

Panu Koskinen

Ilmanvaihdon kosteudenhallinta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari, LVI (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Opinnäytetyö 9.1.2019

Tekijä	Panu Koskinen
Otsikko	Ilmanvaihdon kosteudenhallinta
Sivumäärä	37 sivua
Päiväys	9.1.2019
Tutkinto	rakennusmestari, LVI (AMK)
Tutkinto-ohjelma	rakennusalan työnjohto
Ammatillinen pääaine	LVI-tekniikka
Ohjaaja	lehtori Jyrki Viranko
<p>Tämä opinnäytetyö on tarkoitettu informoimaan ilmanvaihdon vaikutuksista rakennuksen kosteuden hallintaan ja valistamaan ilmanvaihdon suuresta osuudesta hyvin toimivassa rakennuksessa. Työn valmistelemiseksi kirjoittaja on perehtynyt virallisiin työohjeisiin oikeanlaisesta rakentamisesta, ammattikorjaajien kirjoituksiin vanhojen rakennusten ”elvyttämisestä” sekä myös amatööriremonoijien vääränlaisiin työmenetelmiin keskittyviin keskustelufoorumeihin selvittääkseen tavallisten suomalaisten kotien ilmanvaihdon tilanteen.</p> <p>Työn perusteella voidaan todeta ilmanvaihdon aiheuttavan suhteellisen helposti estetävissä olevia kosteudenhallinnan riskejä. Tilan käyttäjä voi itse ehkäistä monet riskit tarkastamalla ajoittain nähtävien laitteiden kondenssivesisäiliön tai -poiston tilanteen jättämällä laitteiden säädön ja tasapainotuksen ammattilaisille ja muistamalla, että koneellinen ilmanvaihto on viihtyvyyden lisäksi tärkeä osa rakennuksen toimivuutta.</p> <p>Rakentamisessa ilmanvaihdon aiheuttamiin kosteusvaurioihin voidaan puuttua jo hankkeen alkuvaiheissa huomioimalla kosteudenhallinta tärkeänä osana palvelua ja rakennuksen elinkaarta ja sisäistämällä sidosryhmät kosteuden hallintaan. Kanavien ja rakenteiden tiiviysmittauksella voidaan heti todeta, kuinka hallitsemattomasti ilmankosteus pystyy liikkumaan rakennuksen sisällä haluamattomia reittejä.</p> <p>Työtä voidaan hyödyntää tilan ominaisuuksia suunnitellessa ja tarjota tilaajalle turvallisia ja nykyaikaisia vaihtoehtoja esitettyjen riskitekijöiden sijasta. Kiinteistön omistajat ja huoltajat saavat työstä helppolukuista sisältöä kiinteistön elinkaaren ylläpitämiseksi.</p>	
Avainsanat	iv-tekniikka, kosteusvaurio, ilmankosteus

Author	Panu Koskinen
Title	Humidity control in ventilation systems
Number of Pages	37 pages
Date	9.1.2019
Degree	Bachelor of Construction Management
Degree Programme	Construction Site Management
Professional Major	HVAC Engineering
Instructor	Jyrki Viranko, Principal lecturer
<p>This Bachelor's thesis is aimed at providing inform about the effects of ventilation on the control of indoor humidity and educate on about the major role of ventilation in operating building. To succeed in this, official building instructions about the correct building methods, Texts written by professional renovators about reviving old buildings as well as discussion forums about incorrect methods used by amateur renovator were studied to map the current situation of ventilation in regular Finnish homes.</p> <p>The thesis, established the humidity management risks caused by ventilation to be relatively easy to avoid. Tests of airtightness of structures and ducts could show the uncontrollable movement of indoor air humidity through unwanted routes in the building.</p> <p>The thesis suggested that moisture problems caused by ventilation can be intervened with during the early parts of the construction process by noticing the moisture management as an important part of the service and the life cycle of the building, as well as by involving the stakeholders in the subject too. Thus, users play also an important role in maintenance of buildings.</p> <p>This Bachelor's thesis can be beneficial when planning and recommending the safe and modern equipment to a customer, avoiding the shown risk factors. The thesis is an easy to follow content on maintaining the buildings long life cycle.</p>	
Keywords	ventilation engineering, moisture damages, humidity

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Ilman fysikaaliset tekijät	2
2.1	Absoluuttinen ja suhteellinen ilmankosteus	3
2.1.1	Absoluuttinen ilmankosteus	3
2.1.2	Suhteellinen ilmankosteus	3
2.2	Painesuhteet	6
2.2.1	Savupiippuvaikutus	7
2.2.2	Mitoitus	9
2.3	Kosteuden siirtyminen	10
2.3.1	Entalpia ja ulkoilman ilmankosteus	10
2.3.2	Diffuusio	11
2.3.3	Konvektio	13
2.3.4	Painovoimainen siirtyminen	15
2.3.5	Kapillaarinen siirtyminen	16
3	IV-järjestelmien osat ja kokonaisuudet	16
3.1	Kanavien tiiviys ja eristys	17
3.2	Ullakon tuuletus	18
3.3	Lämmön talteenotto	20
3.4	PILP	21
3.5	Levylämmönsiirtimet	22
3.6	Pyörivä lämmönsiirrin	23
3.7	Ilmalämpöpumppu ja konvektori	24

3.8	Rakennusten ryömintätilan tuuletus	24
3.9	Korvausilma	25
3.10	Ilmanvaihtokone	25
3.11	Liesituuletin	26
4	Kosteusvaurioiden ehkäisy	29
4.1	Kosteudenhallinnan suunnittelu- ja ohjaus	29
4.2	Kuivaketju10	29
4.3	LVI-laitteiston työaikainen laadunvarmistus	30
4.4	Rakenteiden tiiviysmittaus	31
4.5	IV-laitteiston tiiviysmittaus	32
5	Yhteenveto	33
	Lähteet	35

1 Johdanto

Usein väitetään koneellisen ilmanvaihdon aiheuttavan kosteusongelmia ja homekasvustoja, koska painovoimaisessa ilmanvaihdossa rakenteiden läpi tunkeutuva korvausilma tuulettaa ja kuivattaisi rakenteita. Työn kirjoittaja on omakohtaisesti kuullut ammatissa toimivalta LVI-asentajalta 25 %:n sisäilman ylipaineen ulkoilmanpaineeseen verrattuna olevan kosteuden kannalta paras, koska voimakas ylipaine estää ulkoilman pääsemisen ulkoa sisälle parhaiten. Tiiviillä höyrysululla ja paksulla lämmöneristeellä varustettuja nykyaikaisia ja energiatehokkaita taloja on vanhasta takaa pidetty virheellisesti ”pullotaloina”, vaikka energiatehokkuuden kannalta ”termospullotalo” on oikeudenmukaisempi lempinimi. Höyrynsulun on väitetty estävän rakenteen hengittäminen ja ilmankosteutta läpäisevämmän höyrynsulun käyttö pitäisi paksun eristeillakerroksen kuivana.

Monet ilmanvaihtoa käsittelevät tekstit keskittyvät laajalti huonon sisäilman ihmisille aiheuttamiin psyykkisiin ja fyysisiin oireisiin. Tässä opinnäytetyössä perehdytään ilmankosteuden ominaisuuksiin ja käyttäytymiseen osana ilmanvaihtolaitteiston ja rakenteiden kosteusteknistä toimintaa. Työssä selvitetään, mistä sisäilmankosteus on peräisin, kuinka kosteus siirtyy ja miten ilmankosteus vaikuttaa ilmanvaihtojärjestelmään, rakenteisiin, terveyteen sekä viihtyvyyteen. Työssä tutkitaan, miltä osin ilmanvaihto tyypillisesti myötävaikuttaa kosteusongelmien syntymiseen erilaisissa ilmanvaihtolaitteistoissa ja mitkä nykyaikaiset laiteosat, valinnat ja huollot parantavat kosteuden hallittavuutta. Keskeiset työssä tutkittavat tekijät ovat ilmankosteuden, diffuusion ja konvektion fysikaalisten toimintaperiaatteiden esitys, eri ilmanvaihtojärjestelmien ja niiden osien kosteusvahinkoihin vaikuttavat erikoispiirteet sekä menetelmien ja vaihtoehtojen vertailu kosteusongelmien välttämiseksi sekä ennaltaehkäisemiseksi.

2 Ilman fysikaaliset tekijät

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

Boylen lain mukaan kaasun tilavuus on kääntäen verrannollinen sen paineeseen eli isothermisessä tilanteessa, lämpötilan pysyessä samana paineen ja tilavuuden tulo on vakio [3, s. 6].

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Charlesin lain mukaan kaasun paine on suoraan verrannollinen sen lämpötilaan silloin, kun kaasulla on vakiotilavuus eli sen lämpölaajeneminen on estetty [3, s. 7].

Avogadron lain mukaan kaikilla kaasuilla on sama ainemäärä, eli yhtä monta molekyyliä, kun niillä on sama lämpötila ja paine. [1]

Ideaalikaasulakejen lisäksi ilmanvaihdon kosteudenhallinnan ja erityisesti vesihöyryn diffuusion kannalta Daltonin osapainelaki on keskeisessä osassa tätä opinnäytetyötä. Kuvan 1 mukaisesti kuivan ilman ja vesihöyryn osapaineiden summa on kostean ilman kokonaispaine. [1]

Kuiva ilma	Vesihöyry	Kuiva ilma + Vesihöyry
$t = 20^{\circ}\text{C}$ $m_{\text{ilma}} = 1\text{kg}$ $m_{\text{höyry}} = 0\text{kg}$ $P_{\text{ilma}} = \underline{100\ 143\ \text{Pa}}$ $P_{\text{höyry}} = 0$ $P_{\text{kok}} = 100\ 143\ \text{Pa}$	$t = 20^{\circ}\text{C}$ $m_{\text{ilma}} = 0$ $m_{\text{höyry}} = 0,007\ \text{kg}$ $P_{\text{ilma}} = 0$ $P_{\text{höyry}} = \underline{1182\ \text{Pa}}$ $P_{\text{kok}} = 1182\ \text{Pa}$	$t = 20^{\circ}\text{C}$ $m_{\text{ilma}} = 1\text{kg}$ $m_{\text{höyry}} = 0,007\ \text{kg}$ $P_{\text{ilma}} = \underline{100\ 143\ \text{Pa}}$ $P_{\text{höyry}} = \underline{1182\ \text{Pa}}$ $P_{\text{kok}} = 101\ 325\ \text{Pa}$

Kuva 1. Daltonin osapainelaki. [1, s. 24].

2.1 Absoluuttinen ja suhteellinen ilmankosteus

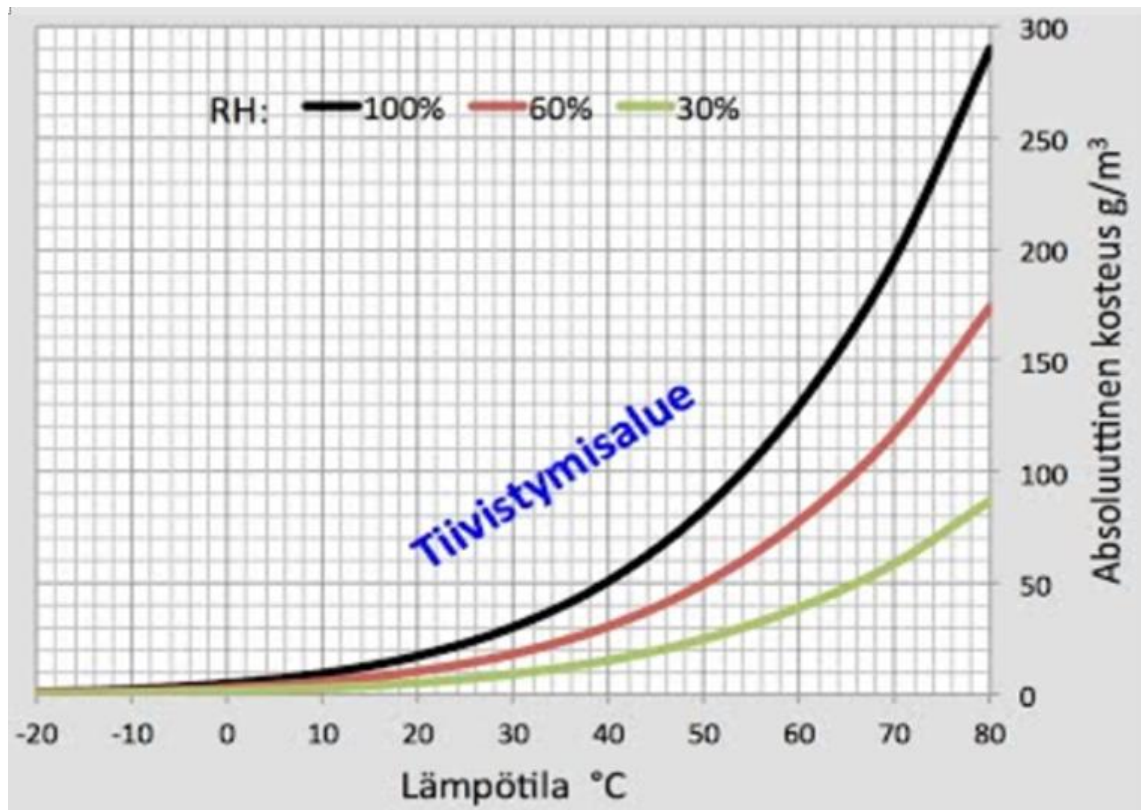
Ilmankosteutta käsitellään erikseen ilmassa olevan kosteuden, ja ilmassa voivan kosteuden mukaan.

Absoluuttinen ilmankosteus

Absoluuttinen ilmankosteus kertoo massayksiköllä tai prosentteina, kuinka suuri osa vesihöyryn massa (m_h) on kuivan ilman massasta (m_i). Joissain tapauksissa absoluuttista ilmankosteutta käsitellään massan sijasta paineella.

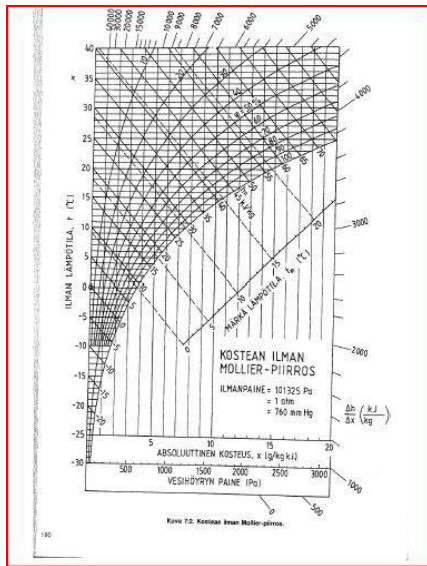
Suhteellinen ilmankosteus

Lämpötiloilla on eri maksimaalinen vesihöyryn osapaine eli kyllästymispaine. Suhteellinen ilmankosteus kuvaa prosentteina vesihöyryn painetta silloisessa lämpötilassa sen kyllästymispaineeseen suhteutettuna. Koska kyllästymispaine muuttuu lämpötilan mukaan lämpimässä ilmassa voi olla enemmän vesihöyryä kuin kylmässä. Suhteellinen ilmanpaine kuvaa ilman potentiaalia ottaa vastaan lisää kosteutta ympäröivistä materiaaleista eli voiko kostunut materiaali mahdollisesti kuivua ilman vaikutuksesta. Vesi haihtuu sitä nopeammin, mitä kuivempaa ilma on, ja siksi talvella ilman ollessa kuivaa pyykkitkin kuivuvat hetkessä verrattuna kesällä kuivuviin pyykkeihin. [1, s. 74]



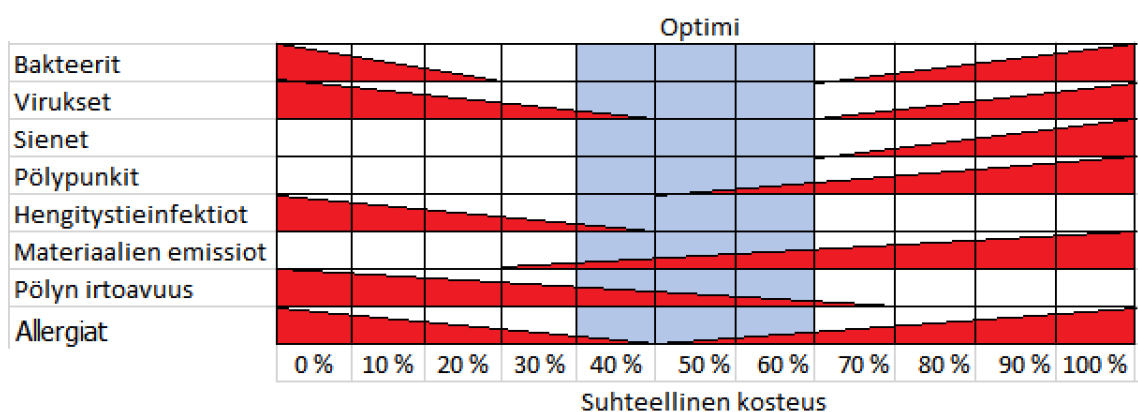
Kuva 2. Ilman kyllästyskosteus [9].

Suihkun jälkeen ilma on huonelämpötilassa kostea ja paksua, mikäli kosteus ei poistu huoneesta ilmanpoiston tai avointen aukkojen kautta pinnat jäävät kosteiksi. Suihkussa peseytyminen tuottaa ilmaan noin 1 700 g vettä, 22 m³:n kylpyhuoneessa ilma on kuvan 2 käyrästänsä mukaan 77 g/m³ absoluuttisella ilmankosteudella kylläinen kosteuden suhteen, eikä ilma kuivu. Ilmankosteuden absoluuttista määrää lämpötilan ja suhteellisen ilmankosteuden perusteella sekä ilmankosteuden tiivistymistä tulkitaan tarkemmin kuvan 3 Mollier-piirroksessa. Suhteellisen ilmankosteuden ollessa 100 % kaikki ilmassa oleva kosteus ei ”mahdu” höyryntymään ja jää ilmaan pieninä pisaroina. Tila viilentyy suihkun tai saunan jälkeen tai suihkutettaessa ilmaan kylmää vettä ilma viilenee, jolloin sen tiivistymisalue suurenee. Seurauksena kosteus alkaa tiivistyä pinnoille, lasit menevät huu-ruun ja ilman tunkkaisuus laskee. [9]



Kuva 3. Ilman kosteusmäärää eri lämpötiloissa, entalpiaa sekä vesihöyryn kondensoitumista tarkastellaan esimerkiksi Mollier-piirroksella [1, s. 190].

Kylmän ilman ilmankosteus on luonnostaan pienempi kuin lämpimän ilman. Hengitysalergikot oireilevat usein talvella, jolloin kostuttamaton sisäilma on kuivaa. Kostean ilman suodatus hengitettäessä on tehokkaampaa kuin kuivan ilman suodatus. Terveelle henkilölle ei kuitenkaan tule oireita puhtaasta kuivasta ilmasta.



Kuva 4. Suhteellisen ilmankosteuden haittavaikutukset [1, s. 24].

Ilman suuri kosteus on ihmisten lisäksi mieluisaa myös muille eliöille kuten pölypunkeille, sienille ja muille mikrobeille, jotka menestyvät hyvin yli 45 %:n suhteellisessa ilmankosteudessa. Energiankulutuksen kannalta sisäilman kostutus ei ole kannattavaa välillä 25–60 %. 25 % ei ole terveelle ihmiselle terveyttä vaarantavaa, mutta pitkäaikainen 60 %:n ylittyminen on terveydellinen riski hengitysteiden infektiosairauksien kannalta. Ihmiselle haitalliset tekijät ovat listattuna niiden aiheuttajakosteuksien mukaisesti kuvassa 4.

Suurimmat rajoitukset ilmankosteudelle aiheuttavat rakenteiden kosteudensieto ja tuotantoprosessit. Liian matala tai korkea ilmankosteus vahingoittaa ihmisiä epäsuorasti mikrobeiden lisääntymisen vuoksi ja korkea ilmankosteus vahingoittaa rakenteita kosteuden kertymisen ja rakenteiden mätänemisen takia. Ihmiselle ja rakennukselle yhteinen optimi-ilmankosteus on 40–50 %. Sisäilman kosteuslähteistä suurimmat ovat suihku, kylpeminen ja saunominen (kuva 5). Rakenteiden terveyden kannalta on tärkeää, että ilmanvaihtoa tehostetaan saunan ja suihkun jälkeen 30 % ilmanvaihdon tarpeen ollessa suurimmillaan suuresta ilmankosteudesta johtuen. [1]

Sisäilman kosteuslähteitä

Ruukkukasvit	7-15 g/h
Keskikokoinen kumipuu	10-20 g/h
4,5 kg:n pyykin kuivaus rummussa	50-200 g/h
Kylpeminen kylpyammeessa	n. 1100 g/kylpy
Peseytyminen suihkussa	n. 1700 g/kerta
Lyhytaikainen ruuanlaitto	400-500 g/h/keittoaika
Pitkäaikainen ruuanlaitto	450-900 g/h/keittoaika
Paistaminen	n. 600 g/h/paistoaika
Astianpesukone	n. 200 g/pesukerta
Pyykinpesukone	n. 200-300 g/pesukerta

Kuva 5. Sisäilman lisäkosteuslähteitä [6].

2.2 Painesuhteet

Rakennuksen painesuhteisiin vaikuttavat ilmanvaihto, savupiippuvaikutus ja tuuli. Ilmanvaihtolaitteisto ja tuuli voivat muuttaa rakennuksen painesuhteita nopeasti. Mikäli tuloilmavirta on suurempi kuin poistoilmavirta, rakennuksen sisälle syntyy ylipainetta ulkoilmaan suhteutettuna ja poistoilman ollessa suurempi syntyy alipainetta.

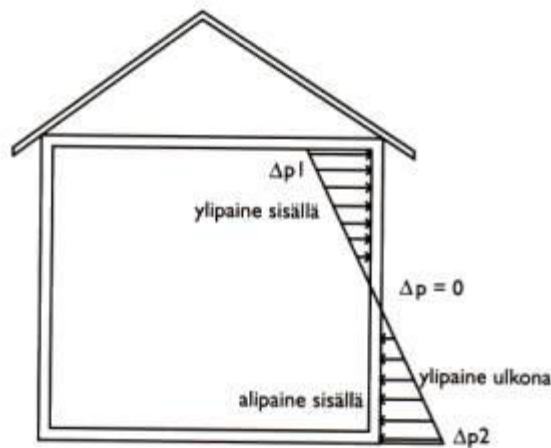
Sisäilmanpaineen ja ulkoilmanpaineen eroa kutsutaan kokonaispaine-eroksi. Kokonaispaine-ero voi joko imeä ulkoilmaa ja epäpuhtauksia sisään vaipan vuotokohdista ja ryömintätilasta tai puskea ulkoilmaa kosteampaa sisäilmaa rakenteiden sisään aiheuttaen kosteusvaurioriskin. Kun talvella kylmä ilma, jonka suhteellinen ilmankosteus on lähes 100 %, imeytyy alipaineiseen sisäilmaan, se lämpenee, jolloin myös sen suhteellinen ilmankosteus laskee. Mikäli rakenteen sisällä on kosteutta, suhteellisesti kuiva talvi-ilma imee kosteuden saavuttaakseen kylläisen määrän absoluuttista kosteutta kuivattaen rakenteita. Väärin mitoitettu ylipaineinen sisäilma toimii alipaineiseen ilmaan nähden päinvastaisesti, eli työntyy rakenteisiin ja viilenee matkallaan talvista ulkoilmaa kohti. Kun ilman kastepistelämpötila viiletessään laskee, ilman absoluuttinen ilmankosteus kohoaa $RH = 100 \%$, jolloin kylläisyydestä yli jäävä kosteus tiivistyy vedeksi rakenteisiin. [8]

2.2.1 Savupiippuvaikutus

Ulko- ja sisäilman lämpötilaeroista johtuvaa kerrostumista kutsutaan savupiippuvaikutukseksi. Savupiippuvaikutus on voimakkaimmillaan talvella, kun rakennuksen sisä- ja ulkopuolisen lämpötilan ero on suurimmillaan. Paine-ero syntyy, kun lämmin ilma nousee kylmää ilmaa kevyempänä ylös, korkeissa rakennuksissa kuten monikerroksisissa asunnoissa tämä ilmenee alakerran viileytenä ja yläkerran kuumuutena. Lämpötilaeron lisäksi painesuhteisiin vaikuttavat tuuli ja ilmanvaihto (kuva 7). Tiiviissä rakennuksessa savupiippuvaikutuksesta syntyvä paine-eron jakauma ulkoseinässä on esitetty kuvassa 6. Rakennuksen yläosiin nouseva lämmin ilma on ulkoilmaan verrattuna ylipaineinen, ja alaosiin jäävä kylmä ilma on ulkoilmaan verrattuna alipaineinen.

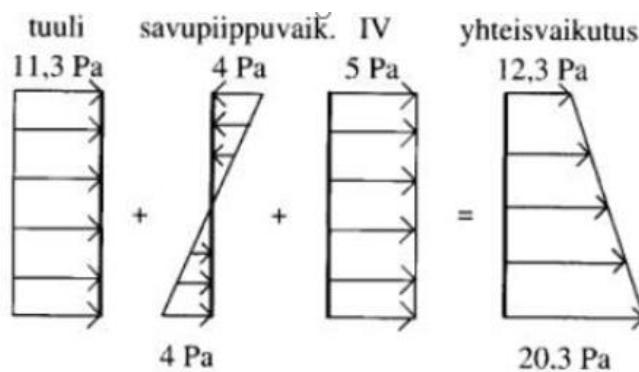
Neutraaliakselilla sisä- ja ulkopuolen välinen paine-ero on 0 Pa. Neutraaliakselin sijaintia on vaikea määrittää tarkkaan, koska sen sijainti riippuu rakennuksen vaipan epätiiviysohkohtien korkeusasemista ja niiden virtausvastuksista, jotka voivat vaihdella satunnaisesti rakennuksessa. Savupiippuvaikutuksesta aiheutuva sisäilman ylipaineisuus kasvaa noustessa neutraaliakselilta noin 0,9 Pa metriä kohden sisä- ja ulkoilman lämpötilaeron

ollessa 20 °C. Koska vaipan tiiviys määrittelee neutraaliakselin korkeusaseman, rakennuksen alaosissa oleva epätiivis kohta tai aukko tarkoittaa rakennuksen neutraaliakselin olevan matalalla. Hyvin matalalla oleva neutraaliasema tarkoittaa käytännössä lähes koko rakennuksen ylipaineistumista, mikä saattaa kumota ilmanvaihdon alipaineisuuden. [21]



Kuva 6. Savupiippuvaikutuksesta aiheutuva painejakauma. [21]

Savupiippuvaikutuksen ollessa tiiviisti riippuvainen rakennuksen korkeudesta on syytä huomioida rakennuksen vapaan ilmatilan suuren korkeuden vaikutukset kosteudenhallintaan. Yli 20 m korkeat tilat suunnitellaan omaksi ryhmäkseen, ja niiden ilman- ja höyryntiivyyteen tulee kiinnittää erityistä huomiota.



Kuva 7. Tuulenpuoleiseen seinään kohdistuva paine on tuulen, savupiippuvaikutuksen ja ilmanvaihdon vaikutuksen summa [21].

2.2.2 Mitoitus

Ympäristöministeriön asetuksen 1009/2017 uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta mukaisesti ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava niin, että tilan käyttötarkoituksen terveellisyys-, turvallisuus- ja viihtyisyysedellytykset täyttyvät, järjestelmä kestää oikein käytettynä ja huollettuna suunnitellun käyttöiän toimintakuntoisena, sen toiminnan kannalta keskeisiä toimintoja voidaan ohjata, mitata ja seurata sekä järjestelmä pitää voida sulkea kokonaisuudessaan. Tässä opinnäytetyössä keskitytään poistoilmaluokkien 1, 2 ja 3 mitoitukseen ilman vesihöyryn ja sen liikkumisen sekä kondensoitumisen kannalta.

Ylimoitettu poistoilmavirta aiheuttaa alipaineen, joka tuo ulkoilmaa sisälle korvausilma-aukoista nopeudella mitä lämmitys ei pysty lämmittämään aiheuttaen vetoa. Samalla ulkoilmasta sisään virtaavien epäpuhtauksien määrä kasvaa. Poistoilmavirran ollessa huomattavasti suurempi kuin tuloilman sisä- ja ulkoilman kokonaispaine-eron vaikutuksesta epätiivin ja huonosti tuulettuvan vaipan sekä huonon höyrysulun läpi virtaa ulkoilmaa syvemmälle rakenteeseen aiheuttaen kosteusvaurioriskin saavuttaessaan rakenteen kastepisteen. [5] Poistoilman alimitoittaminen (tai tehostun ilmanpoiston laiminlyöminen suihkun jälkeen) johtaa sisäilman vesihöyryn imeytymiseen rakenteisiin, koska yhteisvaikutuksena ilmankosteus ei poistu määritetyn tehoisesti ja sisäilmanpaineen noustessa kosteus siirtyy paremmin rakenteisiin. Jäätymiselle alttiit ilmanvaihtolaitteet kärsivät sekä yli- että alimitoitetusta poistoilmavaihdosta, koska ylimoitettuna laitteeseen kulkeutuu enemmän kondensoituvaa ja jäätyvää kosteaa ilmaa ja alimitoitettuna poistuva lämmin ilman ei riitä pitämään laitetta sulana (liesituulettimen poistoputki).

Ilmavirtoja on voitava ohjata tarpeen mukaan niin, että asuntokohtaista tuloilmavirtaa voidaan tehostaa käyttöajan ilmavirrasta vähintään 30 % tai pienentää enintään 60 %. Erityissuunnittelija mitoittaa tuloilman niin, että oleskelutilojen tuloilmavirta on vähintään 6 l/s henkilöä kohden täyttäen sisäilmaston vaatimukset. Käytännössä asuintilan ilmaston vaatimukset täyttyvät, kun ilma vaihtuu kerran kahdessa tunnissa estäen epäpuhtauksien kertymisen asuntoon. Erityistiloissa, kuten asunnon kuntosaleissa käytetään suurempaa käyttöajan tuloilmavirtaa siten että lisäilman tarve täyttyy. Tuloilmavirta on mitoittettava olemaan vähintään 0,35 l/s/m² tai < 50 m²:n asunnoissa vähintään 18 l/s. Poistoilmavirran tulee olla 80–90 % tuloilmavirrasta niin, että asunnon kokonaispaine on ulkoilmaan nähden hieman alipaineinen. [4]

2.3 Kosteuden siirtyminen

Kosteutta liikkuu ilman mukana (kosteuskonvektio), kapillaarisesti, painovoimaisesti, diffuusiolla materiaalin sisällä sekä termisellä diffuusiolla. Termodynamiikan toisen lain mukaan suljetussa systeemissä prosessi etenee spontaanisti, jolloin entropia kasvaa. Entropian noustessa molekyylit siirtyvät väkevämmästä pitoisuudesta miedompaan, eli ilmassa kosteus siirtyy sinne missä ilman vesihöyryn osapaine on pienempi. Diffuusion ero ilman mukana kulkevan kosteuden suhteen on, että vesihöyry liikkuu ilman sisällä, vaikka ilma itsessään pysyisi paikoillaan. Entropian mukaista kosteuden siirtymistä kutsutaan termiseksi diffuusioksi.

Diffuusio materiaalin sisällä (painediffuusio) pyrkii siirtämään vesihöyryä seinän läpi kohti kuivempaa ulkoseinää ja lämpimältä sisäpuolelta kohti kylmempää ulkopuolta. Diffuusio tasoittaa kosteuseroa, joten kostunut seinämateriaali myös kuivuu sisäilman ollessa kuivempaa kuin seinä. [1]

2.3.1 Entalpia ja ulkoilman ilmankosteus

Termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön mukaan energiaa ei voida luoda eikä hävittää, vaan se vaihtaa muotoa. Energia säilyy, siksi termodynaamisesti erottuvalla kokonaisuudella, eli systeemillä on oma sisäenergiansa (U). Sisäenergia on kemiallisen- ja termisen energian sekä molekyylien välisen värähtelyn summa. Entalpialla tarkoitetaan siis kostean ilman lämpösisältöä, mikä on ilmastoinnin mitoituksen kannalta erittäin tärkeä seikka. Lämpösisällöstä puhuttaessa tarkoitetaan vain sisäenergiaa ottamatta huomioon muita ilmaan vaikuttavia lämmönlähteitä.

Ulkoilman kosteus vaikuttaa suoraan sisäilman kosteuteen, koska sisäilman kosteus = ulkoilman kosteus + kosteuslisä. Talvella ulkoilma on hyvin kuivaa (vesihöyryä jopa 1,5–3,0 g/m³) vaikka ilman suhteellinen kosteus on hyvin korkea (80–90 %) [3, s. 22-23.]

2.3.2 Diffuusio

Vesihöyrystä vain noin 2 % kulkeutuu diffundoitumalla, mikä on hidas tapa siirtää kosteutta, mutta diffundoitumalla kosteutta pääsee myös kulkeutumaan paikkoihin, joihin se ei ilman kuljettamana pääse (kuva 8). Edes lasi ei pysäytä diffuusiota kokonaan, joten höyrysulun nimi on osittain harhaanjohtava. Vaikka kosteutta siirtyy diffundoitumalla hyvin vähän, diffuusion vaikutus kosteusvaurion syntymiseen voi olla merkittävä, mikäli tuolpuolen ilman vesihöyrynpitoisuus on suuri, poistumispuolella pinnassa tai rakenteen sisällä on suuri vesihöyrynvastus, rakenteen eri puolilla on suuri lämpötilaero (pakkasvarasto) tai kylmävarastojen ja jäähallien tapauksessa lämpötila- ja höyrynpaine-ero vaihtaa suuntaa vuodenajan mukaan. [26]

Materiaali	Paksuus [mm]	Kosteusvirta, konvektio [g/m ² h]	Kosteusvirta, diffuusio [g/m ² h]
mineraalivilla, kevyt	100	51,5	1,2
rakennuslevy	12	0,5	0,4
tiili	100	6,7 x 10 ⁻³	0,1
betoni	100	5,7 x 10 ⁻⁵	0,01

Kuva 8. Kosteutta siirtyy tiheiden rakenteiden läpi enemmän diffuusiolla kuin konvektiolla [11].

Diffuusion kosteusvirta rakennusmateriaalin läpi lasketaan kaavalla:

$$g_{dif} = \frac{P_1 - P_2}{Z_p}$$

jossa g_{dif} on diffuusion kosteusvirta (kg/m²s), P_1 ja P_2 ovat tarkasteltavan materiaali-kerroksen sisä- ja ulkopuoliset vesihöyrynpaineet (Pa) ja Z_p on materiaali-kerroksen vesihöyrynvastus (m²sPa/kg).

Esimerkkilaskenta:

Isovanhemmat huolehtineet aina talonsa kunnosta ja pitkällä aikavälillä seinärakenteen RH heti kipsilevyn takana on vakiintunut 50 % (21 °C lämpötilassa Pa = 1243,83)

Kun lapsenlapset tulevat kylään, he valuttavat vettä suihkussa, jolloin RH kohoaa 68 %:iin ja vesihöyryn osapaine kasvaa 1911,1 Pa:n.

Kipsilevyn vesihöyrynvastus $Z_p = 0,75 \cdot 10^9$, joten diffuusion kosteusvirta on

$$g = \frac{1691,91 - 1243,83}{0,75 \cdot 10^9} = 0,00000089 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

Vesihöyryn osapaineiden erotuksella kipsilevyseinän läpi kulkee 3,2 g vesihöyryä tunnissa talon jokaisella neliömetrillä (kipsilevyä). Seinän läpi diffundoituva vesihöyry kondensoituu viiletessään, jolloin seinän eristevillatkin kastuvat. Vesihöyry diffundoituu seinän läpi, vaikka IV on säädetty asianmukaisesti alipaineiseksi tai kostean ilman lämpötila laskee.

Diffusiovauhti rakennusmateriaalin läpi lasketaan kaavalla:

$$g = \frac{\Delta v}{Z_v}$$

jossa Δv on tarkasteltavan materiaalikerroksen sisä- ja ulkopuolisten vesihöyrypitoisuuksien (g/m^3) erotus ja Z_v rakenteen vesihöyryn vastus (s/m).

Kun ulkoilman lämpötila on kesällä 30 °C ja RH 76 % sen absoluuttinen ilmankosteus on 20,5 g/kg ja virheellisen eristämättömän tuloilmakanavan ympäröimä ilma on 21 °C ja RH on 50 % absoluuttinen ilmankosteus on 7,7 g/kg. $\Delta v = 20,5 \text{ g/kg} - 7,7 \text{ g/kg} = 12,8 \text{ g/kg}$.

$Z_v = 18,4$ saadaan jakamalla kanavan paksuus $0,0005$ m kanavan vesihöyryn läpäisevyydellä hallitsevassa lämpötilassa (21°C) eli $2,71 \cdot 10^{-5}$.

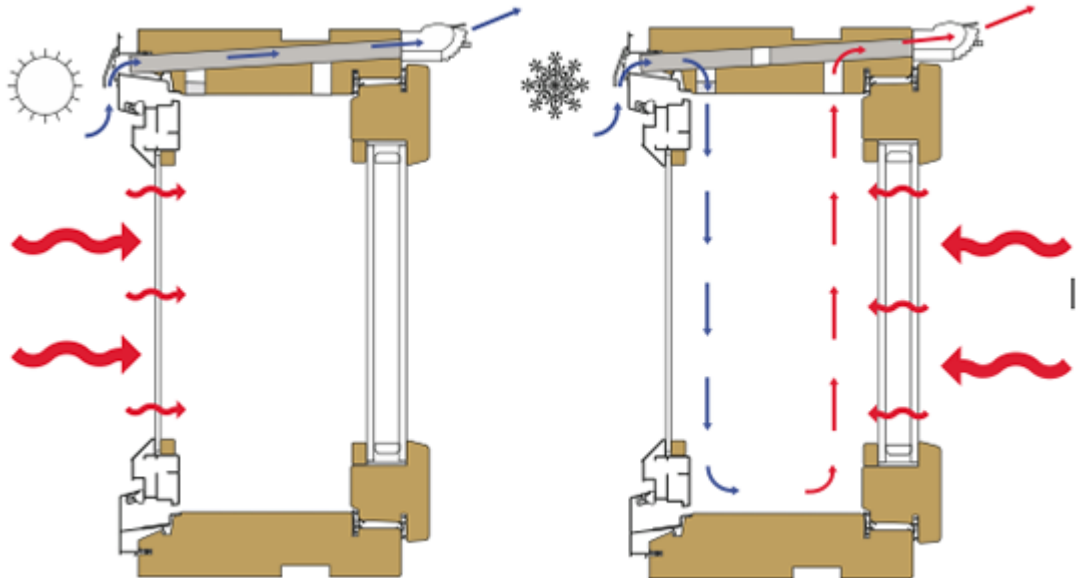
Diffuusiovauhdiksi saadaan

$$g = \frac{12,8 \text{ g/kg}}{18,4 \text{ s/m}} = 0,695 \frac{\text{g}}{\text{m}^2} / \text{vko}$$

2.3.3 Konvektio

Konvektio on ilman lämpötilaerosta johtuvaa liikettä, joka kuljettaa ilmankosteutta ja muita ilmassa olevia aineita mukanaan. Lämmin ilma on harvempaa ja kylmä ilma tiiviimpää, jolloin ilma kerrostuu. Terminen konvektio on yksi savupiippuvaikutuksen liikkeelle panevista voimista, osaltaan ilmiöön vaikuttaa myös pakotettu konvektio, jossa ilma liikkuu ilmanvaihdon tai tuulen aiheuttamilla virtauksilla. Koska konvektio vaikuttaa vahvimmin suurilla korkeuseroilla, luonnollista pakottamatonta konvektiota tapahtuu yleisimmin ullakkotiloissa etenkin talvella, kun lämpötilaerot ovat suurimmillaan. Alakerrassa ollessa sisä- ja ulkoilman lämpötila- ja ilmantiheuseroja ilmaa pyrkii rakennukseen sisään sen alaosista. Yläkerroksien lämmin ilma ei alipaineesta huolimatta virtaa kylmään alakertaan, vaan yläkertaan muodostuu ylipainetta, mikä pyrkii tasaantumaa työntämällä ilmaa ulos tyypillisesti epätiivisiin vaipan kautta konvektiolla. Kuten diffundoitumalla myös konvektion kuljettamaa ilmankosteutta kondensoituu ilmankosteuden ollessa yli 100 %. [2, s. 52, 55–56.]

Ilmanvaihdossa konvektiota voidaan hyödyntää esimerkiksi ullakon ylipainekatolla, jolla pakotetaan kuivaa ilmaa rakenteisiin, jolloin rakenteen tiivistynyt ilma haihtuu kuivaan ilmaan kuivattaen rakennetta. Tuloilmaikkunoiden tuloilman esilämmitys tapahtuu terminen konvektion aiheuttamalla ilman kiertämisellä, kun kylmä ulkoilma pääsee lasien väliin, se painuu huoneilmaa viileämpänä lasin alaosaan. Huoneesta johtuva lämpö saa ilman lasien välissä lämpenemään ja nousemaan lasin yläreunan kautta huoneilmaan (kuva 9).



Kuva 9. Kesäasennossa tuloilmaikkunan läpi tulevaa ilmaa ei esilämmitetä [12].

$$g_{konv} = v * Q$$

g_{konv}	on konvektion aiheuttama kosteusvirta (kg/s)
v	on ilman vesihöyrynpitoisuus (g/m^3)
Q	on läpi virtaavan ilman määrä (m^3/s)

Kaava: Konvektion kosteusvirran laskenta. [6, s.29]

Konvektion ilmavirroille on monta laskentakaavaa pakotetun konvektion eri ilmanpaineiden jakavan rakenteen reiän koon mukaan. Lasketaan, paljonko konvektiolla kulkeutuu kosteutta, kun elementtiseinän 80 mm:n sisäkuoressa on 0,3 mm leveä ja 70 cm pitkä halkeama ja sisä- ja ulkoilman välinen absoluuttisen ilmankosteuden erotus on $4 g/m^3$ ja paine-ero on 5 Pa.

Ensin lasketaan konvektioilmavirran määrä:

$$Q_{rako} = A * \frac{b^2}{\eta * 12} * \frac{\Delta p}{l}$$

Q	on konvektion aiheuttaman ilmavirran määrä (m ³ /s)
A	on b * d (m ²) (d=raon pituus)
η	on ilman viskositeetti (Pa s) = η = (17,1 + 0,049 * t (°C)) * 10 ⁻⁶
Δp	on ilmanpaine-erot rakenteen eri puolilla (Pa)

$$Q_{rako} = 0,00021 * \left(\frac{0,0003^2}{12 * 0,00018129} \right) * \frac{5Pa}{0,08m} = 5,43 * 10^{-7} m^3/s$$

Lasketaan konvektion kosteusvirta viikossa saadusta ilman virtauksesta:

$$q_{konv} = (0,004 * 5,43 * 10^{-7}) * 604800s = 1,31 g/vko$$

2.3.4 Painovoimainen siirtyminen

Neste virtaa painovoiman mukaisesti alaspäin. Tätä hyödynnetään rakentamisen kannalta katoilla, räystäillä, kylpyhuoneen kallistetulla lattialla, viemäreissä ja salaojaputkissa. Painovoimainen kosteuden siirtyminen on haitallista, kun kosteutta siirtyy kylpyhuoneen halkeamista tai vuotavista putkista rakenteiden sisällä huomaamattomasti. Painovoimainen siirtyminen on yleisin kosteusvahinkojen aiheuttaja.

2.3.5 Kapillaarinen siirtyminen

Materiaaleilla on eri huokoisalipaineet. Huokoisalipaine imee huokoiseen materiaaliin kosketuksissa olevaa nestettä, kunnes materiaali on saanut painovoiman ja huokoisalipaineen vetovoiman suhteen dynaamisen tasapainotilanteen. Ilman lämpötilalla ja haihtumisella on kapillaariseen kosteuden siirtymiseen suuri vaikutus. Kun puu haihduttaa latvan lehdistä vettä, puun latvaan syntyy huokosalipainetta. Puun juurista latvaan ulottuva vesipatsas nousee ylöspäin kohti huokoisalipaineista latvaa saavuttaakseen tasapainotilan. Tiedettäessä materiaalinhuokoisalipaineen potentiaali voidaan sitä käyttää sellaisella paksuudella, ettei kosteus pääse sen yläosiin asti kostuttamaan muita materiaaleja. Sadevesi valuu painovoimaisesti salaojasoraan, mutta veden kapillaarinen nousu ei riitä nostamaan sitä suoraan maanvastaisen lattian alle. Eri materiaaleilla on eri kapillaarinen vedentunkeutumiskerroin. Esimerkiksi eristeet ovat alltiita kostumaan huonosti tuuletetussa ullakkotilassa, ja niihin imeytyvä kosteus leviää hyvin tehokkaasti verrattaessa veden leviämiseen tiilen sisällä. [2, s. 110.]

3 IV-järjestelmien osat ja kokonaisuudet

Ympäristöministeriön asetuksen 782/2017 rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta mukaisesti rakenteet ja LVI-järjestelmät on tehtävä siten, etteivät sisä- tai ulkopuoliset kosteuslähteet kuten vesihöyry, vesi tai lumi pääse vaikuttamaan rakennukseen haitallisesti. Kosteusvaurioiden estämiseksi on mahdollisiin kosteusvaurioihin varauduttava rakenteiden kuivattamiseksi aiheuttamatta rakenteellisia vaurioita. Laitteistot, joihin liittyy vesivahingon riski, on asennettava niin, että vahinko on helposti havaittavissa. Käytännössä tämä toteutetaan vuotoaltilalla, kosteusmittareilla ja tarkastusluukuilla. [25]

3.1 Kanavien tiiviys ja eristys

Ilmanvaihtokanavien tiivydelle on annettu tiiviysvaatimuksia ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Tiiviysluokat jaotellaan kanavan sallitun vuotoilmamäärän ($\text{dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$) mukaan (kuva 10). Rakennuksen koneellinen- tai painovoimainen ilmanvaihto on tiivydeltään riittävä täyttäessään vähintään tiiviysluokan B vaatimukset. Rakennuksen ilmanvaihtolaitteiston on oltava tiiviysluokkaa C, mikäli sen poistoilmassa on runsaasti muita kuin ihmisperäisiä epäpuhtauksia. Tiiviysluokka B saavutetaan yleensä käyttämällä vähintään tiiviysluokan C kanavia ja kana-vaosia. Pientalojen pinta-alaansa nähden tyypillisesti haaraiset ja mutkikkaat kanavat ja laiminlyöty huolto luovat potentiaalisen vuotokohdan. [4]

Tiiviysluokka	Sallittu vuotoilma q_{VLA} $\text{dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$
A	$0,027 \times p_s^{0,65}$
B	$0,009 \times p_s^{0,65}$
C	$0,003 \times p_s^{0,65}$
D	$0,001 \times p_s^{0,65}$
E	$0,0003 \times p_s^{0,65}$

Kuva 10. Ympäristöministeriön asetuksen 1009/2017 ”Uuden rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto” mukaiset tiiviysluokat [4]

Ilmanvaihtojärjestelmän tiiviys mitataan vastaanottomittausten yhteydessä standardin SFS 3542 mukaisella tiiviyskokeella. Yhtä asuntoa tai tilaa palvelevissa ilmanvaihtojärjestelmissä tiiviyskoe voidaan korvata asennustarkastuksella. Opinnäytetyön luvussa 3.5 IV-laitteiston tiiviysmittaus kerrotaan aiheesta. [13]

Epätiivit kanavat yhdessä huonosti huolletun suodattimen kanssa aiheuttavat melua, vaikeuttavat painesuhteiden hallintaa, levittävät mikrobeita ja edellyttää suurempaa il-mavirtojen käsittelyä ilmanvaihtokoneelta.

Ilmanvaihtokoneelle tuleva ulkoilmakanava ja lähtevä jäteilmakanava tulee aina lämpö-eristää ja kosteuseristää siten, ettei kanavan pinnalle kondensoidu kylmästä ulkoilmasta johtuen vettä homehduuttamaan rakenteita tai kanavan sisälle ruokkimaan mikrobeja. Jäteilmakanavan lämpöeristäminen tai sen laiminlyönti vaikuttavat poistoilman lämmöntalteenoton tehokkuuteen, mutta lämmöntalteenottolaitteen jälkeinenkin kanava täytyy olla eristetty kondenssin välttämiseksi. Jäteilma kootaan lämpö- ja kondenssieristettynä vesikatkon yläpuolelle imukammioon ja poistoilmapuhaltimelle, joka suojataan vesikatoksella tai muotoillaan niin, ettei vettä tai lunta pääse valumaan alas ilmanvaihtolaitteistoon. Mikäli ilmanvaihtokanavia ei voi asentaa lämpimään tilaan, ne tulee eristää. Ilmanvaihtokanavien lämpöeristys tulisi olla yhtä hyvä kuin talon muukin lämpö-eristys. Tuloilmakanavan puutteellinen eristys kylmässä tilassa aiheuttaa tuloilman jäähtymistä ja voi tuntua vetona. Talven aikana kanavaan voi kertyä suurikin määrä jäätä, joka sulaessaan aiheuttaa suurta vahinkoa. Poistoilmakanavan puutteellinen eristys huonontaa lämmön talteenoton hyötysuhdetta ja lisää jälkilämmityksen energiankulutusta. Kosteuseristeen päät liimataan kanavaan kiinni ja eristeen sauma teipataan huolella siten, että kosteutta ei pääse eristeen alle. [8]

Kylmässä ullakkotilassa kanavat lämmöneristetään vähintään $2 \text{ m}^2\text{K/W}$ lämmönvastuksellisella lämmöneristeellä, joka vastaa 100 mm:n mineraalivillaa, puukuitueristettä tai lämmönjohtavuudeltaan $0,05 \text{ W/(mK)}$ olevaa solukumia tai polyuretaania. Kanavan eristeen lämmönvastuksen on oltava vähintään 2 mK/W silloinkin, kun kanava on vaipan lämmöneristeen sisällä. Kondenssieristeenä käytetään solukumieristettä tai kondenssi-tiivistä umpisolu- tai kivivillaeristettä. Kivivillaeristeellä kondenssiitiiviyteen päästään teip-paamalla huolellisesti päällysteen pituus- ja poikittaissuuntaiset saumat. [7, s. 53.]

3.2 Ullakon tuuletus

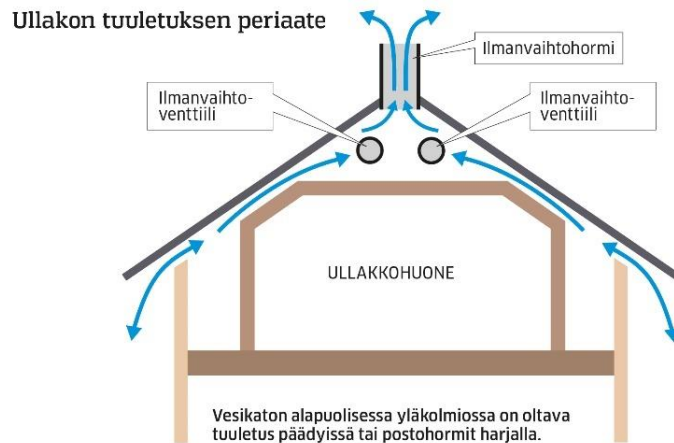
Kylmään ullakkotilaan siirtyy rakennuksen muista tiloista kosteaa ilmaa konvektion ja dif-fuusion vaikutuksesta, vuotavista kanavista sekä vaipan vuotokohdista. Sade yhdessä

tuulen kanssa puskee kosteutta huonosti toteutetun tai huonokuntoisen ulkovaipan rakoihin, joista alipaineinen ullakkotila imee kosteutta sisään ja vuorotellen jäätyvä ja sulava kosteus vesikatolla voi rikkoa rakenteen niin, että sadevesi ja sulava lumi ja jää pystyy valumaan vetenä ullakolle. Kostean ilman on päästävä poistumaan ullakkotilasta ulkoilmaan kosteusvaurion välttämiseksi. Harjakattoisissa pientaloissa ullakon tuuletus toteutetaan tuuletusilma-aukoilla, jotka sijoitetaan räystäään sisälle (tuuletusrako) ja poistoilma-aukot päätykolmion huipulle. Kun sisään ullakolle virtaava ilma on kylmempää kuin tuuletusrako, sen vaikutus on kuivattava. Ilman ollessa lämpimämpää kuin tuuletusrako, se tuo mukanaan myös enemmän kosteutta, joka voi tiivistyä tuuletusraon pinnoille. Tuuletusaukkoja tulisi olla 1 dm² jokaista yläpohjan 10 m²:n kohden, mutta yli 15 metrin pituisissa ullakkotiloissa tai katon korkeuserojen poikkaistessa tuuletusraon käytetään alipainetuuletinta (kuva 11). Vielä pidemmissä ullakoissa alipainetuuletinta täytyy käyttää 15 m:n välein. Tuuletin nimensä mukaan luo alipaineen, joka imee ilmaa ja kosteutta pois ullakolta.



Kuva 11. Alipainetuuletin.

Tuuletusrako toimii savupiippuvaikutuksen mukaisesti, aurinko ja rakennuksen alemmista kerroksista johtuva lämpö lämmittää tuuletusraon ilman, joka kohoaa ylöspäin. Tuuletuksen poistoilma-aukon tulee olla siten korkealla, ettei sen yläpuolelle pääse kertymään kosteaa ilmaa (kuva 12). Suurissa ullakkotiloissa tuuletusilma voi tulla kosteuden suhteen kylläiseksi, eli se ei voi sitoa enää lisää kosteutta, vaikka ympäröivissä rakenteissa olisikin kosteutta. Kylläinen ja kostea ilma ja poistoilma-aukon kylmä ilma tarkoittavat runsasta kondensoitumista, joten etenkin pystysuunnassa olevan alipainetuulettimen alle on hyvä asentaa kondenssivesiallas. Tässä opinnäytetyössä ei perehdytä syvemmin kattorakenteisiin. [20]



Kuva 12. Toimiva ullakon tuuletus [20].

3.3 Lämmön talteenotto

Lämmön talteenottolaite voi olla ilmastointikoneen tasa- tai ristivirtalevyllämmönsiirrin, erityinen ilmastointikoneeseen asennettava ilmapumppu, poistoilmakanavaan asennettava poistoilmalämpöpumppu (PILP) tai vesikatolle asennettava lämmön talteenottohuipputimuri (LTOH). Pyöriväkennoisella lämmönsiirtimellä on hieman parempi vuosihyötysuhde kuin kiinteillä (kuva 13).

Pientalon ilmavirtojen pienentäminen kovalla pakkasella minimoi poistoilmakanavan kondensoitumista ja LTO-kennojen huurtumista. Modernissa järjestelmässä termostaatti säättää tuloilmavirtauksen virtaa pienemmäksi, kun jäteilma on liian kylmää tällöin sisäilmaan ei sekoitu viileää tuloilmaa, ilmankosteus poistuu asunnosta eikä poistoilman kylmyys aiheuta hallitsematonta kondensoitumista (kondensoitumista ei voi lopettaa kokonaan).

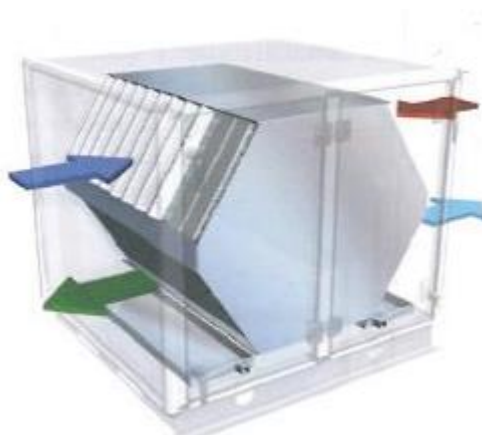
	Nestekiertoinen lämmönsiirrin	Levylämmönsiirrin	Pyörivä lämmönsiirrin
Hyödyt	<ul style="list-style-type: none"> - ei ilmavirtojen sekoittumista - kanavat voivat olla toisistaan erillään - helppo asentaa olemassa olevaan järjestelmään - hyvät säätömahdollisuudet 	<ul style="list-style-type: none"> - tiivis, - vähän liikkuvia tai hajoavia osia - hyvät pinnoitusmahdollisuudet - alhainen hinta - helppo huollettavuus 	<ul style="list-style-type: none"> - hyvä lämpötilasuhde - pieni koko - kyky siirtää kosteutta - alhainen jäätymisvaara
Haitat	<ul style="list-style-type: none"> - vaatii säätöjärjestelmän - vaatii jäätyminenestoainetta, joka laskee hyötysuhdetta 	<ul style="list-style-type: none"> - ei kestä korkeita lämpötiloja - huurtumisaltis - hanavien on johdettava yhteen - huuri tilantarve muihin nähden 	<ul style="list-style-type: none"> - ilmavirrat saattavat sekoittua - liikkuvat osat lisäävät huollon tarvetta, - veden kondensoitumisvaara - ilmakehät on johdettava yhteen
Lämpötilasuhde	40–60 %	40–60 %, vastavirtasiirtimessä jopa yli 80 %	75–85 %

Kuva 13. Lämmönsiirrinten vertailutaulukko [22].

3.4 PILP

PILP eli poistoilmalämpöpumppu hyödyntää poistoilman lämpöenergian siirtämällä sitä työllä (pumppaamalla) tuloilmaan, jolloin lämpöä ei mene hukkaan jäteilman mukana. Koska LTO:n toimintatehokkuus riippuu ilman energiasisällöstä, PILP vaatii toimiakseen koneellisen tulo-poistoilman, tai vähintään koneellisen poistoilman, jossa ilmavirta on vakaa painovoimaiseen verrattuna. PILP:n toimintaa ei voi tehostaa lisäämällä poistoilmavirtaa, koska tämä saattaisi painetasapainon epätasapainoon ja sisään syntyvä liiallinen alipaine loisi hallitsemattomia korvausilmavirtoja vaipan läpi aiheuttaen vetoa, kosteusvaurioriskin ja tuomalla huoneistoon ulkoilman ja rakenteiden epäpuhtauksia. Kuten muissakin ilmavirtojen tarkkaa säätöä vaativissa ilmanvaihtolaitteissa, myös poistoilmalämpöpumppujen aiheuttamista kosteusvaurioista iso osa johtuu tilan käyttäjien tekemistä säädöistä, jotka saattavat laitteiston epätasapainoon. [1]

3.5 Levylämmönsiirtimet



Kuva 14. Vastavirtalämmönsiirrin

Levylämmönsiirtimet koostuvat pakasta lämpöä johtavia levyjä, joiden väleistä johdetaan joka toisesta välistä kylmää ulkoilmaa ja toisesta lämmintä poistoilmaa. Lämpö johtuu levyjen kautta kylmään ilmaan ilman, että ilmat sekoittuvat. Levylämmönsiirtimet eivät pyöriväkennoisten regeneraatioisten lämmönsiirtimien tapaan siis siirrä kosteutta ja epäpuhtauksia. Vastavirtalevylämmönsiirtimissä poistoilma ja ulkoilma johdetaan levypakkaan samalta puolelta ja ristivirtalevylämmönsiirtimissä eri puolilta IV-konetta. Ristivirtalämmönsiirtimien lämmön talteenoton hyötysuhde on 60–65 %, kun taas vastavirtalämmönsiirtimien (kuva 14) hyötysuhde voi olla parhaimmillaan yli 80 %.

Suurin kosteusongelmariski levylämmönsiirtimissä syntyy, kun lämmin ilman kohtaa liiallisesti kylmenneen levyn ja levyn pinnalle alkaa muodostua huurretta. Huurtuminen alkaa ”kylmästä kulmasta”, joka on kylmenneen jäteilmän ja kylmän ulkoilman yhteisvaikutuksesta syntynyt kohta, jossa levyn lämpötila laskee 0 °C:n alapuolelle. Huurtumisenestotekniikka on levylämmönsiirtimen tärkeimpiä ominaisuuksia. Tyypillisesti ilmavirrat on jaettu automatiikan ohjaamiin sulkupelleillä säädettäviin lohkoihin. Kun yhteen lohkoista on muodostunut huurretta, sen ulkoilmavirta johdetaan ohivirtauksena niin, että lohkon lämmin poistoilma sulattaa lohkon huurteen. Huurteenpoiston aikana lämmönsiirtoa ei tapahdu kyseisessä lohossa, mutta muut lohkot jatkavat toimintaansa toiminnon aikana normaalisti. [22]

Kovilla pakkasilla, kun ulkoilma on lämmönsiirron ja huurtumisen kannalta levylämmönsiirtimelle liian kylmää, voidaan käyttää ulkoilmakanavassa esilämmityspatteria, joka nostaa ulkoilman lämpötilan esimerkiksi -18 °C :seen. Tällöin ilma ei ole kohtuuttoman kylmää yksin $+22\text{ °C}$:n poistoilman lämmitettäväksi. [1]

3.6 Pyörivä lämmönsiirrin

Regeneratiivinen LTO on lämmöntalteenottolaite, joka siirtää lämpöenergian lisäksi myös kosteutta. Kosteutta siirtyy pyörivässä lämmönsiirtimessä, kun ulkoilman lämpötila laskee siten alhaiseksi, että siirtimen lämpötila poistopuolella laskee kastepisteeseen. Kun lämmin ja kostea poistoilma kohtaa viileän LTO:n, poistoilmasta kondensoituu kosteutta lämmöntalteenottokiekon pinnalle. Poistopuolen kondensoituneeseen veteen voi poistoilmasta liueta epäpuhtauksia, jotka höyrystyvät takaisin huoneilmaan tulopuolelta. Tämä kondensoitunut vesi kulkeutuu kiekon pyöriessä tuloilmapuolelle, josta kondensoitunut vesi sitten haihtuu kuivaan tuloilmaan. Kosteuden siirtoa voidaan tehostaa siirtimessä päällystämällä siirtimen pinnat aineella, joka imee ilmasta kosteutta. Tällaisia aineita kutsutaan hygroskooppisiksi aineiksi. Tällä tavalla pinnoitetuista siirtimistä käytetäänkin termiä hygroskooppinen siirrin. [6, s. 121.]

Lämmöntalteenottokennon jäätyminenestoautomaatiikka on ilmanvaihtolaitteen tärkein ominaisuus. Sen toiminta ratkaisee ilmanvaihtolaitteen energiankulutuksen ja luotettavan toiminnan talvipakkasilla. Erillisiä kosteusantureita käytettäessä ilmanvaihtoa tehostetaan automaattisesti saunan ja suihkun jälkeen. Ilmanvaihtoa pienennetään, kun märkätilat ovat kuivuneet.

Pyörivää lämmönsiirrintä ei voi käyttää, mikäli tulo- ja poistoilmavirrat eivät saa sekoittua yhtään. Pyörivässä lämmönsiirtimessä aina pieni osa poistoilmasta kulkeutuu tulopuolelle ja päinvastoin. Kulkeutumivuodon osittaiseksi estämiseksi käytetään joissain tapauksissa ns. puhtaaksipuhallussektoria, jossa sektori lämmönsiirtokiekosta peitetään poistoilman puolella, jolloin kiekon pyöriessä sekoittuvan tulo- ja poistoilman määrä vähenee. Staattisen paine-eron aiheuttamaa haitallista ilmavuotoa voidaan ehkäistä käyttämällä tulo- ja poistoilmapuolten välissä harjamaista tiivistettä, vähentämällä paine-eroa muulla tavoin tai ohjaamalla vuoto tarkoituksellisesti ulkoilmasta kohti jäteilmaa.

3.7 Ilmalämpöpumppu ja konvektori

Ilmalämpöpumppujen ja konvektoreiden, kuten kaikkien samanaikaisesti tulevaa ja poistuvaa ilmaa käsittelevien laitteiden tai jäähdytyslaitteiden, sisällä tapahtuu kondensoitumista. Kondenssiveden kertyminen laitteen sisälle on hyvin tiedostettua, ja vesi on tyyppillisesti säilyttänyt hetkellisesti laitteen sisällä olevaan kaukaloon ja sitä kautta pumpulla kondenssiveden poistoputkella viemäriin. Kun kondenssiveden poisto laitteesta on toteutettu pumpulla eikä painovoimaisesti, vettä jää seisomaan kondenssivesiputkeen, joka voi ajan saatossa kasvaa täyteen tukkivaa limaa. Myös kondenssiveden poistopumppu voi rikkoutua, jolloin vesi kertyy laitteen sisälle. Kertyvä vesi täyttää aikanaan kondenssivesialtaan ja pääsee tuhoisasti kosketuksiin laitteen sähköosien kanssa tai virtaa suoraan tilan lattialle. Kondenssiveden potentiaaliset riskit ovat ammattilaispiireissä hyvin tunnettuja, mutta kuluttajat unohtavat usein säännöllisen huollon. Kondenssivedet johdetaan altaasta poistoputkea pitkin hajulukolliseen lattiakaivoon. Kondenssivesi pitää kaivon hajulukon märkänä jos kondenssivesi ei liiku toivotusti seurauksena on kosteusvaurioiden, LTO:n tai konvektorin rikkoutumisen lisäksi myös hajulukon toimimattomuuden seurauksena hajuhaitat. [23]

3.8 Rakennusten ryömintätilan tuuletus

Ryömintätilat ovat alttiita kosteuden vaikutukselle, koska ne ovat suoraan yhteydessä maapohjaan sekä sen kosteus-, lämpö- ja mikrobivaikutuksille. Maaperä varaa lämpöä tehokkaasti, joten ryömintätilan ilma on tavallisesti kesällä viileämpää- ja talvella lämpimämpää. Kesällä lämmin tuuletusilma luo ryömintätilaan homeen kasvulle erinomaisen 75 — 80 % suhteellisen ilmakeuuden tai saavuttaa kastepisteen. Vanhemmissa rakennuksissa on ajan tapan saatettu jättää paikallavalutöiden muottipuut ja muuta orgaanista jätettä ryömintätilan pohjalle, jolloin home pystyy menestymään ryömintätilassa erinomaisesti.

Kun ryömintätilaan asennetaan tuuletusaukko, tilaan kesällä päässyt kosteus kuivuu talven kuivasta tuuletusilmasta. Kosteuden siirtyminen tilaan kapillaarisesti voidaan minimoida tehokkaasti oikean huokoisella pohjamateriaalilla ja toimivilla salaojilla.

Mikäli kosteuden kapillaarinen nousu maapohjasta on estetty, tuuletettavan ryömintätilan kosteus seuraa viiveellä ulkoilman vesisisältöä eli absoluuttista kosteutta. Kosteus on suurimmillaan loppukesällä ja pienimmillään talven vaihtuessa kevääksi. Jos alapohjassa on puurakenteita, ilmankosteus ryömintätilassa ei saisi lämpötilan ollessa nollan yläpuolella nousta yli 80 %:n, jotta vältetään mahdolliselta homekasvulta. [9]

3.9 Korvausilma

Kun rakennuksessa on vain koneellinen poistoilma, tuloilma on suotavaa tuoda rakennukseen korvausilma-aukoista, jotta ilman tuloreitit ja puhtaus pysyisivät hallinnassa. Korvausilma-aukko voi olla korvausilmaventtiili, ikkunan karmiventtiili tai tuloilmaikkuna (kuva 9), jossa toisin kuin karmiventtiilissä ulkoilma kiertää ikkunalasien välissä esilämmitäten ilmaa jopa 10 °C. Tyypillisesti tuloilmaikkunan ja karmiventtiilin säätömahdollisuudet ovat käsisäätöiset kesä-talvi-asennot. Moderni korvausilmaventtiili pitää sisällään termostaatin, suodattimen ja on ääntä vaimentava, mikä minimoi käyttäjän tarpeen säätää venttiiliä itse. Maallikkokäyttäjä saattaa helposti sulkea käsisäätöisen korvausilmaventtiilin kokiessaan vetoa, hajua tai melua venttiilin kautta, jolloin ilmanvaihto häiriintyy pahasti.

Alipaineinen tila voi ottaa korvausilmaa rakenteiden kautta etenkin, mikäli korvausilma-aukot on tukittu. Tällöin huomattava osuus korvausilmasta voi tulla epäedullisia reittejä esim. alapohjarakenteen kautta, ja ilmavirtauksien mukana voi tulla maaperästä mm. kosteutta ja mikrobiperäistä hajua. Savupiippuvaikutus vaikuttaa myös ala- ja yläpohjan rakenteissa. Huonosti eristettynä lämpötilaero kasvaa nopeasti tilan- ja ulkoilman välillä, jolloin savupiippuvaikutuksesta johtuen ala- tai yläpohjasta voi työntyä ilmavirtauksia, hajuja ja mikrobeita huonetilaan. [10]

3.10 Ilmanvaihtokone

Poistoilmanvaihtokoneen sammuttaminen muuttaa tilan painetasapainoa ja sallii huoneilman nousta tuloilmakanavaan. Mikäli huoneiston ilma on kostea (pyykit ovat kuivumassa tai sauna on ollut päällä), tuloilmakanavaan kondensoitunut vesi valuu huoneiston lattialle. Vesilämmitteisillä pattereilla varustetut ilmanvaihtokoneet varustetaan jäädytmissuojatermostaattilla. Ilmanvaihtokoneen jäätyminen johtuu siitä, että sulkupellit eivät sulkeudu tarpeeksi tiiviisti ja/tai puhaltimet eivät pysähdy. Koneen tulee olla niin kytkettynä, että se ei pyöri, jos iv-koneen patterissa vettä kierrättävä pumppu ei käy. Ilmanvaihtokoneen, poistoilmapuhaltimen ja mahdollisten peltien tulee sulkeutua, jos jäädytmissuojarele laukeaa (joissakin pientalon puhaltimissa vain tuloilmapuhallin pysähtyy).

Osaksi Suomen koulujen homeongelmista voidaan lukea se, että säästö- tai muista syistä ilmanvaihtokone suljetaan kokonaan, kun tiloissa ei ole opetus- tai iltakäyttöä. [1]

3.11 Liesituuletin

Liesituulettimen poistoilmakanava eristetään yläpohjan lävistävästä kohdasta ylöspäin. Eristyksessä on kondenssin lisäksi huomioitava paloluokkavaatimus EI-30, joka tarkoittaa 50 mm:n paloeristepaksuutta, jonka päälle asennetaan erillinen 50 mm:n kondenssi- ja lämmöneriste (kylmissä tiloissa 100 mm, mikäli kanava ei ole puhallusvillan sisällä). Paloeriste on tärkeä asentaa sisemmäksi eristekerrokseksi, jotta kondenssieriste ei muodostu palokuormaksi kanavan ja paloeristeen väliin. Kuten muissakin ilmanvaihtokanavissa, lämmöneristys on tehtävä huolella kauttaaltaan koko kanavan pituudelta, koska kosteuden tiivistyessä kanavan pinnalle sen yläosissa korkealla asuintilojen yläpuolella vesi valuu painovoimaisesti pystysuoraa hormia pitkin liedelle. Kanavasta valuva tiivistynyt kosteus voi myös päästä kanavan vuotokohdista rikkomaan liesituulettimen elektroniikkaa kuten kuvassa 15. Liesituulettimet, joissa ilman poisto toteutetaan liesituulettimen poistopuhaltimen luomalla ylipaineella, voivat puhaltaa kostea ilmaa eristeisiin pienestäkin aukosta kanavan pinnassa. Huippuimurilla toteutettu kärynpoisto vai kovilla pakkasilla jäätyä, mikäli sulkupellit on suljettu eikä lämmin huoneilma pidä imuria sulana. [24]



Kuva 15. Kohdepoistokanavan irronnut sähköteippitiivistys ja rikkoutunut liesituulettimen moottori. Syynä rikkoutumiseen voi olla sähkövika tai kanavasta päässyt kosteus.

Kun koneellinen poistoilmanvaihto on ylimitoitettu, takka on käytössä yhdessä poistoilmanvaihdon kanssa tai takalta puuttuu riittävä korvausilma, ilmaa virtaa sisään eihaluista paikoista, kuten liesituulettimen kautta. Liesituulettimen poistoilmakanavassa on takaiskuventtiili estämässä ilman virtaamista väärään suuntaan, mutta voimakas sisäpuolen alipaine voi peltien epätiiviyden vuoksi silti tuoda ulkoilmaa haluamattomasti sisään tuulettimen kautta. Etenkin kun takaiskuventtiili on rikki tai ei jään tai kertyneen rasvan takia pysty sulkeutumaan kunnolla, sisään virtaa haluamattomasti ulkoilmaa, joka on talvella kylmää, kesällä hyvin kosteaa ja sisältää kanavan suodattimen mikrobeja. Koska takaiskuventtiili ("perhospelti") sulkeutuu liesituulettimen poistopuhaltimen ollessa pois päältä, se osaltaan estää lämpimän ilman nousun poistoilmakanavaan edistäen kondenssia kanavan viiletessä. Takaiskuventtiili on hyvä sijoittaa kanavaan liesituulettimen ja keittiön katon väliin siten korkealle, että pellin ollessa kiinni lämmin ilma pääsee mahdollisimman korkealle kanavaan, mutta ei niin korkealle, että pelti jäätyisi ja lopettaisi toimintansa. Joissain takaiskuventtiilimalleissa pellin sulkeutuminen on painovoimaista, joten niiden toimiminen vaakatasossa tulee varmistaa. Kuten muussakin koneellisessa poistoilmanvaihdossa, liesituulettimessakin on hyvä pitää jatkuvasti pientä ilmavirtausta, koska kanavaan nouseva ilma lämmittää kanavan sisäpinnat niin, ettei kanavan kondenssivesi jäädy. Kondenssiveden jäätyminen estämiseksi on hyvä kiinnittää huomiota takaiskuventtiilin tiivyyteen ja ilman vapaaseen kulkuun (kuva 16)



Kuva 16. Metallista tiiviimpi kuminen tai muovinen takaiskuventtiili voi haitallisesti estää lämpimän ilman pääsyn kanavaan.

Liesituuletin voi olla yhteydessä ilmanvaihtokoneeseen tai suositeltavasti erillään muusta ilmanvaihtojärjestelmästä omalla huippuimurilla, poistoilmapuhaltimella ja erilliskanaalla. Ilmastointikone ei aina tiedä paljonko ilmaa poistuu tai ei poistuu liesituulettimen kautta. Väärin toimivana kokonaisuutena ilmanvaihtojärjestelmä ottaa ja poistaa ilmaa vääristä paikoista, ja on mahdollista, että tarpeeseen nähden liian tehokas liesituulettimen poistoilmapuhallin tai huippuimuri vetää nokista ja kylmää ilmaa sisään takan piipun kautta, kun korvausilman otto on laiminlyöty.

Nykyaikainen liesituuletin tunnistaa käryn, höyryt ja kaasut sekä käynnistyy ja sammuu automaattisesti huoneilman ollessa puhdasta. Vaihtoehtoisesti liesituulettimen poistoilmakanavaan voidaan asentaa ilmastointikoneen poistoa ohjaava paine-eromittari, joka estää takaisinimeytymisen vähentämällä kokonaispaine-eroa. Ruuanlaitosta syntyvän kosteuden poistuminen on joillain valmistajilla toteutettu takautuvalla sulkemisella, eli tuuletin poistaa ilmaa vielä joitain minuutteja sen sulkemisen jälkeen. Osassa liesituulettimista ei ole mahdollisuutta sulkea virtausta kokonaan, jolloin poistoilmaputkeen virtaa jatkuvasti tasaisesti lämmintä ilmaa estäen kanavan jäätyksen. [24]

4 Kosteusvaurioiden ehkäisy

4.1 Kosteudenhallinnan suunnittelu- ja ohjaus

Ympäristöministeriön asetuksessa 782/2017 rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta esitetään 1.1.2018 voimaan tulevat vaatimukset rakennushankkeeseen ryhtyvän velvollisuudesta laatia rakennusvalvonnalle hankkeen laajuuden mukainen kosteudenhallintaselvitys. Kosteudenhallintaselvityksestä ilmenevät hankkeen yleistiedot, vaatimukset kosteudenhallinnalle eri rakennusvaiheissa, vaatimustenmukaisuuden varmenusmenetelmät sekä kosteudenhallinnan henkilöstöresurssit ja kosteudenhallintakoordinaattori. [25]

4.2 Kuivaketju10

1.1.2017 lähtien Oulussa ja 1.1.2018 mm. Kuopiossa, Siilinjärvellä, Turussa ja Helsingissä rakennusvalvonta on ottanut käyttöön Kuivaketju10:n, joka pitää sisällään kootusti kosteudenhallintaselvityksen edellyttämät hallintamenetelmät.

Rakennuslupahakemuksen yhteydessä kosteudenhallintaselvitykseksi riittää ilmoitus Kuivaketju10:n käyttöönotosta. Kuivaketju10 on Rakentamisen Laatu Ry:n (RaLa) ylläpitämä ja kehittämä toimintamalli, jolla pyritään estämään kosteusvaurioiden synty hankkeen kaikissa vaiheissa kattaen rakennuksen elinkaaren rakennusvaiheesta käyttäjien ylläpitoon. Kuivaketju10:n mukaiset kymmenen riskitekijää on esitetty kuvassa 17. Kuivaketju10 ja muut kosteudenhallintasuunnitelmat sisältävät kosteusriskien kartoituksen, kuivumisaika-arviot, lämmitys-, kuivatus- ja suojaussuunnitelmat, materiaalien ja tarvikkeiden käsittelyohjeet, kuivumisolosuhteiden järjestämisen, kosteudenmittaussuunnitelman sekä päällystämisperusteet.

Kuivaketju10:n käyttö poistaa 80 % :n kosteusvaurioiden seurannaiskustannuksista, sillä urakoitsijat ja suunnittelijat valjastetaan noudattamaan toimintamallia hankkeen alusta alkaen. Kosteuskoordinaattori antaa kuivaketjun mukaiset viittaukset jo tarjouspyyntövaiheessa. Kuivaketju edellyttää urakoitsijoita dokumentoimaan riskikohtien toteutuksen ja kosteuskoordinaattorin tarkastamaan tehdyt dokumentoinnit.

- | | |
|--|---|
| <p>1. Rakennuksen ulkopuolelta tuleva kosteus vaurioittaa perustuksia ja lattiarakenteita.</p> | <p>6. Vesiputkien rikkoutumiset aiheuttavat kiinteistöön laajoja vesivahinkoja.</p> |
| <p>2. Sadevesi pääsee tunkeutumaan ulkoseinärakenteen sisälle.</p> | <p>7. Huonosti toteutetussa märkätilassa kosteus vaurioittaa ympäröivät rakenteet.</p> |
| <p>3. Vesikatteen läpäisevä vesi tunkeutuu aluskatteen vuotokohdista yläpohjaan.</p> | <p>8. Kosteiden betonirakenteiden päällystäminen aiheuttaa päällystemateriaalin turmeltumisen.</p> |
| <p>4. Kosteutta siirtyy ilmansulkerakenteen vuotokohdista ulkoseinä- ja yläpohjarakenteisiin, jonne sitä tiivistyy vedeksi.</p> | <p>9. Materiaalien ja rakenteiden kastuminen vaurioittaa rakennuksen.</p> |
| <p>5. Väärin mitoitettu ja säädetty ilmanvaihto ei poista ylimääräistä kosteutta vaan pakottaa sen siirtymään rakenteisiin.</p> | <p>10. Huonolla ylläpidolla rakennus rapistuu hitaasti mutta varmasti.</p> |

Kuva 17. Kuivaketju10:n toimintamallin riskilista [15].

4.3 LVI-laitteiston työaikainen laadunvarmistus

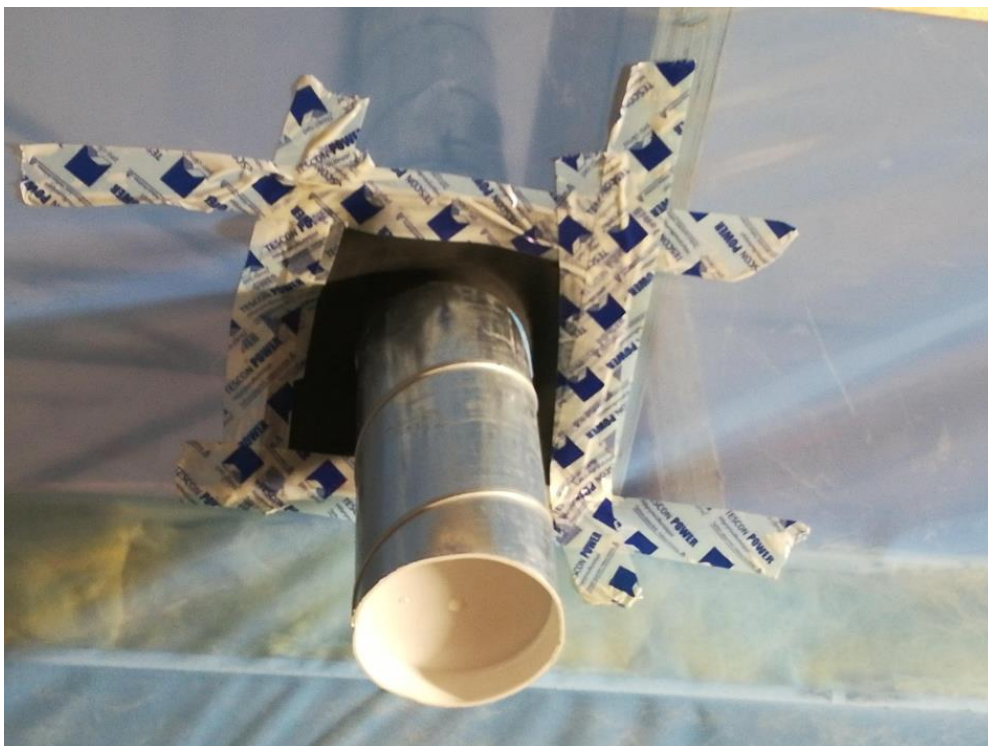
LVI-laitteiden laadunvarmistus alkaa suunnitelmien ja osien tyyppihyväksyntöjen ja soveltuvuuden varmistamisella sekä tarkastamalla, etteivät tuotteet ole jo työmaalle saapua viallisia tai likaisia. Osien tulee olla tehtaalla puhdistettuja ja toimituksen aikana suojattuja. Tuotteet tulee rakennusaikana varastoida asianmukaisesti suojattuina esimerkiksi hyllyyn tai maantasoa ylempänä siten, ettei holvin päällä säilytettynä sade- tai vuotovesi pääse kastelemaan osia. On syytä huomioida kanavaosan sisäpinnalle kondensoitua kosteus, kun osaa on ollut varastoituna kylmässä tilassa, ja asennetaan lämmitettyyn tilaan. Osien kostuminen ja vaurioituminen työmaalla ennen asennusta voidaan minimoida säilömällä mahdollisimman vähän tuotteita työmaalle ja tuotteet pyritään asentamaan suoraan toimituksen saavuttua. Pääurakoitsija osoittaa IV-urakoitsijalle varastointialueen, jossa tuotteet voidaan säilöä järjestyksessä, puhtaasti ja turvallisesti. [16]

IV-työn tarkastusasiakirjaan kirjataan laadun valvonnaksi suoritettut asennukset ja mitaukset. Tarkastusasiakirjaan kirjataan rakennuslupa- ja ehdot, LVI-suunnitelmien virallistaminen, kanaviston asennustarkastus, tiiviyskoe pöytäkirjoineen, eristeiden tarkastaminen, kanavavarusteiden tarkastus (palopellit, äänenvaimentimet, säätöpellit), paloviranomaisten ilmanvaihtolaitteiden paloturvallisuustarkastus pöytäkirjoineen, venttiileiden tarkastus sekä toimintakokeet ja ilmamäärien mittaus ja säätö pöytäkirjoineen. [17]

4.4 Rakenteiden tiiviysmittaus

Pyrittäessä pitämään rakennuksen sisäilma alipaineisena on ensisijaisen tärkeää, että rakenteissa ei ole alipaineen pitämistä vaikeuttavasti vuotokohtia. Mikäli rakenteet vuotavat, sisäilman paine tasautuu hallitsemattomalla korvausilmalla rakenteiden läpi, jolloin koneellinen ilmanvaihto häiriintyy, ilmankosteus pääsee liikkumaan rakenteessa haitallisesti ja lämmöntalteenotto, energiatehokkuus sekä sisäilman puhtaus laskevat.

Myös energiatodistuksen vertailuluvun (E-luku) laskentaan tarvittavan ilmanvuotoluvun q50 määrittämiseksi tehdään rakennuksen tiiviysmittaus.

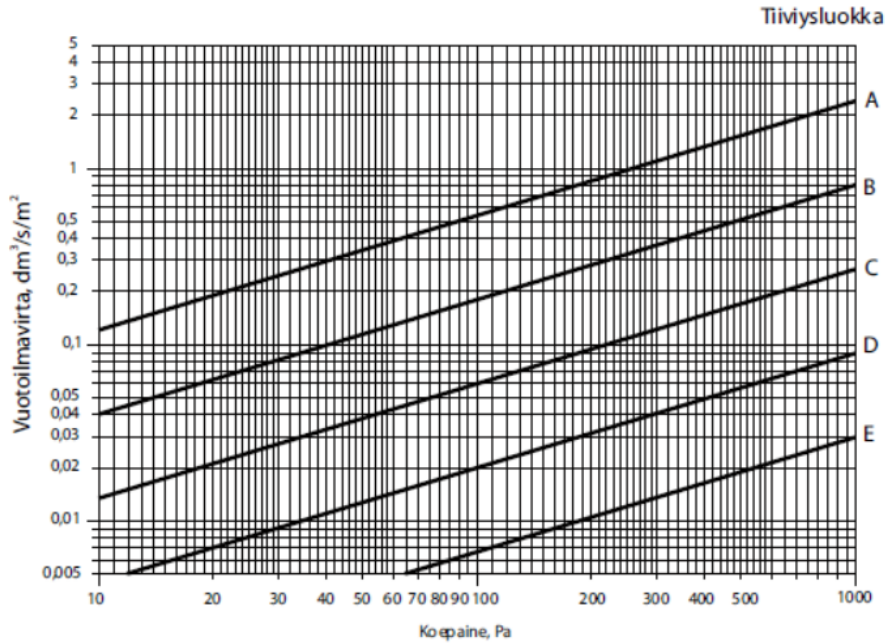


Kuva 18. Läpivientimansetti tulee kiinnittää höyrynsulkumuoviin siihen tarkoitettulla teipillä tiiviysvarmistamiseksi.

Rakenteen tiiviysmittauksessa tilaan luodaan 50 Pa:n paine-ero sulkemalla hormit ja aukot sekä asentamalla oviaukkoon tai tuuletusikkunan aukkoon poistopuhallin. 50 Pa:n lisäksi mittaus tehdään usealla muulla paineella (vähintään viidellä). Paine-eromittausten perusteella lasketaan 50 Pa:n paine-eroa vastaava ilmamäärä, joka jaetaan tilan ilmatilavuudella ilmanvuotoluvun- n_{50} (1/h) tai vaipan alalla ilmanvuotoluvun q_{50} $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ saamiseksi. Ilmanvuotoluvun q_{50} vielä menettelevänä ylärajana pidetään lukemaa 4 $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$. [18]

4.5 IV-laitteiston tiiviysmittaus

Pientaloissa tai yhtä asuntoa palvelevissa ilmanvaihtojärjestelmissä tiiviysmittauksen sijaan voidaan tehdä asennustarkastus, mikäli on käytetty tiiviysluokan C tehdasvalmisteisia kanavaosia. Suuremmissa rakennuksissa kaikkia kierresaumakanavia ei ole tarpeen tiiviysmitata. Suurimmissakin rakennuksissa kaikki kanttikanavia ja itse valmistetuja osia sisältävät kanavaosat mitataan. Korjauskohteissa, joissa kanavaosat säilytetään, mutta laitteita vaihdetaan, on syytä toteuttaa kanavien tiiviyskoe ennen ja jälkeen laiteasennuksia vertailun vuoksi. Uusien päätelaitteiden tai IV-kojeen asennuksen jälkeiseen toivottuun tiiviyteen pääsemiseksi on hyvä tietää kanavan tiiviyden lähtötilanne.



Kuva 19. Suurimpien sallittujen vuotoilmavirtojen käyrästä tiiviysluokittain [4].

Kokeen toteuttamiseksi määritetään kanavalle sallittu vuotoilmavirta sen tiiviysluokan perusteella kuvan 19 taulukosta ja lasketaan kanaviston vaipan ala.

Mitattavaan kanavaan luodaan puhaltimella vähintään 200 Pa:n koepaine (yleensä 300 Pa) luokan A kanavistolle ja 1 000 Pa:n koepaine luokkien B ja C kanavistoille. Tilavuusmittari laskee, paljonko kanavasta vuotaa ilmaa koepaineessa ja tuloksesta saadaan vuotoilmavirta ($\text{dm}^3/\text{s}/\text{m}^3$). Esimerkiksi kuvan 19 mukaan C luokan vuotoilmavirta 300 Pa:n koepaineella saa olla noin $1,1 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^3$. [19]

5 Yhteenveto

Suurimpina ilmanvaihdon aiheuttamina kosteuden hallinnan riskeinä voidaan työn perusteella pitää koneellisen ilmanvaihdon yli- ja alimitoitusta, kanavaosien puutteellista eristämistä ja huollon laiminlyömisestä johtuvaa laitteiden rikkoutumista. Kosteuden siirtymistapojen esittäminen auttaa hahmottamaan kostean ilman fysikaalisten toimintojen

monimuotoisuutta ja sitä, kuinka lopulta juuri mikään ei ole "itsestään" suojassa kosteudelta.

Ilmanvaihtoa pidetään usein itsestäänselvyytenä ajoilta, jolloin painovoimainen ilmanvaihto on ollut oikeastaan ainut vaihtoehto. Tekniikka on kehittynyt vanhoilta ajoilta, mutta käyttäjien mentaliteetti laahaa perässä. Säästeliäät rakentajat ja tee se itse-miehet esimerkiksi jättävät jäteilmakanavan eristämättä ajatellen, ettei poistuvaa ilmaa tarvitse lämmittää "harakoille". Yksinkertaisista virheistä muodostuu helposti vältettäviä, mutta vakavia riskejä. Työ on onnistunut yhdistämään ilmanvaihdon kosteudenhallinnan periaatteet työmaa-aikaisen- ja tavallisen käyttöajan olosuhteissa kattaen mahdollisimman suuren osuuden rakennuksen elinkaaresta.

- 1 1 Seppänen Olli. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry.
- 2 2 Lämmön- ja kosteudeneristys. 1984. Rakennusinsinööriliiton julkaisu 155.
- 3 3 Jones W.P. 1967 Air Condition Engineering Oxford Butterworth-Heinemann.
- 4 4 Ympäristöministeriön asetus 1009/2017 uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2018.
- 5 5 Matilainen Veijo. 2012. Koneellisen poistoilmanvaihdon mitoittaminen ja ilmavirtojen mittaaminen. Verkkoaineisto. Dir-Air Oy. http://www.dir-air.fi/assets/files/ohjeet/Asuinrakennusten_ilmanvaihdon_mitoitus.pdf. Luettu 13.4.2018.
- 6 6 Humala Henri. 2014. Insinööritoimisto SRT Oy:n käyttämien ulkoseinä- ja yläpohjarakenteiden lämpö- ja kosteustekninen käyttäytyminen. Opinnäytetyö. Savonia. Theseus-tietokanta.
- 7 7 Ripatti Harri, Säteri Jorma. 2006. Ilmanvaihdon parannus ja korjausratkaisut. Verkkoaineisto. Retermia Oy. http://www.retermia.fi/html/kuvat/paino/MIV_osa2.pdf. Luettu 17.2.2018.
- 8 8 LVI-järjestelmien vaikutus. 2008. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys Ry. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteusvaurioituminen/LVI-jarjestelmien-vaikutus>. Luettu 22.12.2017.
- 9 9 Ilmankosteus. Verkkoaineisto. Tekeville. <http://www.tekeville.fi/ilmankosteus>. Luettu 12.2.2018.
- 10 10 Kuinka sijoitan korvausilmaventtiilit? Verkkoaineisto. Terveysilma. <http://www.terveysilma.fi/fi/ilmanvaihto>. Luettu 6.11.2017.

- 11 11 Outinen Katja. 2016. Rakennusten kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75517/YO_2016_Kuntotutkimusopas.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Luettu 17.9.2018.
- 12 12 Thermoplus. Verkkoaineisto. Biobe. <http://biobe.fi/tuotteet/venttiilit/thermoplus.htm> Luettu 6.7.2018.
- 13 13 Salmi Kari. 2013. Ilmakanavien tiiviys pientaloissa. Työterveyslaitos. <http://www.sisailmayhdistys.fi/wp-content/uploads/2013/09/Kari-Salmi.pdf>. Luettu 13.5.2018.
- 14 14 Leskinen Arto. 2018. Kuivaketju10 rakennusprosessissa. Opinnäytetyö. Savonia. Theseus-tietokanta.
- 15 15 Kuivaketju10.fi. Verkkoaineisto. <http://kuivaketju10.fi/>.
- 16 16 Tienhaara Juha. 2016. P1-puhtausluokan vaatimukset työmaalla. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 17 17 Seinäjoen rakennusvalvonta. IV-työn tarkastusasiakirja.
- 18 18 Paloniitty Sauli. 2013. Hämeen ammattikorkeakoulu. Rakennusten tiiviysmittaus. Verkkoaineisto. <https://docplayer.fi/6931136-Rakennusten-tiiviysmittaus.html>. Luettu 27.10.2018.
- 19 19 LVI-laitosten laadunvarmistusmittaukset: Kanaviston Tiiviysmittaus. OAMK.
- 20 20 Halme Merja. 2017. Toteuta lisäeristys oikein: 1920-40-lukujen talot. Verkkoaineisto. <https://www.meilläkotona.fi/artikkelit/toteuta-lisaeristys-oikein-1920-40-lukujen-talot> Luettu 30.10.2018.

- 21 21 Ilmavirtaukset rakennuksessa. 2008. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys Ry. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Ilmavirtaukset-rakennuksessa>. Luettu 27.10.2018
- 22 22 Heat exchangers. 2014. Verkkoaineisto. Ipieca. <http://www.ipieca.org/resources/energy-efficiency-solutions/efficient-use-of-heat/heat-exchangers/> Luettu 13.11.2018.
- 23 23 Juurikka Satu. 2018. LVI-asennukset pientaloissa. Opinnäytetyö. TAMK. Theseus-tietokanta.
- 24 24 Liesituuletin tiputtaa vettä sisään. Verkkoaineisto. Rakentaja.fi. https://www.rakentaja.fi/vastauspalvelu/ilmanvaihto_taysin_koneellinen/liesituuletin_tiputtaa_vetta_sisaan_36358.htm Luettu 27.8.2018.
- 25 25 Ympäristöministeriön asetus 782/2017 kosteusteknisestä toimivuudesta. 2018.
- 26 26 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet 107-2012. 2012. Rakennusinsinööriliiton julkaisu 107-2012.