

Päivi Kurttila-Rahkola

PAINOVOIMAISEN ILMANVAIHDON PARANTAMINEN KORJAUSKOHTEISSA

PAINOVOIMAISEN ILMANVAIHDON PARANTAMINEN KORJAUSKOHTEISSA

Päivi Kurttila-Rahkola
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Talotekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikka

Tekijä: Päivi Kurttila-Rahkola

Opinnäytetyön nimi: Painovoimaisen ilmanvaihdon parantaminen korjauskohteissa

Työn ohjaaja: Kari Heiskari

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 50

Työn tilaaja on sisäilmaongelmien ratkaisemiseen painottunut insinööritoimisto, joka tekee tutkimuksia ja korjaussuunnittelua. Mikrobivaurioituneissa rakennuksissa pelkkä vaurioituneiden rakennusosien korjaaminen ei aina yksistään riitä, vaan samalla rakennuksia joudutaan tiivistämään. Se johtaa taas siihen, että joudutaan suunnittelemaan ilmanvaihto uudestaan, koska aiemmin korvausilma on saatu rakenteiden läpi. Suunnittelussa haasteeksi on muodostunut se, että painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilmamäärät jäävät pieniksi. Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin, kuinka ilmanvaihtoa voidaan parantaa, jos matalassa korjauskohteessa on alun perin painovoimainen ilmanvaihto.

Aluksi selvitettiin lait ja asetukset, jotka ohjaavat suunnittelua sekä käytiin läpi määräykset, ohjeet ja oppaat. Taustatiedoksi käytiin läpi sellaista korjausrakentamista, jolla on vaikutusta ilmanvaihtoon. Seuraavaksi perehdyttiin siihen, millaisia vaihtoehtoja on painovoimaisen ilmanvaihdon toteuttamiseen. Valmistajien sivuilta etsittiin painovoimaiseen ilmanvaihtoon soveltuvia tuotteita. Pääasiassa olivat erilaiset ulkoilmaventtiilit. Ne ovatkin keskeisin asia painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä, sillä niiden kautta saadaan tuloilma. Toinen tarkastelualue oli se, miten poistoilmanvaihto saadaan paremmaksi eli selvitettiin poistohormeihin lisättäviä tuotteita, jotka lisäävät ilmanvaihdon toimivuutta. Lisäksi tarkasteltiin mahdollisuutta ottaa avuksi koneita, jolloin vaihdetaan kokonaan toisiin ilmanvaihtojärjestelmiin.

Painovoimaista ilmanvaihtoa tutkittiin esimerkkitapauksessa. Kohteeseen tehtiin kengityskorjaus ja samalla tiivistettiin lattianraja ja ulkoseinän höyrynsulku. Ilmanvaihtoa parannettiin lisäämällä ulkoilmaventtiilejä. Kohteessa käytiin mittaamassa paine-eroja ennen remonttia ja sen jälkeen. Tuloksista laskettiin paine-erojen aiheuttama hormivaikutus mittaushetkellä huomioiden säätötila. Mittauksien ensisijainen tarkoitus oli, että nähdään, että ulkoilmaventtiileitä on lisätty riittävästi kompensoimaan tiivistyksistä johtuva vuotoilman vähentyminen. Sen jälkeen arvioitiin, onko nykyinen ilmanvaihto riittävä.

Asiasanat: ilmanvaihto, painovoimainen, ulkoilmavirta, ulkoilmaventtiili, korjausrakentaminen, tiivistäminen

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services

Author: Päivi Kurttila-Rahkola

Title of thesis: Improving natural ventilation in renovation projects

Supervisor: Kari Heiskari

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024

Number of pages: 50

This thesis examined how ventilation can be improved if the repair site originally had natural ventilation. Initially the laws and regulations guiding the design were clarified and the directives, guidelines and manuals were reviewed. For background types of renovation construction that affect ventilation were examined.

Next the options for implementing natural ventilation were sought from manufactures' websites. Various types of air supply vents were considered. They are the central element in a natural ventilation system as they provide the intake air. Another area of examination was how to improve exhaust ventilation. Additionally, the possibility of switching to an entirely different system was examined.

Natural ventilation was studied in a case example. The site underwent a base repair and at the same time the floor edge and the vapor barrier of the exterior wall were sealed. Ventilation was improved by adding air supply vents. Pressure differences were measured at the site before and after renovation. The primary purpose of the measurements was to ensure that enough air supply vents had been added to compensate for the reduction in leakage air due to sealing.

|

Keywords: natural ventilation, supply vent, exhaust ventilation, renovation, sealing

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	PAINOVOIMAINEN ILMANVAIHTO	8
	2.1 Määritelmä ja toimintaperiaate	8
	2.2 Historia	8
	2.3 Nykyiset lait, asetukset, määräykset ja ohjeet	9
	2.4 Ulkoilma.....	9
	2.5 Sisäilma.....	10
3	KORJAUSRAKENTAMINEN JA SEN VAIKUTUS ILMANVAIHTOON.....	13
	3.1 Korjaustarve	13
	3.2 Korjauskohteet	14
	3.3 Kengitys	14
	3.4 Lisäeristäminen julkisivukorjauksen yhteydessä	15
	3.5 Tiivistäminen	15
	3.6 Ikkunoidenvaihto	16
	3.7 Yläpohja ja vesikatto	16
	3.8 Tuulettuva alapohja eli rossipohja	17
4	ULKOILMAVIRTA	18
	4.1 Ulkoilmaventtiilit.....	18
	4.2 Karmiventtiilit.....	19
	4.3 Pystyventtiili.....	20
	4.4 Seinäventtiilit	22
	4.5 Tuuletusluukkuventtiilit	23
	4.6 Ulkoilmaventtiili puhaltimella.....	23
	4.7 Ulkoilmaventtiili puhaltimella ja lämpövastuksella	24
	4.8 Tuloilmaikkuna	25
	4.9 Huonekohtainen ilmanvaihtokone	26
	4.10 Maanalainen tuloilmakanava ja mahdollinen kanavalämmitin	26
	4.11 Ikkunatuuletus	27
5	ILMANVAIHDON PARANTAMINEN	28
	5.1 Siirtoilma.....	28
	5.2 Vedonparantajat.....	28
	5.3 Piiput ja hormit.....	30
	5.4 Poistoilmapuhaltimet	31
	5.5 Koneellinen poistoilmanvaihto	32
	5.6 Osin koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla.....	33
	5.7 Kustannukset.....	33
	5.7.1 Painovoimainen	33
	5.7.2 Koneellinen poisto.....	34
	5.7.3 LTO	34
6	ESIMERKKIKOHDE	36

6.1	Tutkimukset.....	36
6.2	Suunnitellut ja tehdyt korjaukset.....	37
6.3	Ilmanvaihdon suunnittelu.....	38
6.4	Mittauksen tavoitteet, suoritustapa, kohde, ajankohta.....	42
6.5	Tulosten analysointi.....	45
7	POHDINTOJA	46
8	LÄHTEET	47

1 JOHDANTO

Olen aiemmalta koulutukseltani rakennusinsinööri ja nyt olen laajentanut osaamistani talotekniikan puolelle. Työskentelen korjausrakennussuunnittelijana ja tämän opinnäytetyön tilaaja on työnantajani Entavision Oy, joka on 2016 perustettu perheyritys, työntekijöitä on tällä hetkellä 11, toimialue on Oulun talousalue. Yritys on korjausrakentamisen asiantuntija, joka auttaa sisäilmaongelmien ratkaisemisessa. Rakennusterveysasiantuntijan palveluita ovat sisäilmatutkimus, kuntotutkimus, kuntotarkastus asuntokaupan yhteydessä sekä niihin liittyvät mittaukset. Yritys hoitaa tutkimisen lisäksi projektinjohtamisen, rakennuttamisen, korjausrakennussuunnittelun, valvonnan ja takuutar- kastukset. Toiminta kattaa niin pieniä pesuhuonekorjauksia kuin isojakin peruskorjauskohteita. Yri- tyksellä on sertifikaatti, joka varmentaa, että yrityksen laatujärjestelmä täyttää ISO 9001 -standar- din vaatimukset. Yritys vaalii ja edesauttaa hyvää rakentamistapaa.

Korjausrakentamisessa rakennetta parannetaan tai se paranee jo sillä, kun käytetään nykyaikaisia materiaaleja ja menetelmiä. Tämä johtaa siihen, että rakennus muuttuu rakennusfysikaalisesti ja näitä muutoksia ja niiden vaikutuksia pitää tarkastella suunnittelun yhteydessä. Rakennusosien, järjestelmien ja yksityiskohtien, kuten myös rakennuksen kokonaisuutena pitää täyttää lain vaati- mukset. Silloin kun ryhdytään korjaushankkeeseen, on samalla selvitettävä voiko rakennuksen energiatehokkuutta parantaa kohtuullisin kustannuksin. Jos ja kun energiatehokkuutta paranne- taan, pitää suunnitelmissa esittää, kuinka varmistetaan ilmanvaihdon oikea toiminta ja kuinka huo- lehditaan tuloilman riittävästä saannista. Tässä opinnäytteessä keskitytään selvittämään eri vaih- toehtoja tämän lain kirjaimen toteuttamiseksi silloin kun korjattavassa rakennuksessa on painovoi- mainen ilmanvaihto.

Opinnäytteessä käydään läpi tällä hetkellä tarjolla olevia ratkaisuja. Lisäksi selvitetään, saadaanko painovoimaisesta ilmanvaihdosta riittävää matalissa rakennuksissa. Korjauskohteessa mitataan il- manvaihtoa ennen ja jälkeen korjausten. Samalla tutkitaan mahdollisuutta siirtyä koneelliseen il- manvaihtoon.

2 PAINOVOIMAINEN ILMANVAIHTO

2.1 Määritelmä ja toimintaperiaate

Painovoimainen ilmanvaihto tarkoittaa luonnollista ilmanvaihtoa ja perustuu yleiseen aineen pyrkimiseen tasapainoon ympäristönsä kanssa. Lämpötilaeroista, korkeuseroista ja tuulen vaikutuksesta johtuvat paine-erot aiheuttavat ilman liikkumista. Ilman vaihtuminen rakennuksessa tapahtuu niin, että lämmin ilma kevyempänä nousee poistohormissa ylöspäin. Toisinaan tuulen vaikutuksesta hormin yläpäässä on hetkittäin alipainetta ja silloin sisällä oleva ilma on siihen nähden ylipaineista ja ilma purkautuu ylös. Kummassakin tapauksessa ilman poistuminen on aiheuttanut sisälle alipaineen ja ilma myös tasoittuu ylipaineesta alipaineen suuntaan, joten rakennus imaisee ulkoilmaa sisälle. Tätä varten järjestelmässä on ulkoilmaventtiilit, joista ilma tulee hallitusti suoraan ulkoilmasta eikä rakenteiden läpi. Mikäli suunnitellut ulkoilmareitit puuttuvat, ei voida puhua painovoimaisesta ilmanvaihdosta, vaan kyse on silloin tahattomasta ilmanvaihdosta (1).

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa tehostamisen hoitaa ihminen tuulettamalla eli avaamalla ikkunan tai tuuletusluukun. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ei käytetä minkäänlaisia koneita, puhaltimia tai muitakaan sähkölaitteita apuna. Mikäli rakennuksessa on huippumurit käytössä vain hetkittäin kuormitushuippujen aikana, kyseessä on kuitenkin edelleen painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä, sillä sitä se on suurimman osan ajasta. (1).

2.2 Historia

Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä on ollut aina käytössä, vaikkei sitä ole ehkä ajateltu varsinaisesti järjestelmänä. Ihminen haluaa aina parantaa elinolosuhteitaan ja ilmanvaihtokin on kehittynyt siinä samalla koko ajan. Tulisijat tarvitsivat ilmaa ja sitä varten tehtiin erilaisia räppänoitä ja kattoihin savunpoistoluukkuja. Savuhormit olivat suuri parannus asumusten ilmanlaatuun, vaikka lämpöä menikin samalla hukkaan. Ulkoilmavirta saatiin hatarien rakennusten seinien ja ikkunoiden raoista. Myöhemmin alettiin rakentamaan varaavia tulisijoja joka huoneeseen ja niitten savupiippujen yhteyteen poistoilmahormeja. Korvausilmaa saatiin ikkunatuuletuksella ja seinäventtiileillä. Seuraava askel oli lämmityspatterit, jolloin hormoneja ei enää tarvittu. Poistoilmanvaihto oli enää keittiössä ja kylpyhuoneessa ja ulkoilmaventtiilit sijoitettiin makuuhuoneiden ikkunankarmeihin, keittiössä saattoi olla kylmäkomero, johon tuli suoraan ulkoilmaa. Koneellinen ilmanvaihto yleistyi ensin

poistoilmanvaihtona, sitten tulo- ja poistoilmanvaihtona ja myöhemmin myös lämmöntalteenotolla. Samalla painovoimaisen ilmanvaihdon käyttö loppui lähes kokonaan uudiskohteissa energiatehokkuusvaatimusten takia. Nykyisin painovoimainen ilmanvaihto on ollut taas mahdollista toteuttaa vuoden 2018 lakimuutoksen jälkeen ja korjauskohteissa se voidaan jättää käyttöön. (2; 3)

2.3 Nykyiset lait, asetukset, määräykset ja ohjeet

Maankäyttö- ja rakennuslain 117 g§:ssä sanotaan:

”Energiatehokkuutta on parannettava rakennuksen rakennus- tai toimenpideluvanvaraisen korjaus- ja muutostyön tai rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä, jos se on teknisesti, toiminnallisesti ja taloudellisesti toteutettavissa.”

Lisäksi ympäristöministeriön asetuksessa YM A 4/13 rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 11§ Ilmanvaihto todetaan:

”Rakennushankkeeseen ryhtyvän on esitettävä tarvittaessa rakennuksen energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä koskevissa suunnitelmissa, kuinka varmistetaan ilmanvaihdon oikea toiminta ja kuinka huolehditaan riittävästä tuloilman saannista, kun kyseessä on koneellisella poistoilmanvaihdolla tai painovoimaisella ilmanvaihdolla varustettu rakennus. Kun rakennuksen energiatehokkuutta parannetaan asentamalla huoneistokohtaisia lämmön talteenotolla varustettuja koneellisia tulo- ja poistoilmajärjestelmiä, on ne suunniteltava ja toteutettava siten, että ulkoseinästä tapahtuvasta ilmanotosta tai -poistosta ei aiheudu terveyshaittaa muihin huoneistoihin.”

Ympäristöministeriön asetuksessa 4/13 sanotaan teknisten järjestelmien toiminnan varmistamisesta 12 §:ssä:

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on rakennuksen vaipan tai sen merkittävän osan lisälämmöneristämisen tai ilmanpitävyyden parantamisen taikka ikkunoiden uusimisen tai niiden energiatehokkuuden parantamisen yhteydessä tai ilmanvaihtoa parantavien toimenpiteiden jälkeen todennettavasti varmistettava lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän oikea ja energiatehokas toiminta sekä tehtävä tarpeellisin osin taloteknisten järjestelmien tasapainotus ja säätö. Todennus tehdyistä toimenpiteistä esitetään rakennusvalvontaviranomaiselle luvanvaraisen työn loppukatselmuksen yhteydessä.

2.4 Ulkoilma

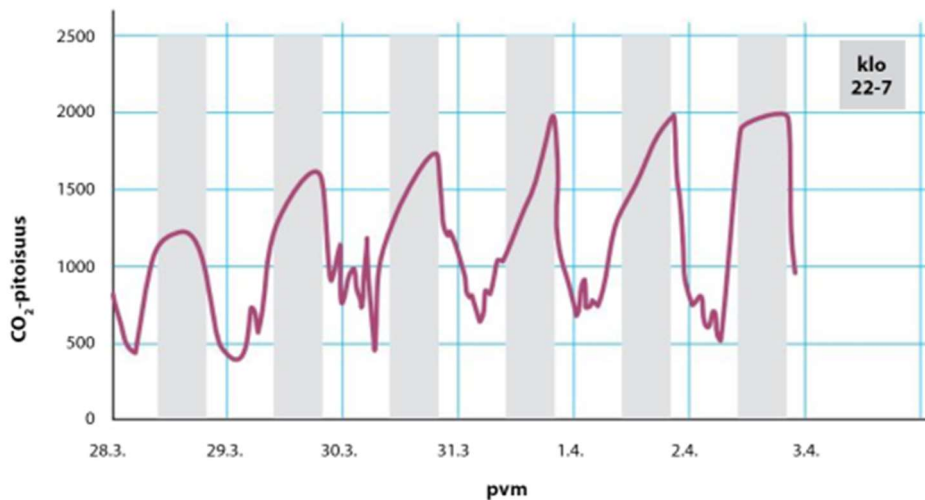
Painovoimainen ilmanvaihto on hyvin herkkä ulkoilman olosuhteiden vaikutuksille. Pienetkin paineenmuutokset vaikuttavat poistuviin ilmamääriin. Vaikuttavia asioita ovat niin lämpötilaero sisä- ja ulkoilman välillä ja siitä johtuva tiheusero, tuulen suunta ja nopeus, korkeuserosta johtuva paineero kuin yleinen matala- tai korkeapaine. Vaikka painovoimainen ilmanvaihto mitoitetaan jollakin

paine-erolla, sitä ei voida taata kaikissa olosuhteissa ja esimerkiksi tuulen vaikutusta ei oteta laskelmissa huomioon ollenkaan. Vuodetkaan eivät ole samanlaisia, mutta mitoitusta tehdään keskiarvon mukaan eli toisena vuonna ilmanvaihto toimii paremmin kuin toisena. Talvella ilma vaihtuu hyvin, mutta kylmä ilma koetaan usein vetona. Kesällä taas ilma on yhtä lämmintä sisällä kuin ulkona, joten ilma ei liiku juuri ollenkaan.

2.5 Sisäilma

Talotekniikkainfon Sisäilmasto ja ilmanvaihto -oppaassa määritellään: "Rakennuksen sisäilmaston suunnittelun ja rakentamisen lähtökohta on, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan kaikissa tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveellinen ja turvallinen sisäilmasto."

Sisäilman tulisi vaihtua kerran kahden tunnin aikana. Mikäli ilma ei vaihdu tarpeeksi, siitä seuraa erilaisia ongelmia. Ihminen tuottaa hiilidioksidia hengittäessään ja pitoisuudet sisäilmassa nousevat. Kuviossa 1 nähdään, että yön aikana, joka on kuvassa harmaa, pitoisuudet nousevat jopa 2 promilleen (2000 ppm = parts per million, joka vastaa mg/kg). Voimakkaasti pitoisuutta nostavat suljetut ovet ja riittämättömät oviraot. Kohteessa oli kello-ohjattu koneellinen poistoilmanvaihto.



KUVIO 1. Hiilidioksidipitoisuus eräässä makuuhuoneessa (Taloyhtiön energiakirja 2011).

Sisäilmastoluokituksessa on määritelty rajat myös hiilidioksidipitoisuuksille.

Sisäilmastoluokka S1: Alle 350 ppm ulkoilman pitoisuuden lisäksi (730–790 ppm).

Sisäilmastoluokka S2: Alle 550 ppm ulkoilman pitoisuuden lisäksi (930–990 ppm).

Sisäilmastoluokka S3: Alle 800 ppm ulkoilman pitoisuuden lisäksi (1180–1240 ppm).

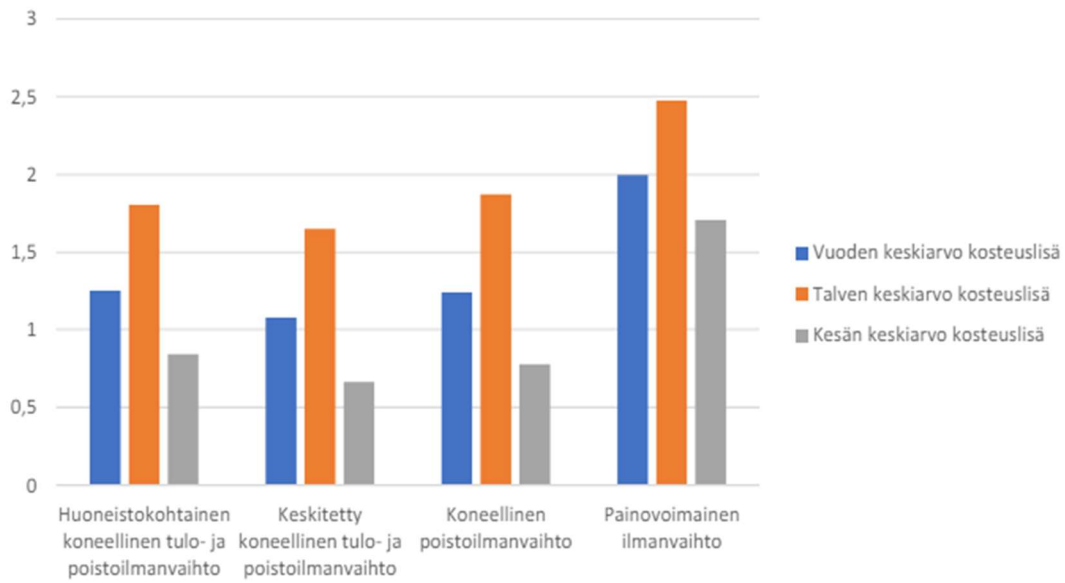
Hiilidioksidiarvot mittaamalla saadaan selville tilan ilmanvaihdon riittävyys. Jos hiilidioksidiarvot ovat korkeat, pitää selvittää, mistä ilmanvaihdon puutteet johtuvat. Asumisterveysasetuksessa toimenpiderajana on 1150 ppm suurempi hiilidioksidipitoisuus kuin ulkoilmassa mittaushetkellä. Ulkoilman pitoisuus vaihtelee esimerkiksi vuodenaikojen mukaan, joten se tulee mitata joka kerta.

Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta sanotaan pykälässä 6 sisäilman kosteudesta:

Sisäilman kosteuden on pysyttävä tilojen suunnitellun käyttötarkoituksen mukaisissa arvoissa sisäilman kosteudesta aiheutuvia kosteusvaurioita, mikrobin kasvua tai terveydellistä haittaa välttämällä.

Puutteellinen ilmanvaihto aiheuttaa kosteuden tiivistymistä sisäpinnoille ja rakenteiden kostumista, mikä lisää mikrobikasvustoa. Asunnon kosteuslähteitä on useita. Yksi ihminen tuottaa keskimäärin 90 g/h kosteutta ja keittiötoiminnasta tulee keskimääräisesti noin 100 g/h. Suihku tuottaa 2600 g/h ja kylpy 700 g/h. Avoin vesipinta tuottaa kosteutta 40 g/m²h, kasvit tuottavat 7–20 g/h koosta riippuen ja koneellisen pyykkiä kuivatus tuottaa noin 100–300 g/h. Kosteuslähteitä ei voi asunnoista poistaa kokonaan, vaan ylimääräinen kosteus on poistettava ilmanvaihdon mukana sisätiloista. (11).

Kuviossa 2 näkyy eri ilmanvaihtojärjestelmien kosteuskuormien poistokyky. Asunnoissa oli kerätty kosteusdataa ja verrattu sisäilman kosteuspitoisuutta ulkoilman kosteuspitoisuuteen ja ilmoitettu sisäilman kosteuslisä g/m³. Sinisellä on koko vuoden keskiarvo, oranssi on talven ja harmaa kesän keskiarvo. Johtopäätöksenä nähdään, että painovoimainen ilmanvaihto poistaa vähiten kosteutta. (11).



KUVIO 2. Kosteuslisät eri ilmanvaihtotavoilla (Lilleberg 2018).

3 KORJAUSRAKENTAMINEN JA SEN VAIKUTUS ILMANVAIHTOON

3.1 Korjaustarve

Rakennuksen korjaustarpeen syyt voivat olla erityyppisiä. Ensimmäiseksi korjaustarve voi johtua yksinkertaisesti rakennuksen vanhenemisesta ja rakennusosien käyttöön loppumisesta. Esimerkiksi puuikkunoiden käyttöikä on 30 vuotta. Vanhemmiten ikkunat alkavat rapistua, vääntyilevät ja ovat kylmiä sekä vetoisia.

Toiseksi rakennuksessa voi olla toimimaton rakenne, joka on ajan saatossa aiheuttanut vaurioita esimerkiksi kosteusvaurion ja jopa mikrobivaurion. Tällaiset rakenteet voivat olla aikansa rakennustavan ja sen ajan tietämyksen mukaan tehtyjä, kyseessä voi olla suunnitteluvirhe, työvirhe tai nykyiset olosuhteet ovat hankalat. Sisäilmakorjauksissa on kyse usein monen asian summasta. Sama rakenne voi toisessa kohteessa toimia moitteetta.

Kolmanneksi rakennuksen tai rakennusosan äkillinen rikkoontuminen joko itsessään tai rikkoontumisen aiheuttamat lisävauriot tai turvallisuuden vaarantuminen ovat korjaustarpeen syy. Esimerkteinä putkirikko tai kaiteen rikkoontuminen johtavat välittömiin toimenpiteisiin.

Neljäntenä syynä on ehkäisevä korjaaminen eli korjataan jotain, joka itsessään ei ole rikki, mutta siitä tai sen toiminnasta voi aiheutua isompia ongelmia muualla rakenteissa. Tai jotain on jo korjattu ja halutaan parantaa olosuhteita, ettei ongelma uusisi. Tähän sopii esimerkiksi ilmanvaihtoremontit ja pihankuivatukset.

Korjauksen syynä voi olla myös asumisolojen, rakennuksen laadun tai energiatehokkuuden parantaminen. Esimerkiksi ilmanvaihdon parantaminen koneelliseksi tulo- ja poistoilmanvaihdoksi lämmöntalteenotolla parantaa näitä kaikkia. Pesuhuoneita saatetaan remontoida ihan vain siksi, että halutaan niistä toimivampia ja viihtyisämpiä. Samalla kannattaa varmistua ilmanvaihdon kunnonellisesta toiminnasta, tällä varmistetaan kosteuden poistuminen hallitusti kylpemisen jälkeen.

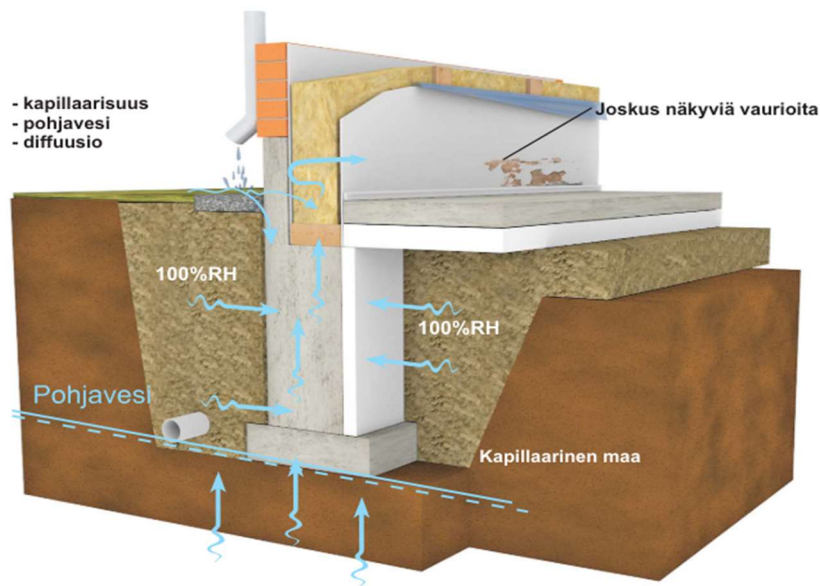
3.2 Korjauskohteet

Tässä opinnäytetyössä keskitytään mataliin rakennuksiin eli yksi- ja kaksikerroksisiin rivitaloihin, joissa on tasakatto tai muuten loiva katto. 1960-, 1970- ja 1980-luvun rivitalot ovat korjauskohteita, joissa hyvin usein on painovoimainen ilmanvaihto ja matala katto. Jyrkillä kattomuodoilla poistohormit kulkevat ullakon läpi ja silloin siitä kertyisi hieman korkeuseroa ja sen myötä paine-ero kasvaisi ja ilmanvaihto paranisi. Korjauksilla parannetaan ulkovaipan tiiveyttä ja näin estetään rakenteissa/maaperässä/ulkoilmassa sijaitsevien epäpuhtauksien pääsy sisäilmaan. Eristeet toimivat paremmin, kun niiden läpi ei mene ilmavirtauksia, joten rakenteiden tiivistäminen parantaa myös rakennuksen energiatehokkuutta. Toisaalta silloin, kun rakennuksesta tulee tiiviimpi, vuotoilmamäärät pienenevät ja matalan rakennuksen painovoimainen ilmanvaihto olisi siinä vaiheessa lähes olematonta ilman erikseen lisättyä ulkoilmavirtaa.

3.3 Kengitys

Tyypillisin korjaus on valesokkelin kengitys. Monesti tällainen rakenne on toimimaton, sillä siinä on käytetty puuta paikassa, jossa se kostuu ja vaurioituu, jopa homehtuu. Kengitettäessä poistetaan seinien alaosa puurakenteet ja pilaantuneet lämmöneristeet. Kantavat puurakenteet korvataan erityyppisillä teräsjaljoilla tai kiviaineisilla materiaaleilla tilanteen mukaan. Rakenne korjataan myös muilta osin toimimaan lämpö- ja kosteusteknisesti. Tähän liittyy ilmanvaihdon tarkastelu, sillä höyrynsulusta saadaan tiivis ja seinän läpi ei enää virtaa vuotoilmaa hallitsemattomasti. Ulkoseinien kohdalla se tarkoittaa, että vuotoilmareittejä tukitaan ja tilalle tarvitaan uusia ulkoilmaventtiilejä, josta ilma johdetaan hallitusti sisälle. Mikäli ulkoilmaa ei saada riittävästi, sitä tulee jostain raosta, mistä sitä ei haluttaisi.

Kuvassa 1 nähdään esimerkki valesokkelirakenteesta, jossa alaohjauspuu sijaitsee lattiatason alapuolella. Kuvaan on merkitty mahdolliset kosteudensiirtymistavat. Maaperässä suhteellinen kosteus on 100 % ja vesi siirtyy kapillaarisesti perustuksiin, mikäli ei ole käytetty kapillaarikatkoa. Jos salaojitus ei ole kunnossa, pohjavesi voi nousta perustuksiin. Ulkopuolella sadevesi on ohjattu liian lähelle perustuksia, jolloin aina sateella perustukset kastuvat. Sisäpuolella ei höyrynsulku ole kunnossa, joten kosteus siirtyy diffuusiolla sisäseinärakenteen läpi. Jos vielä tiilimuurauksen aikana laastipurseita on kasaantunut tuuletusrakoon, mikä estää tuuletuksen, niin kosteus ei pääse poistumaan mihinkään suuntaan.



KUVA 1. Kosteuden siirtyminen valesokkelirakenteessa (Hometalkoot 2012).

3.4 Lisäeristäminen julkisivukorjauksen yhteydessä

Pelkkä lämmöneristuksen parantaminen on harvoin remontin syy. Yleensä lämmöneristystä ja energiatehokkuutta parannetaan samalla kun tehdään muita korjauksia, esimerkiksi rakennusten julkisivukorjauksen yhteydessä. Lisälämmöneristäminen pitäisi tehdä aina ulkopuolelle, sillä sisäpuolinen lisäeristys muuttaa kastepisteen paikkaa rakenteessa ja sillä saatetaan aiheuttaa kosteusvaurioita rakenteeseen, joka muuten olisi pysynyt ehjänä.

3.5 Tiivistäminen

Korjauksiin liittyy myös lattianrajan tiivistäminen, joka estää ilmavuodot ja mahdollisten epäpuhtauksien siirtymisen maaperästä sisätiloihin. Tiivistäminen yksistään ei ole varsinainen korjaus, mutta sillä saadaan asumisolot kuntoon josikin aikaa. Tiivistämistä käytetäänkin monesti silloin, kun varsinainen remontti on tulossa muutenkin muutaman vuoden päästä.

Höyrynsulku on tärkeä osa rakennuksen kosteusteknisestä toimintaa. Se estää sisäilmassa olevan kosteuden kulkeutumisen seinärakenteeseen ja yläpohjarakenteeseen. Yleisesti höyrynsulkuna käytetään höyrynsulkumuovia ja löylyhuoneissa alumiinipintaisia polyuretaanieristeitä, kuten Sauna-Satua. Höyrynsulun tulisi olla yhtenäinen ja tiivis joka kohdasta. Varsinkin saumat, nurkat, jatkokset ja erilaiset läpivientikohdat tulee tiivistää huolellisesti. Toisinaan rakennuksen sisäilma-

ongelmat johtuvat höyrynsulun puutteellisesta asennuksesta, mikä on aiheuttanut rakenteiden kostumista ja kostunut rakenne on hyvä kasvualusta mikrobeille. Tällöin vaurioituneet rakenteet uusitaan ja höyrynsulku tiivistetään kunnolla tai jopa asennetaan kokonaan uusi.

3.6 Ikkunoidenvaihto

Vanhoja ikkunoita voidaan toki korjata, mutta usein vanhat puuikkunat ovat vetoiset, eivät eristä lämpöä eivätkä ääntä riittävästi ja puuosatkin ovat jo saattaneet pehmetä ja kittaukset irrota. Tällöin ikkunoiden vaihtaminen on ainoa korjaustapa. Uudet ikkunat asennetaan tiiviimmin nykyisten määräysten mukaisesti ja vuotoilmamäärä ikkunan tilkeraoista vähenee lähes olemattomiin. Esimerkiksi pelkkä polyuretaanivahto ei enää yksistään riitä ikkunoiden asennuksessa tiivistämään karmirakoa, vaan sen lisäksi on käytettävä sisäpuolista tiivistysteippausta. Ikkunanvaihdon yhteydessä edellytetään aina ilmanvaihtosuunnitelmat ja lopputarkastukseen mittauspöytäkirja ikkunarasennuksen jälkeen suoritetusta ilmanvirtojen mittauksista. Yleisin tapa ikkunaremonteissa on asentaa ikkunoihin jo tehtaalla valmiiksi ulkoilmaventtiilit, joiden määrät, koot ja sijainnit ilmanvaihdonsuunnittelija on määrittänyt.

3.7 Yläpohja ja vesikatto

Vesikattoremonttien yhteydessä tarkastellaan myös yläpohjan lisälämmöneristyksen mahdollisuus, joka on asetuksessa määrätty. Yläpohjien lisäeristäminen on yleensä kannattava tapa parantaa rakennuksen energiatehokkuutta. Lämmin ilma nousee ylöspäin ja sitä kautta tapahtuu suuret lämpöhäviöt. Tämän takia myös yläpohjan höyrynsulun pitää olla tiivis, sillä lämpimän ilman mukana nousee myös kosteus. Yläpohjan ontelossa on kesää lukuun ottamatta viileää ja silloin lämmin ja kostea sisältä nouseva ilma tiivistyy rakenteiden pinnoille. Kondensoitunut vesi kerääntyy johonkin ja alkaa pikkuhiljaa aiheuttamaan vaurioita rakenteisiin. Sisäilmaongelma aiheutuu siinä vaiheessa, kun rakennuksessa ei ole kunnollista ilmanvaihtoa ja vuotoilma tulee yläpohjasta ja tuo mukanaan hajuja ja epäpuhtauksia vaurioituneesta rakenneosasta.

3.8 Tuulettuva alapohja eli rossipohja

Ryömintätalaisissa rakennuksissa ongelmia voivat aiheuttaa lattian toimimaton rakenne, riittämätön tuuletus ryömintätalassa, vaihtelevat olosuhteet sekä orgaaninen aines ryömintätalassa. Vanhat muottilaudat ja muut roskat on voitu jättää ryömintätilaan, missä ne alkavat maatumään ja haisemaan. Ryömintätalassa on myös otolliset olosuhteet kaikenlaisille kasvustoille, sillä siellä on kosteaa ja lämmintä. Jos tuuletusaukkoja ei ole tarpeeksi, ilma ei vaihdu kunnolla, eikä kosteuskaan silloin poistu. Alapohjan rakenteet saattavat myös vaurioitua kosteuden takia. Sisälle hajut ja muut epäpuhtaudet tulevat lattian raoista vuotoilmana. Korjauksissa ryömintätalasta poistetaan orgaaninen aines, asennetaan kapillaarisora ja lisätään tuuletusaukkoja. Alapohjasta korjataan vaurioituneet rakenteet. Lämmöneristys pitää suunnitella huolella, sillä liika eristys pitää ryömintätilan liian kylmänä, eikä sekään ole hyvä ratkaisu. Sisäpuolen rakenne tehdään tiiviiksi ja suunnitellaan riittävä ulkoilmavirta hallittuja reittejä pitkin.

4 ULKOILMAVIRTA

4.1 Ulkoilmaventtiilit

Ulkoilmaventtiilien kautta rakennukseen saadaan raitista happipitoista ulkoilmaa käytetyn hiilidioksidipitoisen ilman tilalle. Hengitetty ja lämmennyt ilma nousee ylöspäin poistohormiin ja sieltä ulos paine-eron vaikutuksesta. Rakennukseen jää alipaine eli imu, joka vetää ilmaa poistuneen tilalle. Ilma mahtuu pienistäkin raoista, mutta toisaalta se kulkee aina sieltä, mistä se helpoimmin pääsee. Siksi käytetään ulkoilmaventtiileitä, koska niiden avulla ilmavirtoja voidaan hallita. Venttiilien avulla ilmamääriä voidaan säätää sekä ilmanlaatua parantaa. Jos ilma tulisi rakenteiden läpi, se toisi mukanaan epäpuhtauksia ja hajuja.

Venttiileissä voidaan käyttää erilaisia suodattimia tarpeesta riippuen. Tehokkaat suodattimet suodattavat siitepölyn, katupölyn sekä liikenteen ja puun polton aiheuttamat pienhiukkaset. Esimerkiksi Filtreten elektreettisuodattimen suodatusluokka on jopa F7– F9 aiemman suodatusluokituksen mukaan. Suodatuskankaassa on sähköinen varaus, joka parantaa hiukkasten tarttuvuutta. Tämän takia kankaan ei tarvitse olla niin tiheää ja ilma pääsee siitä läpi. Aktiivihiihsuodattimilla saadaan myös hajut suodatettua. Suodattimet lisäävät kuitenkin painehäviötä, joten ne kannattaa valita vain tarpeen mukaan. (13).

Huonosta sisäilmasta johtuvaan sairaustaakkaan vaikuttaa eniten ulkoilman laatu. Kaikki pienhiukkaset voivat aiheuttaa sairauksia ja siksi niitä pyritään suodattamaan. Suodattimet jaetaan pienhiukkasten suodatuskyvyn mukaan. Aiemmassa luokituksessa hiukkasten kokoluokkana käytettiin $0,4 \mu\text{m}$ ja määritettiin, kuinka tehokkaasti suodatin pystyy poistamaan näitä hiukkasia. Nykyisin käytetään kolmea hiukkaskokoluokkaa. Alle $1 \mu\text{m}$ pienhiukkaset ovat vaarallisimpia, sillä ne kulkeutuvat verenkiertoon. Alle $2,5 \mu\text{m}$ pienhiukkaset voivat tunkeutua keuhkoihin ja alle $10 \mu\text{m}$ hiukkaset tunkeutuvat keuhkoputkeen. Suodatinluokka $e\text{PM}_{10}$ ilmoittaa $10 \mu\text{m}$ halkaisijaltaan olevien hiukkasten suodatusasteen, $e\text{PM}_{2,5}$ $2,5 \mu\text{m}$ läpimitaltaan olevien hiukkasten ja $e\text{PM}_1$ ilmoittaa $1 \mu\text{m}$ kokoisten hiukkasten suodatusasteen. Vanha järjestelmä ei ole täysin vastaava nykyisen luokituksen kanssa, mutta Eurovent on tehnyt taulukon 1, josta nähdään suurin piirtein vastaavat suodattimet. Esimerkiksi F7-suodatin poistaa noin 40–65 % $1 \mu\text{m}$ hiukkasista, noin 65–75 % $2,5 \mu\text{m}$ hiukkasista ja 80–90 % $10 \mu\text{m}$ hiukkasista. (14).

EN 779: 2012	EN ISO 16890 – mitatut tehokkuudet (alue)		
Suodatin- luokka	ePM ₁	ePM _{2.5}	ePM ₁₀
M5	5% - 35%	10% - 45%	40% - 70%
M6	10% - 40%	20% - 50%	60% - 80%
F7	40% - 65%	65% - 75%	80% - 90%
F8	65% - 90%	75% - 95%	90% - 100%
F9	80% - 90%	85% - 95%	90% - 100%

TAULUKKO 1. Suodatinluokkien vastaavuus Euroventin mukaan (Eurovent 2018).

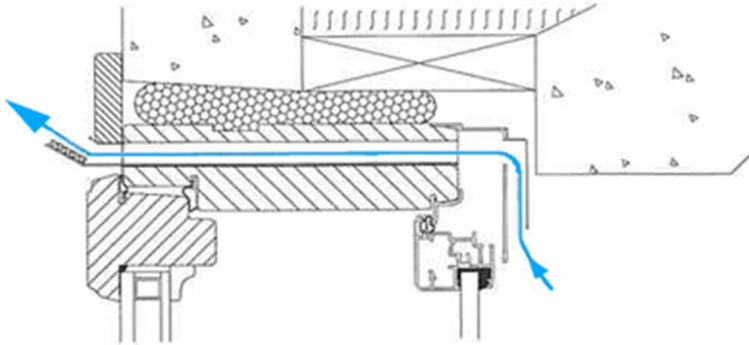
Ulkoilmaventtiilien ja venttiilityypin valinnassa tulee huomioida, minne tuloilmavirta suuntautuu. Kylmä ilmavirta tuntuu helposti vetona. Ylöspäin suunnattu venttiili vähentää vedontunnetta, sillä kylmä ilma sekoittuu ylhäällä olevaan lämpimään ilmaan. Lämmitetty ilma palautuu oleskelualueelle uudestaan. Tässä yhdistyy energiatehokkuus sekä asumisviihtyvyys. Venttiileissä on erityyppisiä ratkaisuja vedonehkäisyyden sekä lämmöntalteenottoon.

Ulkoilmaventtiilien ilmamäärät ovat pienempiä kuin koneellisessa ilmanvaihdossa. Ilmamääriä rajoittaa niin itse venttiili kuin järjestelmäkin. Venttiilien koko on pieni ja suodattimet, vaimentimet, ritilät ynnä muut tarvikkeet rajoittavat vapaata ilman virtausta. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa paine-ero ei ole suuri, joten todellinen vaihtuva ilmamääräkään ei ole kovin suurta. Suunnittelussa tämä on hyvä huomioida mitoitettaessa venttiilien kokoja ja kappalemääriä vaadittavien ilmamäärien mukaan. Ulkoilmaventtiileistä löytyy valmistajien ilmoittamat tekniset tiedot, joissa kerrotaan venttiilin toimintatapa, ilmamäärät eri paine-erolla, äänitiedot, painehäviöt, asennustavat ja venttiilien koot. Korjausrakentamisessa venttiilien valintaan vaikuttaa myös tilaajan toiveet venttiilin tyyppistä ja asennuksen kustannuksista

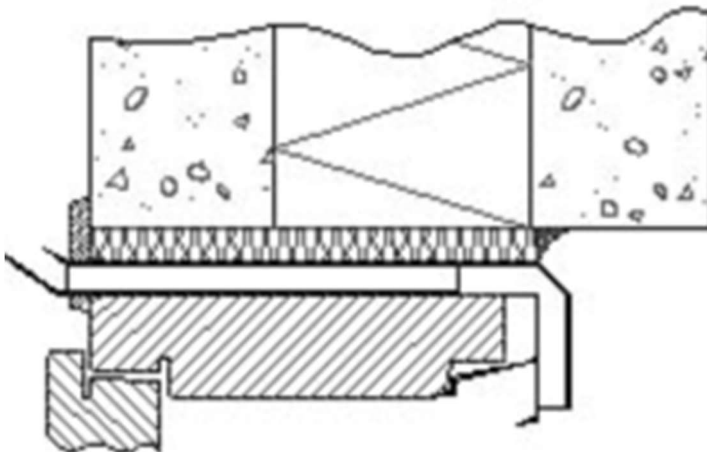
4.2 Karmiventtiilit

Karmiventtiilit voidaan asentaa ikkunan karmiin, ikkunan yläpuitteeseen tai ikkunan ja seinän väliin tilkerakoon. Eri valmistajien karmiventtiileissä on eroja niin ilmamäärissä kuin asennustavassa. Toimintaperiaate on kuitenkin sama eli venttiilille on tehty aukko ulkoa sisälle ja ulkoilmavirta tulee venttiilin läpi, kun ilma poistuu paine-eron vaikutuksesta poistohormista ulos. Karmivent-

tiileistä löytyy malleja, jotka suuntaavat ilmavirran ylöspäin ja täten vähentävät vedontunnetta. Kuvassa 2 leikkauskuva Dir-Airin ulkoilmaventtiilistä, joka sijaitsee ikkunankarmissa ja kuvassa 2 venttiili on sijoitettu tilkerakoon. Ilmamäärät ovat samat molemmissa asennustavoissa. Valintaa ohjaa olemassa oleva rakenne ja haluttu asennustapa.



KUVA 2. Karmiventtiilin leikkauskuva, jossa venttiili sijaitsee ikkunankarmissa (Dir-Air Oy 2024).

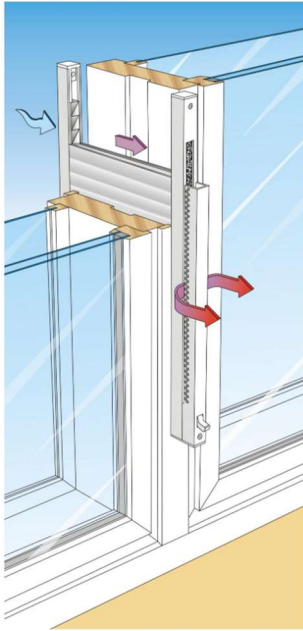


KUVA 3. Karmiventtiili tilkeraossa (Dir-Air Oy 2024).

4.3 Pystyventtiili

Karmiventtiileissä on malleja, jotka voidaan asentaa myös pystyyn ikkunankarmiin, kuten kuvassa 4. Niitä käytetään, jos ikkuna on kapea, eikä vaakaventtiili mahdu karmiin. Myös tilanteessa, jossa varsinainen ikkuna on paloikkuna, jolloin siihen ei voi tehdä minkäänlaista reikää, voi pystyventtiilille löytyä paikka toisaalta, kuten erillisen tuuletusikkunan karmista. Pystyventtiili on esimerkiksi

Scancercon Biobe-pystyventtiili XSP, joka on versio Bioben VS-ulkoilmaventtiilistä. Ilmavirrat suuntautuvat venttiilin molemmille sivuille. Ilmamäärät ovat jonkin verran pienemmät pystyversiossa kuin vaakaversiossa.



KUVA 4. Ulkoilmaventtiili pystymalli (Scancerco Oy 2024).

Vertailuun on otettu ilmamäärät, kun virtausaukko on tehty jyrsimällä. Taulukossa 2 on pystyventtiilin ilmamäärät ja taulukossa 3 vaakaventtiilin ilmamäärät. Ensimmäisessä sarakkeessa on venttiilin koko eli pituus senttimetreinä ja toisessa sarakkeessa varsinaisen aukon koko millimetreinä. Ilmamäärät on mitattu 5 pascalin, 10 pascalin ja 20 pascalin paine-erolla. Esimerkiksi Biobe 40 -pystyventtiilin ilmavirta (10 Pa) on 4,3 litraa sekunnissa ja vastaava vaakaventtiilin ilmavirta on 5,4 l/s. Taulukosta huomataan myös äänenvaimentimen (malli H60130) vaikutus ilmavirtaan. Ilman äänenvaimennusta ilmavirta 10 Pa paine-erolla on 6,0 l/s ja äänenvaimentimen kanssa 4,8 l/s. (15; 16)

Biobe-pystyventtiilien ilmamäärät jyrsimällä aukolla (VTT RTE 4035/01)				
Venttiili	Virtausaukon koko	1/s (5 Pa)	1/s (10 Pa)	1/s (20 Pa)
Biobe 30	12 x 300 mm	2,2	3,3	5,0
Biobe 40	12 x 400 mm	2,8	4,3	6,4
Biobe 50	12 x 500 mm	3,5	5,3	8,0
Biobe 60	12 x 600 mm	4,0	6,0	9,0
Biobe 60 + H60130	12 x 600 mm	3,2	4,8	7,3

TAULUKKO 2. Pystyventtiilin ilmamäärät (Scancerco Oy 2024)

Biobe VS -korvausilmaventtiilien ilmamäärät [l/s] jyrksytyllä aukolla				
Venttiilin koko	Virtausaukon koko	Ilmamäärät		
		5 Pa	10 Pa	20 Pa
20	12 x 200 mm	1,9	2,8	4,0
30	12 x 300 mm	2,7	4,0	5,9
40	12 x 400 mm	3,8	5,4	8,0
50	12 x 500 mm	5,1	7,4	10,6
60	12 x 600 mm	5,3	8,3	11,8

TAULUKKO 3. Vaakaventtiilin ilmamäärät (Scancerco Oy 2024)

4.4 Seinäventtiilit

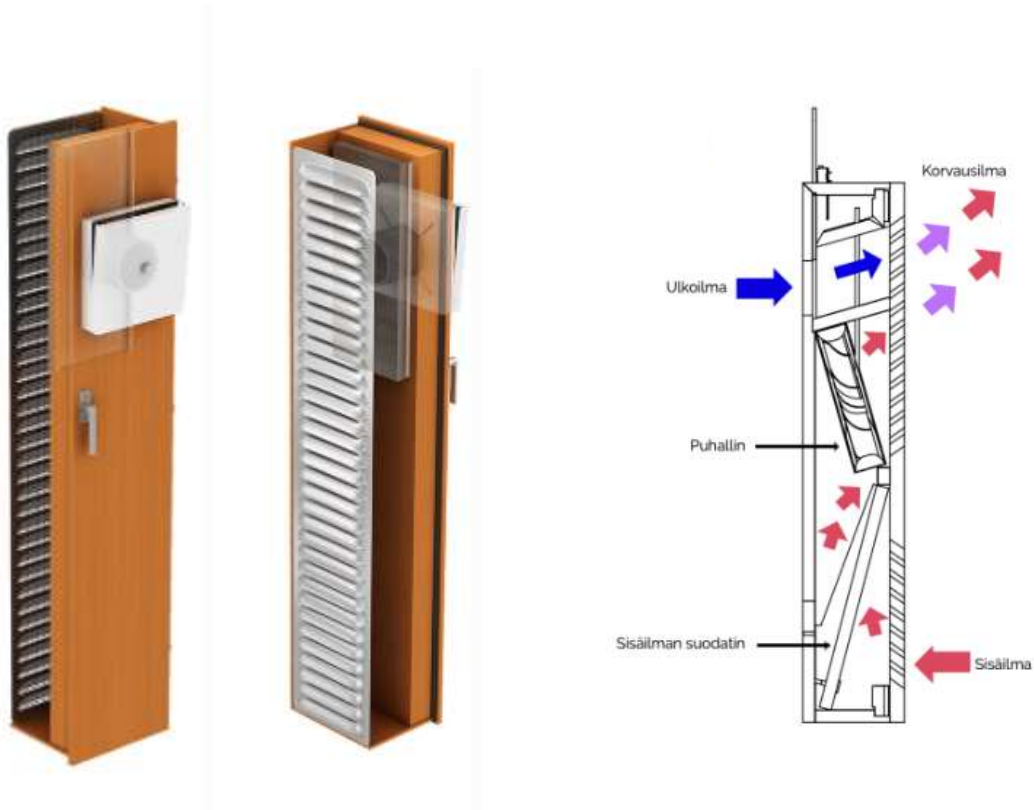
Seinäventtiilit asennetaan ulkoseinään. Venttiilit pyritään sijoittamaan niin, etteivät ne tulisi juuri ajatellulle sängyn kohdalle. Perinteinen seinäventtiili on suora reikä seinässä, jossa on suljettava luukku tai pyöritettävä venttiili. Nykyisissä seinäventtiileissä voi olla myös termostaatti, joka säätelee venttiilin aukeamista ulkolämpötilan mukaan. Joissakin malleissa tuloilman suunta on ohjattu ylös tai sivulle päin, mikä vähentää vedon tunnetta. Esimerkiksi kuvan 5 Vilpen Wiwe-mallissa on lisäksi termostaatti, joka on täysin auki +20°C lämpötilassa ja kiinni -5°C:ssa, jolloin ilmaa kuitenkin tulee vielä pienestä raosta (17). Ilman suunta on ylöspäin, joten kylmä ulkoilma sekoittuu huoneen yläosassa lämpimään sisäilmaan ja laskeutuu vasta sitten hieman lämmentyneenä oleskeluvyöhykkeelle. Seinäventtiileihin on saatavana suodattimia ja äänenvaimentimia. Venttiileissä voidaan tarvittaessa käyttää myös ulkopuolella erilaisia sääsuojia, jotka estävät lumen ja sadeveden pääsyn kanavaan.



KUVA 5. Vilpe Wiwe ulkosilmaventtiili termostaatilla (Vilpe Oy 2024)

4.5 Tuuletusluukkuventtiilit

Tuuletusluukkuventtiilit asennetaan olemassa olevaan puiseen ikkunan tuuletusluukkuun kuten kuvassa 6. Tällöin koko tuuletusluukku ei tarvitse avata, vaan ilma vaihtuu venttiilin kautta. Dir-Air Oy:n Tuuletusluukkuventtiilissä on termostaatti, joka säättyy -20°C ja $+20^{\circ}\text{C}$ välillä (18). Finluftin Flow-tuuletusluukkuventtiilissä on mukana puhallin, joka sekoittaa kiertoilmaa tuloilman kanssa (19).

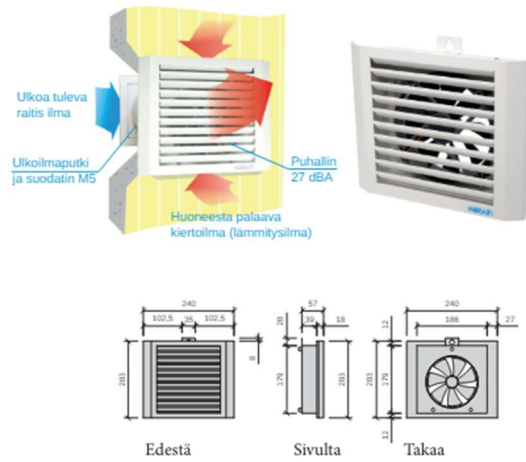


KUVA 6. Tuuletusluukkuventtiili AIR-IN (Dir-Air Oy 2024) ja Finluft Flow'n toimintaperiaate (Finluft Oy 2024).

4.6 Ulkoilmaventtiili puhaltimella

Seinäventtiileissä on myös sähköllä toimivia vaihtoehtoja. Kuvassa 7 oleva Mobair 2030S on venttiili, jossa on mukana puhallin. Se imee huoneessa olevaa lämmintä ilmaa ja sekoittaa sen ulkoon tulevan raittiin ilman kanssa ja puhalttaa sekoittuneen ilman yläviistoon. Venttiili asennetaan seinän yläosaan siten, ettei sen edessä ole mitään ilmankulkua estävää, kuten verholautaa tai kaapin kulmaa. Laitteen ja seinän väliin jätetään rako, tavallisesti 15 mm, jotta puhallin saa huoneilmaa kiertettyä. Venttiilin etuna on suurempi ilmamäärä kuin tavallisessa venttiilissä, valmistajan ilmoituksen mukaan 20 l/s, josta ulkoilmaa 6–12 l/s. Mobair 2030S sisältää suodattimen, jonka luokka on

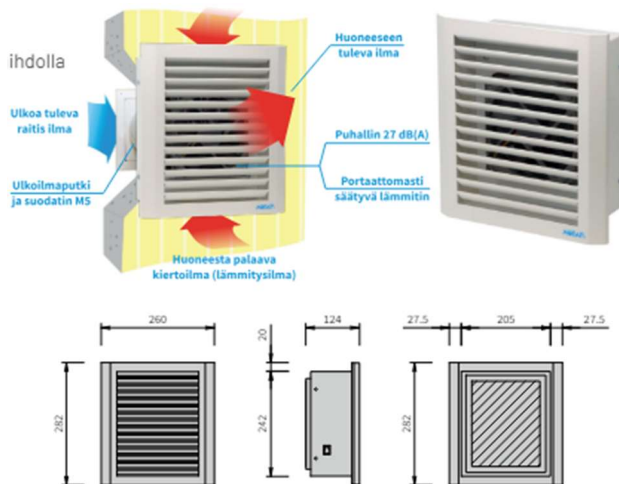
ePM10 60 %. Puhaltimen äänitaso on 27 dB ja tehonkulutus 1,0 watti. Mikäli ilmavirta halutaan säätää pienemmäksi, voidaan kanavaan asentaa sitä varten suunniteltu lisäosa, muuten ulkoilma-laitteessa ei ole säätömahdollisuutta. (20).



KUVA 7. Ulkoilmalaite kiertoilmalämmityksellä Mobair 2030S (Mobair Oy 2023)

4.7 Ulkoilmaventtiili puhaltimella ja lämpövastuksella

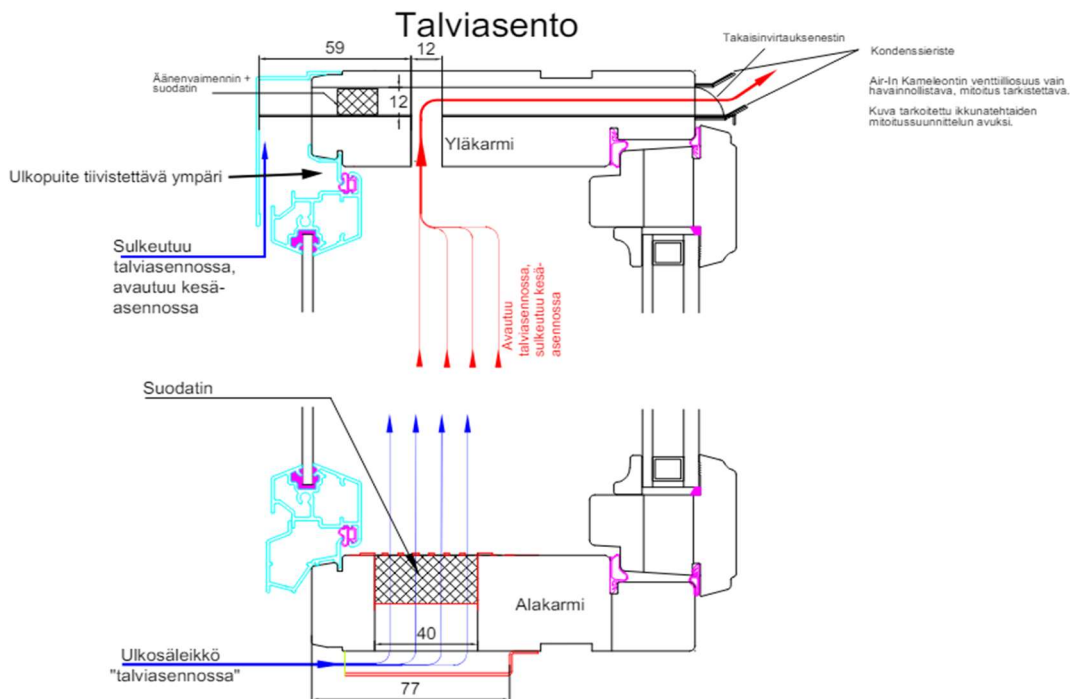
Mobair 2015, kuvassa 8 on myös ulkoilmaventtiili, jossa on sähkötoiminen puhallin. Tämän lisäksi siinä on kylmää kautta varten sähkövastus, joka lämmittää ulkoilmavirtaa. Lämmitin kytketään käsin päälle, silloin kun alkaa tuntua vedontunnetta, laite säätää sitten itse lämmitystehon 20–600 W sopivaksi sisäilman lämpötilan mukaan. Laite soveltuu myös hyvin vapaa-ajan asuntoihin. Jos mökillä on viileää, laite lämmittää ilmaa siihen asti, kunnes sisäilma on lämmennyt tarpeeksi ja laite jatkaa sitten pelkän puhaltimen käyttöä. (20).



Kuva 8. Ulkoilmalaite kiertoilma-/vastuslämmityksellä Mobair 2015 (Mobair Oy 2023)

4.8 Tuloilmaikkuna

Ikkunan kautta tapahtuva lämpöhäviö saadaan pienemmään tuloilmaikkunan avulla. Air Termico -tuloilmaikkunaventtiileissä ilman virtaus ohjataan suodattimen läpi ikkunan väliin. Kylmä ilma laskeutuu ensin ikkunan ulkopuolen pintaa pitkin alaosaan ja lämmitessään nousee ikkunan sisäpintaa pitkin ylöspäin. Sisäpuolen venttiilin kautta saapuva ilma on näin jo lämmennyt eikä aiheuta vedontunnetta. Keväisin tuloilmaikkuna toimii lämmönkerääjänä, sillä aurinko lämmittää ikkunan välissä olevaa ilmaa ja lämmitysteho nousee jopa 1 kW:iin. Venttiileissä on takaisinvirtauksen esto, joten valmiiksi lämmennyt ilma ei pääse virtaamaan takaisin ulos. Kesällä ilma virtaa suoraan ikkunan yläosassa eikä kerää ylimääräistä lämpöä ikkunan välissä. Uusimmassa mallissa ilmavirtaus on saatu laminaarisemmaksi ja sen myötä normaalikäytössä äänettömäksi. Myös suodatusteho paranee hiljaisen virtauksen myötä. Tuloilmaikkunat sopivat hyvin painovoimaiseen ilmanvaihtoon, sillä ne toimivat myös pienillä alipaineilla. Venttiilissä on lisäksi säätömahdollisuus. Suodatinpalkki asennetaan ulkoikkunan sisäpuolelle poistamalla tiivistettä suodattimen matkalta. Palkki voidaan asentaa ylä-, ala- tai sivukarmin väliin. Kuvassa 9 on venttiili asennettu alakarmiin, jolloin ilma ei kierrä lasien välissä, vaan nousee lämmitettyään ylös. Tuloilmaikkuna voidaan asentaa uusiin tai vanhoihin ikkunoihin, myös parvekeoviin. Ikkunoihin, joissa on vanha karmiventtiili, asennus onnistuu poistamalla vanha venttiili ja tulppaamalla reiät. (21).



KUVA 9. Tuloilmaikkunaventtiilin toimintaperiaate, jos ilmanotto on alakarmista (Dir-Air Oy 2024)

4.9 Huonekohtainen ilmanvaihtokone

Huonekohtainen ilmanvaihtokone sopii hyvin painovoimaisen ilmanvaihdon kanssa. Kesäisin ilma ei vaihdu kunnolla, mutta pakkasella ilma vaihtuu riittävästi. Kuvassa 10 on esimerkiksi ilmanvaihtolaitte Cooltron Reco 60, jonka käyttöalue on puolestaan $-15^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$, joten kovilla pakkasilla sitä ei voi käyttää, mutta toimii hyvin helteillä. Koneen toimintaperiaate on syklinen puhallus eli ensin lämmin sisäilma virtaa lämmönvaihtimen läpi minuutin ajan, lämpö ja kosteus jää vaihtimeen ja ilma puhalletaan ulos. Toinen sykli kestää myös minuutin ja silloin ulkoilma virtaa lämmönvaihtimen läpi sisälle. Ilma lämpenee ja kostuu lähes huoneilman tasoon. Laitteessa on kaksi puhallusnopeutta, kosteusanturi ja yönopeus. Kesäisin laite viilentää, sillä kuuma ulkoilma viilenee lämmönvaihtimessa ja lämmin ilma puhalletaan ulos. (23).



KUVA 10 Huonekohtainen ilmanvaihtokone (Suomitradng 2024).

4.10 Maanalainen tuloilmakanava ja mahdollinen kanavalämmitin

Keskellä asuntoa sijaitseviin löylyhuoneisiin tuloilmaa ei voi tuoda ulkoseinän läpi, joten usein käytetään lattian alapuolelta menevää kanavaa. Tulventtiili nousee lattiasta 10–15 cm, jottei vesi valuisi sinne. Ulkona kanavan pää nostetaan ylös, jottei lumi tuki sitä. Sadeveden pääsy kanavaan estetään siten, että putken yläpää taivutetaan joko seinää kohti tai keskemällä pihaa maata päin. Kanavan suulle laitetaan myös suojavaikko estämään eläinten pääsy putkeen.

Maanalaisessa putkessa ilma lämpenee talvella jo hieman maan lämmöstä. Löylyhuoneessa istutaan ylhäällä ja muutenkin kuumassa, joten kylmä ulkoilma ei haittaa, vaan päinvastoin se parantaa

ilmankiertoa. Mikäli ilmaa ei lämmitetä, kylmää ilmaa lattiantasolta saattaa valua myös pesuhuoneen puolelle ja siellä kylmyys taas tuntuu epämiellyttävältä. Kanavassa voidaan käyttää sähkötoimista kanavalämmitintä, joka lämmittää tuloilmaa. Samalla estetään kylmään putken päähän kosteasta sisäilmasta kondensoituvan veden jäätyminen venttiiliin, joka voi jopa tukkeutua kokonaan.

4.11 Ikkunatuuletus

Perinteinen ikkunatuuletus on täysin toimiva keino, jolla saadaan riittävä ulkoilmavirta. Tällöin asukkaalla vain täytyy olla itse aktiivinen. Paras tapa on rutiininomainen tuuletus, jonka lisänä on tarpeenmukainen tuuletus. Rutiineihin kuuluvat esimerkiksi aamuinen makuuhuoneiden tuuletus, keittön ikkunan avaaminen ruuanlaiton aikana, saunomisen/suihkun jälkeen pesuhuoneen tuuletus ja ikkunan avaaminen tulisijaa käytettäessä. Tarpeenmukaisia ovat puolestaan oleskelutilan tuuletus ihmismäärän mukaan kerran tai useammin illan aikana, helteillä yön aikainen tuuletus asunnon viilentämiseksi, tällöin lisäksi vältetään päivätuuletusta ja tietenkin satunnaiset hajut, katkut ja muut epäpuhtaudet tuuletetaan tarpeen mukaan. Tehokkain tapa tuulettaa on läpiveto eli avataan asunnon vastakkaisilta puolilta ikkunat yhtä aikaa ja pidetään väliovet auki. Paine rakennuksen eri puolilla on erilainen ja tämä paine-ero vaakaasuuntaan lisää ilman vaihtuvuutta. Tällöin lyhytkin tuuletusaika riittää ja ilma on vaihtunut tarpeeksi, eikä lämpötila ehdi laskea liikaa.

5 ILMANVAIHDON PARANTAMINEN

5.1 Siirtoilma

Painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä ilman esteetön siirtyminen sisätiloissa on tärkeää, sillä ilma tulee yhteen tilaan ja poistuu toisesta. Siirtoilmareitteinä voidaan käyttää kynnysrakojia, jolloin oven alareunaan jätetään 10–20 mm:n väli, josta ilma pääsee siirtymään, vaikka ovi olisi suljettu. Toinen vaihtoehto on käyttää oven päälle sijoitettavaa ovivirtaussäleikköä, kuten Air-in Paso. Valmiissa tuotteessa on hyvä äänenvaimennus ja rako jää piiloon viistotun listan taakse, myös vedontunne vähenee, kun ilma kiertää yläkautta (24). Oveen tai seinään voidaan asentaa myös siirtoilmasäleikkö, joita kannattaa käyttää tulisijallisissa tiloissa. Niihin saadaan helpommin korvausilmaa ja toisaalta lämpö leviää helposti muualle asuntoon. Ilmanvaihtoa suunniteltaessa siirtoilmareitit merkitään suunnitelmiin, suunta on puhtaista tiloista likaisiin, tavallisin reitti on makuuhuoneesta käytävään ja sieltä märkätiloihin.

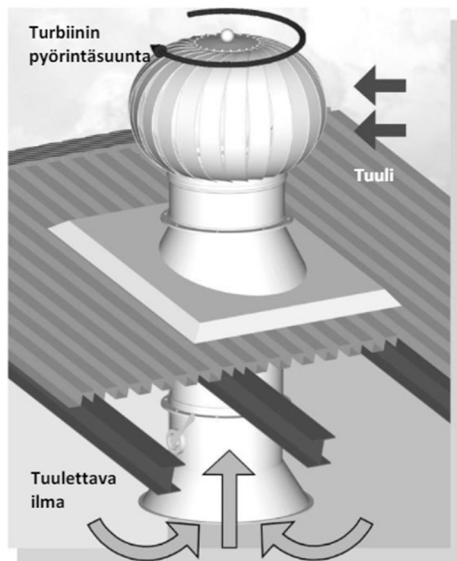
5.2 Vedonparantajat

Vedonparantajat eli tuulituulettimet eli hormi-imurit ovat erinäköisiä poistohormien päähän lisättäviä mekaanisia imureita, kuvassa 11 on Spiroflexin mallistoa. Vedonparantajat on suunniteltu niin, että ne estävät poistohormia toimimasta väärinpäin. Muotoilulla on myös estetty sadeveden, roskien ja eläinten pääsy hormiin.



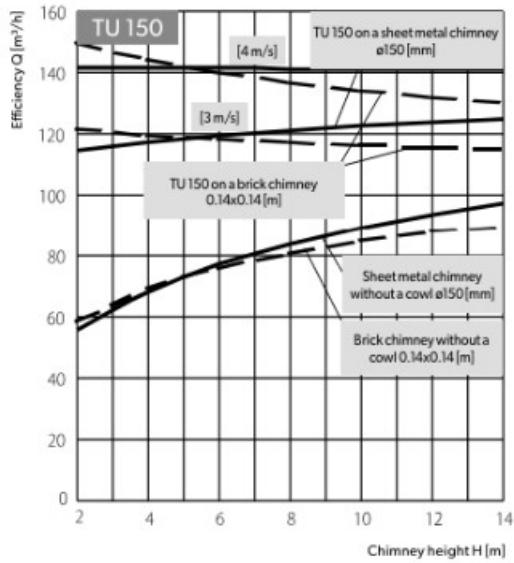
KUVA 11. Vedonparantajia (Net-rauta 2024).

Tuuli pyörittää turbiinia riippumatta tuulen suunnasta tai sen voimakkuudesta, jopa pieni tuulenvire riittää pyörittämään vedonparantajaa. Turbiinin pyöriä liike aiheuttaa imun hormiin ja tehostaa ilmanvaihtoa. Toimintaperiaate nähdään kuvassa 12.

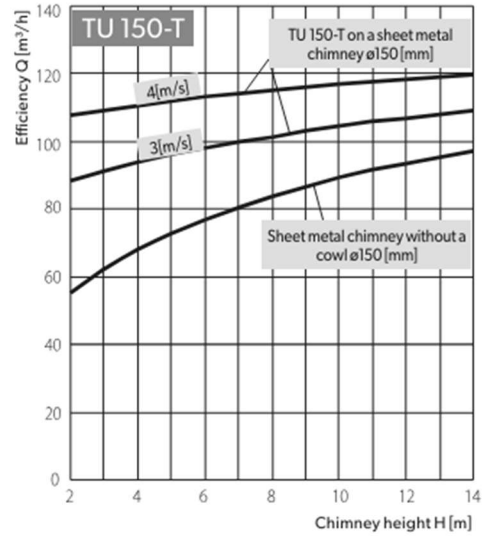


KUVA 12. Vedonparantajan toimintaperiaate (Suomen Piipputukku Oy 2024).

Tuulen nopeuden kasvaessa myös tuulettava ilmamäärä kasvaa. Poistohormin korkeudella on myös merkitystä, sillä korkeampi hormi lisää paine-eroa ja siten poistoilmavirtaa. Kaaviossa 1 esitetään ilmavirtojen määrä pystyakselilla ja hormin korkeus vaaka-akselilla. Alin käyrä kuvastaa pelkkää 150 mm pyöreää hormia, ylemmissä on vedonparantaja apuna. Ylimmässä käyrässä tuulen nopeus on 4 m/s ja keskimmaisessä 3 m/s. Esimerkiksi Tulipan-mallin kaaviosta kuviossa 3 nähdään, että jos hormin korkeus on 2 metriä, on ilmavirta ilman vedonparantajaa 55 m³/h, ja vedonparantajan kanssa 88 m³/h, jos tuulen nopeus 3 m/s ja tuulen nopeuden ollessa 4 m/s ilmavirta on 108 m³/h. Turbowentin kaaviosta huomataan, että tuulen nopeudella 3 m/s ilmavirta vedonparantajan kanssa on 113 m³/h ja nopeudella 4 m/s ilmavirta on 141 m³/s. (27; 28).



Efficiency chart for Turbowents ø150 in a function of chimney height on a brick or sheet metal chimney (for two wind speeds: 3 and 4 [m/s]).

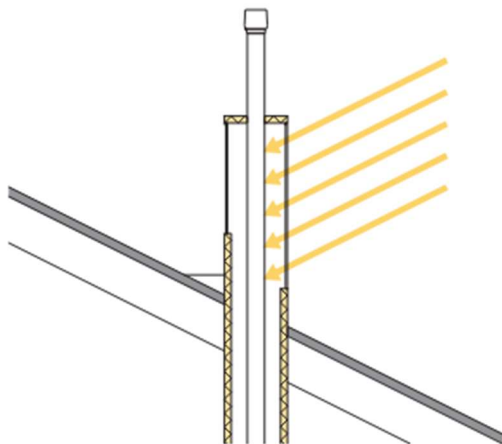


Efficiency chart for Tulipan ø150 in a function of chimney height on a sheet metal chimney (for two wind speeds: 3 and 4 [m/s]).

KUVIO 3. Ilmavirtakaaviot Turbowent 150 ja Tulipan 150 (Darco 2024).

5.3 Piiput ja hormit

Piipun ja hormin yläosan lämmitessä auringossa, ilmakein lämpeenee ja nousee ylöspäin. Tämä tehostaa ilmanvaihtoa. Niin kutsuttujen aurinkohormien rakenne on hyvin lämpöä varastoivaa kivainesta, joka on maalattu mustaksi. Hormin yläreuna on eristyslasia tai muuta hyvin aurinkoa läpäisevää materiaalia. Aurinko lämmittää mustan hormin tehokkaasti eikä tuuli pääse jäädyttämään sitä. (29).



KUVA 13. Aurinkohormi (Painovoimainen ilmanvaihto -opas 2018) .

5.4 Poistoilmapuhaltimet

Poistoilmapuhaltimia käytetään lähinnä märkätiloissa parantamaan ilman vaihtumista ja poistamaan ylimääräistä kosteutta. Poistoilmapuhaltimia voidaan käyttää myös kuivissa tiloissa kuten keittiössä. Puhaltimet asennetaan omaan poistokanavaan. Puhaltimia on saatavilla jatkuvatoimivina tai tarpeen mukaan toimivina. Sääto- ja ohjausmahdollisuuksia löytyy eri tarpeisiin.

Monipuolisena esimerkkinä käy kuvan 14 3-nopeuksinen Pax Calima -kylpyhuonepuhallin, johon on yhdistetty viiden erilaisen puhaltimen ominaisuudet. Puhallin voidaan säätää toimimaan jatkuvasti pelkällä perusilmanvaihdolla 8,5 l/s. Puhallin voidaan jättää tehdasasetuksille, jolloin se toimii täysin automaattisesti. Silloin se aktivoituu kosteudesta täydelle teholle 26 l/s, valosta tai liikkeestä 2-teholle 19 l/s. Puhallin palautuu tällöin itsestään perusteholle, kun kosteus on poistunut tai valo ja liike lakannut. Pax Caliman tehoa, käynnistystä ja sammumista voidaan säätää itselle sopivaksi muuttamalla tunnistimien herkkyyttä ja määrittämällä kunkin toiminnon viiveet. Puhallin voi olla myös aikaohjattu eli sen voi määrittää toimimaan tiettyyn aikaan haluamansa ajan tai sitä voi ohjata etänä mobiilisovelluksella. Puhaltimen saa myös asennettua katkaisijasta toimivaksi esim. valokatkaisijan yhteyteen. Puhallinta voi käyttää myös lämmönsiirtimenä eli se käynnistää tehostetun tuuletuksen, kun määritetty lämpötila huoneessa saavutetaan. (30).



KUVA 14. Pax Calima –poistoilmapuhallin (Volution Sweden AB 2024).

Calimassa harvemmin tarvitaan takavedonestintä, koska puhaltimen on tarkoitettu olevan jatkuvasti käynnissä. Jos puhallin kuitenkin on asennettu hyvin tuuliselle ulkoseinälle, voi takavedonestin olla tarpeen. Takavedonestimellä estetään ilmavirran liike väärään suuntaan. Oletuksena on, että rakennuksen perusilmanvaihto on hoidettu jollakin muulla tavalla. Huomioitavaa on, että

takaisinvedonestintä ei voi käyttää painovoimaisessa ilmanvaihtokanavassa katossa tai hormissa, sillä ilman vaihtumista ei saa estää.

Poistopuhaltimissa löytyy myös aurinkopaneelilla toimiva malli Pislä PSS102 kuvassa 15. Sitä voi käyttää myös tulopuhaltimena. Laitteen 9–18 voltin moottori toimii aurinkosähköllä, joten se toimii vain aurinkoisina päivinä puhaltimena, muulloin tavallisena säädettävänä venttiilinä. Asennuspaikat ovat luonnollisesti auringonpuoleisilla seinillä. (31).



KUVA 15. Pislä poistopuhallin aurinkopaneelilla (Pislä Oy 2024).

Vaikka ilmanvaihdossa käytetään apuna poistopuhaltimia, kyseessä ei ole kuitenkaan koneellinen poistoilmanvaihto. Ilmanvaihtojärjestelmä määritellään silloin puhallinavusteiseksi painovoimaiseksi ilmanvaihtojärjestelmäksi, koska pääosin ilma vaihtuu paine-eron ja tuulen vaikutuksesta. (29).

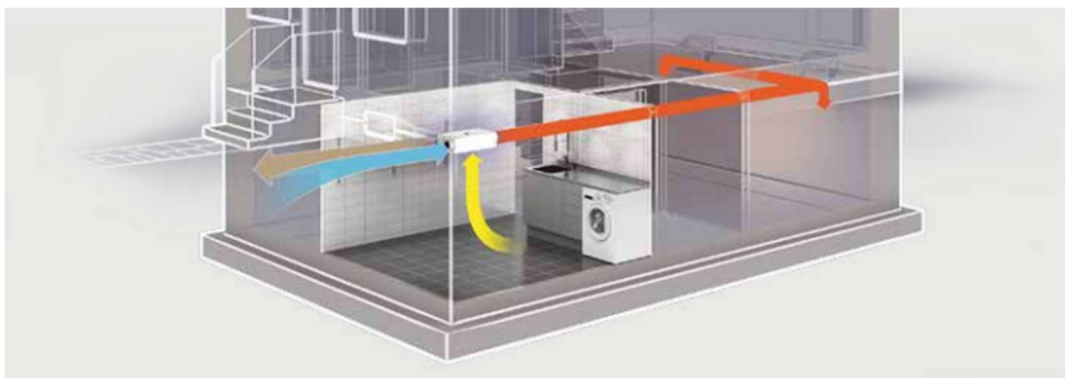
5.5 Koneellinen poistoilmanvaihto

Painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan parantaa lisäämällä poistoilmakanaviston päähän vesikatolle huippuimuri. Lisäksi tarvitaan myös riittävät ulkoilmavirtaukset eli tarpeeksi ulkoilmaventtiileitä. Toisaalta silloin ei enää ole kyse painovoimaisesta ilmanvaihdosta vaan koneellisesta poistoilmanvaihdosta. Siirtyminen toiseen järjestelmään on mahdollista, tarvitaan kuitenkin kokonaisvaltainen tarkastelu, jossa huomioidaan olemassa oleva kanavisto, sen kunto ja soveltuvuus koneelliseen poistoilmanvaihtoon. Jos ulkoilmaventtiileissä on termostaatit, ne pitää vaihtaa venttiileihin, joissa ei ole termostaattia, sillä koneellinen poistoilmanvaihto mitoitetaan vakioilmavirralla. Ilmanvaihtosuunnittelija laskee tarvittavat ilmamäärät, ulkoilmaventtiilien tarpeen, varmistaa siirtoilmareitit ja

valitsee oikean kokoisen huippuimurin tai poistoilmakoneen. Sähkösuunnittelija hoitaa koneen sähköistyksen.

5.6 Osin koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla

Korjauskohteissa koko ilmanvaihtojärjestelmän uusiminen koneelliseksi tulo- ja poistoilmanvaihdoksi saattaa olla liian vaikeaa rakennusteknisesti tai tulla kustannuksiltaan kalliiksi. Silloin voidaan käyttää osaan tiloista jopa 80 % hyötysuhteella lämpöä talteen ottavaa pientä ilmanvaihtolaitetta kuten kuvan 16 Pax Eos. Laitteessa ei ole erikseen poistoilmakanavistoa, vaan poisto hoidetaan suoraan laitteen kyljestä. Laitteessa on liitännät ulospuhallusilmalle, ulkoilmalle ja tuloilmalle. Lisäksi laitteessa on kosteustunnistin, joka tehostaa ilmanvaihtoa, jos tilassa on kohonnut kosteuspitoisuus. Kuvassa on esimerkiksi tuloilma johdettu makuuhuoneisiin ja laite, ja sitä myöten poisto, on kodinhoitohuoneessa, jossa pyykinpesu nostaa kosteusmäärää. Laite on sijoitettu ulkoseinälle ja siitä on kanavat suoraan ulos. Laitetta voidaan käyttää myös viilennykseen. Pax Eos vastaa monipuolisilta säädöiltään ja toiminnallisilta ominaisuuksiltaan lähes isoa ilmanvaihtokonetta, ilmamäärät vain ovat pienemmät. Enimmillään perusteho on 21,6 l/s. (32).

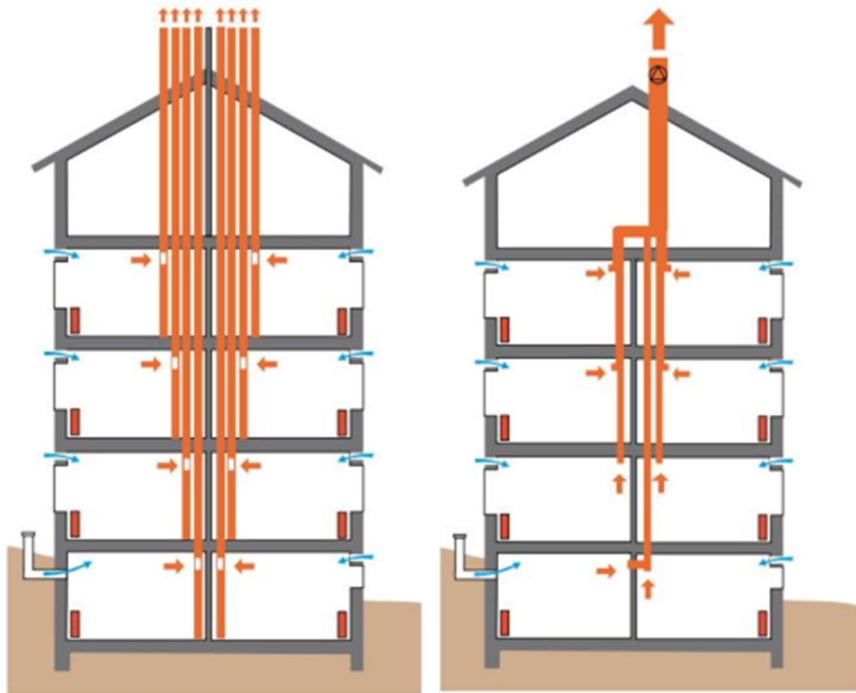


KUVA 16. Pax EOS (Volution Sweden AB 2024)

5.7 Kustannukset

5.7.1 Painovoimainen

Painovoimaista ilmanvaihtoa pidetään ilmaisena, koska se ei tarvitse ostettua käyttövoimaa. Todellisuudessa kuluja tulee siitä, kun lämpöä ei saada otettua talteen, hormistot vievät rakennuspinta-alaa (kuva 17) sekä riittämätön ilmanvaihto aiheuttaa terveyshaittoja asukkaille ja vaurioita rakenteille.



KUVA 17. Painovoimaisen ja koneellisen poistoilmanvaihdon hormien tilantarve. (Taloyhtiön energiakirja 2011)

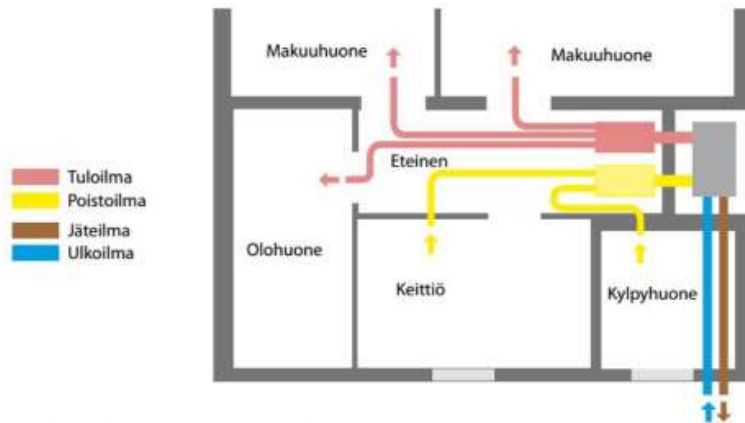
5.7.2 Koneellinen poisto

Rivitaloihin on helpompaa lisätä jälkikäteen koneellinen ilmanvaihto, sillä se ei vaadi yhteisiä kanavia naapureiden kanssa. Jokainen asunto on oma palo-osastonsa, joten rivitalossa palosuojaukset voidaan hoitaa helposti. Asuntokohtaiset säädöt voidaan toteuttaa eikä äänen siirtyminen asunnosta toiseen aiheuta ongelmaa. Koneellinen poisto lisää kustannuksia, suoraan hankintahintana, sitten poistopuhaltimen sähkönkulutuksena. Lisäksi lämmityskulut lisääntyvät, koska ilmaa poistuu tehokkaammin ja sen mukana lämmitettyä ilmaa.

5.7.3 LTO

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla on paras ilmanvaihtotapa. Ilma vaihtuu riittävästi tehokkaiden puhaltimien avulla. Ilmasta voidaan suodattaa tarpeen mukaan siitepölyä ja muita pienhiukkasia. Ilmanvaihtoa voidaan säätää sopivaksi eri olosuhteissa. Lämmöntalteenotto säästää kokonaisenergiaa, vaikka puhaltimet käyttävätkin sähköä jatkuvasti (34). Rakenteet toimivat paremmin, koska ilmanvaihtokoneen saa säädettyä tasapainoon eikä rakennuksessa ole ylikä tai alipainetta. Saman koneen avulla voidaan hoitaa myös ilman käsittely eli ilmastointi, johon

kuuluvat jäähdytys, lämmitys sekä kostutus ja kuivatus. Rivitaloissa kuvan 19 mukainen hajautettu ilmanvaihto eli asuntokohtainen ilmanvaihtokone on luonteva ratkaisu, sillä asunnot ovat vierekkäin ja yhteinen ilmanvaihtokone vaatisi pitkiä kanavia.



KUVA 19. Hajautettu ilmanvaihtojärjestelmä (Taloyhtiön energiakirja 2011).

Saneerauskohteessa kanavistoksi voidaan valita esimerkiksi kuvassa 20 näkyvä Valloxin taipuisa Blue Sky -kanava. Se saadaan helposti rakennettua useimpiin rivitaloasuntoihin, sillä se ei vaadi niin paljon asennustilaa kuin perinteinen kierrekanava.(35).



KUVA 20. Blue Sky -kanavisto (Vallox Oy 2020).

6 ESIMERKKIKOHDE

Käytännön tutkimus- ja mittaustyön opinnäytetyön tilaaja halusi tehtävän yrityksensä tyypilliseen korjauskohteeseen. Kohteeksi valikoitui vuonna 1986 rakennettu Oulussa sijaitseva rivitaloyhtiö, jonne tehtiin aluksi asukkaan tilaama sisäilmatutkimus. Kohteessa oli jo aiemmin korjattu hiekkatiilan ulottuvat väliseinät, joista oli löydetty viitteitä mikrobivaurioista, mutta hajuhaittoja oli edelleen.

6.1 Tutkimukset

Kohteessa havaittiin mikrobiperäinen haju koko asunnossa. Sisäilmanäytteen tulos oli normaali. Lämpökuvauksessa havaittiin lattian ja ulkoseinän liittymässä ilma- ja lämpövuotoja. Seuraavaksi kohteessa käytiin tekemässä ulkoseiniin ja väliseiniin rakenneavauksia, jotta päästiin tutkimaan tilannetta tarkemmin. Ulkoseinärakenteeseen tehtiin yhteensä 9 rakenneavausta. Rakenneavauksista mitattiin puun painokosteusprosentti, tehtiin aistinvaraisia havaintoja sekä otettiin materiaalinäytteitä ulkoseinän runkovillasta, alaohjauspuusta sekä tuulensuojalevystä. Seinän alaosassa oli tiilimuurauksen ja tuulensuojavillan välissä runsaasti laastipurseita, mikä heikentää seinärakenteen tuulettumista. Tutkimuksissa todettiin, että alaohjauspuun alla ei ole kapillaarikatkoa. Alaohjauspuu mitattiin tutkimuksissa kuivaksi yhtä rakenneavausta lukuun ottamatta.

Ulkoseinän alaohjauspuussa todettiin yhden rakenneavauksen kohdalla mikrobikasvua materiaalissa. Ulkoseinän tuulensuojalevy meni noin 200 mm lattia- ja maanpinnan alapuolelle. Maanpinnan alapuolelle menevässä eristeessä (kuva 21) tehtiin merkittävä hajuhavainto ja materiaalinäytteissä oli löydöksenä mikrobikasvua materiaalissa kaikissa kuudessa otetussa materiaalinäytteessä. Suoritettujen tutkimusten perusteella ulkoseinärakenteiden alaosissa lattia- ja maanpinnan alapuolelle menevät tuulensuojaeristeet olivat kosteusvaurioituneet. Lisäksi otettiin huoneistojen välisestä seinästä materiaalinäytteet, joissa oli molemmissa viite vauriosta. Tutkimuksissa todettiin sisäilmayhteys seinä- ja alapohjarakenteesta. Tutkimusraporttien perusteella taloyhtiö päätti teettää remontin. Korjausrakennussuunnittelun teki Entavision Oy. Ilmanvaihdon suunnitteli opinnäytteen tekijä ja sen tarkasti vastaava ilmanvaihdonsuunnittelija.



KUVA 21. Ulkoseinän eristeet rakenneavauksessa (Entavision Oy 2024)

6.2 Suunnitellut ja tehdyt korjaukset

Korjauksien tavoitteena oli parantaa rakennuksen sisäilmaa ja jatkaa rakennuksen käyttöikää korjaamalla kosteuden vaikutuksesta vaurioituneet ulkoseinien ja huoneistojen välisten seinien alaosat. Tässä tapauksessa korjaus tehtiin sisäkautta, joten ensin irrotettiin listat. Levyseinistä purettiin levyt ja höyrynsulkumuovi, jota jätettiin kaistale yläreunaan. Lattiapinnoitteet purettiin ja betoni-laatta jyrssiin puhtaalle pinnalle. Lämmöneristeet purettiin noin ikkunan alareunoihin asti. Vanha kosteusvaurioitunut tuulensuojavilla poistettiin seinän alaosasta. Runkotolpat katkaistiin muutama kerrallaan ja vaurioitunut alaohjauspuu poistettiin ja sen alla oleva villakaistale. Sokkelin pinta puhdistettiin jyrsimällä ja laastipurseet poistettiin, samalla varmistettiin tiiliverhouksen tuuletusrakojen aukiolo.

Tuulensuoja korvattiin lattiapinnan alapuolelta kosteudenkestävällä ja homehtumattomalla alumiinipintaisella PIR-eristelevyllä, joka asennettiin tiiviisti polyuretaanivaahdon avulla. Lattiapinnan yläpuolelta jatkettiin tavallisella tuulensuojalevyllä, jonka taakse jätettiin tuuletusrako. Lattianraja ja sokkeli tiivistettiin Ardexin-menetelmällä. Asennettiin solumuovikaista ja kiinnitettiin sokkeliin alaohjauspuu, johon puolestaan runkotolpat kiinnitettiin. Uudet lämmöneristeet laitettiin vaurioituneiden tilalle. Ikkunoiden ja ovien ympärystät tiivistettiin. Uusi alumiinipintainen ja polyeteenikalvoinen höyrynsulku liitettiin tiiviisti vanhaan höyrynsulkuun ja ikkunan karmeihin teippaamalla. Lattian pintaan se liitettiin vedeneristeellä ja butyyliinauhalla. Seinät levytettiin ja maalattiin. Lattiat tiivistettiin ja pinnoitettiin. Lopuksi asennettiin listat takaisin.

6.3 Ilmanvaihdon suunnittelu

Kohteessa oli painovoimainen ilmanvaihto. Huoneistoissa oli Fresh-karmiventtiileitä ja joissakin asunnoissa oli lisättyjä sähkötoimisia Mobair 2030S -ulkoilmaventtiileitä. RK-poistoventtiilejä (kuva 22) oli pesuhuoneissa, wc-tiloissa ja vaatehuoneissa sekä liesituuletin keittiössä. Osaan asuntoja oli lisätty pesuhuoneeseen erillinen poistopuhallin. Mittauskohteena olleessa asunnossa oli karmiventtiilit (kuva 23) keittiössä, kolmessa alakerran makuuhuoneessa, olohuoneessa sekä parvihuoneessa, jonne oli käynti yhdestä makuuhuoneesta. Saunassa oli lauteiden alla tuloilmaventtiili. Poistoventtiilit sijaitsivat erillisessä WC:ssä, pesuhuoneessa, parvihuoneen katossa sekä yhdessä makuuhuoneessa, josta oli purettu vaatehuone pois. Tehostukseen oli keittiössä liesituuletin ja pesuhuoneessa poistopuhallin kanavassa.



KUVA 22. Poistoventtiilit olivat FläktGroupin RK-venttiileitä (Entavision Oy 2024).



KUVA 23. Makuuhuoneissa ja keittiössä oli rakoverventtiilit Fresh F31 (Entavision Oy 2024).

Rakennuksen ilmanvaihtoa parannettiin asentamalla uudet sähkötoimiset Mobair 2030S -ulkoilmaventtiilit (kuva 24) jokaiseen makuuhuoneeseen ja olohuoneeseen. Siirtoilmareitit (kuva 25) varmistettiin väliovien alta.



KUVA 24. Puhallintoiminen Mobair-seinäventtiili. (Entavision Oy 2024).



Kuva 25. Kynnysrako (Entavision Oy 2024).

Ulkoilmavirta tiloihin otettiin ulkoilmaventtiilien kautta suodatettuna, eikä rakenteiden kautta. Mitoitukseen käytettiin Finvacin julkaiseman Opas asuinrakennuksen ilmanvaihdon mitoitus -oppaan ilmavirtoja.

Henkilöperusteinen mitoitus on 6 l/s/henkilö, asunnossa oli 4 mh eli mitoitus 5 henkilölle.
 $5 \times 6 \text{ l/s} = 30 \text{ l/s}$.

Pinta-alaperusteinen mitoitus on 0,35 l/s/m² ja pinta-ala oli 82 m² + 8 m², josta saatiin 31,5 l/s.

Huonetiloihin perustuva tuloilman mitoitus:

- ensimmäinen makuuhuone 12 l/s
- muut makuuhuoneet (alle 11m²) 3 x 8 l/s = 24 l/s
- olohuone (yli 22 m²) 34 m² x 0,35 l/sm² = 11,9 l/s
- sauna 6 l/s (minimi)

Yhteensä 62 l/s.

Huonetiloihin perustuva poistoilman mitoitus:

- keittiö 8 l/s
- kylpyhuone 10 l/s
- wc 7 l/s
- vaatehuone 6 l/s
- parvi 8 l/s

Yhteensä 39 l/s.

Määrääväksi mitoituksiksi tuli huonetiloihin perustuva tuloilman mitoitus.

Seuraavaksi laskettiin hormin käyttövoimapaine. Rakennuksen hormin korkeudeksi arvioitiin valokuvista, kuten kuva 26 ja vanhoista leikkauspiirustuksista 4 metriä.



Kuva 26. Poistoilmakanava ullakolla (Entavision Oy 2024).

Paine-ero voidaan laskea kaavalla

$$\Delta p_h = \rho_s g h \left(\frac{T_s - T_u}{T_u} \right)$$

KAAVA 1

missä

Δp_h = paine-ero, hormin käyttövoimapaine [Pa]

ρ_s = sisäilman tiheys [kg/m³]

g = maan vetovoiman kiihtyvyyys (9,81 m/s²)

h = korkeus ero [m]

T_s = sisälämpötila [K]

T_u = ulkolämpötila [K]

tai kaavalla

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

KAAVA 2

missä

Δp_h = paine-ero, hormin käyttövoimapaine [Pa]

ρ_u = ulkoilman tiheys [kg/m³]

ρ_s = sisäilman tiheys [kg/m³]

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

h = on korkeus ero [m]

Excelillä laskettuna saatiin sama tulos molemmilla kaavoilla

$h =$	4	m		
$t_u =$	0	°C =	273,15	K
$\rho_u =$	1,29	kg/m ³		
$t_s =$	21	°C =	294,15	K
$\rho_s =$	1,20	kg/m ³		
$g =$	9,81	m/s ²		

$$\Delta p_h = \rho_s g h ((t_s - t_u) / t_u)$$

$$\Delta p_h = 3,6 \quad \text{Pa}$$

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

$$\Delta p_h = 3,6 \quad \text{Pa}$$

Exceliin käytettiin lisäksi ilmantiheden laskemiseen kaavaa

$$\rho = (p \times M) / R \times T$$

KAAVA 3

missä

ρ = ilman tiheys [kg/m³]

p = ilmakehän paine 101325 Pa

M = ilman moolimassa 0,029 kg/mol

R = yleinen kaasuvakio 8,314 J/molK

T = lämpötila [K]

6.4 Mittauksen tavoitteet, suoritustapa, kohde, ajankohta

Kohde oli rivitaloyhtiön huoneisto, johon tehtiin kengitysremontti ja lattian rajan tiivistys. Asunto oli alun perin yksikerroksinen, mutta sinne oli lisätty myöhemmin huone ullakolle. Kohteessa oli painovoimainen ilmanvaihto. Remontin yhteydessä lisättiin uusia ulkoilmaventtiileitä, joiden avulla oli tarkoitus saada aiemmin rakenteiden läpi vuotoilmana tullut ulkoilmavirta tulemaan hallitusti sisälle. Tilanne mitattiin ennen remonttia ja remontin jälkeen.

Ensimmäiseksi tehtiin mittaussuunnitelma eli mitä, millä ja miten mitataan. Mittauksia päätettiin tehdä paine-eromittarilla mittaamalla paine-eroa ulkoseinän yli. Paine-eroa mitattiin eri ilmansuuntiin olevien ikkunoiden ja ovien väleistä. Ensin mitattiin tilanne, kun liesituuletin ja poistokanavapuhallin eivät olleet käytössä (taulukko 4). Tämän jälkeen mitattiin paine-erot, kun molemmat olivat päällä suurimmalla nopeudella (taulukko 5). Vertailun vuoksi mitattiin vielä makuuhuoneista tilanne, kun väliovi oli kiinni. Ulko-oven kohdalla mitattiin paine-erot sekä ylä- että alareunasta molemmissa tapauksissa. Mittausten yhteydessä tarkasteltiin myös poistoventtiilien toimintaa. Todettiin, että ne toimivat oikein päin ainakin silloin, kun tehostusta ei ollut käytössä.

Toisella mittauskerralla remontin jälkeen mittaukset toistettiin (taulukot 5 ja 6). Väliovia ei voitu käyttää kiinni, sillä ne oli juuri maalattu, joten ne mittaukset jäivät pois.

Mittaustulokset

Mittaus 1 ennen remonttia

TAULUKKO 4. Liesituuletin ja kanavapuhallin pois päältä

Ovi auki	[Pa]	Ovi kiinni	[Pa]	ilman-suunta
MH1	-1,6	MH1		Ko
MH2	-1,2	MH2		Ka
MH4	0,5			Lu
OH ovi ylä	-3,6			Ko
ET ovi ala	-2,6			Lo
ET ovi ylä	-2,1			Lo

TAULUKKO 5. Liesituuletin ja kanavapuhallin täydellä teholla

Ovi auki	[Pa]	Ovi kiinni	[Pa]	ilman-suunta
MH1	-3,5	MH1	-3,5	Ko
MH2	-5,2	MH2	-4,7	Ka
MH4	-2,2	MH4	-1,9	Lu
OH ovi ylä	-6,1			Ko
OH ovi ala	-7,1			Ko
ET ovi ylä	-6,1			Lo
ET ovi ala	-6,4			Lo

Mittaus 2

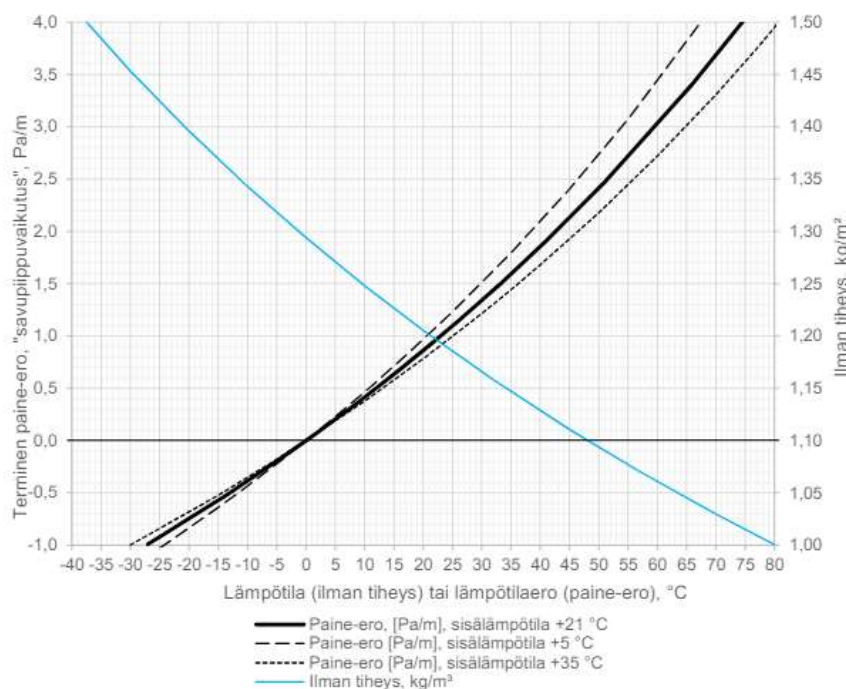
TAULUKKO 6. Liesituuletin ja kanavapuhallin pois päältä

Ovi auki		Ovi kiinni	[Pa]	ilmansuunta
MH1	-0,2	MH1		Ko
MH2	-2,7	MH2		Ka
MH4	-1,5			Lu
OH ovi ylä	-2,7			Ko
OH ovi ala	-0,6			Ko
ET ovi ala	-1,2			Lo
ET ovi ylä	-1			Lo

TAULUKKO 7. Liesituuletin ja kanavapuhallin täydellä teholla

Ovi auki	[Pa]	Ovi kiinni	[Pa]	ilmansuunta
MH1	-4	MH1		Ko
MH2	-6	MH2		Ka
MH4	-2,7	MH4		Lu
OH ovi ylä	-6			Ko
OH ovi ala	-4,5			Ko
ET ovi ylä	-5,7			Lo
ET ovi ala	-3,4			Lo

Terminen paine-ero kompensoidaan, jos mittauskorkeus eroaa referenssisitasosta (1,0 m) jompaan-kumpaan suuntaan. Kompensointia ei tarvita yli metrin poikkeamilla, jos lämpötilaero ulko- ja sisäilman välillä on alle 5°C, eikä metrin tai sitä pienemmillä poikkeamilla, jos ero on alle 10°C. Ensimmäinen mittauspäivä oli puolipilvinen kevätpäivä, lämpötila ulkona oli +4°C ja tuuli koillisesta 4 m/s. Sisälämpötila oli +20°C. Toinen mittauspäivä oli aurinkoinen kesäpäivä, lämpötila oli ulkona +20°C ja tuuli luoteesta 2 m/s. Sisälämpötila oli +21°C. Tässä tapauksessa ensimmäisen mittauskerran mittaukset ovien kohdalta kompensoidaan. (37).



KUVIO 4. Termisen paine-eron kompensointi (Paine-erojen merkitys ja mittaaminen 2019)

Korjattu paine-ero lasketaan kaavalla

$$\Delta p_{korjattu} = \Delta p_{mitattu} - \frac{\Delta p}{\Delta h} \times (h_1 - h_0) \quad \text{KAAVA 4}$$

missä

$\Delta p_{mitattu}$ = mitattu paine-ero [Pa]

$\Delta p_{korjattu}$ = kompensoitu paine-ero 1,0 m korkeudella [Pa]

$\frac{\Delta p}{\Delta h}$ = terminen paine-ero taulukosta [Pa/m]

h_0 = referenssitaso (1,0 m)

h_1 = mittauskorkeus [m]

Lämpötilaero oli ensimmäisellä mittauskerralla 16°C, kuvioista 4 nähdään, että silloin terminen paine-ero on 0,7 Pa/m. Oven yläreunassa korjaus on 0,7 Pa/m x 1 m = 0,77 Pa ja alareunassa 0,7 Pa/m x -1 m = -0,7 Pa. Tässä tulosten käsittelyssä ei kuitenkaan käytetty korjausta, sillä paine-erot olivat pieniä ja mittarivirhe/mittausvirhe sekä olosuhteiden muutokset, kuten tuulenpuuskat vaikuttavat tuloksiin, joten täysin tarkkaa paine-eroa ei voi muutenkaan määrittää.

6.5 Tulosten analysointi

Paine-erot olivat jokseenkin samanlaiset ennen remonttia ja remontin jälkeen. Rakennusta tiivistettiin, mikä olisi nostanut paine-eroja. Ulkoilmaventtiilien lisääminen puolestaan olisi pienentänyt paine-eroa. Nyt päästiin tasapainotilanteeseen ja paine-erot pysyivät lähes ennallaan. Ilmanvaihto parani, sillä nyt ulkoilmavirta tulee hallitusti ja suodatettuna ulkoilmaventtiilien kautta. Sisäilmasto parani kokonaisuudessaan, sillä vaurioituneet rakenteet on korjattu ja tiivistetty, eikä sieltä enää kulkeudu epäpuhtauksia asuntoon. Rakenteiden läpi, kuten yläpohjasta, tulee nyt vuotoilmaa vähemmän. Aistivaraisesti tarkasteltuna asunnossa oli ensimmäisellä kerralla tunkea ilma. Toisella kerralla ilma oli raikas ja lämpötila sopiva, joten ilmanvaihto toimi paremmin.

7 POHDINTOJA

Painovoimainen ilmanvaihto jakaa mielipiteitä, sitä pidetään joko huonona ja toimimattomana tai luonnonmukaisena ja toimivana. Asiaan tarkemmin perehtyessä, huomasin, että painovoimainen ilmanvaihto voi toimia hyvin suunniteltuna ja toteutettuna jokseenkin hyvin suurimman osan vuodesta. Ekologista siitä ei kuitenkaan saa, sillä energiatehokkuus on todella huono.

Painovoimaisen ilmanvaihdon saaminen hyvin toimivaksi on haasteellista. Säätilat vaihtelevat ja ilman vaihtuvuus sen mukaan. Vakaata ja varmaa ei painovoimaisesta ilmanvaihtojärjestelmästä saa. Talvella ulkoilmaventtiileistä tuleva ilma on kylmää ja aiheuttaa vedontunnetta. Kesällä lämpötila voi olla sisällä ja ulkona sama, jolloin paine-eroa eikä sen aiheuttamaa ilmavirtaa synny.

Erilaiset puhaltimet ja muut avustavat laitteet ovat hyödyllisiä ja parantavat ilmanvaihtoa. Suurin osa tuotteista, joita on suunniteltu parantamaan painovoimaista ilmanvaihtoa, toimivat sähköllä. Yhteen asuntoon tarvitaan useampia ulkoilmaventtiilejä ja niihin mahdollisia puhaltimia, lisäksi tarvitaan poistoon tehostusta. Näiden hankinta, asennus ja käyttö maksaa, mutta lämpöä ei saada talteen. Tämä sai ajattelemaan, että olisiko sama kerralla panostaa hieman enemmän ja siirtyä kokonaan koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtoon, jossa on lämmöntalteenotto.

Jos taas halutaan ehdottomasti pysyä painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä, tuloilmaikkunat ovat hyvä ratkaisu, sillä niillä saadaan ikkunoiden kautta tapahtuva lämpöhäviö pienemmäksi ja säästetään energiaa. Niitä kehitellään myös koko ajan, ominaisuudet paranevat, käyttökokemus paranee ja asennus helpottuu. Tulevaisuudessa tarvitaan kuitenkin jotain todella uutta ja innovatiivista ajattelua, jos halutaan kehittää painovoimaista ilmanvaihtoa toimivaksi ja energiatehokkaaksi.

Opinnäytteen alkuperäiseen ongelmaan ratkaisuja löytyi useita. Matalissa rakennuksissa painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan parantaa erilaisilla ulkoilmavirtaratkaisuilla ja poistoilmanvaihtoa voidaan tehostaa eri tavoin. Suunnittelutyössä tulen käyttämään hankkimaani tietoa löytääkseni aina parhaan ratkaisun asiakkaan toiveisiin sekä rakennukseen sopivaksi.

8 LÄHTEET

1. Museovirasto 2021. Painovoimainen ilmanvaihto. Käyttö- ja huolto-ohje. Museoviraston korjauskortti. Hakupäivä 8.1.2024. https://www.museovirasto.fi/uploads/Meista/Julkaisut/PVIV_korjauskortti.pdf
2. Juujärvi, Arja 2021. Rakennuskanta kertoo ilmanvaihdon historiasta. Scancerco. Hakupäivä: 16.1.2024. <https://scancerco.fi/rakennuskanta-kertoo-ilmanvaihdon-historiasta/>
3. Käyhkö, Jasper 2024. Lämmitys eri vuosikymmeninä. Rakennukset.fi -verkkosivusto. Hakupäivä 16.1.2024. <https://www.rakennukset.fi/jarjestelmat/lammitysjarjestelmat-eri-aikakausina/>
4. Maankäyttö- ja rakennuslaki (Alueiden käyttölaki) 1999. Hakupäivä 9.1.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>
5. M A 4/13 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 2013. Hakupäivä 9.1.2024. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/NUMEROITU-25_2_2013YM_asetus_lopullinen_FIN-\(2\)-924394EF_BED0_42F2_9AD2_5BE3036A6EAD-31396.pdf/24f8256a-4247-8a95-51bf-3f2440bdfef5/NUMEROITU-25_2_2013YM_asetus_lopullinen_FIN-\(2\)-924394EF_BED0_42F2_9AD2_5BE3036A](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/NUMEROITU-25_2_2013YM_asetus_lopullinen_FIN-(2)-924394EF_BED0_42F2_9AD2_5BE3036A6EAD-31396.pdf/24f8256a-4247-8a95-51bf-3f2440bdfef5/NUMEROITU-25_2_2013YM_asetus_lopullinen_FIN-(2)-924394EF_BED0_42F2_9AD2_5BE3036A)
6. Talotekniikkainfo 2021. Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas. Kappale 5546. Talotekninen teollisuus ja kauppa ry. Hakupäivä 13.2.2024. <https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas>
7. Virta, Jari & Pylsy, Petri 2011. Taloyhtiön energiakirja. Ensimmäinen painos. Kiinteistöalan kustannus Oy. Hakupäivä 13.3.2024. https://issuu.com/mediat/docs/taloyhtion_energiakirja/86
8. LVI-kortti 05-10629 (RT 07-11299) Sisäilmaluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset.
9. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015, 2015. Hakupäivä 19.3.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>
10. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. 2017. Hakupäivä 19.3.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009>
11. Lilleberg, Rolf, 2018: Ilmankosteus suomalaisissa asunnoissa, insinööriyö. Hakupäivä 19.3.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018052810653>

12. Heikkinen, Pertti, 2012. Tunnista ja tutki riskirakenne. Hometalkoot-verkkosivuston julkaisu. Hakupäivä 4.4.2024. <https://www.hometalkoot.fi/guides>
13. Allergia-apu, 2024. Filtrete elektreettisuodatin -tuotetieto. Hakupäivä 13.3.2024. <https://www.allergia-apu.fi/tuloilmaventtiiliin>
14. Eurovent, 2018. Ilmansuodattimien EN ISO 16890 -luokituksen mukaisen suodatinluokan valinta yleisilmanvaihdon sovelluksiin. Toinen painos. Hakupäivä 15.5.2024. [https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/eurovent_rec_4-23 - selection of en iso 16890 rated air filter classes - second edition - 2018 - fi - web.pdf](https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/eurovent_rec_4-23_-_selection_of_en_iso_16890_rated_air_filter_classes_-_second_edition_-_2018_-_fi_-_web.pdf)
15. Scancerco Oy, 2024. Biobe pystyventtiili -tuotetiedot. Hakupäivä 18.3.2024. <https://scancerco.fi/tuotteet/ilmanvaihtoala/biobe/biobe-pystyventtiili/>
16. Scancerco Oy, 2024. Biobe VS -tuotetiedot. Hakupäivä 18.3.2024. <https://scancerco.fi/tuotteet/ilmanvaihtoala/biobe/biobe-vs-venttiili/>
17. Vilpe, 2024. Vilpe Wive ulkoilmaventtiili -tuotetiedot. Hakupäivä 29.5.2024. <https://www.vilpe.com/fi/product/wive-100-korvausilmaventtiilisarja-termos/>
18. Dir-Air Oy, 2019. Tuuletusluukkuventtiili-ohje. Hakupäivä 29.5.2024. https://www.dir-air.fi/assets/files/ohjeet/Tuuletusluukkuventtiili_ohje-12.4.2019.pdf
19. Finluft Oy, 2024. Flow korvausilmalaite ikkunaan -tuotetieto. Hakupäivä 5.6.2024. <https://finluft.fi/flow/>
20. Scanoffice, 2023. Mobair Tuoteluettelo 2023. Hakupäivä 12.3.2024. https://mobair.fi/files/Tuoteluettelo_Mobair.pdf
21. Dir-Air Oy, 2024. Air Termico Super -tuotetieto. Hakupäivä 3.6.2024. <https://www.dir-air.fi/fi/tuotteet/termico/air-termico-super-venttiilit/>
22. Dir-Air Oy, 2024. Kuvapankki. Hakupäivä 18.3.2024. <https://www.dir-air.fi/kuvat/>
23. Suomitradng, 2024. Cooltron Reco 60 -tuotetiedot. Hakupäivä 5.6.2024 <https://www.suomitradng.fi/cooltron-reco-60-ilmanvaihtokone-lammon-talteenotolla>
24. Dir-Air, 2024. Air-in Paso -ovovirtaussäleikkö -tuotetieto. Hakupäivä 3.6.2024. <https://www.dir-air.fi/paso-ovivirtaussaleikko.html>
25. Netrauta, 2024. Hormi-imuri Spiroflex -tuotetiedot. Hakupäivä 5.3.2024. <https://www.netrauta.fi/hormi-imuri-spiroflex-o100-mm-ruostumaton-te->

[ras?utm_source=google&utm_term=&utm_campaign=&utm_medium=cpc&utm_content=s|pclid|442885553682|pkw||pmt||pdv|c|&gad_source=1&gclid=EAlaIQobChMk-bSas4bdhAMVzjcGAB1vUw-VEAQYASABEgKkJPD BwE](https://www.google.com/search?q=ras?utm_source=google&utm_term=&utm_campaign=&utm_medium=cpc&utm_content=s|pclid|442885553682|pkw||pmt||pdv|c|&gad_source=1&gclid=EAlaIQobChMk-bSas4bdhAMVzjcGAB1vUw-VEAQYASABEgKkJPD BwE)

26. Darco, 2024. Turbowent 400–500 tuotekortti..Hakupäivä 14.3.2024. <https://piippu-tukku.fi/shop/category/vedonparantajat-turbowent-vedonparantajat-54>

27. Darco, 2024. Catalogue card Turbowent Ø150- Ø 350. Hakupäivä 14.3.2024. <https://darco.pl/en/offer/turbowent-o-150-o-350/#download>

28. Darco, 2024. Tulipan Ø150 -tuotetiedot. Hakupäivä 5.6.2024. <https://piippu-tukku.fi/shop/wntu150chch-t-pk-tulipan-o150mm-aluslevy-rst-2111?category=53#attr=1128,1127,1130>

29. Kuuluvainen, Leino, Lindberg, Ben-Roger, Lylykangas, Kimmo, Mikkola, Juulia, Sainio, Jukka & Vuolle, Mika. 2018. Painovoimainen ilmanvaihto opas. Ympäristöministeriö. Hakupäivä 5.4.2024. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/PVIV-OPAS-3729E8C3_9173_4EA5_ADB9_CD33C1432A01-143101.pdf/2ab85b97-a5fd-cee7-c096-930b297a8435/PVIV-OPAS-3729E8C3_9173_4EA5_ADB9_CD33C1432A01-143101.pdf?t=1603260091107

30. Volution Sweden AB, 2024. Pax Calima –poistoilmapuhallin -tuotetiedot. Hakupäivä 13.3.2024. <https://pax.se/fi/product/pax-products-ventilation-badrumsfktar/pax-calima-valkoinen--1550-1>

31. Pisla Oy, 2024. Pisla poistopuhallin aurinkopaneelilla -tuotetiedot. Hakupäivä 13.3.2024. <https://www.pisla.fi/tuote/poistopuhallin-aurinkopaneelilla>

32. Volution Sweden AB, 2024. Pax EOS -tuotetiedot. Hakupäivä 5.3.2024. <https://pax.se/fi/product/detail-productdetail/eos-100h--1110-2>

33. Virta, Jari & Pylsy, Petri 2011. Taloyhtiön energiakirja. Ensimmäinen painos. Kiinteistöalan kustannus Oy. Hakupäivä 13.3.2024. Saatavilla: https://issuu.com/mediat/docs/taloyhtion_energiakirja/86

34. Talotekniikkainfo, 2021. Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas. Kappale 5570. Talotekninen teollisuus ja kauppa ry. Hakupäivä 13.2.2024. <https://talotekniikkainfo.fi/ratkaisut-etusivu>

35. Vallox Oy, 2020. Vallox Bluesky ilmanjakojärjestelmä. Hakupäivä 5.6.2024. https://www.vallox.com/esitteet-ja-opaat/?pk_vid=b4611a23713270b4171759641455bd9f

36. Finvac, 2019. Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen. Hakupäivä 3.6.2024. https://finvac.org/wp-content/uploads/2020/06/Opas_asuinrakennusten_ilmanvaihdon_mitoitukseen_2019.pdf

37. Eskola, Lari & Bjökröth, Marko 2019. Paine-erojen merkitys ja mittaaminen. A-insinöörit. Hakupäivä 3.6 2024. https://finvac.org/wp-content/uploads/2020/06/Paine-erojen_merkitys_ja_mittaaminen.pdf