei ole IDA ICEllä mahdollista. Näiden syiden takia IDA ICEllä tehty hormivaikutuksen laskennallisen tarkastelun validointi ei päde rakenneaineisiin ja/tai kannikkaisiin kanaviin. Hormivaikutuksen laskennallisen tarkastelun tarkempi ja kattavampi validointi voitaisiin tehdä joko käytännön mittausten tai CFD-simulointien avulla.



Kuvio 7. Simuloinnin ja laskennallisen tarkastelun vertailua lähtöarvoilla: $\varnothing = 160$ mm, $k = 0,15$
 $T_u = 15,4$ °C RH 92 %, $T_s = 23,1$ °C RH 55 %.

8.2 Tuuletuksen laskennan validointi

Vuonna 2015 Centre for Sustainable Energy Technology Researchin toimesta tehdyssä tutkimuksessa mitattiin toimistohuoneen todellisia tuuletuksen aikaisia ilmavirtoja viidessä erilaisessa konfiguraatiossa ja verrattiin niitä laskennallisella tarkastelulla saatuihin arvoihin. Tutkimuksen laskennallisessa tarkastelussa käytettiin samoja kirjallisuuslähteisiin perustuvia kaavoja, jotka olen esitellyt tämän työn luvussa 2.2 sekä käyttänyt osana insinööriytöä kehittämässäni excel-dokumentissa. Tutkimuksen perustella laskennallisen tarkastelun antamat ilmavirrat olivat konfiguraatiosta riippuen todellisia ilmavirtoja 1,4–2,3 kertaa suurempia. (38) Tästä erosta johtuen tuuletusaukkoja mitoittaessa on käytettävä vähintään varmuuskerrointa 2, mikäli laskennallista tarkastelua käytetään mitoitusperusteena. Laskennallisen tarkastelun tulosten tarkkuutta voidaan hieman parantaa käyttämällä laskennan lähtötietoina tarkempia arvoja. Käytännössä tarkempien

lähtöarvojen selvittäminen ei ole mahdollista ilman paikanpäällä tehtäviä mittauksia tai tietokonesimulointeja. Mikäli tuuletuksen aikaisia ilmavirtoja halutaan mallintaa tarkasti, on suunnittelu tehtävä fluidien käyttäytymistä mallintavalla CFD-simulointiohjelmistolla. (39)

9 Lopuksi

Insinööriyön tarkoituksena oli luoda apudokumentti painovoimaisen ilmanvaihdon suunnitteluun sekä työkalu painovoimaisien poistoilmahormien ja tuuletusaukkojen mitoittamiseen. Koska tämän kaltaista suomenkielistä ja ajantasaista dokumenttia ei aiemmin ollut olemassa, tavoitteena oli koota yhteen mahdollisimman kattavasti tietoa painovoimaisesta ilmanvaihdosta, pitäen insinööriyö silti suunnittelunäkökulmasta käytännölläheisenä ja relevanttina. Insinööriyö täyttää sille asetetut tavoitteet, ja sitä voidaan käyttää tietolähteenä nykymääräystason täyttävän painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelussa.

Insinööriyö on kirjoitettu siitä oletuksesta, että suunnittelu tapahtuu laskennallisesti ilman tietokonesimulaatioita. Tämä lähestymistapa käytettiin, koska haluttiin selvittää laskennallinen suunnittelu ylipäättänsä mahdollista. Mitoitustyökalua kehitettäessä kävi ilmi, että painovoimaisen ilmanvaihdon laskennallinen suunnittelu on ilmavirtoihin vaikuttavista monista muuttujista johtuen erittäin työlästä. Valmistuttuaan työkalu osoittautui kuitenkin matemaattisesti toimivaksi ja laskennan työmäärää merkittävästi vähentäväksi. Valitettavasti mitoitustyökalua validoidessa osoittautui, ettei tuuletuksen aikaisen ilmanvaihdon osalta saada luotettavia laskentatuloksia kirjallisuudessa yleisesti mainittuja laskukaavoja käytettäessä. Painovoimaisten ilmanvaihtohormien osalta mitoitustyökalu on kuitenkin täysin käyttökelpoinen.

On selvää, että painovoimaisen ilmanvaihdon kulta-aika on ohitettu jo vuosikymmeniä sitten eikä sen käyttö tule enää yleistymään suuressa mittakaavassa. Painovoimaiselle ilmanvaihdolle on kuitenkin omat käyttökohteensa sekä saneerauksessa että uudisrakentamisessa. Nykyisten rakennusmääräysten vaikutuksesta uudisrakennuksissa painovoimaisen ilmanvaihdon käyttö rajoittuu lähinnä pientaloihin. Tulevaisuudessa uusien painovoimaisella ilmanvaihtojärjestelmällä varustettujen pientalojen määrä saattaa kuitenkin kasvaa nollaenergiatalojen yleistyessä.

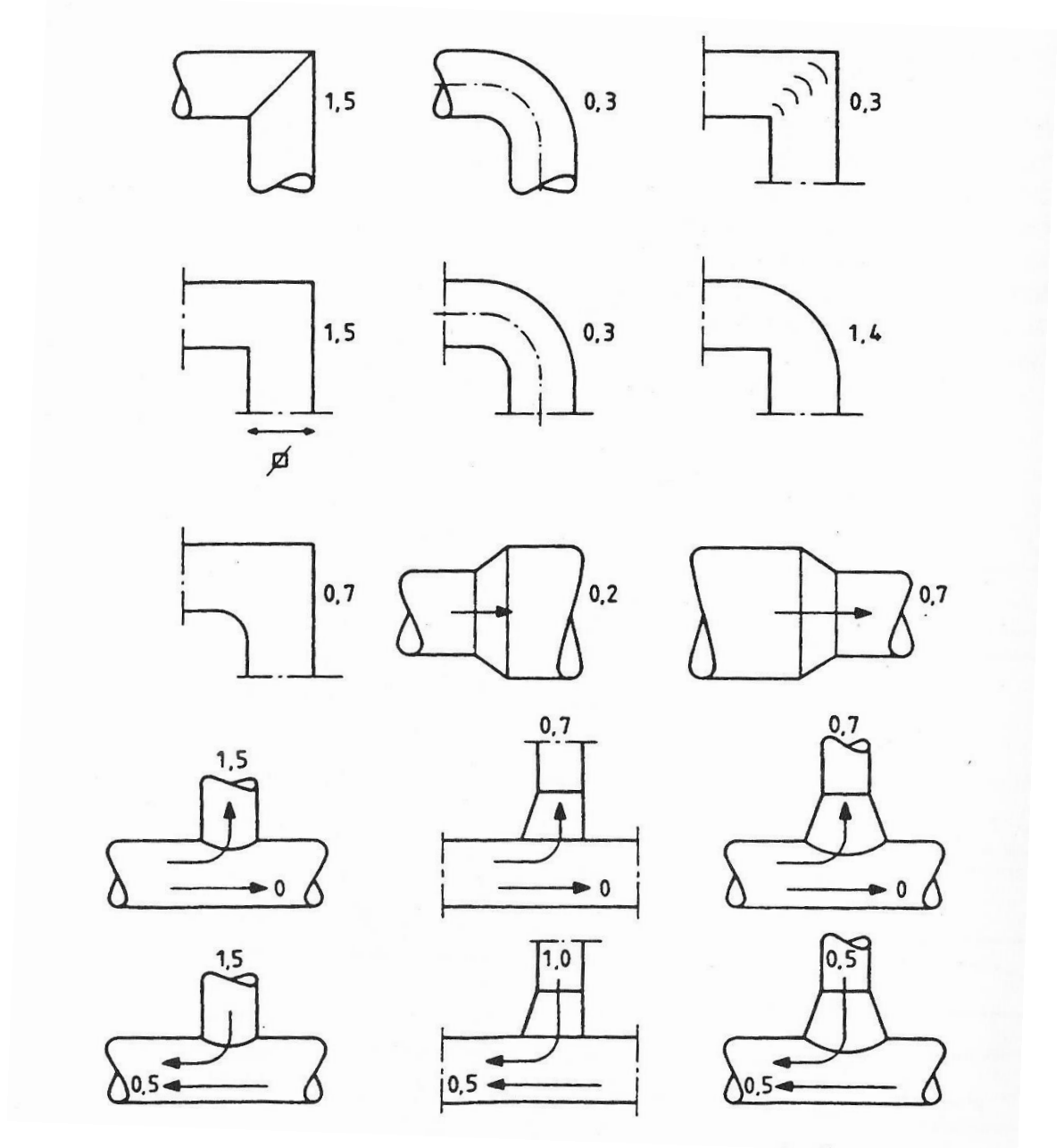
Lähteet

- 1 LVI 30-40080. 2010. Luonnollinen hybridi-ilmanvaihto. Helsinki: Rakennustieto Oy
- 2 Saarikko, Savanna. 18.10.2015. Klaus ja Tarja Paaer halusivat rakentaa talon, jota ei tarvitse huoltaa pitkään aikaan – tällainen siitä tuli. Verkkodokumentti. Helsingin Sanomat. <<http://www.hs.fi/koti/a1444964831734>>. Luettu 28.1.2016
- 3 Konttinen, Jussi. 24.12.2016. Energiatehokkaissa rakennuksissa piilee riskejä – tuleeko Suomesta mätien kotien maa? Verkkodokumentti. Helsingin Sanomat. <<http://www.hs.fi/sunnuntai/a1453441238265>>. Luettu 28.1.2016
- 4 Awbi, Hazim. 2003. Ventilation of Buildings Second edition. Lontoo: Spon Press.
- 5 Siikanen, Unto. 2014. Rakennusfysiikka Perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 6 Sandberg, Esa. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus Ilmastointitekniikka osa 2. Helsinki: Talotekniikka-julkaisut Oy
- 7 Seppänen, Olli. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Anjalankoski: SOLVER palvelut Oy
- 8 European technical approval ETA-12/0346. 2016 Verkkodokumentti. Österreichisches Institut für Bautechnik. <http://furanflex-polska.pl/files/eta_en.pdf>. Luettu 24.1.2016
- 9 Heiselberg, Per & Svidt, Kjeld & Nielsen, Peter. 2001. Building and Environment. Pergamon
- 10 Forsius, Arno. Tartuntatautien historiaa (Osa 1). 2016 Verkkodokumentti. <http://www.saunalahti.fi/arnoldus/tart_tau.html>. Luettu 25.1.2016
- 11 Säteri, Jorma & Kovanen, Keijo & Pallari, Marja-Liisa. 1999. Kerrostalojen sisäilmaston ja energiatalouden parantaminen. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus
- 12 Mäkiö, Erkki & Neuvonen, Petri & Sinkkikä, Jyrki & Tuunanen, Anna-Maija & Saarenpää, Jukka. 1990. Kerrostalot 1940–1960. Porvoo: Rakennustietosäätiö
- 13 Neuvonen, Petri & Mäkiö, Erkki & Malinen, Maarit. 2002. Kerrostalot 1880–1940. Hämeenlinna: Rakennustieto Oy

- 14 Savolainen, Jari. 2009. Putkivirtaus. Verkkodokumentti. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/4.+Putkivirtaus>>. Luettu 24.1.2016
- 15 Suomen rakentamismääräyskokoelma historia. 2016 Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <<http://www.ym.fi/download/noname/%7B5B35372D-D13D-4087-8C1E-A855F9C3F6CE%7D/101066>>. Luettu 6.1.2016
- 16 Rakennusten ilmanvaihto. 1976. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: sisäasiainministeriö.
- 17 Rakennusten ilmanvaihto. 1978. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: sisäasiainministeriö
- 18 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 1987. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 19 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 20 Ketola, Jari. 2015. Painovoimaisen ilmanvaihdon käyttö ja huolto. Tampere: Pirkanmaan rakennuskulttuuriyhdistys ry
- 21 K3-talot. 2016 Verkkodokumentti. Suomen Kulttuurirahasto. <<https://skr.fi/fi/k3-talot>>. Luettu 2.2.2016.
- 22 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 23 Rakennusten energiatehokkuus. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 24 Ilmanvaihtolaitteistojen paloturvallisuus. 2004. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa E7. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 25 Poikkeaminen. 2015 Verkkodokumentti. Helsingin kaupunki, Rakennusvalvontavirasto. <<http://www.hel.fi/static/rakvv/ohjeet/Poikkeaminen.pdf>>. Luettu 31.1.2016
- 26 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. 2013. Ympäristöministeriön asetus 4/13. Helsinki: ympäristöministeriö
- 27 Säteri, Jorma. 1998. Käytännön ilmanvaihto: opas ilmanvaihdon oikeaan käyttöön ja ylläpitoon. Helsinki: Suomen LVI-liitto

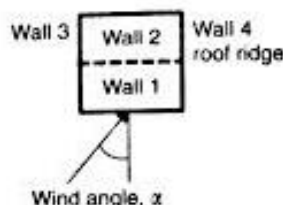
- 28 Pirinen, Pentti & Simola, Henriikka & Aalto, Juha & Kaukoranta, Juho-Pekka & Karlson, Pirkko & Ruuhela, Reija, 2012. Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010. Helsinki: Ilmatieteen laitos
- 29 Erat, Bruno. Luonnonmukainen ilmanvaihto. 2016 Verkkodokumentti. Luomura ry <http://www.luomura.com/@Bin/213022/Erat_Luonnonmukainen+ilmanvaihto_++kotisivuversio+11+958.pdf>. Luettu 2.2.2016
- 30 Hormien kuntotutkimukset. 2016 Verkkodokumentti. Suomen Hormistokeskus Oy. <<http://www.hormistokeskus.fi/hormienkuntotutkimukset.html>>. Luettu 23.1.2016
- 31 Järvinen, Matti. 2012. Kerrostalon painovoimaisen poistoilmanvaihdon muuttaminen koneelliseksi. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu 25.1.2016
- 32 Passive Heat Recovering Ventilation System. 2016 Verkkodokumentti. Autodesk. <<http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/project-gallery/passive-heat-recovering-ventilation-system>>. Luettu 28.1.2016
- 33 Tekniset tiedot. 2016 Verkkodokumentti. Suomen Terveysilma Oy. <http://www.terveysilma.fi/fi/korvausilmaventtiilit_tekniset_tiedot>. Luettu 1.2.2016
- 34 Heikkinen, Jorma & Heinonen, Jarkko & Vuolle, Mika & Laine, Tuomas & Liljeström, Kimmo. 2002. Toimistorakennusten hybridi-ilmanvaihto. Espoo: Otamedia Oy
- 35 Hormi-imurilla vetoapua poistohormille Verkkodokumentti. 2016 Suomen Terveysilma Oy. <<http://www.terveysilma.fi/file/196>>. Luettu 2.2.2016
- 36 Hormi-imurit. 2016 Verkkodokumentti. Suomen Terveysilma Oy. <<http://www.terveysilma.fi/fi/hormit>>. Luettu 2.2.2016
- 37 Kuiva ja kostea ilma. 2016 Verkkodokumentti. Hengityслиitto. <<http://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/hiukkasmaiset-ja-kaasumaiset-epapuhautaudet/kuiva-ja-kostea-ilma>>. Luettu 28.1.2016
- 38 Erhart T & Guerlich D & Schulze T & Eicker U. 2015. Experimental validation of basic natural ventilation air flow calculations for different flow path and window configurations. Verkkodokumentti. Centre for Sustainable Energy Technology Research. <http://www.ibpc2015.org/app/media/uploads/files/papers/IBPC15_ID397_FinalX.pdf>. Luettu 2.3.2016
- 39 Awbi, Hazim. 2010. Basic concepts for natural ventilation of buildings. Verkkodokumentti. University of Reading. <[http://www.cibse.org/getmedia/666bde70-b039-4f35-8d85-93733a14bc2e/01-Hazim-Awbi-\(University-of-Reading\)-Basic-Concepts-for-Natural-Ventilation-of-Buildings\(1\).pdf.aspx](http://www.cibse.org/getmedia/666bde70-b039-4f35-8d85-93733a14bc2e/01-Hazim-Awbi-(University-of-Reading)-Basic-Concepts-for-Natural-Ventilation-of-Buildings(1).pdf.aspx)>. Luettu 2.3.2016

Eri kanavaosien kertavastuskertoimia (7, s. 100).



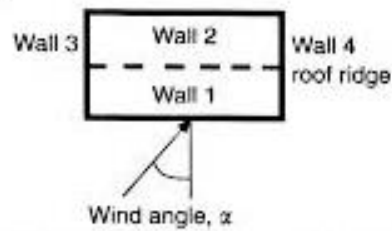
Tuulen painekertoimia eri tilanteissa (4, s. 310–311).

Table 7.2 Surface averaged pressure coefficients for up to three storeys high, square plan building in urban location [6]



Surface	Wind pressure coefficient, C_p , for wind angle, α°							
	0	45	90	135	180	225	270	315
<i>(a) Building exposed (open flat country)</i>								
Wall 1	0.7	0.35	-0.5	-0.4	-0.2	-0.4	-0.5	-0.35
Wall 2	-0.2	-0.4	-0.5	0.35	0.7	0.35	-0.5	-0.4
Wall 3	-0.5	0.35	0.7	0.35	-0.5	-0.4	-0.2	-0.4
Wall 4	-0.5	-0.4	-0.2	-0.4	-0.5	0.35	0.7	0.35
Roof pitch $<10^\circ$:								
Front	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7
Rear	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5
Roof pitch $11 \sim 30^\circ$:								
Front	-0.4	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7
Rear	-0.4	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.6	-0.5
Roof pitch $>30^\circ$:								
Front	0.3	-0.4	-0.6	-0.4	-0.5	-0.4	-0.6	-0.4
Rear	-0.5	-0.4	-0.6	-0.4	-0.3	-0.4	-0.6	-0.4
<i>(b) Building semi-sheltered (open country with scattered wind breaks lower than height of building)</i>								
Wall 1	0.4	0.1	-0.3	-0.35	-0.2	-0.35	-0.3	-0.1
Wall 2	-0.2	-0.35	-0.3	0.1	0.4	0.1	-0.3	-0.35
Wall 3	-0.3	0.1	0.4	0.1	-0.3	-0.35	-0.2	-0.35
Wall 4	-0.3	-0.35	-0.2	-0.35	-0.3	0.1	0.4	0.1
Roof pitch $<10^\circ$:								
Front	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5
Rear	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5
Roof pitch $11 \sim 30^\circ$:								
Front	-0.35	-0.45	-0.55	-0.45	-0.35	-0.45	-0.55	-0.45
Rear	-0.35	-0.45	-0.55	-0.45	-0.35	-0.45	-0.55	-0.45
Roof pitch $>30^\circ$:								
Front	0.3	-0.5	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	-0.5
Rear	-0.5	-0.5	-0.6	-0.5	-0.3	-0.5	-0.6	-0.5
<i>(c) Building in urban location (surrounded by buildings of equal heights)</i>								
Wall 1	0.2	0.05	-0.25	-0.3	-0.25	-0.3	-0.25	-0.05
Wall 2	-0.25	-0.3	-0.25	0.05	0.2	0.05	-0.25	-0.3
Wall 3	-0.25	0.05	0.2	0.05	-0.25	-0.3	-0.25	-0.3
Wall 4	-0.25	-0.3	-0.25	-0.3	-0.25	0.05	0.2	0.05
Roof pitch $<10^\circ$:								
Front	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5
Rear	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5
Roof pitch $11 \sim 30^\circ$:								
Front	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4
Rear	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4
Roof pitch $>30^\circ$:								
Front	0.25	-0.3	-0.5	-0.3	-0.4	-0.3	-0.5	-0.3
Rear	-0.4	-0.3	-0.5	-0.3	0.25	-0.3	-0.5	-0.3

Table 7.3 Surface averaged pressure coefficients for up to three storeys high building with plan aspect ratio 2 in urban location [6]



Surface	Wind pressure coefficient, C_p , for wind angle, α°							
	0	45	90	135	180	225	270	315
<i>(a) Building exposed (open flat country)</i>								
Wall 1	0.5	0.25	-0.5	-0.8	-0.7	-0.8	-0.5	-0.25
Wall 2	-0.7	-0.8	-0.5	0.25	0.5	0.25	-0.5	-0.8
Wall 3	-0.9	0.2	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6
Wall 4	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	0.6	0.2
Roof pitch <10°:								
Front	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7
Rear	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7
Roof pitch 11 ~ 30°:								
Front	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
Rear	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
Roof pitch >30°:								
Front	0.25	0	-0.6	-0.9	-0.8	-0.9	-0.6	0
Rear	-0.8	-0.9	-0.6	0	0.25	0	-0.6	-0.9
<i>(b) Building semi-sheltered (open country with scattered wind breaks lower than height of building)</i>								
Wall 1	0.25	0.06	-0.35	-0.6	-0.5	-0.6	-0.35	0.06
Wall 2	-0.5	-0.6	-0.35	0.06	0.25	0.06	-0.35	-0.6
Wall 3	-0.6	0.2	0.4	0.2	-0.6	-0.5	-0.3	-0.5
Wall 4	-0.6	-0.5	-0.3	-0.5	-0.6	0.2	0.4	0.2
Roof pitch <10°:								
Front	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
Rear	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
Roof pitch 11 ~ 30°:								
Front	-0.6	-0.6	-0.55	-0.55	-0.45	-0.55	-0.55	-0.6
Rear	-0.45	-0.55	-0.55	-0.6	-0.6	-0.6	-0.55	-0.55
Roof pitch >30°:								
Front	0.15	-0.08	-0.4	-0.75	-0.6	-0.75	-0.4	-0.08
Rear	-0.6	-0.75	-0.4	-0.08	-0.15	-0.08	-0.4	-0.75
<i>(c) Building in urban location (surrounded by buildings of equal heights)</i>								
Wall 1	0.06	0.12	-0.2	-0.38	-0.3	-0.38	-0.2	-0.12
Wall 2	-0.3	-0.38	-0.2	0.12	0.06	0.12	-0.2	-0.38
Wall 3	-0.3	0.15	0.18	0.15	-0.3	-0.32	-0.2	-0.32
Wall 4	-0.3	-0.32	-0.2	-0.32	-0.3	0.15	0.18	0.15
Roof pitch <10°:								
Front	-0.49	-0.46	-0.41	-0.46	-0.49	-0.46	-0.41	-0.46
Rear	-0.49	-0.46	-0.41	-0.46	-0.49	-0.46	-0.41	-0.46
Roof pitch 11 ~ 30°:								
Front	-0.49	-0.46	-0.41	-0.46	-0.4	-0.46	-0.41	-0.46
Rear	-0.4	-0.46	-0.41	-0.46	-0.49	-0.46	-0.41	-0.46
Roof pitch >30°:								
Front	0.06	-0.15	-0.23	-0.6	-0.42	-0.6	-0.23	-0.15
Rear	-0.42	-0.6	-0.23	-0.15	0.06	-0.15	-0.23	-0.6

Laskentaraaportti painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnasta esimerkkikohteessa

Kohteen tiedot

Osoite	K.osa/kylä	Kortteli/tila	Tontti/rn:o
-	-	-	-
-	Ratu: -		
Espoo	Lupatunnus: -		

Säätiedot

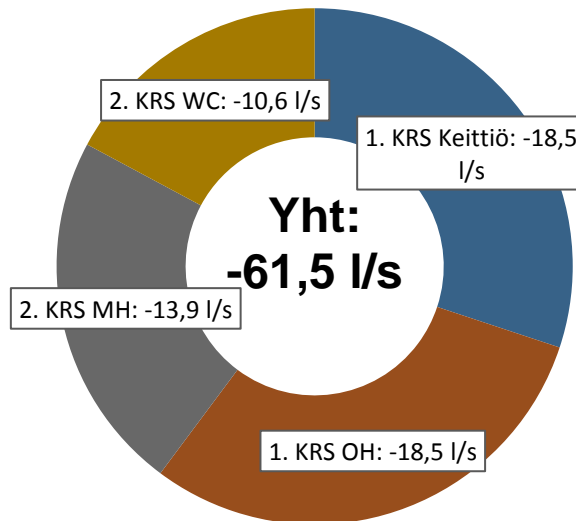
Ulkoilman vuotuinen keskilämpötila: 5,3

Keskimääräinen ulkoilman kosteus: 79 %

Käytetty säähavaintoasema: Helsinki-Vantaan lentoasema

Tulokset

Ilmanvaihto hormien kautta ulkoilman vuotuisessa keskilämpötilassa



Lisätietoja

Vaadittu ilmanvaihto D2 mukaisen asuntojen ilmanvaihtokertoimen vähimmäisarvolla 0,5 1/h laskettuna: 52,7 l/s.

Allekirjoitus

Paikka, aika

nimenselvennös

Kohteen tiedot

Osoite	K.osa/kylä	Kortteli/tila	Tontti/rn:o
-	-	-	-
-	Ratu: -		
Espoo	Lupatunnus: -		

Mitoitettava tila/hormin tunnus: 1. KRS Keittiö

Sisäilman lämpötila, °C: 21

Sisäilman suhteellinen kosteus: 40 %

Ulkoilman keskilämpötila, °C: 5,3

Ulkoilman suhteellinen kosteus: 79 %

Hormi

Hormin muoto: kantikas

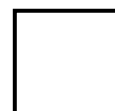
Hormin sivujen pituudet, mm: 150 150

Hormin materiaali: tiilimuuraus

Hormimateriaalin karheus, mm: 4

Hormin ylä- ja alapään välinen korkeusero, m: 5,1

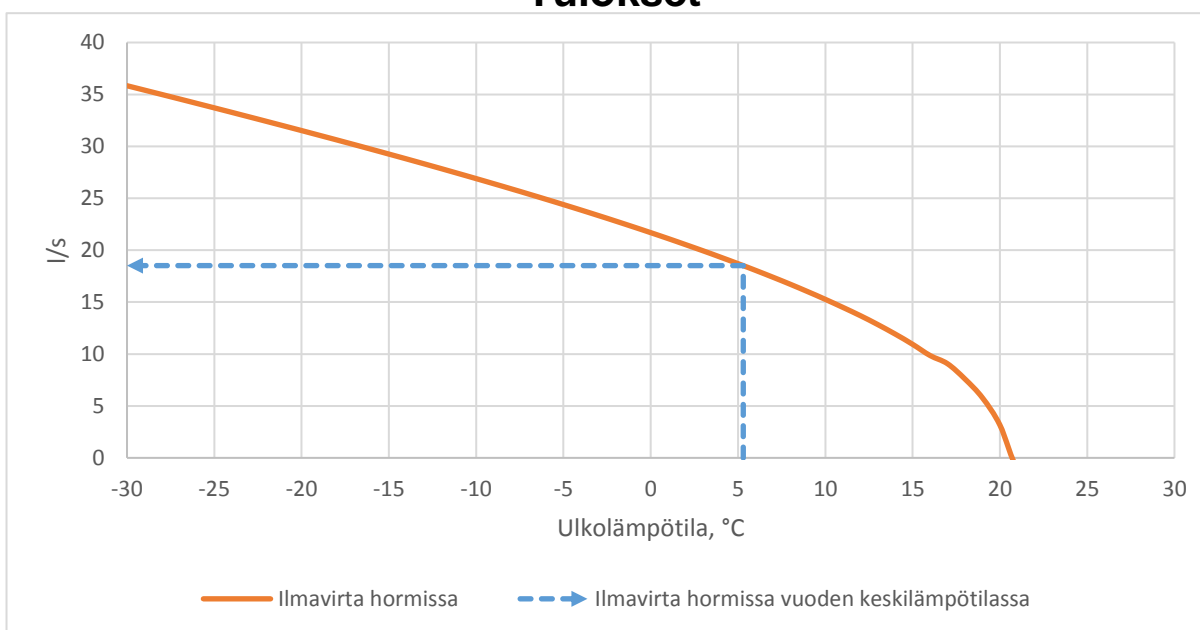
Hormin kokonaispituus, sisältäen sivuttaissirot: 5,1



Kertavastusten summa, $\Sigma\zeta$: 6,5

Hormin jälkeinen vaakakanavointi

Tulokset



Ilmanvaihto hormin kautta
keskimääräisessä ulkolämpötilassa: **-18,5 l/s**

Kohteen tiedot

Osoite	K.osa/kylä	Kortteli/tila	Tontti/rn:o
-	-	-	-
-	Ratu: -		
Espoo	Lupatunnus: -		

Mitoitettava tila/hormin tunnus: 1. KRS OH

Sisäilman lämpötila, °C: 21

Sisäilman suhteellinen kosteus: 30 %

Ulkoilman keskilämpötila, °C: 5,3

Ulkoilman suhteellinen kosteus: 79 %

Hormi

Hormin muoto: kantikas

Hormin sivujen pituudet, mm: 150 150

Hormin materiaali: tiilimuuraus

Hormimateriaalin karheus, mm: 4

Hormin ylä- ja alapään välinen korkeusero, m: 6,7

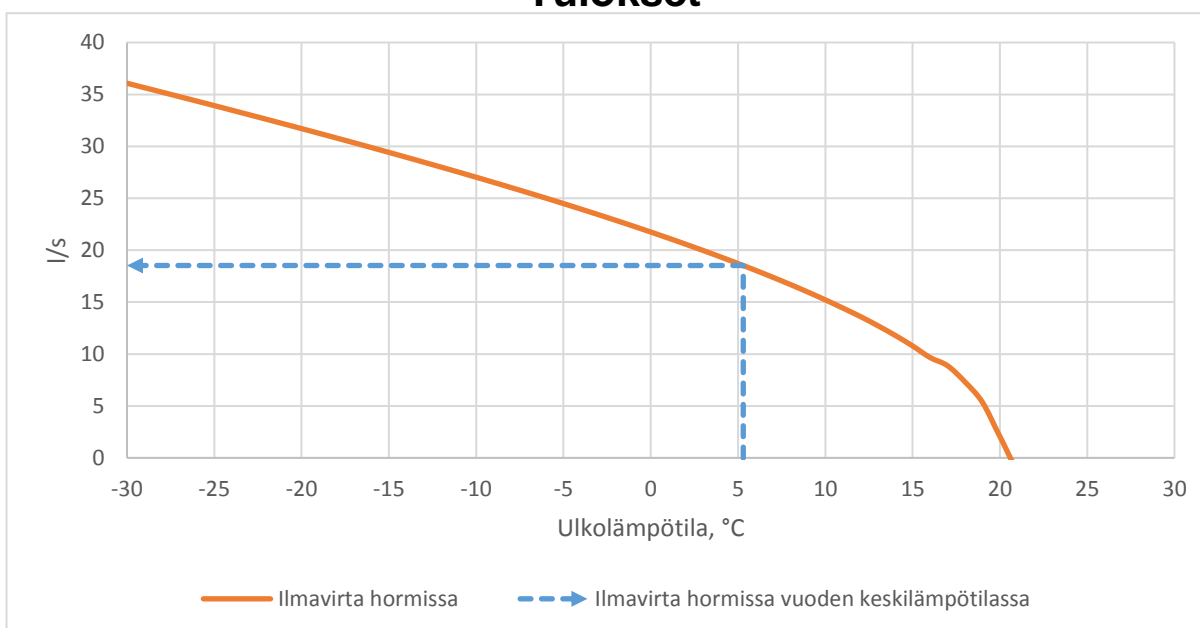
Hormin kokonaispituus, sisältäen sivuttaissirot: 7,6



Kertavastusten summa, $\Sigma\zeta$: 8

Hormin jälkeinen vaakakanavointi

Tulokset



Ilmanvaihto hormin kautta
keskimääräisessä ulkolämpötilassa: **-18,5 l/s**

Kohteen tiedot

Osoite	K.osa/kylä	Kortteli/tila	Tontti/rn:o
-	-	-	-
Ratu: -			
Espoo			
Lupatunnus: -			

Mitoitettava tila/hormin tunnus: 2. KRS MH

Sisäilman lämpötila, °C: 21

Sisäilman suhteellinen kosteus: 30 %

Ulkoilman keskilämpötila, °C: 5,3

Ulkoilman suhteellinen kosteus: 79 %

Hormi

Hormin muoto: kantikas

Hormin sivujen pituudet, mm: 150 150

Hormin materiaali: tiilimuuraus

Hormimateriaalin karheus, mm: 4

Hormin ylä- ja alapään välinen korkeusero, m: 2,6

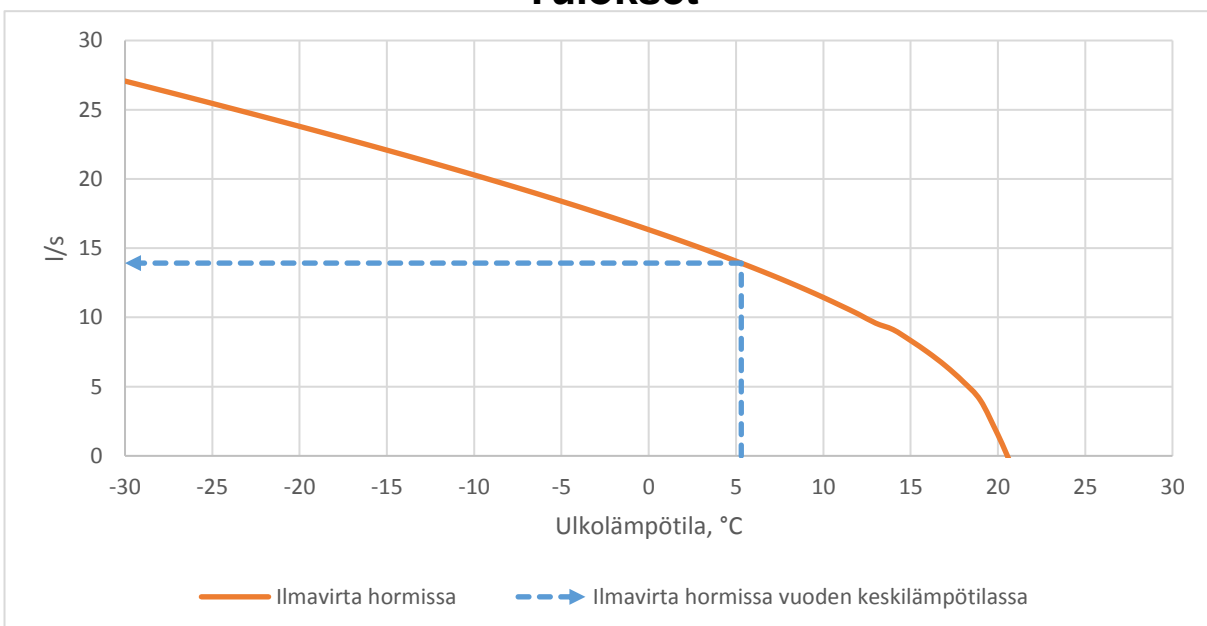
Hormin kokonaispituus, sisältäen sivuttaissirot: 2,6



Kertavastusten summa, $\Sigma\zeta$: 6,5

Hormin jälkeinen vaakakanavointi

Tulokset



Ilmanvaihto hormin kautta
keskimääräisessä ulkolämpötilassa: **-13,9 l/s**

Kohteen tiedot

Osoite	K.osa/kylä	Kortteli/tila	Tontti/rn:o
-	-	-	-
-	Ratu: -		
Espoo	Lupatunnus: -		

Mitoitettava tila/hormin tunnus: 2. KRS WC

Sisäilman lämpötila, °C: 21

Sisäilman suhteellinen kosteus: 40 %

Ulkoilman keskilämpötila, °C: 5,3

Ulkoilman suhteellinen kosteus: 79 %

Hormi

Hormin muoto: pyöreä

Hormin halkaisija, mm: 160

Hormin materiaali: kierresaumakanav.

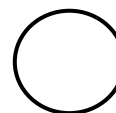
Hormimateriaalin karheus, mm: 0,15

Hormin ylä- ja alapään välinen

korkeusero, m: 1,3

Hormin kokonaispituus, sisältäen

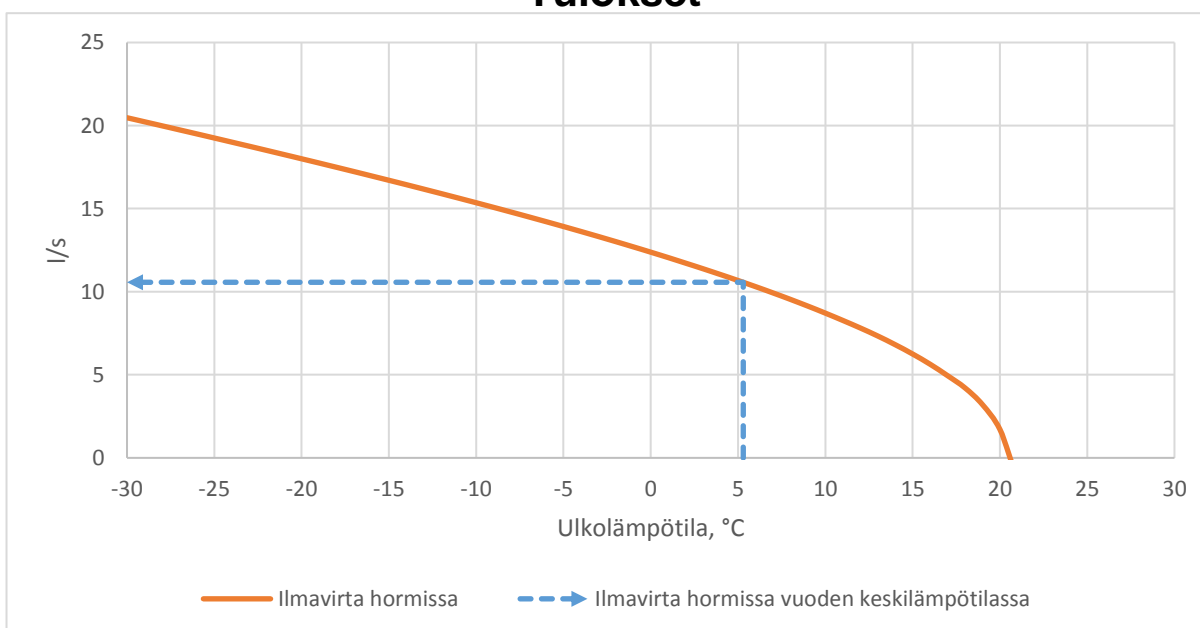
sivuttaissirot: 1,3



Kertavastusten summa, $\Sigma\zeta$: 5

Hormin jälkeinen vaakakanavointi

Tulokset



Ilmanvaihto hormin kautta
keskimääräisessä ulkolämpötilassa: **-10,6 I/s**

Kohteen tiedot

Osoite	K.osa/kylä	Kortteli/tila	Tontti/rn:o
-	-	-	-
-	Ratu: -		
Espoo	Lupatunnus: -		

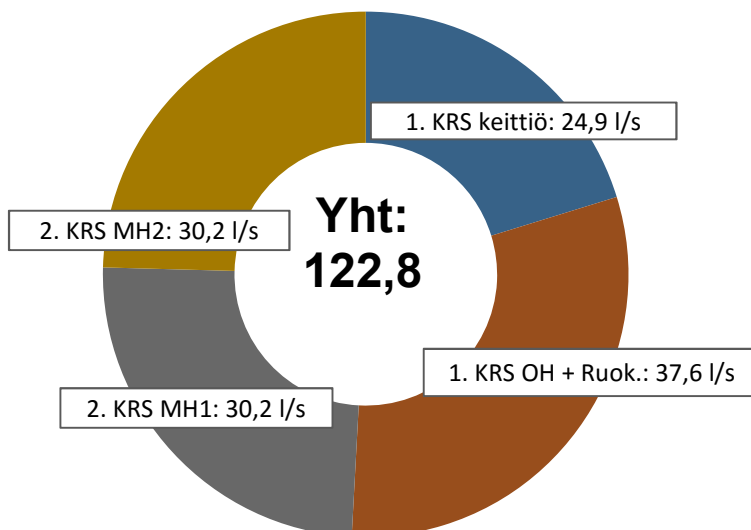
Tuulitiedot

N	%	NE	%	E	%	SE	%	S	%	SW	%	W	%	NW	%	tyyntä %
3,4	11	3,3	8	3,4	6	4,1	10	4,3	17	4,3	19	3,1	13	3,4	12	4

Käytetty säähavaintoasema: Helsinki-Vantaan lentoasema
Tarkasteltava kuukausi: heinäkuu

Tulokset

Keskimääräinen ilmanvaihto tuuletuksen aikana



Lisätietoja

Rakennuksen kaikissa tiloissa on 1200 x 500 mm tuuletusikkuna joka avauksen on laskelmissa oletettu olevan 5 cm.

Allekirjoitus _____

Paikka, aika

nimenselvennös

Kohteen tiedot

Osoite	K.osa/kylä	Kortteli/tila	Tontti/rn:o
-	-	-	-
-	Ratu: -		
Espoo	Lupatunnus: -		

Mitoitettava tila: 1. KRS keittiö
 Talon muoto: neliö
 Talon asento tontilla: 45
 Katon jyrkkyys: > 30°
 Talon rakennusalueen tyyppi: esikaupunkialue
 Talon viereiset tuulen esteet: taloa ympäröi muut saman korkuiset rakennukset

Sisäilman lämpötila, °C: 21
 Ulkoilman lämpötila, °C: 21
 Ulkoilman suhteellinen kosteus: 55 %

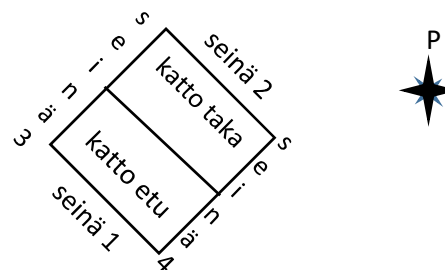
Tuulitiedot

N	%	NE	%	E	%	SE	%	S	%	SW	%	W	%	NW	%	tyyntä	%
3,4	11	3,3	8	3,4	6	4,1	10	4,3	17	4,3	19	3,1	13	3,4	12		4

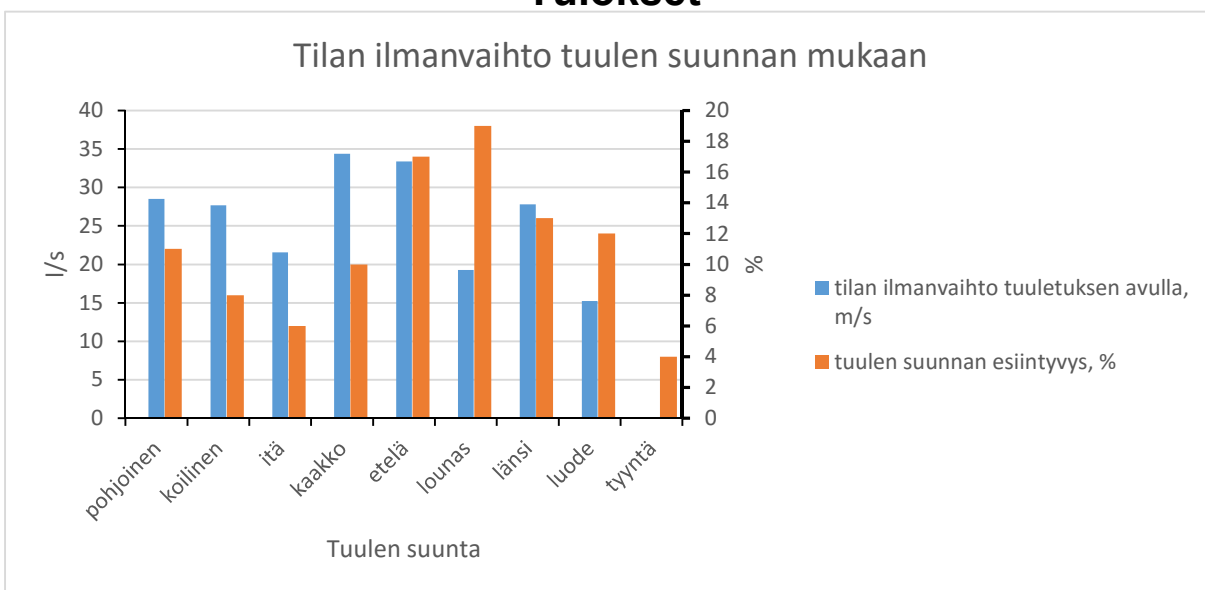
Käytetty säähavaintoasema: Helsinki-Vantaan lentoasema

Tuuletus

Tuuletustapa: yhden seinän tuuleuts
 Tuuletusaukko: aukko 1 Rakomainen aukko
 Aukon sijainti: seinä 3
 Aukon keskikohdan ja maan pinnan korkeusero, m: 1,9
 Aukon korkeus, m: 1,15
 Aukon avoin pinta-ala, m²: 0,058
 Kuroumakerroin, α: 0,6



Tulokset



Tilan keskimääräinen ilmanvaihto tuuletuksen aikana: **24,9 l/s**

Kohteen tiedot

Osoite	K.osa/kylä	Kortteli/tila	Tontti/rn:o
-	-	-	-
-	Ratu: -		
Espoo	Lupatunnus: -		

Mitoitettava tila: 1. KRS OH + Ruok.

Talon muoto: neliö

Talon asento tontilla: 45

Katon jyrkkyys: > 30°

Talon rakennusalueen tyyppi: esikaupunkialue

Talon viereiset tuulen esteet: taloa ympäröi muut saman korkuiset rakennukset

Sisäilman lämpötila, °C: 21

Ulkoilman lämpötila, °C: 21

Ulkoilman suhteellinen kosteus: 55 %

Tuulitiedot

N	%	NE	%	E	%	SE	%	S	%	SW	%	W	%	NW	%	tyyntä	%
3,4	11	3,3	8	3,4	6	4,1	10	4,3	17	4,3	19	3,1	13	3,4	12	4	4

Käytetty säähavaintoasema: Helsinki-Vantaan lentoasema

Tuuletus

Tuuletustapa: läpituuletus

Tuuletusaukot: aukko 1 aukko 2

Aukon sijainti: seinä 1 seinä 4

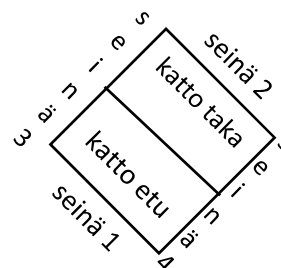
Aukon keskikohdan ja maan pinnan

korkeusero, m: 1,9 1,9

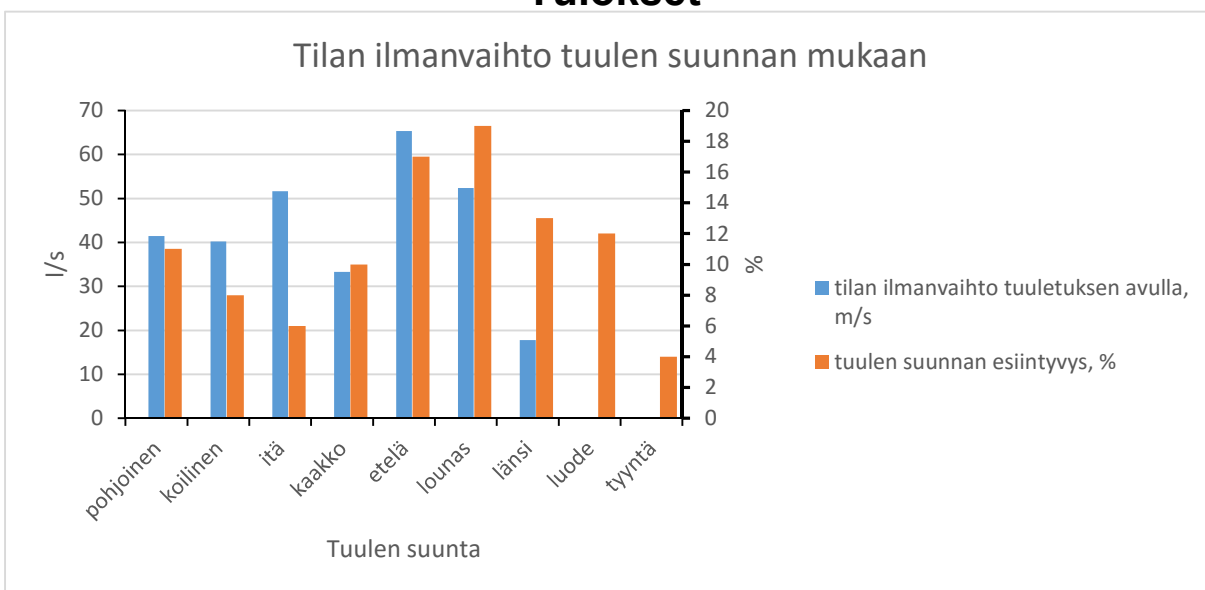
Aukkojen välinen korkeusero, m: 0

Aukon avoin pinta-ala, m²: 0,058 0,46

Kuroumakerroin, α: 0,6 0,6



Tulokset



Tilan keskimääräinen ilmanvaihto

tuuletuksen aikana: **37,6 l/s**

Kohteen tiedot

Osoite	K.osa/kylä	Kortteli/tila	Tontti/rn:o
-	-	-	-
-	Ratu: -		
Espoo	Lupatunnus: -		

Mitoitettava tila: 2. KRS MH1
 Talon muoto: neliö
 Talon asento tontilla: 45
 Katon jyrkkyys: > 30°
 Talon rakennusalueen tyyppi: esikaupunkialue
 Talon viereiset tuulen esteet: taloa ympäröi muut saman korkuiset rakennukset

Sisäilman lämpötila, °C: 21
 Ulkoilman lämpötila, °C: 21
 Ulkoilman suhteellinen kosteus: 55 %

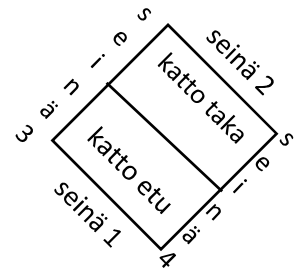
Tuulitiedot

N	%	NE	%	E	%	SE	%	S	%	SW	%	W	%	NW	%	tyyntä	%
3,4	11	3,3	8	3,4	6	4,1	10	4,3	17	4,3	19	3,1	13	3,4	12	4	4

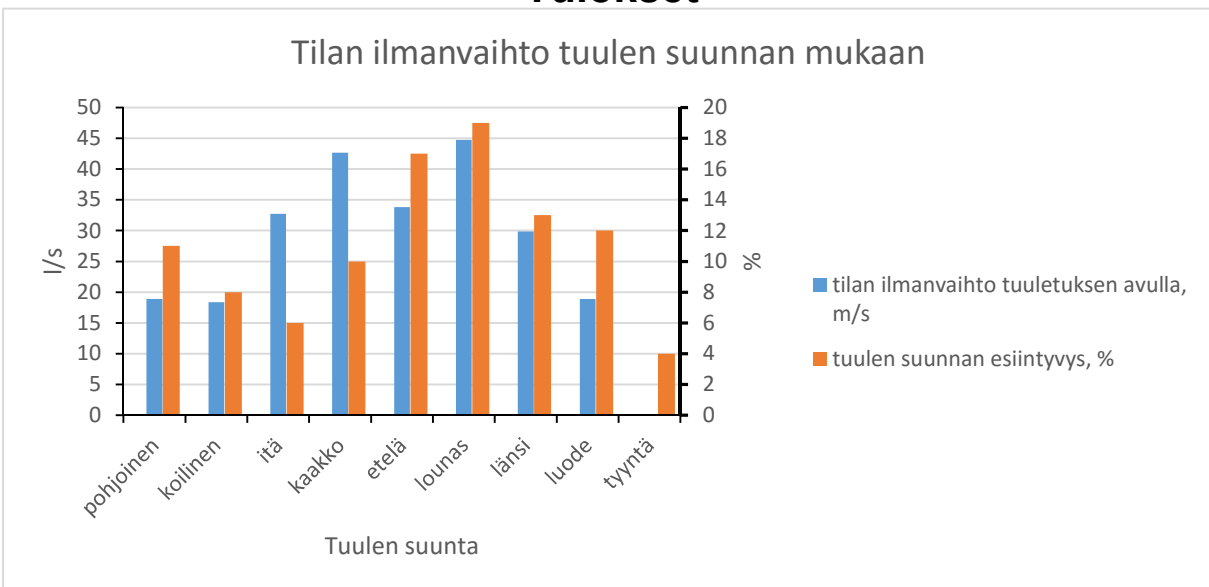
Käytetty säähavaintoasema: Helsinki-Vantaan lentoasema

Tuuletus

Tuuletustapa: yhden seinän tuuleuts
 Tuuletusaukko: aukko 1 Rakomainen aukko
 Aukon sijainti: seinä 2
 Aukon keskikohdan ja maan pinnan korkeusero, m: 4,5
 Aukon korkeus, m: 1,2
 Aukon avoin pinta-ala, m²: 0,058
 Kuroumakerroin, α: 0,6



Tulokset



Tilan keskimääräinen ilmanvaihto tuuletuksen aikana: **30,2 l/s**

Kohteen tiedot

Osoite	K.osa/kylä	Kortteli/tila	Tontti/rn:o
-	-	-	-
-	Ratu: -		
Espoo	Lupatunnus: -		

Mitoitettava tila: 2. KRS MH2

Talon muoto: neliö

Talon asento tontilla: 45

Katon jyrkkyys: > 30°

Talon rakennusalueen tyyppi: esikaupunkialue

Talon viereiset tuulen esteet: taloa ympäröi muut saman korkuiset rakennukset

Sisäilman lämpötila, °C: 21

Ulkoilman lämpötila, °C: 21

Ulkoilman suhteellinen kosteus: 55 %

Tuulitiedot

N	%	NE	%	E	%	SE	%	S	%	SW	%	W	%	NW	%	tyyntä	%
3,4	11	3,3	8	3,4	6	4,1	10	4,3	17	4,3	19	3,1	13	3,4	12	4	4

Käytetty säähavaintoasema: Helsinki-Vantaan lentoasema

Tuuletus

Tuuletustapa: yhden seinän tuuleuts

Tuuletusaukko: aukko 1 Rakomainen aukko

Aukon sijainti: seinä 2

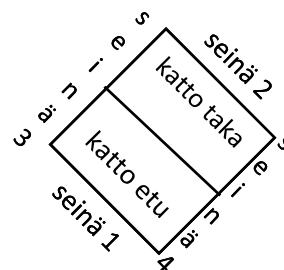
Aukon keskikohdan ja maan pinnan

korkeusero, m: 4,5

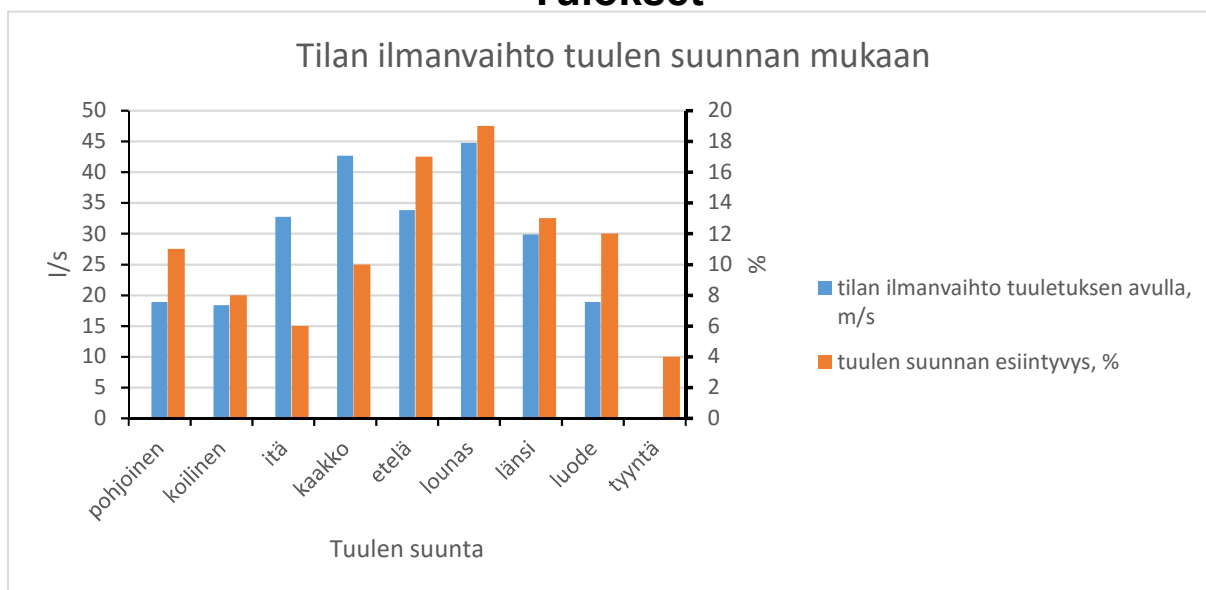
Aukon korkeus, m: 1,2

Aukon avoin pinta-ala, m²: 0,058

Kuroumakerroin, α: 0,6



Tulokset



Tilan keskimääräinen ilmanvaihto

tuuletuksen aikana: **30,2 l/s**