

Sisäilmastolliset tekijät rintamamiestalon perusparannuksen lähtökohtina



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Hämeen ammattikorkeakoulu, rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK

Kevät, 2018

Tero Koskenoja

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK
Hämeen ammattikorkeakoulu, Visamäki

Tekijä	Tero Koskenoja	Vuosi 2018
Työn nimi	Sisäilmastolliset tekijät rintamamiestalon perusparannuksen lähtökohtina	
Työn ohjaaja	Anssi Knuutila	

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli esittää perusparantamattoman rintamamiestalon sisäilmastoon vaikuttavia tekijöitä sekä laskennallisesti osoittaa sisäilmastolliset olosuhteet. Tavoitteena oli koota yhteen keinoja, jotka ohjaavat korjaustyötä parempaan sisäilmastoon ja sisäilman laatuun. Työn tarkoituksena oli antaa tarvittavat tiedot sisäilmastollisista olosuhteista rintamamiestalon perusparannuksen suunnitteluun.

Rintamamiestalot ovat hengittävillä rakenteilla ja painovoimaisella ilmanvaihdolla toteutettuja rakennuksia. Hengittävillä rakenteilla on rakennuksen sisäilmastoa ja sisäilman laatua tasoittava vaikutus. Ne vaikuttavat muun muassa sisäilman kosteus- ja hiilidioksidin pitoisuuteen ja ovat turvallisia rakenteiden kosteusteknisen toiminnan kannalta. Painovoimaiset ilmanliikkeet muodostavat rakennukseen painejakaumia, jotka vaihtelevat olosuhteiden, kuten lämpötila- ja korkeuserojen, vuoksi. Olosuhteiden suuret muutokset tarkoittavat myös suuria muutoksia esimerkiksi painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaan. Tuulella on oleellinen vaikutus rakennuksen painejakaumiin ja painovoimaisiin ilmanvaihdon määriin.

Lopputuloksena oli, että painovoimaisella ilmanvaihdolla ja hengittävillä rakenteilla toteutettu rintamamiestalo voi olla lähtötilanteeltaan haasteellinen. Onnistuneen korjaussuunnittelun ja toteutuksen tuloksena saadaan sisäilmastolliset olosuhteet ja sisäilman laatu merkittävästi nousemaan. Painovoimainen ilmanvaihto ja hengittävät rakenneratkaisut ovat käyttökelpoisia korjausrakentamisen vaihtoehtoja. Painovoimaisen ilmanvaihdon haasteena on kesäaikainen ilman vaihtuvuus, jota täytyy tehostaa tuuletuksella.

Avainsanat rakennuksen kokonaisvaltainen toiminta, hengittävä rakenne, painovoimainen ilmanvaihto, sisäilma ja sisäilmasto

Sivut 87 sivua, joista liitteitä 34 sivua

Degree Programme in Construction Engineering
Visamäki

Author	Tero Koskenoja	Year 2018
Subject	Indoor air quality as the basis of renovation in veteran houses	
Supervisor	Anssi Knuutila	

The purpose of this Bachelor's thesis was to examine the cause-and-effect affecting the indoor air and indoor climate of an old timber-framed veteran house. The formation of indoor climate and the qualitative factors of indoor air were discussed on a theoretical level. The factors of the indoor climate include, e.g. thermal conditions, and indoor air quality factors include, e.g. indoor air impurities and humidity. The aim was to find ways to finish renovation directing to achieve better indoor air quality and a more energy efficient structures. The thesis focuses on presenting material properties and understanding the overall behavior of a building.

Breathable structures level off the indoor climate and indoor air in terms of humidity, carbon dioxide and moisture performance. The gravitational motion produces pressure distribution in a building varying due to the properties the building's conditions and properties. The gravitational motion without movement was dealt with on a theoretical level and the fluids it needs were described. The properties of breathable wood-based structural solutions were also discussed on a theoretical level including building pressure relations and ventilation.

The results of the thesis show that a veteran house equipped with natural ventilation and breathable structures is challenging. The amount of gravity ventilation is below the standard level during the summer time when the pressure differences between indoor air and outdoor air are small. Good moisture properties of breathable structures compensate for the relative humidity of the indoor air and allow good moisture performance of the structures. Through proper renovation design and implementation a significant increase in the quality of indoor climate and indoor air can be achieved. Natural ventilation and breathable structures are useful alternatives in renovation building.

Keywords overall behavior of a building, breathable structure, natural ventilation, indoor air, indoor climate

Pages 87 pages including appendices 34 pages

KÄSITTEET

Diffuusio on kaasumolekyylien liikettä, joka pyrkii tasoittamaan kaasuseoksessa olevia yksittäisen kaasun pitoisuseroja tai osapaine-eroja. Diffuusiossa kaasu siirtyy korkeammasta pitoisuudesta alempaa pitoisuutta kohtaan. (RIL 255-1-2014.)

Huonelämpötila tarkoittaa ilman lämpötilaa oleskeluvyöhykkeellä (Ympäristöministeriö 2017).

Höyrynsulku on ainekerros, joka estää haittaa aiheuttavan vesihöyryn diffuusion rakenteeseen tai rakenteessa (Ympäristöministeriö 2017).

Ilman absoluuttinen kosteus tarkoittaa ilman vesihöyrypitoisuutta g/m^3 (Kokko 2002, 8).

Ilman suhteellinen kosteus ilmoittaa ilman sisältämän vesihöyryn määrän suhteen kyllästystilassa olevan ilman vesihöyryn määrään (Kokko 2002, 8).

Ilmansulku on ainekerros, joka estää haittaa aiheuttavan ilman virtauksen rakenteen puolelta toiselle (Ympäristöministeriö 2017).

Ilmanvaihto tarkoittaa sisäilman laadun ylläpitämistä ja parantamista huoneen ilmaa vaihtamalla (Ympäristöministeriö 2017).

Konvektio syntyy, kun kaasu tai neste virtaa ulkopuolisen voiman tai lämpötilaerojen aiheuttamien tiheuserojen vaikutuksesta. Lämpö ja vesihöyry siirtyvät konvektiolla virtaavan ilman mukana. (RIL 255-1-2014.)

Kosteus on vettä kaikissa sen olomuodoissa. Vesi voi olla fyysikaalisesti sitoutuneena materiaaliin. Se voi olla höyryä, jäätä tai nestettä. (Kokko 2002, 8.)

Kosteuden faasimuutos on kosteuden olomuodon muutosta (Kokko 2002, 8).

Materiaalin hygroskooppisuus tarkoittaa aineen kykyä sitoa itseensä ilman sisältämää vesihöyryä ja luovuttaa sitä takaisin ilmaan (Kokko 2002, 8).

Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä on järjestelmä, jonka toiminta perustuu paine-eroihin. Paine-eroja aiheuttavat korkeus- ja lämpötilaerot sekä tuuli. Paine-erojen vaikutuksesta ilmaa virtaa ulos rakennuksesta ja tilalle tulee ulkoilmaa. (Ympäristöministeriö 2017.)

Poistoilma on ilmaa, joka poistetaan huonetilasta (Ympäristöministeriö 2017).

Siirtoilma on ilmaa, joka johdetaan tilasta toiseen (Ympäristöministeriö 2017).

Sisäilmasto tarkoittaa kokonaisuutta, joka muodostuu rakennuksen kemiallisten, fysikaalisten ja mikrobiologisten olosuhteiden yhteisvaikutuksesta (Ympäristöministeriö 2017).

Sorptiokapasiteetilla tarkoitetaan kosteuskapasiteettia eli vesihöyrymäärää, jonka hygroskooppisessa tasapainotilanteessa oleva ja hygroskooppiin tasapainotilaan päätyvä rakenne ja siinä olevat aineet kykenevät vastaanottamaan tai luovuttamaan, kun ympäristön suhteellinen kosteus muuttuu tietyn määrän (Kokko 2002, 8).

Tehollisella sorptiokapasiteetilla tarkoitetaan sitä vesihöyrymäärää, jonka rakenne ja siinä olevat hygroskooppiset aineet kykenevät vastaanottamaan tai luovuttamaan, kun ympäristön suhteellinen kosteus muuttuu kulloinkin erikseen määriteltävällä tavalla. Tehollisen sorptiokapasiteetin käsite on tarpeen siksi, etteivät rakenteet ja niissä olevat aineet yleensä ehdi saavuttaa hygroskooppista tasapainokosteutta, kun ympäristön suhteellisessa kosteudessa tapahtuu jo seuraava muutos. Tyypillisesti huoneilman kosteuden muutokset tapahtuvat vuorokausirytmillä (esim. asunnot, toimistot, koulut jne.). Tehollinen sorptiokapasiteetti on siten vain osa tasapainotilan sorptiokapasiteetista ja sitä suurempi, mitä suurempi on aineen hygroskooppinen tasapainokosteus ja vesihöyryn läpäisevyys. Hengittävän rakenteen peruselementti on suuri tehollinen sorptiokapasiteetti, joka vastaa joustavasti huonetilan kosteuskuormitusten nopeisiin muutoksiin. (Kokko 2002, 8.)

Tuloilma on ilmaa, joka tuodaan huonetilaan (Ympäristöministeriö 2017).

Tuulensuoja on ainekerros, jonka pääasiallisena tehtävänä on estää tuulen aiheuttama haitallinen ilmavirtaus rakenteen lämmöneristyskerroksessa (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2014).

Vesihöyry on kaasun olomuodossa olevaa vettä. Se on näkymätöntä ja sitä on kaikissa huokoisissa materiaaleissa. (Kokko 2002, 8.)

Vesihöyryn diffuusio on höyrymolekyylien liikettä ilmassa tai huokoisessa aineessa. Se pyrkii tasoittumaan vesihöyryn pitoisuuden sekä vesihöyryn osapaineen mukaan suuremmasta pitoisuudesta pienemmän pitoisuuden suuntaan. (Kokko 2002, 8.)

Vesihöyryn konvektio on ilmavirtauksen mukanaan kuljettaman vesihöyryn liikettä (Kokko 2002, 8).

Vesihöyrynläpäisevyydellä tarkoitetaan aineen kykyä läpäistä vesihöyryä diffuusiolla. Yksikkönä $\text{kg}/(\text{m s Pa})$. (Kokko 2002, 8).

Vesihöyryn osapaine on ilman vesihöyryn osuus ilman kokonaispaineesta; yksikkö Pascal eli N/m^2 (Kokko 2002, 8).

Vesihöyryvastuksella kuvataan tasapaksun ainekerroksen tai tällaisista muodostuvan tasapaksun kerroksellisen rakenteen pinnoilla eri puolilla vallitsevien vesihöyrypitoisuuksien tai vesihöyryn osapaineiden eron ja ainekerroksen tai rakenteen läpi jatkuvuustilassa pinta-alayksikköä kohti diffuusoituvan vesihöyryvirran suhdetta (Ympäristöministeriö 2017).

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	SISÄILMASTO	3
2.1	Sisäilmastolliset tavoitteet	3
2.1.1	Sisäilmaston laadullisia tekijöitä.....	5
2.1.2	Sisäilmasto ja lämpö	5
2.2	Ilman kosteus.....	7
2.2.1	Huoneilman kosteus ja kosteuskapasiteetti	8
2.2.2	Ilmanpaine ja ilman kosteus.....	9
2.2.3	Ilman paineen ja ilman kosteuden teoriaa	10
2.2.4	Terminen viihtyvyys	12
3	RAKENNUKSEN TILAN SELVITTÄMINEN.....	12
3.1	Kuntoarvio ja kuntotutkimus	12
3.2	Haitta-aineet ja haitta-aine kartoitus	13
3.3	Kosteus- ja mikrobivauriot	14
3.4	Kosteus- ja mikrobivaurioituneen rakenteen korjaus	14
4	RINTAMAMIESTALON RAKENNERATKAISUT JA NIIDEN RAKENNUSFYSIKAALINEN TOIMINTA	15
4.1	Hengittävän rakenteen toimintaperiaate.....	15
4.2	Ilman- ja höyrynsulku sekä tuulensuoja	17
4.3	Kosteuden ja kaasujen vaihto rakenteiden ja huoneilman välillä.....	19
5	PAINOVOIMAINEN ILMANVAIHTO	22
5.1	Hormit painovoimaisessa ilmanvaihdossa	24
5.2	Ilman virtaus hormissa	25
5.3	Luonnollinen konvektio ja pakotettu konvektio	27
5.4	Rakenteen sisäiset lämpötilan ja ilmanpaineen muutokset	30
5.5	Ilmanvaihdon reitit	31
5.6	Painovoimaisen ilmanvaihdon tehostaminen ja tuuletus.....	31
5.7	Rakomaiset aukot	33
5.8	Pienet reiät	34
5.9	Suuremmat reiät ja aukot.....	34
6	RINTAMAMIESTALON PAINESUHTEIDEN MITOITUS	36
6.1	Poistoilmavirrat kerroksista.....	37
6.2	Rakennuksen painesuhteet	40
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	46
	LÄHTEET	50

- Liite 1. Ilman koostumus sekä paineen yksiköitä ja muuntokertoimia
- Liite 2. Sisäilman kosteuslisät
- Liite 3. Huonelämpötilan hallinnan suunnittelussa käytettävät säätiedot
- Liite 4. Kriittiset vesihöyrynpitoisuudet ja -osapaineet
- Liite 5. Kosteuden ja suhteellisen kosteuden kuukausikeskiarvoja eri paikkakunnilla
- Liite 6. Rakennusaineiden kosteudenläpäisykertoimia ja -vastuksia
- Liite 7. Rakennusmateriaalien ilmavirtausteknisiä arvoja
- Liite 8. Asuinrakennuksen sisätilan kosteudentuottoarvoja
- Liite 9. Keskimääräinen lämpötila ja vuosisade Suomessa
- Liite 10. Kuroutumiskertoimen arvoja erilaisille tuloilma-aukoille
- Liite 11. Heittopituuskertoimia
- Liite 12. Räystäskorkeuden tuulen nopeuden määrittelyssä tarvittavat kertoimet
- Liite 13. Kanavamateriaalien karheus
 - Liite 14. Moody-diagrammi kitkakertoimen arvioimiseen
- Liite 15. Kanavaosien kertavastuskertoimia
- Liite 16. Rakennusmateriaalien lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja, tiheyksiä ja ominaislämpökapasiteetteja vakioaineessa
- Liite 17. Voimassa olevien määräyksien soveltaminen perusparannettavaan rintamamiestaloon

1 JOHDANTO

Suomen rakennuskannassa on erotettavissa erilaisia rakentamisen tapoja ja rakennustyyppejä. Ne mukailevat vuosikymmenien henkeä ja tyyliä ja ovat vastanneet oman aikansa tyyllilliseen ja laadulliseen kysyntään. Rakennukset ja niiden sisältämät rakenneratkaisut ovat jokaiselle tyyliuunnalle ominaisia. Rakennustyyppien muutos heijastaa yhteiskunnan kehittymistä sekä ihmisten ja heidän tarpeidensa muutoksia. Viranomaiset ovat vastanneet kysyntään kaavoittamalla alueita kaupunkeihin ja haja-asutusalueille; suuria määriä ominaisuuksiltaan samankaltaisia rakennuksia on rakennettu ympäri Suomea eri aikakausina.

Jälleenrakennusaika alkoi toisen maailmansodan päätyttyä. Suomi menetti laajoja alueita, ja suuria määriä ihmisiä täytyi asuttaa uusille alueille. Tähän tarpeeseen vastattiin vuoden 1945 maanhankintalailla, jolla turvattiin maan ja tonttien saatavuus. Maanhankintalaissa oli tuolloin mukana rintamamies-sana, ja tästä syystä 1940- ja 1950-luvuilla rakennetuista omakotitaloista suuri osa on juuri rintamamiestaloja. Rintamamiestalojen rakentaminen oli sisäpoliittinen päätös, jossa tavoiteltiin parempaa ja modernimpaa rakennuskantaa kuin aikaisemmat rakennukset. Rintamamiestalojen suunnitelmia voi aikanaan hankkia viranomaisilta ja niiden tilaratkaisut ja suuret tontit tarjosivat jopa kaupungeissa mahdollisuuden pienimuotoiseen hyötykasvien viljelyyn ja säilömiseen. Nyt nämä rakennukset ovat teknisen käyttöikänsä loppupuolella, ja ihmisten tarpeet sekä asumistottumukset edellyttävät asumisolosuhteiden kehittämistä. (Rinne 2013.)

Nykyisin käytössä olevat asetukset ohjaavat rakentamista hyvän sisäilman laadun ja hyvien sisäilmaston olosuhteiden luomiseen. Nämä ovat lähtökohta terveelliselle ja turvalliselle asumiselle sekä tilojen käytölle. Rakennuksessa vallitsevat olosuhteet muodostuvat kokonaisuudesta, joka on kaikkien rakennukseen fyysisesti kuuluvien tai rakennuksen käyttöön liittyvien tekijöiden summa. Rintamamiestalon sisäilman laadullisten ja sisäilmastollisten olosuhteiden arvioinnissa alkuperäisen tilanteen selvittäminen ja ymmärtäminen voi ohjata rakennuksen perusparantamista. Ongelmakohtien tiedostamisen jälkeen voidaan päättää korjauksien laajuudesta ja toteuttamistavoista. Kun ymmärretään ja tiedostetaan syy-seuraussuhteet, joista vallitsevat olosuhteet muodostuvat, voidaan tehdä tehokkaita ratkaisuja. (Siikanen 2012; Ympäristöministeriö 2017; Seppänen & Seppänen 1996 & Rakennustietosäätiö RTS 2008.)

Sisäilmasto on kokonaisuus, joka muodostuu muun muassa lämpöolosuhteista ja sisäilman laadusta. Sisäilman laatu taas koostuu esimerkiksi sen sisältämien epäpuhtauksien määrästä ja sen sisältämästä kosteudesta. Sisäilman laatuun voidaan vaikuttaa esimerkiksi ilmanvaihdon tehokkuudella sekä rakennuksen materiaali- ja rakennetyyppivalinnoilla.

Rakennuksen ulkovaipan rakenneratkaisuista työssä käsitellään hengittävän rakenteen toimintaa, koska puurakanteisten rintamamiestalojen vaipparakenteet ovat hengittäviä. Hengittävillä rakenteilla on aktiivinen rooli sisäilman olosuhteiden luomisessa. Ne tasaavat sisäilmassa olevien epäpuhtauksien määrää mm. läpäisemällä hiilidioksidia. Ilmanvaihdon ratkaisuista työssä on käsitelty painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa ja painovoimaisia ilman liikkeitä. Painovoimainen ilmanvaihto on rintamamiestalojen alkuperäinen ilmanvaihdon ratkaisu ja siis käytössä edelleen näissä rakennuksissa. Painovoimaiset ilman liikkeet ovat oleellinen tekijä sisäilmaston muodostumisessa. Rakennuksien korkea muoto sekä rakennuksien ominaisuudet kuten vaipan ilmanpitävyys yhdistettynä maantieteellisiin ilmastollisiin tekijöihin asettavat sisäilmastollisen toimintaympäristön. (Siikanen 2012; Ympäristöministeriö 2017; Seppänen 1996, Seppänen & Seppänen 1996 & Rakennustietosäätiö RTS 2008.)

Ilmanvaihtoon liittyvät asetukset, mm. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 545/2015 sekä Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta, antavat ohjeet ilmanvaihdon toteutuksesta; asetukset ovat kuitenkin tarkoitettu uudisrakentamisen ohjaukseen. Niiden soveltaminen korjausrakentamiseen yksittäisen rakennuksen ominaisuudet huomioiden on suositeltavaa, koska niissä on laaja-alaisesti käsitelty kyseisen aihealueen asioita. Kun näitä asioita otetaan huomioon korjausrakentamisen suunnittelussa ja toteutuksessa, saavutetaan korjausrakentamisessa parempia lopputuloksia ja nostetaan asumisen taso. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2015; Ympäristöministeriö 2017; Rakennustietosäätiö RTS 2008.)

Korjausrakentamisen perusajatukseen kuuluvat vaatimukset rakennuksen energiatehokkuudesta, sisäilman laadusta ja sisäilmaston olosuhteista. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kirjallisuustutkimuksen avulla selvittää perusparantamattomien rintamamiestalojen sisäilmastoon vaikuttavia tekijöitä korjaussuunnittelun lähtötiedoiksi. Tarkoituksena on laskennallisin menetelmin osoittaa perusparantamattoman rintamamiestalon sisäilmaston olosuhteet. Tavoitteena on, että näillä menetelmillä koottua ja selvitettyä tietoa voidaan hyödyntää rintamamiestalojen perusparantamisen lähtötietoina. Kun vallitseva sisäilmastollinen tila ymmärretään, voidaan perusparantamisen yhteydessä tehdä kustannustehokkaampia ja rakenteellisesti parempia ratkaisuja, joilla saavutetaan viranomaisvaatimukset täyttävä rakentamisen taso. (Rakennustietosäätiö RTS 2008 & Ympäristöministeriö 2017.)

Painovoimaisen ilmanvaihdon osalta opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää painovoimaisia ilmanvaihdon määriä eri olosuhteissa ja verrata niitä määräyksien mukaisiin ilmanvaihdon määriin. Työhön kootaan tarvittavat tiedot käsin laskettavaa painovoimaisen ilmanvaihdon mitoitusta varten. Toinen lähestymistapa on painovoimaisen ilmanvaihtolaitteiston teknisien ominaisuuksien tarkastaminen tarkastuslistamenetelmää käyttäen. Työssä käydään läpi rintamamiestalon painovoimaisen ilmanvaihtolaitteiston

ominaisuudet käyttämällä tarkastuslistana ympäristöministeriön asetusta uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. (Ympäristöministeriö 2017.)

2 SISÄILMASTO

2.1 Sisäilmastolliset tavoitteet

Korjausrakentamisen merkittävänä tekijänä on sisäilmaston olosuhteiden parantaminen. Korjaustarpeet ilmenevät usein sisäilmastollisten puutteiden ja ongelmien perusteella. Tällaisia ovat esimerkiksi sisäilman tuoksut ja tunkkaisuus sekä näistä seuraavat negatiiviset käyttökokemukset. Tilojen käyttäjien havainnot ja käyttökokemukset ovat tärkeitä lähtökohtia korjaustoimenpiteitä suunniteltaessa. Sisäilmastolle asetetaan nykyisin laadullisia vaatimuksia, joiden tulee täytyä rakennettavassa tai korjattavassa rakennuksessa. Asetettujen tavoitearvojen täytyessä ei ihmisille aiheudu terveyshaittoja tilojen käytöstä. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta on tarkoitettu uusien rakennuksien viranomaisvaatimuksiksi, mutta sen soveltaminen korjausrakentamiseen mahdollisuuksien mukaan parantaa korjausrakentamisen tasoa.

Rakennuksien hyvän, turvallisen ja terveellisen toiminnan kannalta ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta on erittäin tärkeä. Se on tarkoitettu sekä uudis- että korjausrakentamisen viranomaisvaatimuksiksi. Asetus ohjaa rakentamista kosteusteknisesti toimivien rakenteiden suunnitteluun sekä toteutukseen ja näin vaikuttaa rakennuksien sisäilmastollisiin olosuhteisiin. Korjausrakentamisen suunnittelua ohjaa ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Rakennuksen energiatehokkuuden paraneminen tarkoittaa myös parantuneita sisäilmastonolosuhteita. (Rakennustietosäätiö RTS 2008; Ympäristöministeriö 2017 & Ympäristöministeriö 2018.)

Sisäilmastoluokitus on tarkoitettu ohjaamaan sisäilmaston laatu- ja tavoitetasoa rakennushankkeen osapuolien erikseen sopimalla tavalla. Sisäilmastoluokitusta käytetään rakentamisen suunnittelun ohjauksessa, kun pyritään viranomaisvaatimukset ylittävään sisäilmaston tasoon. Sisäilmastoluokituksen mukaisesti rakennetussa rakennuksessa tilojen käyttäjille ei aiheudu haittaa tilojen käytöstä. Sisäilmastoluokitus on ensisijaisesti tarkoitettu uudisrakentamisen tavoitearvoiksi, mutta luokituksia voidaan soveltaa myös korjausrakentamisessa tavoitteiden asetteluun. Sisäilmastoluokitukset eivät ole viranomaismääräyksiä, vaan sitovat rakentamisen osapuolia sopimisen edellyttämällä tavalla.

S1 eli yksilöllinen sisäilmasto tarkoittaa sisäilmastoa, jossa ilman laatu on erittäin hyvä, eikä tiloissa ole tuoksujä. Sisäilmaan ei pääse epäpuhtauksia rakenteista tai ulkoisista lähteistä. Tilojen lämpöolosuhteet ovat hyvin tasaiset, eikä vetoa tai yllämpenemistä esiinny. Lämpöolosuhteita ja valaistusta voidaan säätää huonekohtaisesti. Äänioolosuhteet ovat erittäin hyvät. S2:ssa eli hyvässä sisäilmastossa voi kesäisin esiintyä yllämpenemistä. Tiloissa on käyttötarkoitukseen soveltuvat valaistus- ja äänioolosuhteet. S3 eli tyydyttävä sisäilmasto täyttää rakentamismääräyksien vähimmäisvaatimukset. (Rakennustietosäätiö RTS 2008.)

Tilojen käyttötarkoitukseen soveltuvien sisäilmastollisten olosuhteiden luominen on aina ollut rakentamisen päätavoitteita. Lämmityksellä ylläpidetään sopivia lämpöolosuhteita ja ilmanvaihdolla hyvää sisäilman laatua. Rakenteiden ominaisuuksista lämmön siirtyminen, rakenteiden lämmön varaaminen ja kosteustekninen käyttäytyminen ovat tärkeitä sisäilmastoon ja sisäilmaan vaikuttavia tekijöitä. Rakennuksen lämpöolosuhteet ja ilman laadulliset tekijät ovat sisäilmaston tärkeimpiä tekijöitä. Lämpöolosuhteisiin vaikuttavat muun muassa veto ja lämpötila. Ilmanlaadullisia tekijöitä ovat esimerkiksi erilaiset epäpuhtaudet ja kosteus. (Seppänen & Seppänen 1996, 11.)

Sisäilmastoon ja sisäilmaan vaikuttavia rakennuksen ulkopuolisia vaikutuksia ovat esimerkiksi rakennuksen sijainti ja korkeusasema, ulkoilman laatu ja yleiset ilmastolliset tekijät. Myös maaperä niin rakennuspohjan täytöissä kuin rakennuksen ympäristössäkin vaikuttavat. Rakennuksen fyysiset ominaisuudet muodostavat oman sisäilmastoa muokkaavan osa-alueensa. Näitä ovat esimerkiksi ilmanvaihtoratkaisu, rakennusmateriaalit ja rakennustapa. (Siikanen 2014, 198.)

Sisäilmastoon vaikuttavat myös rakennuksen painesuhteet. Rakennuksessa tulee välttää pieni alipaine ulkoilman painetasoon verrattuna; näin vältetään sisäilmassa olevan kosteuden kulkeutuminen rakenteisiin. Paineeron tulee olla alle 20 Pa, jotta sisäilmaston olosuhteet eivät heikkene liian suuresta alipaineesta johtuen. Poistoilmaventtiiliin tulee vaikuttaa ylipaine eli poistoilmahormin tulee olla alipaineinen huonetilaan nähden. Tällöin ilman virtaukset ovat raitisilmaventtiilistä poistoilmaventtiiliin ja tuloilmaa saadaan rakennuksen tiloihin. (Seppänen & Seppänen 1996, 165.)

Alapohjan yli vaikuttavan alipaineen haittojen estämiseksi alapohjan rakenteelliseen tiivyyteen tulee kiinnittää huomiota. Maaperästä tai ryömintätilasta voi kulkeutua huomattavia määriä epäpuhtauksia sisäilmaan, jos rakenteiden tiiveys on huono ja rakennuksen sisäpuolella vallitsee alipaine. (Seppänen & Seppänen 1996, 165.)

Ilmanvaihtolaitteiston tulee olla puhdas ja siinä tulee olla puhdistus- ja huoltomahdollisuus. Käytettävyyden ja säätömahdollisuuksien tulee olla hyviä; näillä voidaan vaikuttaa myös energian kulutukseen. Ilmanvaihdon

tulee toimia jatkuvasti ja sen tulee olla hajuton, äänetön ja vedoton. (Seppänen & Seppänen 1996, 165.)

2.1.1 Sisäilmaston laadullisia tekijöitä

Rakennus on rakennettava ja suunniteltava siten, että oleskeluvyöhykkeellä tulee saavuttaa kaikissa normaaleissa sääoloissa ja käyttötilanteissa viihtyisiä sisäilmasto, joka on myös terveellinen ja turvallinen. Sisäilmaston laatua kuvaavia mitattavia tekijöitä ovat mm. sisäilman epäpuhtauksien määrä, sisäilman kosteus, ilmavirtaukset, jotka voidaan tuntea vetoisuutena, ja lämpötilat niin oleskeluvyöhykkeellä kuin myös rakenteiden pinnoilla. Sisäilmaston suunnittelussa asetetaan tavoitteet mm. sisäilman epäpuhtauksien määrälle, sisäilman kosteuspitoisuuden maksimiarvoille, tilojen ilmavirtauksille ja lämpötiloille sekä melutasolle. (Siikanen 2014, 198.)

Alkuperäisessä kunnossa olevien rintamamiestalojen sisäilmastot ovat vaihtelevia, ne eivät täytä nykyisiä viranomaisvaatimuksia. Talot on rakennettu oman aikansa rakentamismääräysten ja -ohjeistuksien mukaan ja ne ovat siis täysin toimivia sellaisenaan. Aloitettaessa laajempia korjaustoimenpiteitä on kuitenkin tärkeää miettiä rakennusta kokonaisuutena. Kokonaisuuteen kuuluvat myös sisäilmaston olosuhteiden suunnittelu, koska tällä on suuri vaikutus asumisviihtyvyyteen. Yleisesti rintamamiestalojen sisäilmastoissa tuntuu vetoisuutta, lämpötilojen voimakasta eriytymistä korkeusaseman mukaan sekä kesäisin yllämpenemistä. Ilmanvaihdon riittävydestä ei ole varmuutta. Laajempien korjaustoimenpiteiden yhteydessä tulee varmistaa niiden vaikutus ilmanvaihdon ja sisäilmaston toimintaan. Huuomiota tulee kiinnittää myös sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa 545/205 ilmoitettuun sisäilman hiilidioksidipitoisuuden raja-arvoon, jonka jälkeen toimenpideraja ylittyy. Toimenpiderajan ylittyessä sisäilman hiilidioksidipitoisuus on 2100 mg/m³ (1150 ppm) suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (Sosiaali- ja terveysministeriö 2015).

2.1.2 Sisäilmasto ja lämpö

Rakennusten lämmittämiseen käytetään energiaa, jotta saavutetaan ihmiselle sopivat käyttö- tai asumisolosuhteet. Lämpö on atomien tai molekyylien värähtelyliikettä ja se siirtyy kolmella eri tavalla: konvektiolla, säteilemällä ja johtumalla. Konvektio on nesteiden tai kaasun liikettä, jossa lämpö siirtyy virtauksen mukana. Konvektio voi olla luonnollista eli puhtaasti aineen lämpötila- ja tiheyseroihin perustuvaa tai pakotettua eli esimerkiksi ilmanvaihdon tai tuulen aiheuttamaa. Säteilyssä energiaa siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä. Rakentamisen yhteydessä säteilyä on kahden tyyppistä eli auringon lähettämää lyhytaaltoista säteilyä ja kappaleiden lähettämää pitkäaalloista säteilyä. Johtumisessa energia siirtyy molekyylisestä toiseen eli tapahtuu energian virtaamista. Lämpö

pyrkii tasaantumaan kappaleiden välillä siten, että energiavirta on lämpimästä kylmän suuntaan. (Siikanen 2014, 40.)

Lämmön siirtymisen erilaisista ominaisuuksista johtuen se vaikuttaa myös lämpöolosuhteiden kokemiseen. Ilman liikenopeus ja lämpötila eli ilman konvektio vaikuttaa lämmönsiirtymiseen ihmisen ja ympäristön välillä. Myös säteilylämmönsiirto ympäristön ja ihmisen välillä on oleellinen lämpöolosuhteiden aistimuksien kannalta. Ympäristö käsittää kaikki kappaleet ja auringon säteilyn; näiden yhteisvaikutuksesta syntyvät tilojen lämpöolosuhteet, jotka lämpötiloista riippuen koetaan eri tavoin. Liian korkea sisäilman lämpötila heikentää sisäilman laatua, lisää emissioita materiaaleista ja alentaa suhteellista kosteutta. Liian lämmin sisäilma koetaan usein tunkkaiseksi, ja se voi lisätä sisäilmaan liittyvää oireilua kuten ärsyttää hengitysteitä. (Siikanen 2014, 198.)

Oleskeluvyöhyke alkaa lattian pinnasta ja 0,6 metrin etäisyydeltä seinistä tai kiinteistä rakennusosista ja yltää 1,8 metrin korkeuteen. Oleskeluvyöhykkeellä tulee kaikissa normaaleissa olosuhteissa saavuttaa tyydyttävä sisäilmasto. Tämä tarkoittaa, että sisäilman puhtauden, lämpötilan ja kosteuden täytyy olla hallittuja. Näin ollen materiaalien pintalämpötilojen, ilman liikkeiden ja lämpösäteilyn tulee olla hallinnassa.

Operatiivinen lämpötila on tiloissa olevien pintalämpötilojen ja huoneilman lämpötilan keskiarvo. Operatiivinen lämpötila kuvastaa huoneilman lämpötilasta poikkeavien pintalämpötilojen vaikutusta lämmöntunteeseen. Huonetiloissa olevat suuret ikkunat ja ulko-ovet sekä lämpöä tai viilennystä tuottavat laitteet voivat aiheuttaa voimakasta lämpösäteilyä, alhaisia pintalämpötiloja tai ilmanliikkeitä. Huonelämpötila voidaan tarkistaa operatiivisen lämpötilan laskemisen avulla. Oikeanlaiset tilojen käyttöön pohjautuvat tilojen lämpötilat ovat erittäin tärkeitä lämpöviihtyvyyden kannalta. (Siikanen 2014, 200.)

Operatiivisella lämpötilalla ilmaistaan konvektion ja säteilyn yhteisvaikutusta. Operatiivinen lämpötila on likimäärin pintojen säteilylämpötilojen ja huoneilman lämpötilan keskiarvo. Esimerkiksi hyvällä ulkoseinän lämmöneristyksellä seinän sisäpinnan lämpötila lähenee sisäilman lämpötilaa ja näin operatiivinen lämpötila lähenee huonelämpötilaa. (Seppänen & Seppänen 1996, 18.)

Vedontunne liittyy paikalliseen lämmönsiirtoon eikä ilman liikkeeseen, jona se helposti koetaan. Paikalliset liian voimakkaat lämmönsiirtymiset ilman liikkeiden tai säteilyn mukana sekä lämpötilaerojen vaikutuksesta johtavat vedontunteeseen. Vedontunne aistitaan helpommin viihtyvyyden lämpötilojen alarajalla. Korkeammassa huoneilman lämpötiloissa ilman liikkeet voivat olla voimakkaampia viihtyvyyden huonontumatta. (Siikanen 2014, 203; Seppänen & Seppänen 1996, 20.)

Tilojen käyttö- ja asumisviihtyvyyteen vaikuttavat oleellisesti ympärillä olevien pintojen lämpösäteily, sisäilman lämpötila sekä sisällä liikkuvan ilman nopeus ja lämpötila. Lisäeristämällä rakennuksen vaipan rakenteita saadaan sisäpintojen lämpötiloja nostettua. Sama vaikutus on myös esimerkiksi ikkunan U-arvon nostamisella. Paremmiin lämmöneristävillä rakenteilla sisäilman lämpötilaa voidaan laskea lämpöviihtyvyyden huonontumatta. Tällä on suuri vaikutus lämmitysenergian kulutukseen. Suunnittelun lähtökohtana tulee olla vedottomuus, sillä vain siten voidaan laskea sisälämpötiloja. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2014, 201.)

2.2 Ilman kosteus

Sisäilman kosteus on riippuvainen ulkoilman kosteudesta, joka vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Tämän lisäksi tilojen tuuletus, rakenteelliset tekijät ja tilojen käyttöön liittyvät kosteuslähteet vaikuttavat. Talvikuukausina ulkoilman suhteellinen kosteus on korkea, mutta siinä oleva vesihöyryn pitoisuus eli veden määrä on vähäinen. Kylmä ilma voi sisältää vähemmän vesihöyryä kuin lämmin ilma, esimerkiksi -20 asteessa ilma voi sisältää vettä 0,88 g/m³ ja +20 asteinen ilma voi sisältää vettä 17,28 g/m³.

Talvikuukausina ilmanvaihdon sisätiloihin kuljettama alhaisen vesimäärän sisältämä ulkoilma kuivattaa sisäilmaa. Sisätiloissa on niiden käyttötarkoituksesta riippuen erilaisia kosteuslähteitä, jotka kostuttavat sisäilmaa. Sisäilman kosteuden normaalit vaihteluvälit ovat talvella 20–40 RH% ja kesällä 50–60 RH%, kovilla pakkaskausina sisäilman kosteus voi laskea alle 20 RH%:n. Rakentamisen jälkeisenä ensimmäisenä lämmityskautena rakennuskosteutta vapautuu sisäilmaan ja kostuttaa sitä. Yleensä rakenteet taantuvat ensimmäisen lämmityskauden jälkeen. (Siikanen 2014, 206.)

Kun sisäilman suhteellinen kosteus laskee ja lämpötila nousee, kiihtyy kosteuden haihtuminen ympäristöstä. Iho ja limakalvot kuivuvat sekä kynnet ja hiukset haurastuvat suhteellisen kosteuden laskiessa alle 25 RH%:n. Rakennus- ja sisustusmateriaalit kuivuvat ja haurastuvat, ja niiden pölyvyys ja pölyn leijailu sisäilmassa lisääntyvät. Pölyinen sisäilma lisää myös allergioita ja hengitystieinfektioita, sillä ihmisen kuivuneet limakalvot ja värekarvojen heikentynyt toiminta altistavat näille. Alhaisessa suhteellisessa kosteudessa viihtyvät myös bakteerit ja virukset. Ihanteellinen sisäilman suhteellinen kosteus on 30–40 RH%:a: näissä olosuhteissa esiintyy suhteellisen vähän ihmisen terveyden kannalta haitallisia tekijöitä. (Siikanen 2014, 207.)

Kun sisäilman suhteellinen kosteus nousee, haihtuminen ihmisen kehosta vähenee. Perusaineenvaihdunnan ja ihmisen toiminnan synnyttämä lämpö täytyy tuulettaa pois iholta. Kosteassa sisäilmassa vaatetuksen läpi diffu-soitua kosteusmäärä vähenee, vaikka ihminen hikoilisi. Tämä johtaa vaatetuksen kostumiseen ja epämiellyttävään oloon. Ihmisen kehon toiminnalle oikeiden olosuhteiden ylläpitäminen on siis myös mukavuus-

tekijä. Korkea sisäilman suhteellinen kosteus lisää emissioita materiaaleista ja mahdollistaa sienien, bakteerien, viruksien ja pölypunkkien kasvun. Hengitystieinfektiot ja allergiat lisääntyvät. (Siikanen 2014, 207.)

2.2.1 Huoneilman kosteus ja kosteuskapasiteetti

Huoneilman kosteuspitoisuus vaihtelee tiloissa tapahtuvan toiminnan kuin myös vuodenajan ja ulkoilman kosteuspitoisuuden mukaan. Käyttötalvaan erilaisille tiloille annetaan sisäilman kosteuslisät. Rakenteiden, ilmanvaihdon ja rakennuksen käytöstä riippuen sisäilman kosteus ja laatu vaihtelevat rakennuksittain. Liian suuri sisäilman suhteellisen kosteuden pitoisuus aiheuttaa sisäilman laadun heikkenemistä ja jopa terveyshaittoja. Passiivisia keinoja hallita sisäilman laatua ovat mm. hyvä lämmöneristys, vaipan ilmanpitävyys ja rakenteiden kosteus- ja lämpökapasiteetti. (Kokko 2002, 7.)

Sisäilman kosteuslisille on annettu suunnitteluarvot, jotka on tarkoitettu rakennuksen ulkovaipan kosteusteknistä mitoitusta varten. Sisäilman kosteuspitoisuus voidaan laskea kaavalla (Ympäristöministeriö n.d.)

$$v_s = v_u + \frac{G}{nV}$$

v_s on sisäilman kosteuspitoisuus [g/m^3]
 v_u on ulkoilman kosteuspitoisuus [g/m^3]
 G on sisätilan kosteustuotto [g/h]
 n on ilmanvaihtokerroin $1/\text{h}$
 V on huoneen tilavuus [m^3]

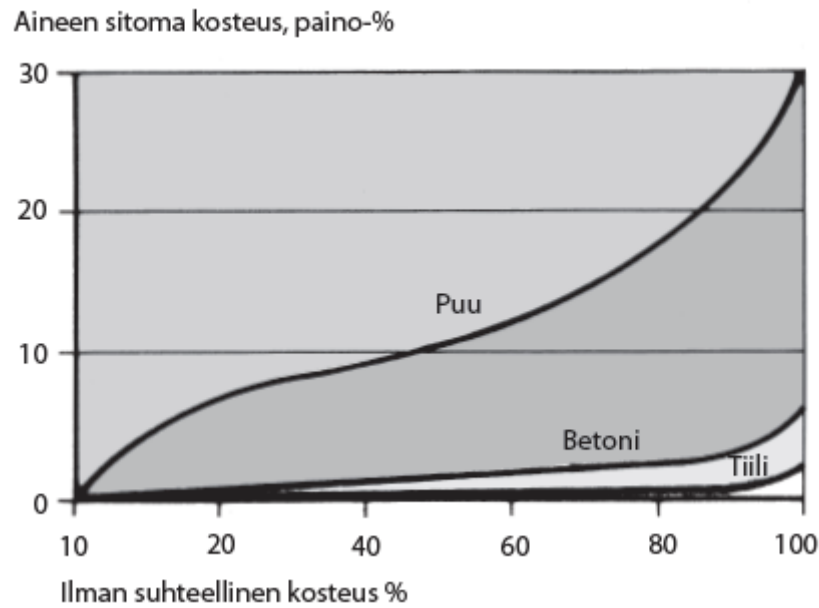
$\frac{G}{nV}$ on sisäilmankosteuslisä, joka lasketaan arvioimalla kosteustuotto ja ilmanvaihtuvuus.

Sisäilmankosteuslisille voidaan myös käyttää rakennesuunnittelussa yleisesti käytetty arvoja (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2012):

Taulukko 1. Rakennuksen käyttötarkoitus ja kosteuslisä.

RAKENNUKSEN KÄYTTÖTARKOITUS	KOSTEUSLISÄ g/m^3
Vapaa-ajan asunnot, puolilämpimät tilat, varastot ym.	3 g/m^3
Asuinrakennukset, toimistot- ja liikerakennukset ym.	5 g/m^3
Kylpylät, uimahallit, laitoskeittiöt ym.	yli 5 g/m^3

Kosteuskapasiteetti on aineen tai materiaalin ominaisuus, joka kuvaa kykyä sitoa ja luovuttaa kosteutta. Puupohjaisilla materiaaleilla on suuri kosteuskapasiteetti, ja ne tasaavat ympäröivän ilman suhteellista kosteutta. Kosteuden tasaamista tapahtuu niin rakenteen sisäisessä ilmassa kuin huoneilman yhteydessä. Suuren kosteuskapasiteetin omaavissa rakenteissa, esimerkiksi puukuitueristetyissä ulkoseinärakenteissa, kosteuskapasiteetti pienentää kosteusvaurion riskiä. (Siikanen 2014, 79.)

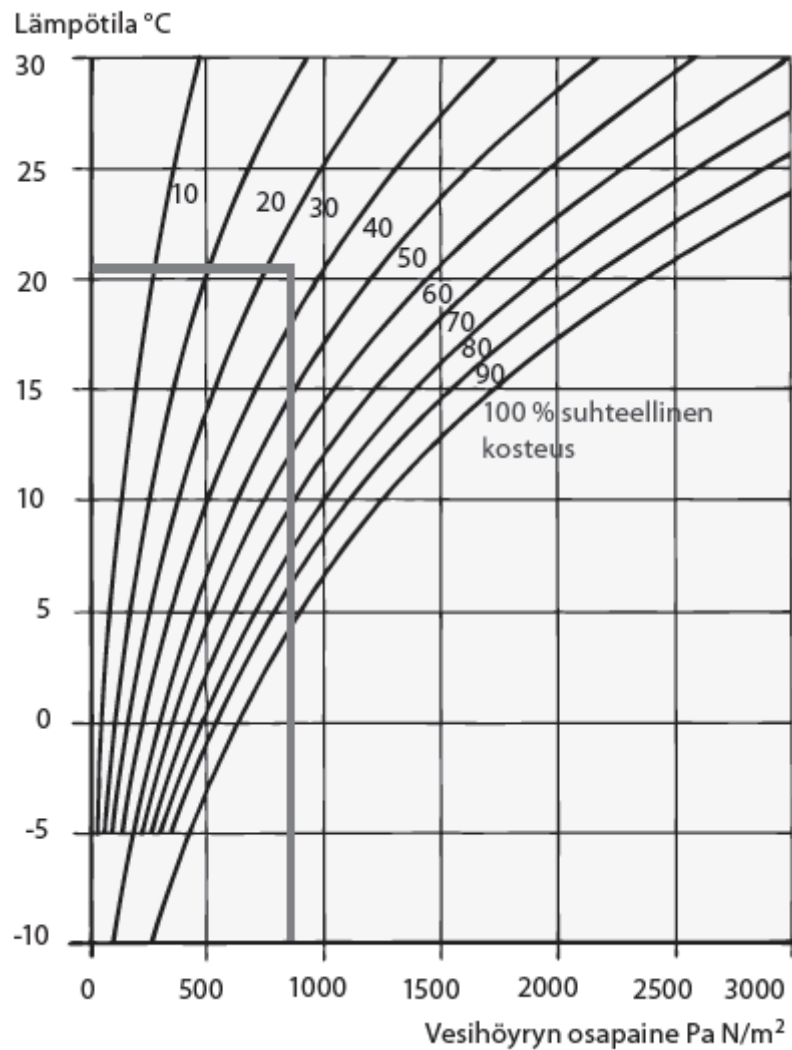


Kuva 1. Materiaalien hygroσκοoppisesti sitomia kosteusmääriä eri suhteellisen ilmankosteuden arvoilla (Siikanen 2012, 86).

2.2.2 Ilmanpaine ja ilman kosteus

Rakennuksen vaipan yli vaikuttavat ilmanpaineen erot ovat pieniä, suuruudeltaan vain muutamia $[N/m^2]$. Nämä pienet voimat saavat ilman liikkumaan erittäin tehokkaasti konvektion avulla. Vaipan ilmanpitävyyden tai lämmöneristyksen puutteet mahdollistavat suurien ilmamäärien kulkeutumisen rakenteisiin ja niiden läpi. Tällainen hallitsematon lämpimän ja kostean sisäilman liike aiheuttaa rakenteille suuren kosteuskuormituksen. Rakennuksen vaipan yli vaikuttavat vesihöyryn osapaine-erot ovat satoja $[N/m^2]$ ja saavat ilman vesihöyryn liikkumaan diffuusion avulla. Diffuusion vaikutus rakenteiden kosteusteknisen toiminnan kannalta ei ole yhtä kriittinen kuin konvektion tapauksessa, sillä esimerkiksi höyrynsulussa olevasta reiästä kulkee kosteutta diffuusion vaikutuksesta määrä, joka vastaa prosentuaalisesti reiän suhdetta pinta-alaan. Tämä ei merkittävästi lisää esimerkiksi seinän diffuusiolla lävistävän vesihöyryn määrää. (Siikanen 2012, 77.)

Rakenteiden läpi kulkevien kosteus- ja lämpövirtojen minimoimiseksi tulee rakennukset suunnitella ja toteuttaa alipaineisiksi. Rakennuksien vaipparakenteiden tiiveys lämpöä, kosteutta ja ilmapirtoja vastaan on erittäin tärkeää ja mahdollistaa rakennuksen alipaineistamisen. (Siikanen 2012, 77.)



Kuva 2. Suhteellisen kosteuden ja lämpötilan vaikutus vesihöyryn osapaineeseen (Siikanen 2014, 83).

2.2.3 Ilman paineen ja ilman kosteuden teoriaa

Puhdas ja kuiva ilma on monen normaalipaineessa ja normaalilämpötilassa tiivistymättömän kaasun seos. Kaasuseosta voidaan pitää ideaalikaasuna, ja siihen voidaan soveltaa yleistä kaasulakia. Normaalipaineella tarkoitetaan yhden ilmakehän painetta 1 atm ja sen suuruus on 101325 Pa. (Seppänen 1996, 187.)

$$p = \frac{\rho \cdot R_u \cdot T}{M}$$

p on kaasun paine, N/m^2 [Pa]

ρ on ilman tiheys, kg/m^3

T on absoluuttinen lämpötila, K

R_u on yleinen kaasuvakio 8314,7 J/kmolK

M on kaasun moolimassa kg/kmol

Kun yleinen kaasuvakio jaetaan kaasun moolimassalla, saadaan kyseessä olevan kaasun kaasuvakio. Sovelletaan ilmaan (Seppänen 1996, 187):

$$R_i = \frac{R_u}{M_i}$$

M_i on ilman moolimassa. Kuivalle ilmalle $M_i = 28,97 \text{ kg/kmol}$

R_i on kaasuvakio kuivalle ilmalle $278,0 \text{ J/kgK}$

Ilman sisältämän vesihöyryn määrä vaikuttaa oleellisesti ilman sisältämään lämpösisältöön. Ilmanvaihtoprosesseissa kuivan ilman määrä ei muutu kosteuden muuttuessa. Tästä syystä ilman lämpösisältö ilmoitetaan kuivan ilman massayksikköä kohden. Ilman kokonaispaine on kuivan ilman ja vesihöyryn osapaineiden summa. (Seppänen 1996, 188.)

$$p = p_i + p_h$$

p on ilman kokonaispaine [Pa]

p_i on kuivan ilman osapaine [Pa]

p_h on vesihöyryn osapaine [Pa]

Ilman tiheys on kuivan ilman ja vesihöyryn tiheyksien summa (Seppänen 1996, 188).

$$\rho = \rho_i + \rho_h$$

Vesihöyryn osapaine lasketaan vallitsevasta ilman suhteellisesta kosteudesta ja kylläisestä vesihöyryn paineesta (Sandberg 2014, 125).

$$p_h = \frac{RH\%}{100} * p_h$$

p_h on vesihöyryn osapaine [Pa]

RH on ilman suhteellinen kosteus [%]

p_h on vesihöyryn kyllästyspaine [Pa]

Vähentämällä vallitsevasta ilmanpaineesta vesihöyryn osapaine saadaan kuivan ilman osapaine (Sandberg 2014, 125).

$$p_i = p - p_h$$

p_i on kuivan ilman osapaine [Pa]

p on ilmanpaine [Pa]

p_h on vesihöyryn osapaine [Pa]

Kun vallitseva ilman suhteellinen kosteus on 100 %, saavuttaa vesihöyryn paine kyllästymispaineen. Vesihöyryn kyllästymispaine ei ole vakio, vaan se muuttuu lämpötilan mukaan. Kyllästymispaine kasvaa lämpötilan noustessa. Kylläinen vesihöyryn paine voidaan laskea seuraavalla kaavalla (Sandberg 2014, 125):

$$p_{h_{\text{kylläinen}}} = 100000 * e^{11,78 * \frac{T-372,79}{T-43,15}}$$

$p_{h_{\text{kylläinen}}}$ on vesihöyryn kyllästyspaine ilman lämpötilassa T [Pa]
 e on Neperin luku [~2,718]
 T on lämpötila [K]

2.2.4 Terminen viihtyvyys

Sisäilman lämpötilan ja sisäilman suhteellisen kosteuden väliselle vaikutukselle ihmisten kokemukseen sisäilman miellyttävyydestä on kehitetty seuraava kaava:

$$PD = \frac{100}{1 + \exp[-3.58 + 0.18 * (30 - T) + 0.14 * (42.5 - 0.01 * P_v)]}$$

PD on sisäilmaston olosuhteisiin tyytymättömien prosentuaalinen osuus
 T on ilman lämpötila °C
 P_v vesihöyryn osapaine (Pa)

Sisäilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden nousu lisää tyytymättömien prosentuaalista osuutta. Tämä näkyy selvästi hieman normaalia lämpimämmässä sisäilmastossa 22–24 °C, kun taas 20 °C:ssa sisäilman suhteellisen kosteuden nousu noin 50 RH%:iin asti vähentää tyytymättömien määrää. (Simonson 2000, 18.)

Sisäilman lämpötilan noustessa tulee sen suhteellisen kosteuden alentua, jotta säilytetään sama hyväksyttävyyden taso. Esimerkiksi sisäilman ollessa 20 °C ja 60 RH% vastaavan 24 °C:n ilman suhteellisen kosteuden tulee olla 40 RH%. Voidaan esittää, että sisäilman lämpötilan muuttuessa 1 °C:n tulee RH%:n muuttua 5 RH%, jotta saadaan sama hyväksyttävyys. (Simonson 2000, 20.)

3 RAKENNUKSEN TILAN SELVITTÄMINEN

Ennen korjaus- ja muutostöiden suunnittelun ja toteutuksen aloittamista tulee kiinteistön vallitseva tila selvittää. Rakenteiden kunnan selvittäminen erilaisilla tutkimuksilla sekä olemassa olevien dokumenttien hyödyntäminen ovat keinoja vallitsevan tilan selvittämiseen.

3.1 Kuntoarvio ja kuntotutkimus

Kuntoarvion tarkoituksena on saada tietoa kunnossapitosuunnittelua ja lisätutkimuksia varten. Kuntoarvio tehdään rakenteita rikkomattomin menetelmin aistinvaraisesti tai käyttämällä mittalaitteita. Tavoitteena on

saada selville rakennuksen tai rakennusosien merkittävät korjaustarpeet. (Rakennustietosäätiö RTS 1999a, 1.)

Kuntotutkimus on rakennuksen, rakennusosien, järjestelmien tai laitteiden korjaus- tai perusparannussuunnittelua varten tehtävä tutkimus. Kuntotutkimuksessa tehdään rakenneavauksia, mittauksia, laboratoriokokeita sekä aistinvaraisia havaintoja. Tutkimuksen perusteella laaditaan korjaustapaehdotuksia, ja tutkimusta hyödynnetään korjaussuunnitelmaa laadittaessa. Kiinteistön kuntoa tutkittaessa myös sisäilman paineen vaikutukset selvitetään. Ilmanvaihdon säätö ja sisäilman painesuhteet ulkoilman paineeseen nähden mitataan. Rakennuksen sisätilat pyritään pitämään hieman alipaineisina ulkoilmaan nähden. Liian suuri sisäilman alipaine voi johtaa hallitsemattomiin vuotoilmavirtoihin rakenteiden raoista ja rakenteista. Vuotoilma voi kuljettaa sisäilmaan haitallisia aineita ja itiöitä, alapohjasta myös radonia. Rakennuksen sisäpuolinen ylipaine taas voi kuljettaa rakenteisiin sisäilman kosteutta ja aiheuttaa kosteusongelmia. (Rakennustietosäätiö RTS 1999a, 2.)

3.2 Haitta-aineet ja haitta-aine kartoitus

Korjausrakentamisessa on tärkeää tiedostaa mahdollisten haitallisten aineiden olemassaolo rakenteissa. Ympäristölle ja ihmisten terveydelle vaarallisia aineita ovat mm. asbesti, kreosootti, PCB-yhdisteet, öljyt ja raskasmetallit sekä mikrobivaurioituneista rakenteista vapautuvat mikrobilähtöiset epäpuhtaudet. Betoniin on myös voinut imeytyä monenlaisia haitallisia aineita. Kiinteistön omistajalla on vastuu haitallisten aineiden kartoittamisesta ja haitallisten materiaalien poistamisesta sekä kiertämisestä siten, että niitä ei joudu ympäristöön tai niistä ei aiheudu terveydellistä vaaraa. Purku- ja korjaustyöt tulee tehdä mahdollisimman vähän altistavalla tavalla. (Huttunen, Komulainen ja Säntti 2011, 98.)

Haitta-ainekartoitus tulee tehdä mahdollisimman ajoissa ennen korjaus- ja purkutöiden aloittamista. Näin voidaan varautua tarpeellisiin toimenpiteisiin ja kustannuksiin. Haitta-aineiden kartoittamiseen kuuluu kiinteistössä olevien rakenteiden ja niiden eri kerrosten selvittäminen sekä kiinteistössä olevien laitteiden ja tekniikan tunnistaminen. Näistä arvioidaan haitallisten aineiden määrät ja laadut sekä se, miten ne käyttäytyvät normaalissa käyttötilanteessa ja purettaessa. Aineille määritetään jäteluokitukset ja arvioidaan ympäristövaikutukset. Haitta-aineiden tunnistaminen voidaan tehdä laboratoriokokein tai aistinvaraisesti, kun tunnistetaan materiaali ja tiedetään rakennusvuosi. (Huttunen ym. 2011, 98.)

Kiinteistössä olevien haitta-aineiden vaikutusta sisäilman laatuun täytyy arvioida aina tapauskohtaisesti. Kiinteistössä voi olla monenlaisia haitta-aineita, mutta niiden sijainnin rakenteissa ja ominaisuuksien täytyy olla sellaisia, että niistä ei aiheudu sisäilmaa heikentäviä päästöjä. Tilojen käyttötarkoitusten muutokset voivat myös lisätä päästöjen haitallisuutta

ja laltistumisaikojen pituuksia. Ilmanpainesuhteiden ja vuotoilmavirtojen vaikutus päästöihin voi olla merkittävä.

3.3 Kosteus- ja mikrobivauriot

Rakennustietosäätö RTS:n (1999b, 1) mukaan ”rakenteet ja niiden korjaukset tulee suunnitella niin, että rakenteet ovat kosteusteknisesti toimivia ja kestävätkä luotettavasti suunnitellun käyttöiän. Ratkaisuihin tulisi pyrkiä myös siihen, että satunnaiset kosteusvauriot eivät aiheuta rakenteen kastumista laajasti eivätkä aiheuta laajoja vaurioita. Korjauksen yhteydessä varmistetaan ilmanvaihdon toimivuus ja sen mahdolliset vaikutukset rakenteille”. Mikrobit, home- ja lahottaj sienet voivat kasvaa, kun suhteellinen kosteus on yli 70 % ja lämpötila on yli +0 astetta. Kasvualustaksi kelpaa melkein mikä vain, mutta herkimpiä ovat orgaaniset rakennusaineet kuten puu ja erilaiset levyt. Mikrobikasvuston kerran muodostuttua se voi siirtyä lepotilaan olosuhteiden muuttuessa ja aloittaa kasvunsa, kun kosteutta on taas saatavilla. Home- ja lahossienien sekä mikrobien kasvu on erityisen nopeaa ilman suhteellisen kosteuden ollessa yli 90 % ja lämpötilan noin +20 astetta.

Erilaisten kasvustojen olemassaoloa voidaan epäillä esimerkiksi, kun ilma on tunkkainen tai makea tuoksu. Rakenteiden pinnoilla näkyy kosteusjälkiä, maali on hilseillyt kosteuden vaikutuksesta, pinnoilla on nähtävissä tummia pilkkuja tai sävyeroja. Rakenteissa olevat kylmäsilat lisäävät kosteuden kondensoitumisriskiä ja näin ollen paikallisia kosteusvaurioita voi ilmetä. Ilmanpainesuhteet voivat kuljettaa rakenteista itiöitä sisäilmaan. Tällaiset vuodot aistitaan hajuina; hajuhaitat ovat suurimmillaan mikrobien kasvaessa. Itiöiden määrä on suurimmillaan rakenteiden kuivuessa. Mikrobivauriot voivat merkittävästi heikentää sisäilman laatua ja tehdä rakennuksista jopa käyttökelttomia. Ne aiheuttavat ihmiselle mm. hengitystieinfektioita, väsymystä, pahoinvointia, allergioita ja ärsytysoireita. (Rakennustietosäätö RTS 1999b, 6.)

3.4 Kosteus- ja mikrobivaurioituneen rakenteen korjaus

Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta ohjaa rakentamista kosteusteknisesti toimivien rakenteiden suunnitteluun ja toteutukseen. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purkamisesta ja korjaamisesta laaditaan suunnitelmat. Tärkeää on selvittää rakenteen vaurioitumisen syyt ja korjata sekä rakenne että poistaa vaurioiden aiheuttajat. Korjaussuunnitelmien pohjalta laaditaan purkusuunnitelmat, jotka ottavat huomioon vaurioiden laajuuden ja mahdolliset terveystieteelliset kohdat. Usein kosteusvauriotapauksissa purettavat alueet osastoidaan ja osastoon tehdään koneellisesti alipaine. Kosteus- ja mikrobivaurioituneet rakenteet poistetaan ennen kuivausta. Purkutyökaluissa käytetään kohdepoistoa mahdollisuuksien mukaan. Purkuosastoissa

olevat kiintokalusteet ja laitteet suojataan pölyltä, muuten osasto tyhjenetään. Purkutyöalueella ylläpidetään järjestystä ja sitä siivotaan päivittäin. Purkutyön päätyttyä osasto siivotaan huolellisesti. (Olenius 2000, 2.)

4 RINTAMAMIESTALON RAKENNERATKAISUT JA NIIDEN RAKENNUSFYSIKAALINEN TOIMINTA

Ympäristöministeriön säädöksen 782/2017 *Rakennuksen kosteustekninen toimivuus rakennuksen korjaus- ja muutostyössä tai käyttötarkoituksen muutoksessa* 4 §:n mukaan mukaan ”rakennuksen korjaus- ja muutostyössä tai käyttötarkoituksen muutoksessa rakennuksen kosteustekniseen toimivuuteen ei tarvitse tehdä muutoksia, jos rakennus on kosteusteknisesti toimiva. Korjaus- ja muutostyössä tai käyttötarkoituksen muutoksessa kosteusteknisesti toiminut rakenne, jonka tekninen käyttöikä on loppunut tai joka on kosteustekniseltä toiminnaltaan vaurioitunut, voidaan korjata rakennusaikaista rakentamistapaa noudattaen. Jos rakenteessa ei ole kosteustekniseltä toimivuudeltaan muutosta vaativaa suunnittelu- tai toteutusvirhettä, on korjaus- ja muutostyössä tai käyttötarkoituksen muutoksessa ensisijaisesti noudatettava alkuperäisen rakenteen toimintatapaa.” Puurakenteisien rintamamiestalojen osalta tämä tarkoittaa hengittävien rakennetyyppien hyödyntämistä korjausrakentamisen suunnittelu- ja toteutusratkaisuisissa.

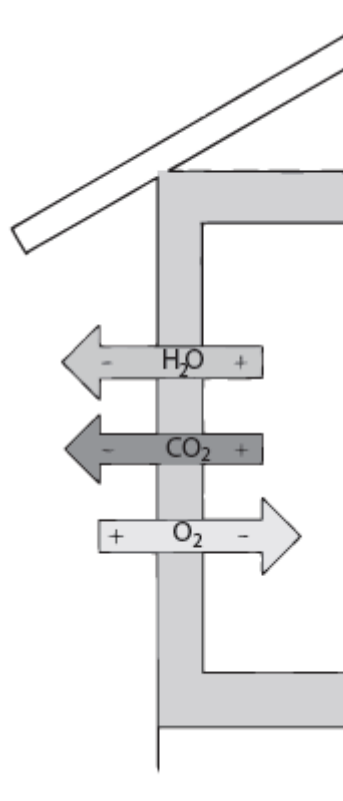
4.1 Hengittävän rakenteen toimintaperiaate

Hengittävän rakenteen toiminta perustuu rakenteen kykyyn ottaa vastaan ja luovuttaa kosteutta. Kosteuden siirtyminen voi olla diffuusion tai konvektion aiheuttamaa. Hyvä ilmanpitävyys on hengittävälle rakenteelle tärkeää, jotta sisäilman liike rakenteeseen on hallittua. Kosteus siis sitoutuu hygroskooppisiin materiaaleihin rakenteessa ja vapautuu niistä takaisin ympäröivään ilmaan.

Hengittävän rakenteen läpi voi vesihöyryn lisäksi diffusoitua esimerkiksi hiilidioksidia. Hiilidioksidi ei kuitenkaan voi sitoutua rakenteisiin, vaan kulkee niiden läpi. Tällainen kaasujen vaihto parantaa sisäilman laatua. (Kokko 2002, 10.) Hengittävällä rakenteella on kyky tasata sisä- tai ulkoilman kosteuden vaihteluista aiheutuvia vaikutuksia ja siten esimerkiksi tasata sisäilman suhteellisen kosteuden huippuarvoja. Tällaista rakenteen tai rakennusmateriaalin ominaisuutta kutsutaan teholliseksi kosteuskapasiteetiksi. Hengittäviä rakenteita on kahta perustyyppiä: Ensimmäisessä vaihtoehdossa koko rakenne koostuu vesihöyryä diffuusiolla läpäisevistä ainekerroksista. Näin vesihöyry voi kulkea vapaasti rakenteeseen ja sieltä ulos. Toinen vaihtoehto on, että rakenteessa on vesihöyryä läpäisemätön kerros ja rakenteen sisäpinnassa on hygroskooppinen pinnoitus, joka tasaa sisäilman ilmankosteuden vaihteluita. (Kokko 2002, 10.)

Hengittävät rakenteet tasaavat merkittävästi sisäilman kosteudenvaihteluita; suurien kosteuskuormien aikana sisäilmankosteuspitoisuuden huippuarvot laskevat merkittävästi. Huoneilman suhteellisen kosteuden minimiarvot nousevat talviaikana ja alenevat kesäaikana. Näistä seuraa sisäilman laadun ja termisen viihtyvyyden paraneminen. Lisäksi haitallisen korkeiden sisäilman suhteellisen kosteuden ajanjaksot lyhenevät, jolloin välilliset haitat kuten virukset, bakteerit, homeet ja sienet sekä rakennusaineiden emissiot vähenevät tai estyvät. Hengittävät rakenteet lievittävät puutteellisen ilmanvaihdon vaikutuksia ja alentavat huoneilman epäpuhtauksien kuten hiilidioksidin määrää sisäilmassa sekä lyhyiden hellekausien aikana alentavat huoneilman lämpötilaa sitomalla faasimuutosenergiaa. (Kokko 2002, 18.)

Puupohjaisilla lämmöneristeillä toteutetuissa rakenteissa tapahtuu ilman pumppausvaikutusta. Puupohjaisiin rakennusmateriaaleihin on sitoutunut paljon kosteutta. Kun esimerkiksi aurinko lämmittää ulkoseinää tai yläpohjaa, niin materiaaleihin sitoutunut kosteus alkaa siirtyä rakenteesta ulos lämmenneen ilman mukana. Korvausilmana rakenteeseen tulee viileämpää ja kuivempaa ilmaa ja näin rakenne alkaa kuivua. Tämä parantaa rakenteiden kosteusteknistä toimintaa. (Siikanen 2012, 86.)



Kuva 3. Kaasujen kulkeutumista rakennuksen vaipan lävitse diffuusion vaikutuksesta (Siikanen 2012, 85). Kaasujen diffuusio tapahtuu suuremmasta pitoisuudesta pienemmän pitoisuuden suuntaan. Asuinrakennuksissa käyttötilanteissa sisäilman sisältämän vesihöyryn ja hiilidioksidin määrä on korkeampi kuin ulkoilman, joten ne virtaavat rakennuksesta ulos. Vastaavasti ulkoilman happipitoisuus on korkeampi ja happea virtaa sisään rakennukseen.

4.2 Ilman- ja höyrynsulku sekä tuulensuoja

Ilman- ja höyrynsulku ovat rakennuksen tärkeimmät kokonaistiiveyteen vaikuttavat rakenneosat tai ainekerrokset. Niiden oleellisena erona on höyrynsulun ilman vesihöyryn liikettä rajoittava vaikutus. Höyrynsulun käyttö on perusteltua, kun laskelmin voidaan osoittaa vesihöyryn diffuusiosta seuraava kosteuden tiivistyminen rakenteeseen. Höyryn- ja ilmansulunsauma, läpivienti ja liittymäkohdat on tiivistettävä huolellisesti. Niiden sijoituskohta rakenteessa tulee olla lähellä sisäpintaa, jotta ne rajoittavat kaikkea sisäilman liikettä rakenteeseen. Höyryn- tai ilmansulun vesihöyrynvastuksen tulee olla vähintään viisinkertainen rakenteen kylmällä puolella olevan ainekerroksen vesihöyrynvastukseen. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2014, 253.)

Rakennuksen vaipan huono ilmanpitävyys vaikeuttaa sisätilojen alipaineisena pitämistä varsinkin painovoimaisessa ilmanvaihdossa, jossa ei ole varsinaista laitteistoa alipaineen luomiseksi. Hataruudesta seuraa savupiipupuilmiötä voimistava vaikutus, joka lisää rakennuksien yläosien ylipainetta ja alaosien alipainetta. Siitä seuraa myös energian kulutuksen kasvu ja asuminen olosuhteiden heikentyminen. (Romppainen 2010, 27.)

Tuulensuojan tärkeimmät tehtävät ovat rakenteen lämmöneristyskyvyn parantaminen sekä ulkoa rakenteeseen tapahtuvan ilmavirtauksen estäminen. Tuulensuojan vesihöyrynvastuksen tulee olla riittävän pieni, jotta rakenteet voivat kuivua ulospäin. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2014, 256.) Tuulella on voimakas rakenteita ja rakennuksia jäähdyttävä vaikutus. Tuulen nopeuden kaksinkertaistuminen normaaleissa tuuliolosuhteissa lisää rakennuksen lämpöhäviöitä noin 10 %. Vaipparakenteiden hyvä tiiveys ja oikein sijoitetut rakennekerrokset säästävät lämmitysenergiaa noin 5–20 % vuodessa. (Siikanen 2014, 14.)

Mittaustuloksin ja laskennallisesti saatujen tuloksien mukaan kosteusteknisesti toimiva rakenne voidaan toteuttaa Suomen ilmastossa ilman muovista höyryn sulkua. Laskennallisesti voidaan tarkastella sisäpinnan ja ulkopinnan vesihöyryn vastuksien suhteen vaikutusta rakenteen kosteustekniseen toimintaan. Sisäpinnan vesihöyryn vastuksen tulee olla riittävän suuri, jotta sisäilman sisältämä kosteus ei haitallisessa määrin pääse rakenteen sisään. Ulkopinnan ja sisäpinnan vastuksien suhde kuvataan seuraavasti (Simonson 2000, 93):

$$R = \frac{R_{d, \text{sisäpinta}}}{R_{d, \text{ulkopinta}}}$$

$R_{d, \text{ulkopinta}}$ on aina $1 * 10^9 (m^2 * Pa * s) / kg$, kuten huokoinen 25mm puukuitulevy tai 9mm liimavaneri

$R_{d, \text{sisäpinta}}$ vaihtelee materiaalin mukaan $(m^2 * Pa * s) / kg$

Kun suhdeluvun tulos R laskee, niin rakenteen kosteus pitoisuus kasvaa ja kuivumisaika ja kosteana pysymisen aika kasvavat. Näin myös mahdollisuus mikrobien kasville rakenteen sisällä lisääntyy. Vastaavasti kun R kasvaa, niin rakenteen kosteustekninen toiminta paranee. Kokeellisesti osoitettu minimiarvo R :lle on 3, ja yli 7:llä ei ole vaikutusta rakenteen toimintaan kosteusteknisesti edistävällä tavalla tässä tapauksessa. (Simonson 2000, 93.)

4.3 Kosteuden ja kaasujen vaihto rakenteiden ja huoneilman välillä

Kosteuden siirtymisen yhtälö sisältäen nesteen ja kaasun siirtymisen on:

$$q_M = -kd(u, T)\nabla P_v - \rho_o D_w(u, T)\nabla u + V_{air}\rho_v + K\rho_w g$$

q_M on aineen virtaus ($kg/(m^2 * s)$)

kd on kaasun läpäisevyys ($kg/(s * m * Pa)$)

u on kosteus sisältö (kg/kg)

T on lämpötila ($^{\circ}C$)

P_v on vesihöyryyn osapaine (Pa)

ρ_o on huokoisen aineen kuivatiheys (kg/m^3)

D_w on nesteen kosteuden diffuusitiivisyys (m^2/s)

V_{air} on ilman nopeus (m/s)

ρ_v on vesihöyryyn tiheys (kg/m^3)

K on kosteuden läpäisevyys (s)

ρ_w on veden tiheys (kg/m^3)

g on gravitaatiovoima (m/s^2)

Kosteuden siirtymisen yhtälön tärkein termi on ensimmäinen termi ($-kd(u, T)\nabla P_v$), joka osoittaa, että kosteuden siirtyminen on riippuvainen kaasun paineen tasosta.

Useimpien materiaalien vesihöyryyn vastukset ja muut kosteuteen liittyvät ominaisuudet voi löytää kirjallisuudesta. Ratkaistaessa muiden kaasujen kuin vesihöyryyn diffuusiota rakennusosan läpi täytyy selvittää läpäisevyys kyseessä olevan kaasun suhteen. (Simonson 2000, 35.)

Kaasujen diffuusio toisten kaasujen lävitse on tunnettu nimellä binäärinen diffuusiokerroin, jossa kaasu a lävistää diffuusiolla kaasun b (D_{ab}). Tämä voidaan laskea kaavalla:

$$D_{ab} = \frac{10^{-3} T^{1.75} \sqrt{(M_a + M_b) / (M_a M_b)}}{((V_a^{1/3}) + (V_b^{1/3}))^2}$$

T on absoluuttinen lämpötila (K)

M on molekyyli paino ($kg/kmooli$)

P on paine (atm (english))

V on diffuusion volyymi

Käyttämällä yllä olevaa kaavaa voidaan laskea diffuusiot kaasuille H_2O , CO_2 ja SF_6 , kun kaasu b on ilma. Diffuusion tehokkuusasteet ovat:

$$\frac{D_{SF_6, ilma}}{D_{H_2O, ilma}} = 0.37 \text{ ja } \frac{D_{CO_2, ilma}}{D_{H_2O, ilma}} = 0.62$$

Diffuusion tehokkuudella voidaan määrittää kaasun läpäisevyys ilman läpi ($kd_{x,ilma}$) käyttämällä kaavaa:

$$kd_{x,ilma} = \frac{D_{x,ilma}M_x}{RT}$$

$D_{x,ilma}$ on binäärinen diffuusio tehokkuus ilman läpi kaasulle x (m^2/s)

M_x on molekyyli paino kaasulle x ($kg/kmole$)

R on kaasuvakio ($8314.5 J/(kg * K)$)

T on lämpötila (K)

Käyttämällä kaasun x läpäisevyyttä ilman läpi ($kd_{x,ilma}$) sekä käyttämällä vesihöyryn läpäisevyyttä ilman läpi (kd_{ilma}), vesihöyryn läpäisevyyttiedot rakennusmateriaaleille (kd_m) voidaan yleistää toisille kaasuille käyttämällä kaavaa:

$$kd_{x,m} = kd_m \left(\frac{kd_{x,ilma}}{kd_{ilma}} \right)$$

$kd_{x,m}$ on kaasun x läpäisevyys materiaalin m läpi

Jos diffuusio on ainoa kaasujen siirtymismuoto eli konvektiota tai nesteen virtausta ei ole, niin $kd_{x,m}$ on ainoa tarvittava materiaaliominaisuus (Simonson 2000, 36).

Kaasujen diffuusio rakennuksen vaipan lävitse vähentää sisäilman sisältämien epäpuhtauksien määrää; kaasujen diffuusiota tapahtuu hengittävien rakenteiden lävitse sisäilmasta ulkoilmaan. Kaasujen diffuusiota rakennuksen vaipan lävitse voidaan arvioida kokeellisesti. Huoneen tai rakennuksen ilmanvaihtuvuutta säädetään eri voimakkuuksille nolasta voimakkaimpaan haluttuun arvoon asti. Mittaussensoreilla mitataan sisäilman epäpuhtauksien kuten CO_2 ja SF_6 pitoisuuksia eri ilmanvaihdon tehokkuuksilla. Tasapainoyhtälö kaasujen määrille ilmanvaihdollisessa huoneessa on:

$$QC_s + \frac{S}{V} = QC_e + \frac{dC_i}{dt}$$

Q on kokonaisilmanvaihdon määrä/tehokkuus

S on määrä tekijä (L/h)

V on huoneen L tilavuus

C on kaasun konsentraatio

Alaindeksit s, e ja i edustavat tuloilmaa, poistoilmaa ja sisäilman vastaavuutta

Tasapainoyhtälö voidaan ratkaista, kun C_s on jatkuva ja ilma sekoittuu, näin ollen

$$C_e = C_i = C, \text{ saadaan;}$$

$$\theta = \frac{C - C_s}{C_0 - C_s} = e^{-Q_{eff}t}$$

θ on kaasun suhteellinen konsentraatio

Q_{eff} on kokonaisilmanvaihdon määrä sisältäen myös diffuusion vaipan läpi
 t on aika (h)

alaindeksi 0 on kaasun konsentraatio alussa ajan hetkellä 0 (h)

Kun ilman epäpuhtauksien kuten CO_2 ja SF_6 määrät on mitattu huoneilmasta, voidaan Q_{eff} laskea (Simonson 2000, 37).

Ilmanvaihdon kokonaismäärä on höyrynsuluttomassa tilassa suurempi kuin höyrynsulullisessa tilassa. Höyrynsulullisessa tilassa ei rakenteiden lävitse tapahdu kaasujen diffuusiota, ja kokonaisilmanvaihdon määrä on ilmanvaihdon säätöjen mukainen määrä. Kun ilmanvaihto suljetaan kokonaan ja vaipan lävistävät osat tiivistetään, niin höyrynsulullisessa rakenteessa tapahtuu ulko- ja sisäilman paine-erosta johtuvaa pientä ilman liikkettä. Höyrynsulullisen rakennuksen kokonaisilmanvaihto $Q_{eff, muovi} =$ kokonaisilmanvaihto Q .

Säädetyin ilmanvaihdon ja rakenteiden läpi tapahtuvan läpäisyn muodostama kokonaisilman vaihto Q voidaan tarkemmin kirjoittaa muotoon:

$$Q = Q_{eff, muovi} = Q_{säädetty} + Q_{läpäisy}$$

Rakennuksen vaipan lävitse tapahtuvan diffuusion aiheuttama lisäys ilmanvaihtoon $Q_{diffuusio}$ voidaan kirjoittaa muotoon:

$$Q_{diffuusio} = \frac{\Delta Q_{eff}}{Q} = \frac{Q_{eff, muoviton} - Q}{Q} = \frac{Q_{eff, muoviton} - Q_{eff, muovi}}{Q_{eff, muovi}}$$

$$\text{Eli kokonaisilmanvaihto } Q = Q_{eff, muovi} \text{ tai } Q = Q_{eff, muoviton}$$

Kun säädetyin ilmanvaihdon määrää lasketaan, niin rakenteiden lävitse tapahtuvan diffuusion merkitys korostuu. Näin diffuusioavoimissa rakenteissa rakenteet osallistuvat kaasujen vaihtoon ja tasaavat ilmanvaihdon puutteita. CO_2 :n diffuusio rakenteiden lävitse on voimakkaampaa kuin SF_6 :n. Hengittävillä rakenteilla toteutettujen rakennuksien sisäilman laatua ja ilmanvaihdon voimakkuutta ei voida arvioida mittaamalla sisäilmasta hiilidioksidipitoisuutta, koska CO_2 :n diffuusio on huomattavaa. Ilmanvaihdon tehostaminen laskee diffuusion merkitystä. Tehokkaan ilmanvaihdon ero CO_2 :n ja SF_6 :n välillä voidaan kirjoittaa muotoon:

$$Q_{SF_6} = \frac{Q_{eff, muoviton}(CO_2) - Q_{eff, muoviton}(SF_6)}{Q_{eff, muoviton}(CO_2)}$$

, jossa termit $Q_{eff, muoviton}(CO_2)$ ja $Q_{eff, muoviton}(SF_6)$ ovat mitattuja pitoisuuksia ja osoittivat CO_2 :n poistumisen olevan tehokkaampaa (CO_2 (44 kg/kmole)) ja (SF_6 (146 kg/kmole)). (Simonson, 2000, 39–42.)

Hiilidioksidin pitoisuus sisäilmassa voidaan laskea, kun tiedetään hiilidioksidin tuotto. Esimerkiksi ihminen tuottaa hiilidioksidia 5 ml/s (Simonson, 2000, 71);

$$C = \frac{QC_s + 5000}{Q}$$

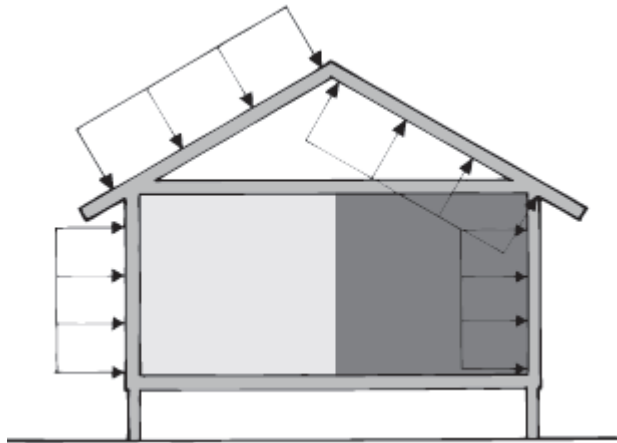
Q on ilmanvaihdon määrä L/s

C_s on ulkoilman sisältämän hiilidioksidin määrä (ppm.)

5 PAINOVOIMAINEN ILMANVAIHTO

Painovoimaisessa eli luonnollisessa ilmanvaihdossa ilmaa liikuttavina voimina toimivat korkeus- ja lämpötilaerot sekä tuulen aiheuttamat paineerot. Ulko- ja sisäilman väliset ilman tiheyksien erot saavat aikaan hormivaikutuksen, jossa kevyempi lämmin ilma nousee ylös ja raskaampi kylmempi ilma painuu alas. Tämä on niin kutsuttu savupiippuilmio. Sen seurauksena huoneiden tai rakennuksien yläosiin kohdistuu ylipainetta ja alaosiin alipainetta. Rakennuksen painejakaumaan vaikuttavat ilmanvaihtokanavistot, hormit, aukotukset, ikkunat sekä tulisijat hormoneineen. Painejakauman neutraaliakselilla sisä- ja ulkoilman paineet ovat samat, neutraaliakselin alapuolella vallitsee alipaine ja vastaavasti yläpuolella ylipaine. (Siikanen 2014, 35.)

Tuuli aiheuttaa rakennuksen ulko- ja sisäpuolelle painejakaumia, jotka vaihtelevat tuulen suunnan ja voimakkuuden mukaan. Rakennuksen muoto, sijainti ja korkeus vaikuttavat myös huomattavasti tuulen vaikutusten suuruuteen. Tuulenpuoleisilla sivuilla vallitsee ylipaine ja rakennuksen suojaisilla sivuilla alipaine. Pitkäaikaiset, samansuuntaiset tuuliolosuhteet lisäävät seinärakenteen läpi tapahtuvaa kosteuden ja lämmön siirtymistä. Tuulen aiheuttamat paine-erot liikuttavat ilmaa ilmanvaihtoventtiileistä ja rakenteiden raoista, ja myös hormien imuteho lisääntyy ilman liikkuesssa hormien yli. (Siikanen 2014, 36.)



Kuva 4. Tuulen painevaikutus. Rakennuksen tuulenpuoleisilla seinillä valitsee ylipaine ja suojanpuoleisilla seinillä alipaine. Tuulen pyörteisyyden vaikutuksesta painekuvio ei ole vakio, vaan se muuttuu sää- ja tuuliolosuhteiden mukaan. (Siikanen 2012, 75.)

Tuulen aiheuttaman painekentän tarkkaa muotoa ja suuruutta on vaikeaa määrittää. Tuulen aiheuttama painetta voidaan arvioida yleisellä tasolla kaavalla (Paloniitty 2013, 10):

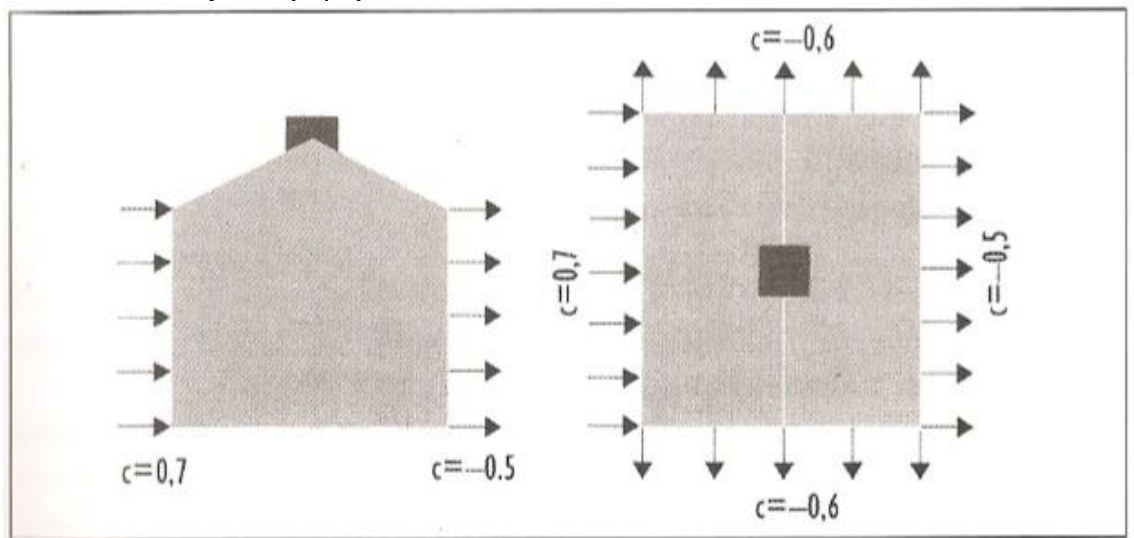
$$P = c * \frac{1}{2} * \rho * v^2$$

P on tuulen aiheuttama paine (Pa)

c on rakennuksen muodosta ja tuulen suunnasta aiheutuva vakio

ρ on ulkoilman tiheys (kg/m^3)

v on tuulen nopeus (m/s)



Kuva 5. Kuvassa ovat pelkistetyn rakenteen muotokertoimet, joita käytetään tuulen aiheuttaman paineen laskennassa (Paloniitty 2013, 11).

Savupiippuilmion aiheuttamien paine-erojen suuruus voidaan laskea kaavalla (Paloniitty 2013, 9):

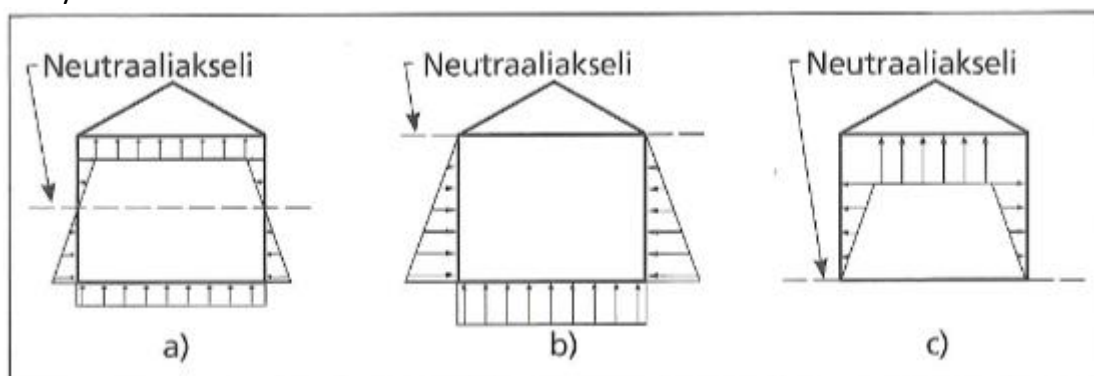
$$\Delta P = 0,043 * \Delta t * h$$

ΔP on savupiippuilmion aiheuttama paine – ero (Pa)

$\Delta t = t_s - t_u$ (°C)

h on etäisyys neutraaliakselista (m)

Neutraaliakselin sijaintiin rakennuksessa vaikuttaa rakennuksen vaipan tiiveys.



Kuva 6. Kohdassa a) vaipan tiiveys on tasainen, kohdassa b) vaipan ilmapuudot tapahtuvat yläosasta ja kohdassa c) vaipan ilmapuudot tapahtuvat alaosasta (Paloniitty 2013, 11).

5.1 Hormit painovoimaisessa ilmanvaihdossa

Rintamamiestaloissa painovoimaisen ilmanvaihdon hormit sijaitsevat talon keskellä olevassa piipussa. Piipussa on ilmanvaihtoon tarkoitettuja hormoneja ja savuhormeja savunpoistoon. Savupiipun rakenteellisia ominaisuuksia ei saa milloinkaan heikentää ja sen tulee olla pystysuorassa. Vaakasuuntaiset siirtymät aiheuttavat painehäviöitä sekä epätasaisia lämpöliikkeitä. Rakenteellisesti piiput ovat toteutettu tiilirakenteisina ja niiden nuohous voidaan suorittaa koko mitaltaan. (Seppänen & Seppänen 1996, 111.)

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa jokainen ilmanvaihtoon tarkoitettu hormi palvelee vain yhtä poistoilmaventtiiliä. Hormi on siis alaosastaan yhteydessä huonetilaan ja hormin yläpää johdetaan vesikaton yläpuolelle. Hormeja ei saa milloinkaan yhdistää, sillä poistoilmavirrat voivat kulkeutua tilojen välillä. Hormien tulee olla suoria. Poistoilmahormien korvausilma tuodaan korvausilmaventtiileistä ja rakenteiden läpi vuotoilmana. Korvausilmaventtiilit sijoitetaan eri tiloihin kuin poistoilmaventtiilit, jotta raiakas tuloilma huuhtelee koko rakennusta. Rakennuksen vaipan tiiveyden parantuessa tuloilmaventtiilien merkitys korostuu. (Seppänen & Seppänen 1996, 168.)

5.2 Ilman virtaus hormissa

Hormissa vallitsevaan ilman tilavuusvirtaan vaikuttavat hormin pinta-ala sekä ilman virtausnopeus (Seppänen 1996, 113):

$$qv = v * A$$

qv on hormissa vallitseva ilman tilavuusvirta [m^3/s]

v on hormissa vallitseva ilman virtausnopeus [m/s]

A on hormin poikkipinta – ala [m^2]

Ilmanvirtauksen aiheuttaman painehäviön ja hormivaikutuksen aikaansaaman käyttövoiman avulla lasketaan hormissa vallitseva ilman virtausnopeus (Seppänen 1996, 113):

$$v = \frac{\sqrt{\Delta p h}}{\sqrt{\left(\Sigma \xi + \frac{\lambda * L}{d_h}\right) * \frac{1}{2} * \rho_s}}$$

v on hormissa vallitseva ilmanvirtausnopeus [m/s]

ρ_s on sisäilman tiheys [kg/m^3]

L on hormin kokonaispituus [m]

d_h on hormin hydraulinen halkaisija [m]

λ on hormin kitkakerroin

ξ on kertavastuskerroin, joka on esimerkiksi aukolle 1,8

$\Delta p h$ on hormin käyttövoima [Pa]

Hormivaikutuksessa aineista tiheämpi jää vähemmän tiheän alapuolelle. Noste siis kohottaa ainetta toisen päälle. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa on kyseessä ilma, jonka tiheyserot saavat sen liikkeelle. Ilman tiheys- ja paine-erot johtuvat pääasiassa ilman lämpötilaeroista. Painovoimaisen ilmanvaihdon hormin käyttövoima voidaan laskea sisä- ja ulkolämpötilojen eron avulla, koska ilman tiheys on kääntäen verrannollinen lämpötilaan (Seppänen 1996, 112).

$$\Delta p = \rho_s * g * h * \left(\frac{T_s - T_u}{T_u}\right) = \left(\Sigma \xi + \frac{\lambda * L}{d_h}\right) * 0.5 * \rho * v^2$$

Δp on hormin käyttövoima [Pa]

ρ_s on ilman tiheys [kg/m^3]

g on gravitaatio kiihtyvyyys [$9,81 m/s^2$]

h on hormin korkeusero [m]

T_s on sisäilman lämpötila [K]

T_u on ulkoilman lämpötila [K]

$\Sigma \xi$ on muotovastuksien summa

λ on kitkakerroin

L on hormin pituus [m]

d_h on hormin hydraulinen halkaisija [m]

ρ on ilman tiheys [kg/m^3]

v^2 on ilman nopeus [m/s]

Ilman tiheyteen vaikuttaa lämpötilan lisäksi ilman absoluuttinen kosteus. Kosteaa ilmaa on kuivaa ilmaa kevyempää ja se siis vaikuttaa ilman liikkeisiin kuten lämpötila. Vaikutus ei tosin ole yhtä merkittävää. Hormin käyttövoima voidaan laskea tarkemmin sisä- ja ulkoilman tiheyserojen avulla (Sii-kanen 2014, 36):

$$\Delta p h = (\rho_u - \rho_s) * h * g$$

$\Delta p h$ on hormin käyttövoima [Pa]

g on gravitaatio [9,81 m/s²]

h on hormin ala – ja yläpään välinen korkeusero [m]

ρ_s on sisäilman tiheys [kg/m³]

ρ_u on ulkoilman tiheys [kg/m³]

Reynoldsin luku kuvaa ilman virtausta, joka voi olla turbulenttista tai laminaarista tai jotain niiden väliltä (Seppänen 1996, 95):

$$Re = \frac{dh * v * \rho}{\mu}$$

Re on Reynoldsin luku

μ on ilman kinemaattinen viskositeetti [m²/s], (+20°C: ssa 15,11 * 10⁻⁶)

v on hormissa vallitsevan ilmavirtausnopeuden arvio [m/s]

dh on hormin hydraulinen halkaisija [m]

ρ on ilmantiheys

Hormin ollessa pyöreä voidaan hydraulisen halkaisijan arvona käyttää hormin todellista sisämittaa ja suorakaidehormin hydraulinen halkaisija voidaan laskea.

$$dh = \frac{2 * a * b}{a + b}$$

dh on hormin hydraulinen halkaisija [m]

a on hormin pidempi sivumitta [m]

b on hormin lyhyempi sivumitta [m]

Kitkakerroin λ on riippuvainen hormin ominaisuuksista ja ilmavirtauksen laadusta. Kun ilmavirtaus on laminaarista ($Re < 2500$), hormin karheus ei vaikuta hormissa virtaavan ilman liikkeisiin. Kitkakerroin laminaariselle virtaukselle (Seppänen 1996, 96):

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

λ on kitkakerroin laminaariselle virtaukselle

Re on Reynoldsin luku

Turbulenttisessa virtauksessa ($Re > 4000$) hormin sisäpinnan ominaisuudet vaikuttavat virtaukseen kitkakertoimen kautta (Seppänen 1996, 96):

$$\lambda = \left(-2 * \lg \left(\frac{k}{3,707} + \frac{5,6-37 * \frac{k}{dh}}{Re^{0,9}} \right) \right)^{-2}$$

λ on kitkakerroin turbulenttisessa ilman virtauksessa
 k on hormin materiaalin karheus [mm]
 Re on Reynoldsin luku

Rintamamiestalon tyyppillisimpien hormimateriaalien karheusarvoja

- sinkitty teräsputki: karheus $k = 0,1-0,16$ mm
- hyvin ruostunut teräsputki: karheus $k = 2-4$ mm
- tasoitettu tiilimuuraus: karheus $k = 2-3$ mm
- raaka tiilimuuraus: karheus $k = 5-8$ mm

Virtauksen ollessa turbulenttisen ja laminaarisen väliltä ($2500 > Re > 4000$) kitkakerroin voidaan laskea:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}$$

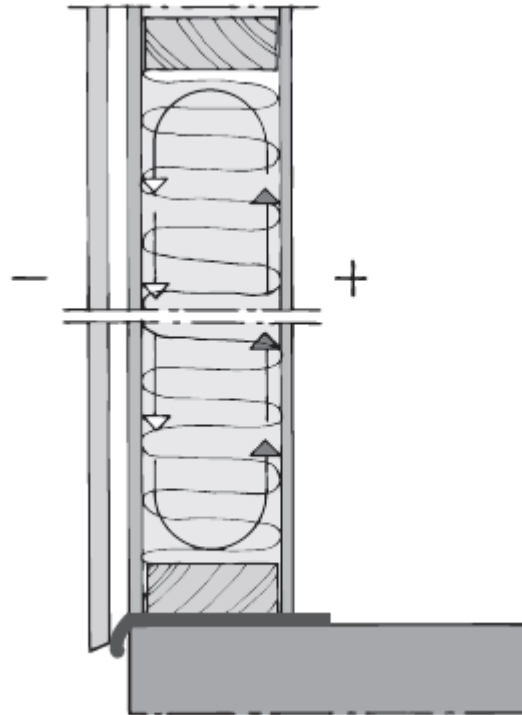
λ on muutosalueen kitkakerroin
 Re on Reynoldsin luku

5.3 Luonnollinen konvektio ja pakotettu konvektio

Luonnollinen konvektio on ilman tiheyseroista johtuvaa ilman pystysuuntaista liikettä, jossa lämmin ja kevyt ilma nousee ylös ja kylmä ja raskas ilma painuu alas. Tällaista ilman liikettä voi muodostua esimerkiksi ulkoseinärakenteen sisällä tai yläpohjarakenteissa. Rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan kannalta rakenteiden sisäinen konvektio voi olla haitallista etenkin kylmänä vuodenaikana. Ilman kiertoliikettä esiintyy myös esimerkiksi ikkunoiden ilmaraoissa ja huokoisissa lämmöneristeissä, mm. ulkoseinärakenteissa.

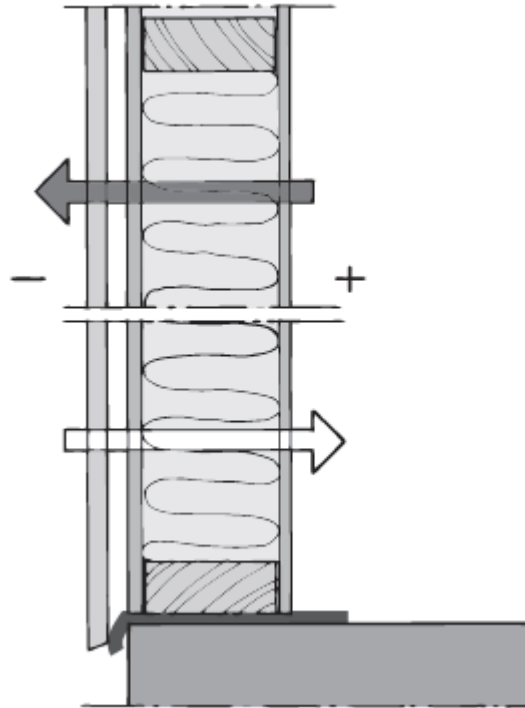
Ilman kiertoliike tulee huomioida rakenteiden suunnittelussa, esimerkiksi lämmöneristeeseen muodostuvan raon korkeus ja syvyys lisäävät konvektiota. Lämpötilajakaumat rakenteiden sisällä niin korkeus- kuin syvyyssuunnissakin muuttuvat ilman liikkeen mukana. Rakennusosista esimerkiksi yläpohjassa luonnollisen konvektion seurauksena lämmin ja kostea ilma kohoaa ylös ja voi tiivistyä vedeksi rakenteiden kylmillä pinnoilla, ja toisaalta se voi kiihdyttää ilman kiertoa yläpohjassa. Rakenteiden sisäiset ilman liikkeet vaikuttavat myös sisäilmastoon esimerkiksi viilentäen ja aiheuttaen vetoisuutta. (Siikanen 2014, 34.) Seinämäisissä rakenteissa luonnollista konvektiota esiintyy kevyissä ja huokoisissa lämmöneristeissä paksuilla lämmöneristyskerroksilla. Pienen ilmanvastuksen omaavilla läm-

möneristeillä on suurin sisäinen ilman liike. Kyseeseen tulevat lähinnä mineraalivillat, sillä puupohjaiset lämmöneristeet ovat tiheimpiä, eikä sisäinen konvektio aiheuta niille haittaa. Myös pystysuorat ilmaraat toimivat luonnollisen konvektion toiminnalle suotuisina väylinä. (Siikanen 2012, 74.)



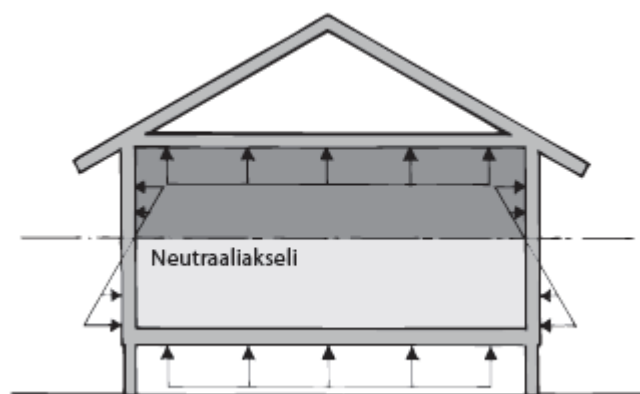
Kuva 7. Luonnollinen konvektio ulkoseinässä. Rakenteen sisällä ilma lämpiää sisäpinnan läheisyydessä ja kohoaa ylös, vastaavasti ilma kylmenee rakenteen ulko-osissa ja painuu alas. Syntyy rakenteen sisäistä ilmanliikettä. (Siikanen 2012, 73.)

Pakotettu konvektio on rakenteiden läpi tapahtuvaa ilman liikettä, joka johtuu paine-eroista rakenteiden eri puolilla. Paine-erot johtuvat LVI-laitteistoista, savupiippuvaikutuksesta sekä tuulen paineesta. Rakenteissa täytyy olla myös vuotoilma reittejä, jotta ilman liikkeet ovat mahdollisia. (Siikanen 2014, 35.)

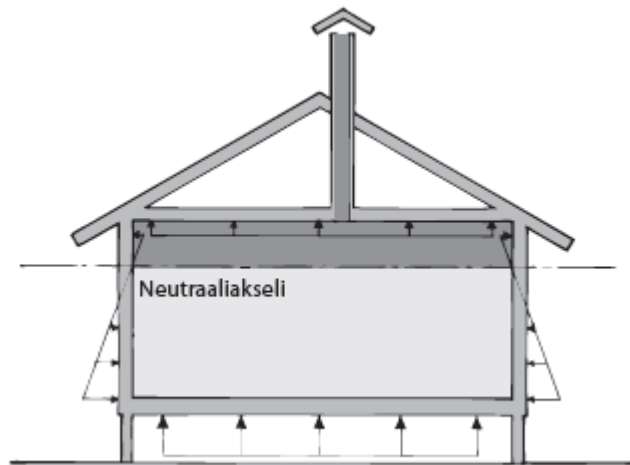


Kuva 8. Pakotettu konvektio ulkoseinässä. Savupiippuvaikutuksessa lämmentynyt ilma kohoaa ylös ja aiheuttaa ylipainetta rakenteen yläosiin, vastaavasti rakenteen alaosissa vallitsee alipaine. Paineerot rakenteiden yli aiheuttavat ilman liikkeitä rakennuksen vaiipan läpi. (Siikanen 2012, 74.)

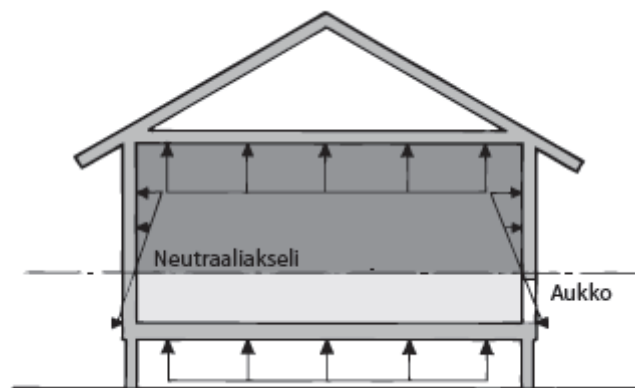
Rakennuksen painejakaumat ovat riippuvaisia monista tekijöistä. Niihin vaikuttavat muun muassa vapaiden tilojen korkeus, kerrostasojen välinen tiiveys, vaipparakenteiden aukotukset ja -tiivetyt sekä tuuli- ja sääolosuhteet.



Kuva 9. Täysin suljetussa tilassa neutraaliakseli sijaitsee huoneen keskellä (Siikanen 2012, 74).



Kuva 10. Kun tilassa on tulisija ja painovoimainen poisto, neutraaliakseli sijaitsee huoneen yläosassa (Siikanen 2012, 74).



Kuva 11. Kun tilan alaosassa on paljon aukkoja, saattaa neutraaliakseli sijaita huoneen alaosassa (Siikanen 2012, 74).

Savupiippuvaikutuksen aiheuttamien paine-erojen suuruus riippuu hormin korkeudesta ja lämpötilaeroista. Paine-erot on huomioitava rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisessä suunnittelussa, sillä ne ovat pysyviä ja aiheuttavat rakenteille jatkuvaa kuormitusta. (Siikanen 2012, 74.)

5.4 Rakenteen sisäiset lämpötilan ja ilmanpaineen muutokset

Kaasujen tilan yhtälössä ilmamäärän tarvitsema tilavuus vakio paineessa ja vakio lämpötilassa on vakio. Kun ilmatilan tilavuus on vakio ja ilman lämpötila muuttuu, niin myös sen paine muuttuu. Ilman lämpötilojen ja ilmanpaineiden muutokset saavat ilman liikkumaan. Esimerkiksi rakenteen sisäisessä ilmastossa lämminnyt ilma nousee ylöspäin ja poistuu ilmankulkureittejä pitkin, ja poistuvan ilman tilalle on tultava vastaava määrä korvausilmaa. Jos korvausilma on viileämpää kuin poistunut ilma, se jäähtyy ja kuivattaa tilaa, johon se on virrannut. Tiiviillä rakenteilla sisäiset lämpötilan muutokset aiheuttavat rakenteen sisäisten ilmanpaineiden muutoksia.

Rakenteen sisäisen lämpötilan nousu nostaa myös ilmanpainetta rakenteen sisällä; rakenteiden suunnittelussa ja toteutuksessa tämä on huomioitava muun muassa rakenteiden liikuntavaroilla. (Siikanen 2012, 86.)

5.5 Ilmanvaihdon reitit

Tuloilmaa tuodaan oleskelualueille kuten makuhuoneeseen, olohuoneeseen tai työhuoneeseen. Tuloilmaventtiilit tulee sijoittaa pattereiden taakseyläpuolelle tai ikkunoiden päälle. Tällä vältetään vedontunnetta, joka muodostuu, kun kylmä ulkoilma painuu sisään tultuaan lattian tasolle. Tuloilma ehtii lämmitä ennen kuin se saavuttaa oleskeluvyöhykkeen. Poistoilmaventtiilien tulee sijaita likaisissa tiloissa kuten eteisessä, keittiössä, kylpyhuoneessa ja wc:ssä. Siirtoilman täytyy kulkea puhtaammasta tilasta likaisemman tilan suuntaan, siis tuloilmaventtiilistä poistoilmaventtiiliin. Siirtoilmareitillä ei saa olla tiiviitä ovia tai muita esteitä. Oven alla olevan raon korkeuden tulee olla vähintään 20 millimetriä. (Hengityслиitto ry 2018.)

5.6 Painovoimaisen ilmanvaihdon tehostaminen ja tuuletus

Painovoimaista ilmanvaihtoa ei saa yhdistää koneelliseen poistoilmavaihtoon, koska painovoimaisen ilmanvaihtoon tarkoitetut hormit voivat alkaa toimia korvausilmareitteinä. Ilma alkaa siis kulkea hormoneissa väärinpäin ja voi aiheuttaa ongelmia sisäilman laadulle ja rakenteiden toimivuudelle. Liesituulettimen käytön yhteydessä tulee huolehtia riittävästä korvausilman saannista. Korvausilmaventtiiliin tulee sijaita riittävän lähellä liesituuletinta, jotta ilma virtaa venttiilistä tuulettimeen. Tällöin tuuletin ei alipaineista rakennusta siten, että ilma alkaa kulkea poistoilmahormeissa väärinpäin. Painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan tehostaa esimerkiksi hormin yläpäähän asennettavilla tuulitoimisilla apulaitteilla, jotka lisäävät hormin ilmavirtaa. (Siikanen 2014, 205.)

Painovoimaisen ilmanvaihdon tilavuusvirta venttiilistä voidaan laskea, kun tunnetaan ilman nopeus esimerkiksi kertomalla venttiilistä mitattu ilman nopeus vakiolla (Simonson 2000, 97.):

$$Q = k * v = 5.8 * v$$

Q on ilmanvaihdon määrä (L/s)

k on vakio (L/m)

v on mitattu ilman nopeus (m/s)

Aukon läpi tapahtuvien ilmavirtojen suuruus riippuu paine-eroista, jotka johtuvat tuulen vaikutuksesta ja savupiippuvaikutuksesta. Ilmavirta suuren aukon läpi lasketaan seuraavasti (Seppänen 1996, 211):

$$qv = \alpha * A * \sqrt{\frac{2 * \Delta p}{\rho_u}}$$

qv on ilmavirta aukon läpi eli tilavuusvirta [m^3/s]

ρ_u on ulkoilman tiheys [kg/m^3]

Δp on paine – ero [Pa]

A on aukon pinta – ala [m^2]

α on kuroutumiskerroin ilmasuihkulle

Kuroutumiskertoimen α määrittämiselle ei ole laskentakaavaa, vaan sen arvo on kokeellisesti selvitetty. Kuroutumiskertoimen arvoja on taulukoituna, ja sen arvo on aina vähintään 0,6.

AUKON TYYPPI	α
Suuttimet	0,99
Säleiköt	0,66–0,74
Rei`itettyt levyt	0,74–0,82
Suorakaiteen muotoiset aukot	0,82–0,88
Teräväreunaiset pyöreät reiät	0,63

Kuva 12. Ilmasuihkun kuroutumiskertoimia (Seppänen 1996, 158).

Tuulen vaikutuksesta seinällä syntyvä paine-ero voidaan laskea seuraavasti (Seppänen 1996, 211):

$$\Delta p_t = \frac{1}{2} * C_p * \rho_u * v_r^2$$

Δp_t on tuulesta aiheutuva paine – ero [Pa]

v_r^2 on tuulen referenssi nopeus [m/s]

ρ_u on ulkoilman tiheys [kg/m^3]

C_p on painekerroin joka riippuu rakennuksen muodosta ja tuulen suunnasta

Lämpötilaerojen aiheuttama paine-ero voidaan laskea seuraavasti (Seppänen 1996, 212):

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

Δp on lämpötilaerojen aiheuttama paine – ero [Pa]

ρ_s on sisäilman tiheys [kg/m^3]

g on gravitaatio kiihtyvyyys [$9,81 m/s^2$]

h on hormin korkeus [m]

T_s on sisäilman lämpötila [K]

T_u on ulkoilmanlämpötila [K]

Tuulen referenssinopeus lasketaan korkeissa rakennuksissa tarkasteltavan aukon korkeudelle, mutta matalammissa rakennuksissa referenssinopeus lasketaan yleensä räystäään korkeudelta. Taulukoidut tuulen nopeuksien mittaukset on suoritettu kymmenen metriä maanpinnan yläpuolelta ja niiden arvoja muutetaan vastaamaan rakennuspaikkaa. (Seppänen 1996, 211.)

$$v_r = v_{10} * K * z^a$$

v_r on tuulen referenssinopeus räystäään korkeudella [m/s]

z on tarkasteltavan räystäään korkeus [m]

K ja a ovat vakioita, jotka riippuvat maastosta

v_{10} on kymmenen metrin korkeudelta mitattu virallinen tuulen nopeus [m/s]

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

Kuva 13. Vakioita, jotka riippuvat maaston ominaisuuksista (Seppänen 1996, 211).

5.7 Rakomaiset aukot

Aukko on rakomainen, kun sen korkeus on alle 10 millimetriä. Rakovirtauksen ominaisuudet ovat erilaisia kuin isommilla aukoilla, ja tästä syystä rakovirtaukselle on omat laskukaavansa (Seppänen 1996, 211):

$$qv_{tuuli} = k * l * \Delta p_t^n$$

qv_{tuuli} on ilmavirta rakomaisen aukon läpi jonka tuuli aiheuttaa [l/s]

l on raon pituus [m]

Δp_t on tuulen aiheuttama paine – ero [Pa]

k on vakio, joka on raolle tyypillinen

(esimerkiksi ikkunanrako saa arvoja 0,005 ... 0,2 [$\frac{l}{s} * m$])

n on eksponentti, joka riippuu raon ominaisuuksista, (hyvin suuret 0,5, hyvin pienet 1 ja keskiarvo 0,61)

Rakomaisessa aukossa tapahtuvan ilman lämpiämisen seurauksena tapahtuvan ilmvirran suuruus lasketaan kaavalla:

$$qv_{\text{painovoima}} = \alpha * A * \sqrt{g * h * \frac{\Delta T}{T_s}}$$

$qv_{\text{painovoima}}$ on ilman lämpiämisestä johtuva ilmavirta aukon läpi [m^3/s]

ΔT on lämpötilaero ulko – ja sisäilman välillä [K]

T_s on sisäilman lämpötila [K]

g on maan gravitaation kiihtyvyyden arvo [$9,81m/s^2$]

A on aukon pinta – ala [m^2]

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

α on kuroutumiskerroin ilmasuihkulle

5.8 Pienet reiät

Pyörteellistä tai turbulanttista ilmavirtausta ohuen rakenteen kuten ilman- tai höyrynsulussa olevien reikien kautta voidaan laskea kaavalla (Paloniitty 2013, 13):

$$Q = 0,8 * A * \sqrt{\Delta P} * \Delta t$$

Q on ilmavirta [m^3/s]

A on reiän pinta – ala [m^2]

$\sqrt{\Delta P}$ on paine – eron neliöjuuri [Pa]

Δt on tarkasteltava ajanjakso [s]

5.9 Suuremmat reiät ja aukot

Laminaarista eli pyörteetöntä ilmavirtausta vastaanottavien reikien ilmavirta voidaan laskea kaavalla (Paloniitty 2013, 13):

$$Q = A * \left(\frac{b^2}{12 * \eta} * \frac{\Delta P}{l} \right)$$

Q on ilmavirta [m^3/s]

A on reiän pinta – ala [m^2]

η on ilman viskositeetti [$N *$

$\frac{s}{m^2}$] jonka suurus on riippuvainen lämpötilasta t

$\eta_{\text{ilma}} = (17.1 + 0.0049 * t) * 10^{-6}$

l on raon syvyys [m]

Pyöreiden reikien kautta kulkeva ilmavirta voidaan laskea kaavalla (symboleilla on sama merkitys):

$$Q = A * \left(\frac{b^2}{32 * \eta} * \frac{\Delta P}{l} \right)$$

Ylipaineen vallitessa voi rakojen kautta kulkeutua sisäilman sisältämää kosteutta rakenteisiin. Kosteusvirran suuruus voidaan laskea kaavalla (Paloniitty 2013, 17):

$$k = v * Q$$

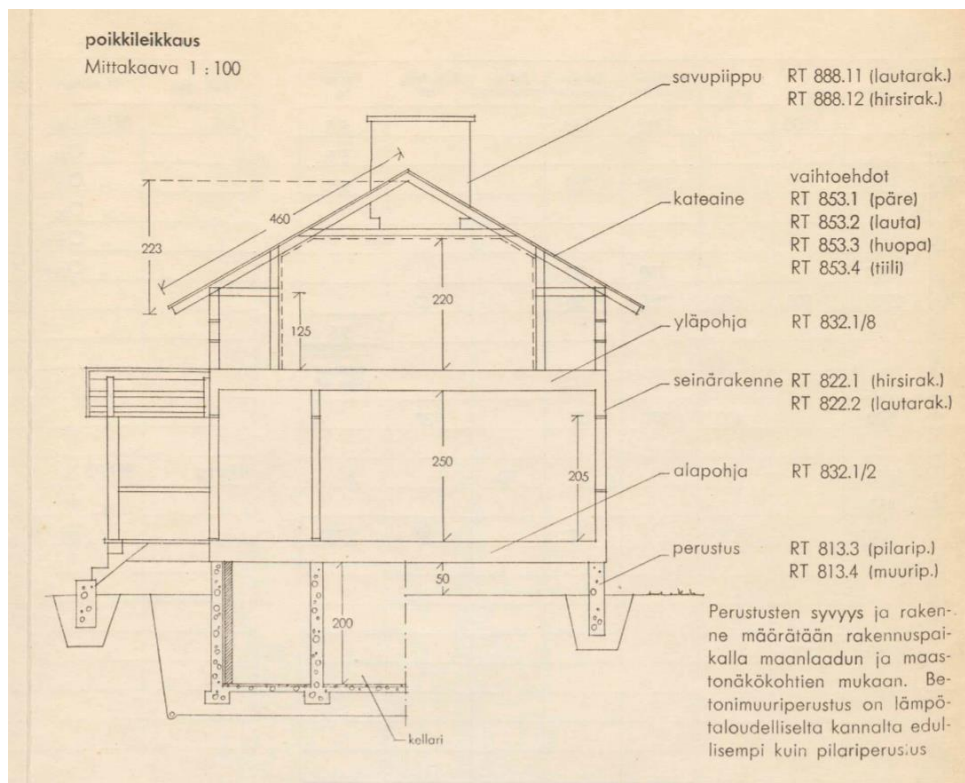
k on kosteusvirta [g/s]

v on ilman vesihöyrypitoisuus [g/m³]

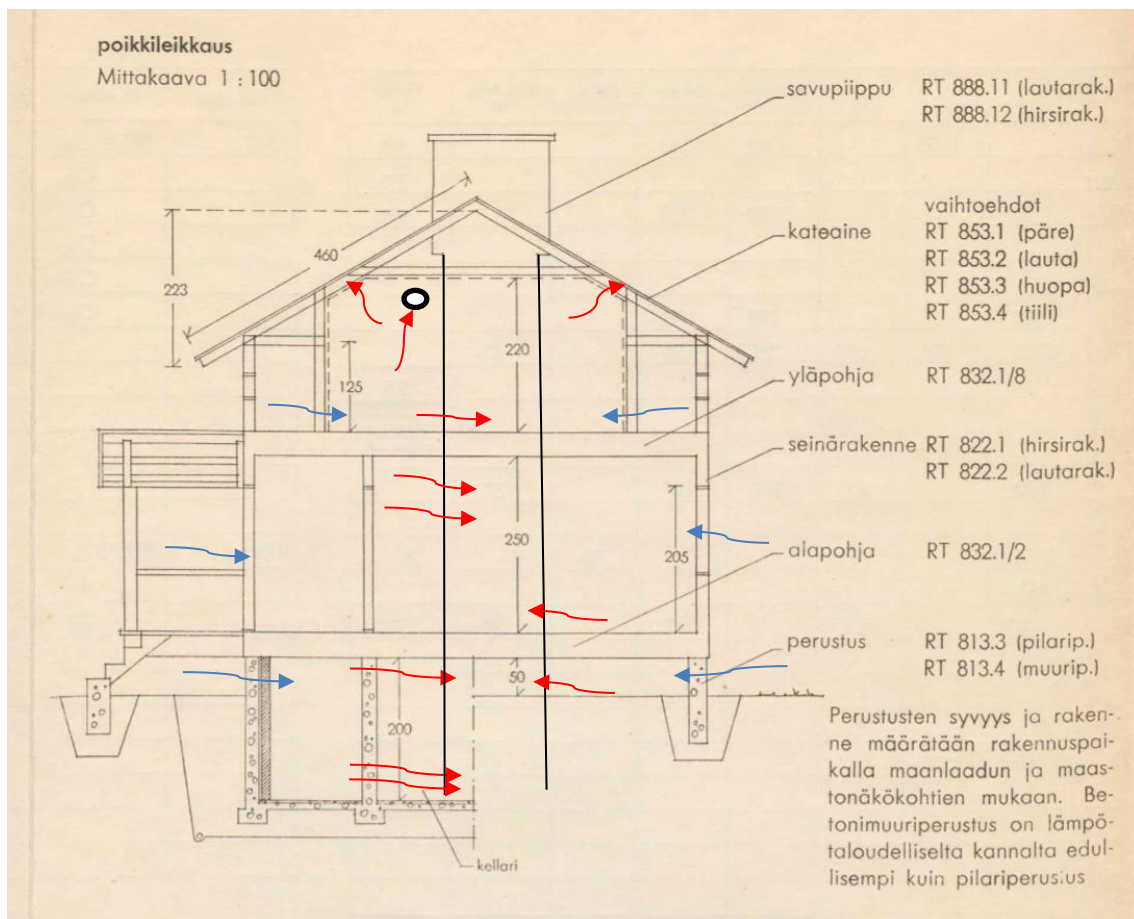
Q on ilmavirta [m³/s]

6 RINTAMAMIESTALON PAINESUHTEIDEN MITOITUS

Rintamamiestalon leikkauspiirustuksesta selviävät rakennuksissa käytetyt rakennetyypit ja niiden toteuttamista ohjanneet RT-kortit. Leikkauspiirustus on osa alkuperäisestä asiakirjasta, joita aikanaan pystyi hankkimaan viranomaisilta rakennuksen rakentamista varten. RT-korttien nimistä voi nähdä, että rakennus on toteutettu perustusta lukuun ottamatta puurakenteisena ja lämmöneristeinä on käytetty puupurua. Puupohjaisten materiaalien ja rakennuspapereiden käyttö rakennuksen vaipan rakennusmateriaaleina ovat mahdollistaneet rakenteiden hengittävyys ja hyvän kosteusteknisen toiminnan. Alkuperäisillä rakentamisohjeilla rakennettujen talojen sisäilmasto on vaihdellut hyvinkin paljon vuodenaikojen mukaan: talvella on esiintynyt vetoa ja kylmyyttä, kun taas kesällä yllämpenemistä. Puupohjaisten rakennusmateriaalien käyttö rakennuksen vaipassa ei merkittävästi vaikuta esimerkiksi hiilidioksidin diffuusiovirtoihin rakennuksen vaipan lävitse. Diffuusion merkitys korostuu ilmanpitävyydeltään ja lämmöneristykseltään paremmin toteutettujen rakennuksien yhteydessä, joissa vuotoilmavirtoja ei rakennuksen vaipan lävitse esiinny. Vuotoilmavirrat liikuttavat suuria määriä ilmaa rakennuksen vaipan lävitse suorien konvektiovirtauksien mukana, joten ilman painovoimaiset liikkeet huolehtivat esimerkiksi kaasujen poistosta. Puupohjaiset materiaalit tasaavat sisäilman suhteellisen kosteuden arvoja esimerkiksi talvikuukausina, kun ulkoilman kosteussisältö on alhainen. Puupohjaiset materiaalit toimivat kosteusvarastona, jotka talvella luovuttavat kosteutta ja kesällä sitovat sitä.



Kuva 14. Kuva 12. Tyypitalon leikkauspiirros, josta näkyy eri perustamisvaihtoehtoja sekä kantavat rakenneosat (Kansallisarkisto 2017).



Kuva 15. Kuva 13. Ilman siirtoon tarkoitettuja reittejä ja vuotoilmavirtoja. Punaiset nuolet osoittavat poistoilman kulkureittejä ja siniset nuolet ulkoilman kulkureittejä. Kellarikerros on kokonaan rakennettu. (Kansallisarkisto 2017.)

Rakennuksen keskelle sijaitsevassa piipussa on kahdenlaisia hormeja: hormeja, joiden alapäähän on kytketty tulipesä tai esimerkiksi jokin poltin, sekä hormit, jotka ovat vain ilmanvaihtoa varten. Tulipesään tai polttimeen kytketyt hormit kuljettavat savukaasut ja jäteilman ulos. Kaikki hormit palvelevat vain yhtä ilmanvaihdollista tai lämmitykseen tarkoitettua pistettä, eli kaikki hormit ovat yhteydessä sisäilmaan vain alapäästään ja ulkoilmaan vain yläpäästään. Tämä toteutustapa estää haitalliset ilmavirtaukset tilasta toiseen jäteilman poistoon tarkoitetuissa hormoneissa. Alkuperäisissä ratkaisuissa kerrosten välillä on ollut asennettuina kynnyksellisiä väliovia; näillä on suuri vaikutus ilman liikkeisiin kerrosten välillä.

6.1 Poistoilmavirrat kerroksista

Kellarikerroksessa ulkoseinillä on tuloilma-aukkoja, joiden pinta-ala on $15 \times 15 \text{ cm}^2$ jokaisella rakennuksen seinustalla. Tuloilma-aukkoja on siis yhteensä neljä kappaletta ja ne takaavat korvausilman saannin poistoilmahormeille. Betonirakenteisessa kellarikerroksessa on hyvin vähäisessä määrin vuotoilmavirtoja rakenteiden tiiveyden ja painovoimaisesta ilmanvaihdosta aiheutuvan pienen paine-eron vaikutuksesta. Tiilirakenteisen

poistoilmahormin pinta-ala on $15 * 15 \text{ cm}^2$ ja korkeusero poistoilmasäleikön ja piipun huipun välillä on 7,5 metriä. Näitä poistoilmahormeja on kaksi kappaletta. Näiden lisäksi on kaksi kappaletta poistoilmahormeja, jotka on tarkoitettu tulipesien kytkentään. Näiden korkeusero tulipesän korvausilmapellin ja piipun huipun välillä on 9,3 metriä. Rakennuksen pohjan pinta-ala on 50 neliometriä. Ilmanvaihdon määrät m^3/h laskettuina hormin käyttövoiman ja painehäviöiden perusteella:

Taulukko 2. Hormin käyttövoimaan perustuvat ilmanvaihdon määrät kellarikerroksessa.

Korkeusero m	T_U (astetta)	T_S (astetta)	Paine-ero Pa	Ilmanvaihto m^3/h
7,5	-25	+21	16,376	136,6
7,5	+5	+21	5,08	76,1
7,5	+19	+21	0,605	26,25
7,5	+21	+21	0	0
7,5	+25	+21	-1,19	käänteinen
9,3	-25	+21	20,31	146,6
9,3	+5	+21	6,3	81,65
9,3	+19	+21	0,75	28,2
9,3	+21	+21	0	0
9,3	+25	+21	-1,47	käänteinen

Laskennan tuloksista voidaan nähdä, että kylmänä vuodenaikana painovoimainen ilmanvaihto toimii erittäin tehokkaasti. Kun ulkoilmanlämpötila alkaa lähestyä sisäilmanlämpötilaa, ilmanvaihto heikkenee. Kylmänä vuodenaikana on välttämätöntä hillitä kellarikerroksen ilmanvaihtoa pienentämällä tuloilmareittien virtausaukkoja ja säätämällä poistoilmaventtiilejä. Kesäaikaista ilmanvaihtoa täytyy tehostaa esimerkiksi tuuletuksella. Kun tilojen ilmanvaihdon kertoimeksi vaaditaan $0,5 * 1/\text{h}$, niin esimerkiksi +19 asteen ulkolämpötilalla kellarikerroksen poistoilmamäärät ovat yhteensä $2 * 26,25 + 2 * 28,2 = 108,9 \text{ m}^3/\text{h}$ ja ilmatilavuus 100 m^3 , joten sisäilma vaihtuu yhden kerran tunnin aikana. Tämä edellyttää, että ilmavirtausreitit ovat täysin auki ja tulipesien kautta kulkevalle ilmavirtaukselle ei tapahdu merkittävää painehäviötä. Painehäviötä kasvattavat esimerkiksi vaakasuorat hormiosuudet sekä erityisesti varaavissa tulisijoissa ilman epäsuorat kulkureitit tulisijan sisällä.

Keskikerroksen poistoilmanvaihto sisältää kaksi kappaletta poistoilmahormeja, joiden korkeusero poistoilmasäleiköstä piipun päälle on 4,7 metriä. Lisäksi on yksi tulipesälle tarkoitettu hormi, jonka korkeudeksi tulee 6,8 metriä. Jokaisen poistoilmahormin pinta-ala on $15 * 15 \text{ cm}^2$ ja ne ovat tiilirakenteisia.

Taulukko 3. Hormin käyttövoimaan perustuvat ilmanvaihdon määrät keskikerroksessa

Korkeusero m	T _U (astetta)	T _S (astetta)	Paine-ero Pa	Ilmanvaihto m ³ /h
4,7	-25	+21	10,26	115,34
4,7	+5	+21	3,18	64,26
4,7	+19	+21	0,38	22,2
4,7	+21	+21	0	0
4,7	+25	+21	-0,743	käänteinen
6,8	-25	+21	14,85	132,1
6,8	+5	+21	4,6	73,48
6,8	+19	+21	0,548	25,4
6,8	+21	+21	0	0
6,8	+25	+21	-1,074	käänteinen

Keskikerroksessa ei ole suoria rakennuksen vaipan lävistäviä korvausilma-
reittejä, vaan tuloilma tulee rakennuksen vaipan lävitse vuotoilmavir-
toina. Laskentatulokset edellyttävät riittävää korvausilmansaantia. Keski-
kerroksen tilavuus on 125 m³ ja talvella ilmanvaihto on tehokasta. Kesäai-
kainen ilmanvaihdon tehostaminen täytyy suorittaa tuuletuksella. Esimer-
kiksi +19 asteen lämpötilassa kokonaisilmanvaihto on $2 \cdot 22,2 + 25,4 = 69,8$
m³/h, joka täyttää juuri ilmanvaihdonvaatimuksen $0,5 \cdot 1/h$. Tulipesän lä-
vitse ei saa syntyä merkittävää painehäviötä.

Ullakkokerroksessa on tulipesälle tarkoitettu hormiliitos. Hormin pois-
toilma tehoa määritettäessä tulee olettaa, että tulipesässä ei muodostu
merkittävää painehäviötä.

Taulukko 4. Hormin käyttövoimaan perustuvat ilmanvaihdon määrät ullak-
kerroksessa.

Korkeusero m	T _U (astetta)	T _S (astetta)	Paine-ero Pa	Ilmanvaihto m ³ /h
4,0	-25	+21	8,73	108,2
4,0	+5	+21	2,71	60,3
4,0	+19	+21	0,323	20,8
4,0	+21	+21	0	0
4,0	+25	+21	-0,63	käänteinen

Edellä ovat laskettuina piipussa olevien hormien poistoilmakapasiteetit.
Oletuksena on ollut, että poistoilmahormit saavat riittävän korvausilman
ja hormoneihin kytketyt tulisijat ja venttiilit eivät aiheuta painehäviötä ja
estä ilmanvirtausta. Laskelmat kuvastavat piipun hormien muodostamaa
kapasiteettia. Todellisuudessa kapasiteettia ei voida kokonaan hyödyntää,

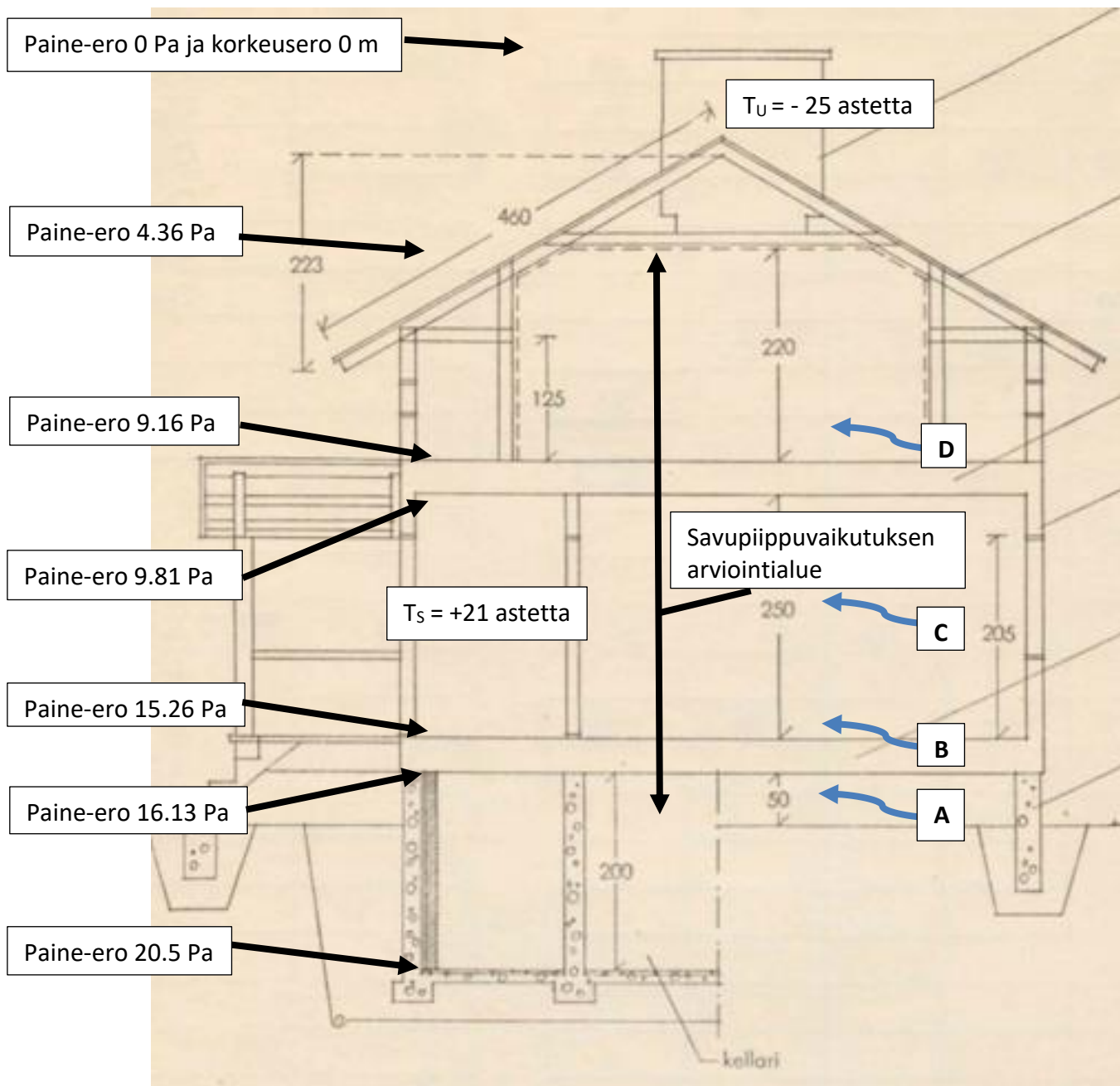
esimerkiksi juuri tulipesissä muodostuvaan painehäviöön ja käyttötilanteessahan tulipesien luukut ovat yleensä suljettuina. Laskelmat osoittavat suuren tarpeen ilmavirtojen säätämiseksi. Kylmänä vuodenaikana ilmavirtaukset ovat suuria ja niitä on pakko rajoittaa, jotta saavutetaan tasainen ja lämmin sisäilmasto. Ulkoilman lämpötilan ollessa lähellä sisäilman lämpötilaa poistoilmanvaihto heikkenee tai loppuu kokonaan. Ulkoilman lämpötilan noustessa sisäilman lämpötilaa korkeammaksi voivat poistoilmahormien ilmavirtaukset kääntyä käänteisiksi ja ne alkavat toimia tuloilmakanavina. Kesäaikainen ilmanvaihto täytyy tehostaa tuuletuksella.

6.2 Rakennuksen painesuhteet

Rakennuksen sisäisiä ilmanliikkeitä ja hormoneissa tapahtuvaa ilman liikettä voidaan arvioida rakennuksen korkeuden sekä ulko- ja sisäilman lämpötilaerojen avulla. Tarkastellaan ilmanpaineen muutosta huonetiloissa lattia- ja kattotasojen välillä. Paine-erojen nollakohta on piipun laella, jossa vallitseva ilmanpaine = ulkoilmanpaine.

Taulukko 5. Rakennuksen paine-erot korkeuden mukaan.

Korkeusero m	T _U (astetta)	T _S (astetta)	Paine-ero Pa
0–2,0	-25	+21	0–4,36
2,0–4,2	-25	+21	4,36–9,16
4,5–7,0	-25	+21	9,81–15,26
7,4–9,4	-25	+21	16,13–20,5
0–2,0	+5	+21	0–1,34
2,0–4,2	+5	+21	1,34–2,81
4,5–7,0	+5	+21	3,02–4,69
7,4–9,4	+5	+21	4,96–6,30
0–2,0	+19	+21	0–0,15
2,0–4,2	+19	+21	0,15–0,315
4,5–7,0	+19	+21	0,034–0,53
7,4–9,4	+19	+21	0,56–0,71



Kuva 16. Paine-eroja ja savupiippuvaikutusta. Sinisillä nuolilla on merkittynä eri mahdollisuuksia vuotoilmavirroille.

Savupiippuvaikutuksen suuruuteen vaikuttavat rakennuksen korkeus, ulkoilman ja sisäilman lämpötilaero sekä neutraaliakselin sijainti. Rakennuksen vaipan ilmanpitävyys ja vaipan aukotukset kuten ikkunat ja ulko-ovet vaikuttavat neutraaliakselin korkeuteen. Arvioidaan savupiippuvaikutuksen suuruutta rakennuksessa sijoittamalla neutraaliakseli eri korkeuksille siten, että vuotoilman reittejä ovat **A, B, C, D, A+B, A+B+C, A+B+C+D, B+C, B+C+D, C+D ja A+D**. Kerrosten välillä ei ole suljettavia kynnyksellisiä väliä, joten ilmavirrat voivat liikkua kerrosten välillä vapaasti. Savupiippuvaikutuksen aiheuttama paine-ero, kun ulkoilman lämpötila $T_U = -25$ astetta ja sisäilman lämpötila $T_S = +21$ astetta.

Taulukko 6. Neutraaliakselin korkeussijainnin vaikutus savupiippuvaikutuksen aiheuttamiin paine-eroihin.

vuotoilma	T _U (astetta)	T _S (astetta)	Korkeus- ero m	Paine-ero Pa	Paineen selitys ja vaikutus
A voimakas	-25	+21	6,0	11,9	yläpohjan ylipainetta, neutraaliakseli korkeudella A
B voimakas	-25	+21	5,0	9,9	yläpohjan ylipainetta, neutraaliakseli korkeudella B
C voimakas	-25	+21	3,75	7,4	yläpohjan ylipainetta, neutraaliakseli korkeudella C
D voimakas	-25	+21	2,0	3,9	Neutraaliakseli korkeudella D, alapuolella alipainetta
A+B	-25	+21	5,0	9,9	neutraaliakseli korkeudella B, kellarissa alipaine
A+B+C	-25	+21	3,75	7,4	neutraaliakseli korkeudella C, alapuolella alipaine
A+B+C+D	-25	+21	6,0	11,9/2 = 5,95	vuotoilmareitit tasaisesti jakaantuneet, neutraaliakseli korkeudella C
B+C	-25	+21	3,75	7,4	neutraaliakseli korkeudella C, alapuolella alipaine
B+C+D	-25	+21	5,0	9,9/2 = 4,95	vuotoilmareitit tasaisesti jakaantuneet, neutraaliakseli C:n ja D:n välillä
C+D	-25	+21	3,75	7,4/2 = 3,7	neutraaliakseli korkeudella D, alapuolella alipaine
A+D	-25	+21	6,0	11,9/2 = 5,95	vuotoilmareitit tasaisesti jakaantuneet, neutraaliakseli korkeudella C

Neutraaliakselin sijaintiin rakennuksen korkeudella h vaikuttavat rakennuksen vaipan ilmanpitävyys ja aukotukset. Neutraaliakselin sijainti tulisi saada mahdollisimman lähelle rakennuksen korkeuden keskiarvoa tai tämän yläpuolelle. Näin voidaan pienentää rakennuksen yläosiin kohdistuva ylipainetta ja samalla tasataan kellarikerroksen ilmastollisia olosuhteita. Kerroksien välillä olevat kynnykselliset ja tiiviit väliovet vähentävät portaikossa tapahtuvaa savupiippuvaikutusta jakamalla kerrostasot omiksi tasoisiksi. Tällöin savupiippuvaikutusta voimistava suuri korkeusero pienenee ja näin paineolosuhteet tasaantuvat kerroksiin.

Tuulen aiheuttamia paine-eroja on vaikeaa arvioida tarkasti. Arvioidaan tuulen vaikutuksia rakennuksen paineolosuhteisiin yleisellä tasolla.

Taulukko 7. Tuulen aiheuttamat paine-erot rakennuksen seinustoilla.

muotokerroin C	tuulen nopeus m/s	Ilman kg/m ³	tiheys	paine Pa	vaikutus
0,7	10	1,2		42	ylipaine tuulen puoleisella seinustalla
0,7	2	1,2		1,7	ylipaine tuulen puoleisella seinustalla
-0,5	10	1,2		-30	alipaine rakennuksen suojaosalla puolella
-0,5	2	1,2		-1,2	alipaine rakennuksen suojaosalla puolella
-0,6	10	1,2		-36	alipaine rakennuksen tuulenvastaisen seinustan viereisillä seinustoilla
-0,6	2	1,2		-1,4	alipaine rakennuksen tuulenvastaisen seinustan viereisillä seinustoilla

Tuuli muodostaa rakennuksen ympärille ja itse rakennukseen vaihtelevia painejakaumia. Tuulenpuoleisilla seinustoilla vallitsee ylipaine ja suojaosilla seinustoilla alipaine. Ylipaineisilla puolilla olevien rakenteiden ulkopintaan kohdistuu siis ylipainetta ja niiden sisäpintaan alipainetta. Esimerkiksi tuuli aiheuttaa korvausilmaventtiiliin ulkoisen ylipaineen, joka saa ilman liikkumaan sisään ja näin venttiilin sisäpinnassa valitsee alipaine. Tuulensuojaisilla seinustoilla taas vallitsee alipaine eli esimerkiksi raitisilmaventtiiliin kohdistuu ulkoinen alipaine: nyt venttiilin sisäpinnassa vallitsee ylipaine, joka saa ilman virtaamaan venttiilin läpi. Tuuli siis painaa ilmaa sisään rakennuksen tuulenpuoleiselta puolelta ja imee ilmaa ulos rakennuksen vastakkaiselta puolelta. Pitkään jatkuvat saman suuntaiset tuuliolosuhteet voivat kuljettaa ylipaineisilla sivustoilla kosteutta rakenteisiin ja vastavasti kuivattaa alipaineisia sivustoja.

Tuuletusaukosta kulkeutuvaa ilmamäärää eli aukon läpi kulkeutuvan ilmamäärän kokonaiskapasiteettia voidaan arvioida laskemalla. Aukkoon asennettava venttiili tai säleikkö pienentävät virtausmääriä omien painehäviöidensä ja säätölaitteidensa vuoksi. Käytetään savupiippuvaikutuksen aikaan saamia paine-eroja raitisilman virtausmäärien selvittämiseen.

Taulukko 8. Raitisilma-aukon läpi virtaava ilman tilavuusvirta.

T_U (as- tetta)	T_S (as- tetta)	Korkeus- ero m	Paine- ero Pa	Paineen selitys ja vaikutus	Raitisilma-aukko 15 * 15 cm ² läpivir- taus m ³ /h
-25	+21	6,0	11,9	yläpohjan ylipai- netta, neutraaliakseli korkeudella A	31,8
-25	+21	5,0	9,9	yläpohjan ylipai- netta, neutraaliakseli korkeudella B	26,44
-25	+21	3,75	7,4	yläpohjan ylipai- netta, neutraaliakseli korkeudella C	19,76
-25	+21	2,0	3,9	Neutraaliakseli kor- keudella D, alapuo- lalla alipainetta	10,42
-25	+21	5,0	9,9	neutraaliakseli kor- keudella B, kellarissa alipaine	26,44
-25	+21	3,75	7,4	neutraaliakseli kor- keudella C, alapuo- lalla alipaine	19,76
-25	+21	6,0	11,9/2 = 5,95	vuotoilmareitit tasai- sesti jakaantuneet, neutraaliakseli kor- keudella C	15,89
-25	+21	3,75	7,4	neutraaliakseli kor- keudella C, alapuo- lalla alipaine	19,76
-25	+21	5,0	9,9/2 = 4,95	vuotoilmareitit tasai- sesti jakaantuneet, neutraaliakseli C:n ja D:n välillä	13,22
-25	+21	3,75	7,4/2 = 3,7	neutraaliakseli kor- keudella D, alapuo- lalla alipaine	9,88
-25	+21	6,0	11,9/2 = 5,95	vuotoilmareitit tasai- sesti jakaantuneet, neutraaliakseli kor- keudella C	15,89

Ilmanvirtausmääristä voi havaita paine-eron merkityksen. Mitä suurempia ovat korkeusero ja lämpötilaero, sitä suurempi on paine-ero. Tuloksina esi-

tetyt ilmavirtauksen määrät m^3/h ovat suoran ja vapaan aukon lävitse tapahtuvia ilmavirtoja. Säleiköillä ja venttiileillä voidaan merkittävästi muuttaa ilmanvirtausmääriä.

Liesituulettimen tai jonkin muun puhaltimen kytkentää vanhaan poistoilmahormiin täytyy harkita. Ongelmia voi muodostua puhaltimen aiheuttamasta ylipaineesta hormin sisällä. Ylipaine pyrkii tasaantumaan hormin seinämien läpi ympäröiviin tiloihin, jos hormissa on vuotoilman kulkeutumisen mahdollistavia reittejä. Puhallinta parempi vaihtoehto olisi sijoittaa imuri hormin yläpäähän ja muodostaa hormiin alipaine. Liian voimakkaan alipaineen muodostamista johonkin yksittäiseen hormiin täytyy varoa. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa valtaosan vuodesta vallitsevat ilmanpaineerot ovat pieniä ja näin siis poistoilmahormien käyttövoimat voivat kumoutua, kun jokin hormeista tai jokin uusi ilmanvaihdollinen piste tekee alipainetta.

Jos alipaineen imuvoima on suurempi kuin poistoilmahormien käyttövoima voi ilma virrata poistoilmahormeissa väärinpäin. Lievempi vaikutus voi olla paine-erojen pienentäminen sen verran, että luonnollinen poistoilmanvaihto heikkenee tai pysähtyy. Liesituulettimen asennuksen yhteydessä tulee varmistua sen korvausilman saannista. Näin liesituuletin tuulettaa ulos kosteuden ja tuoksut sekä samalla tehostaa ilmanvaihtoa ottamalla sisään tuloilmaa. Märkätiloihin voidaan asentaa puhaltimia, jotka muodostavat myös ylipaineen kanavaan, johon puhaltavat. Märkätilojen puhaltimet kannattaa aina kytkeä uusiin kanaviin ja johtaa ulos lyhintä mahdollista reittiä. Märkätilojen ilmanvaihdon tehostamiseen on olemassa myös imureita, jotka muodostavat alipainetta. Luonnonvoimia hyödyntävät hormin yläpäähän asennettavat laitteet lisäävät hormien alipainetta ja tehostavat poistoilmanvaihtoa. Näitä voidaan asentaa huonetilojen ilmanvaihdon tehostamiseksi tai esimerkiksi radonputkiston poistoilmanvaihdon lisäämiseksi. Painovoimaisen ilmanvaihdon yhteydessä on aina pystyttävä säätämään ilmanvaihtoon tarkoitettuja laitteita. Kun ilmanvaihto on kesällä heikkoa, täytyy tehostustoimena käyttää tuulettamista tuuletusikkunoiden tai ulko-ovien kautta.

Tuuletus on erittäin tehokas tapa parantaa sisäilman laatua. Tuuletuksella voidaan nopeasti laskea sisäilman epäpuhtauksien kuten hiilidioksidin määrää. Tuuletus on tehokkainta, kun luodaan niin sanottu ristiveto eli avataan esimerkiksi ikkuna tuulenvastaiselta ja tuulensuojaiselta seinustalta. Ristiveto syntyy myös, kun avataan aukko rakennuksen auringon puoleiselta seinustalta ja varjon puolelta. Tuuletuksen tehokkuuteen esimerkiksi ikkuna-aukosta vaikuttavat muun muassa ikkunan aukeamisominaisuudet kuten tuuletusasennon laajuus sekä aukeamismekanismien toimintasuunta; myös ikkunan korkeusasema vaikuttaa. Laskennallisesti tuuletuksella päästään hyvin suuriin ilmanvaihdon määriin, ja tästä syystä tulee tuuletusjaksojen pituus pitää kohtuullisena. Turhan pitkät tuuletusjaksot kuluttavat valtavasti esimerkiksi lämmitysenergiaa.

Taulukko 9. Ilman tilavuusvirta tuuletuksen avulla.

Tuuletusaukon koko m ²	Paine-ero Pa	Ilman tilavuusvirta m ³ /s
0,3 * 1,2 = 0,36	10	1,25
0,3 * 1,2 = 0,36	5	0,88
0,3 * 1,2 = 0,36	2	0,56
0,3 * 1,2 = 0,36	1	0,39
0,3 * 1,2 = 0,36	0	0

Ilmanvaihdon tilavuusvirrat ovat suuria jo pienilläkin paine-eroilla, joten tuuletuksen tehokkuus on ilmeinen.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Rakennuksen perusparantamisen keskeisimpinä tavoitteina voidaan pitää energiatehokkuuden parantamista, sisäilmastollisten olosuhteiden parantamista sekä rakenteiden kosteusteknisten ominaisuuksien parantamista ja varmistamista. Rakennuksen toiminnallisuuden ja käytettävyyden kehittäminen sekä huollon tarpeen vähentäminen ovat myös huomioitavia tekijöitä. Korjaus- ja muutosrakentamisen suunnitteluratkaisuissa suositaan koneellisia ilmanvaihdon ratkaisuja ja diffuusiotiiviitä rakenteita. Diffuusiotiivis vaipanrakenne voidaan myös toteuttaa yhdistettynä painovoimaiseen ilmanvaihtoon. Vaihtoehtoisina ratkaisuna ovat hengittäväillä rakenteilla ja painovoimaisella ilmanvaihdolla toteutetut ratkaisut.

Sisäilmastollisten tekijöiden tunnistaminen ja ymmärtäminen ovat tärkeitä tekijöitä perusparantamisen suunnittelussa. Rintamamiestalojen ominaisuuksina ovat usein korkea rakentamistapa, huono lämmöneristävyys ja ilmanpitävyys. Näillä ominaisuuksilla on voimakas vaikutus muun muassa sisälämpötilojen jakautumiseen, vetoisuuteen, hallitsemattomiin painesuhteisiin ja suureen energian kulutukseen. Paine-erothan kasvavat korkeudesta, lämpötilaerosta ja tuulesta johtuen. Sisäilmaston laatua voivat myös heikentää erilaiset vuotoilmavirtojen mukana huonetilaan kulkevat epäpuhtaudet, jotka voidaan aistia esimerkiksi hajuina. Epäpuhtaudet ovat usein peräisin kosteus- ja mikrobivaurioituneista rakenneosista tai maaperästä. Maaperästä voi vuotoilmavirtojen mukana kulkeutua myös radonia. Ilmanvaihdon tarpeen mitoitaa kuitenkin useimmiten ihmisistä peräisin oleva hiilidioksidi, koska sen sosiaali- ja terveysministeriön asettamat toimenpiteiden raja-arvot ylittyvät usein epäpuhtauksista ensimmäisinä.

Rakennuksen vaipan rakenteiden hyvä lämmöneristävyys, ilmanpitävyys, tuulenpitävyys ja oikea kosteustekninen toiminta ovat edellytys hyvälle

asumiselle ja sisäilmastolle. Rakennuksen sisäisten painesuhteiden hallittavuus perustuu myös hyvin toteutettuihin vaipparakenteisiin. Ilman täytyy kulkea hallitusti ilmanvaihtoon tarkoitetuista laitteista, ja se on mahdollista vain tiiviisti rakennetussa rakennuksessa. Rakennuksen sisäisen painejakauman arviointi ja ilmanvaihdon määrien laskenta ovat myös mahdollisia, kun tulo- ja poistoilmalle on olemassa omat reittinsä.

Painovoimaisen ilmanvaihdon haasteeksi tulee kesäaikaisen ilmanvaihdon varmistaminen, kun vaaditaan asetuksien mukaisien ilmanvaihtomäärien osoittamista. Näitä ilmanvaihdon määriä on erittäin vaikea saavuttaa ilman tuuletusta, koska ilmanpaine-erot laskevat olemattomiksi kesäaikana. Ulkoilman lämpötilan ylittäessä sisäilman lämpötilan voivat ilman virtaukset jopa kääntyä päinvastaisiksi. Toinen merkittävä puute on, ettei painovoimaisen ilmanvaihdon yhteyteen voida rakentaa lämmön talteenottoa. Tämä laskee merkittävästi järjestelmän energiatehokkuutta.

Painovoimaisen ilmanvaihdon etuna on sen käyttövoima, joka muodostuu, kun luodaan ihmiselle sopivat asumisen olosuhteet. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ei kulu energiaa lämmön- tai ilmansiirtoon, eikä se tarvitse sähköä kuluttavia ja vikaantumisherkkiä ilmanvaihtokoneita. Painovoimaisen ilmanvaihdon huolto- ja käyttökustannukset ovat pienet ja se on äänettömä.

Rintamamiestalojen painovoimaisen ilmanvaihdon ongelmakohtia ovat muun muassa yläpohjaan kohdistuva ylipaine ja kellarikerroksen voimakas alipaine. Ylipaineen vaikutusta voidaan merkittävästi vähentää sijoittamalla poistoilmaventtiili mahdollisimman korkeaan kohtaan rakennuksessa; venttiiliin kohdistuva ylipaine voi purkautua ulos. Yläpohjaan vaikuttavan ylipaineen vuoksi tulee varmistua yläpohjarakenteiden tiiveydestä ja tuulettumisesta. Kellarin voimakasta alipainetta voidaan hillitä säätämällä korvausilma- ja poistoilmaventtiilejä mahdollisuuksien mukaan. Savupiippuvaikutuksen aiheuttamien yli- ja aliääineiden maksimiarvojen minimoimiseksi tulisi huolehtia siitä, että eri kerrokset ovat omia ilmanvaihto-osastojaan. Rakennuksen painesuhteiden kannalta vaipan hyvän ilmanpitävyyden ja lämmöneristyksen merkitys on erittäin suuri.

Laskennalliset tarkastelut osoittavat savupiippuvaikutuksen merkityksen sisäilmaston olosuhteisiin ja tuovat esiin lämpötilojen vaikutuksen painovoimaisiin ilmanvaihdon määriin. Laskennallisilla tuloksilla voidaan esimerkiksi perustella kellarikerroksen alhainen huoneilmanlämpötila talviaikana, kun tuloilmaa ei rajoiteta. Toisaalta vuotoilmavirtojen sijainnilla on muun muassa merkitystä neutraaliakselin korkeuteen rakennuksessa, ja tämä taas vaikuttaa rakennuksessa vallitseviin yli- ja alipaineisiin.

Laskennalliset tarkastelut osoittavat tuuletuksen tehokkuuden jo pienillä paine-eroilla. Tuuletus ikkunoiden avulla on erittäin tehokas ilmanvaihdon tehostaja; jo lyhyillä tuuletusjaksoilla saadaan aikaan merkittävää ilmanvaihtuvuutta.

Laskennalliset tarkastelut osoittivat tuulen aiheuttamien painejakaumien liikuttavan ilmaa rakennuksen ympärillä. Näillä ilman liikkeillä on myös painovoimaista ilmanvaihtoa tehostava vaikutus.

Laskennalliset tarkastelut osoittivat myös lämpötilaerojen sekä korkeuserojen vaikutuksen ilmanvaihdon tilavuusvirtoihin. Kun lämpötilaerot ja korkeuserot kasvavat, kasvavat myös paine-erot ja ilmanvaihdon tilavuusvirrat.

Hengittävien rakenteiden toiminta rintamamiestalo-tyyppisessä rakennuksessa on ollut elinehto näille rakennuksille. Nämä rakennukset on rakennettu oman aikansa säännöksiä ja ohjeita noudattaen. Rakenteista puuttuvat tuuletusvälit, ja heikosti hallitut sisäilman painesuhteet ovat voineet vaihdella rakennuksissa vapaasti. Hengittävät rakenteet ovat mahdollistaneet kosteuskuormien kuivumisen ja rakenteille pitkän käyttöiän. Hengittävien rakenteiden sisäilmaston epäpuhtauksien kuten hiilidioksidin pitoisuuksien tasoittamista ja alentamista diffuusion vaikutuksesta ei voida täysin hyödyntää. Tämä johtuu rakennuksien suhteellisen huonosta ilmanpitävyydestä. Ilmaa liikkuu rakenteiden lävitse niin paljon, että hiilidioksidi ja muut kaasut voivat kulkea konvektion mukana. Hengittävillä rakenteilla voidaan merkittävästi tasata sisäilman suhteellista kosteutta. Kosteutta varastoituu rakennuksen rakenteisiin ja vapautuu sieltä ilman kuivuessa.

Rakentamisen nykyiset asetukset ohjaavat korjaus- ja muutusrakentamista käyttämään rakentamisen ratkaisuja, jotka ovat osoittautuneet toimiviksi. Painovoimaisella ilmanvaihdolla ja hengittävillä rakenteilla toteutettu rakennus on yksi vaihtoehto korjausrakentamisen ratkaisuksi. Rintamamiestalon kunnostuksen ja perusparannuksen yhteydessä voi pohtia tätä vaihtoehtoa. Ilmanvaihtoa ja painesuhteita voidaan parantaa sijoittamalla venttiilit oikein sekä ilmanvaihtoa tehostaa esimerkiksi luonnonvoimaa hyödyntävillä hormiin alipainetta tekevillä päätelaitteilla.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta antaa viranomaisohjeet uuden rakennuksen toteutukseen. Useimmat asetuksen esittämät vaatimukset voidaan toteuttaa myös painovoimaisessa ilmanvaihdossa. Kaksi keskeisintä ongelmakohtaa ovat kesäaikainen lisätuuletuksen tarve sekä lämmön talteenoton toteuttamisen vaikeus poistoilmasta. Jos hyväksytään käyttäjälähtöinen lisätuulettaminen, ei kesäaikainen ilmanvaihto ole ongelma: esimerkiksi ristituuletuksella ilmanvaihto on erittäin tehokasta. Lämmöntalteenotto poistoilmasta on teknisesti vaikeasti toteutettavissa kivrakenteiseen hormiin. Poistoilman lämpötilan laskulla on myös painovoimaista ilmanliikettä pienentävä vaikutus, lämmöntalteenotto siis laskee ilmanvaihdon määriä. Jos korjausrakentamisessa energiatehokkuuden parantamisvelvollisuus toteutetaan kokonaisenergiankulutukseen liittyvän vaatimuksen mukaan, tulee huomioida, että poistoilmasta ei saada lämpöenergiaa talteen.

Lopputuloksena on, että rintamamiestalojen painovoimaista ilmanvaihtoa ei saada täyttämään kaikkia ympäristöministeriön asetuksen uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta antamia vaatimuksia. Nämä vaatimukset eivät ole rintamamiestalon korjausrakentamista ohjaavia, joten niiden täytyminen ei ole ongelma. Tätä asetusta kannattaa mahdollisuuksien mukaan soveltaa rintamamiestalojen perusparantamiseen. Asetus ottaa laaja-alaisesti kantaa sisäilmastoon ja ilmanvaihtoon. Kun tätä asetusta sovelletaan rintamamiestalojen perusparantamisen yhteydessä, saadaan sisäilmaston laatua nostettua merkittävästi.

Lopuksi voidaan todeta opinnäytetyön aiheen olleen erittäin ajankohtainen. Rakentamista ohjaavat määräykset ovat vaihtuneet asetuksiksi. Opinnäytetyössä tarkasteltiin vanhaa järjestelmää sekä rakennusta uusien vaatimuksien pohjalta. Tällä tavoin saavutetusta tiedosta on hyötyä korjaussuunnitelmien lähtötietoina: tiedot antavat viitekehyksen, jonka rajoissa perusparannusta tehdään.

LÄHTEET

Hengityслиitto ry (2018). *Illmanvaihto*. Haettu 13.5.2018 osoitteesta <https://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/illmanvaihto>

Huttunen, J., Komulainen, J. & Säntti, J. (2011). *Haitalliset aineet rakennuksissa ja niiden hallinta*. Teoksessa Rakennustieto Oy (toim.) *Rakentajain kalenteri 2011*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Kansallisarkisto (2017). Asuinrakennus: maalaisasunto (julkisivu, pohjapiirros, pääty, leikkaus, perspektiivipiirros, asemapiirros, ainemenekkiluettelo). 1 as. MKL 2, 2a, 2b. Haettu 10.2.2018 osoitteesta <http://digi.narc.fi/digi/view.ka?kuid=8927145>

Kokko, E. (2002). *Hengittävä puukuiturakenne. Fysikaalinen toimintaperiaate ja vaikutukset sisäilmaan*. Vammala: Vammalan kirjapaino Oy. Haettu 15.2.2018 osoitteesta <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/hengittava-puukuiturakenne/koko-ohje.pdf>

Olenius, A. (2000). *Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purku*. Helsinki: Rakennustieto Oy. Haettu 28.1.2018 osoitteesta http://www.rakennustieto.fi/channels/public/www/rane/attachments/5eczM8oF/5efAGZR5n/Files/CurrentFile/Ratunayte_820239.pdf

Paloniitty, S. (2013). *Rakennusten tiiveysmittaus*. Helsinki: Suomen rakennusmedia Oy.

Rakennustietosäätiö RTS (1999a). *KOSTEUS RAKENNUKSISSA*. Haettu 26.1.2018 osoitteesta <https://www-rakennustieto-fi.ezproxy.hamk.fi/bin/get/id/5guoZSPW8%3A%2447%2410710%2446%24pdf.0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statistics%2495%24download%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-RT%2495%247876/10710.pdf>

Rakennustietosäätiö RTS (1999b). *RAKENNUKSEN KOSTEUS- JA MIKROBIVAURIOT. Korjausrakentaminen*. Haettu 26.1.2018 osoitteesta <https://www-rakennustieto-fi.ezproxy.hamk.fi/bin/get/id/5guoZSPW8%3A%2447%2410712%2446%24pdf.0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statistics%2495%24download%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-RT%2495%247903/10712.pdf>

Rakennustietosäätiö RTS (2008). *SISÄILMASTOLUOKITUS 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset*. Haettu 25.1.2018 osoitteesta <https://www-rakennustieto-fi.ezproxy.hamk.fi/bin/get/id/5guoZSPW8%3A%2447%2410946%2446%24pdf.0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statistics%2495%24down-load%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-103675/10946.pdf>

Rinne, H. (2013). *Perinnemestarin rintamamiestalo. Kunnostus ja ylläpito*. EU: WSOY.

Romppainen, I. (2010). *Lämmin puutalo. Ohjeet ilmanpitävään ja energiaa säästävään rakentamiseen*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Sandberg, E. (2014). *Ilmastointilaitoksen mitoitus*. Ilmastointiteknikka, osa 2.

Seppänen, M. & Seppänen, O. (1996). *Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka*. Espoo: Gummerus Kirjapaino Oy.

Seppänen, O. (1996) *Ilmastointiteknikka ja sisäilmasto*. Helsinki: Kiitorata Oy.

Siikanen, U. (2012). *Rakennusten lämpö- ja kosteusfysikaalisia näkökohtia*. Teoksessa Rakennustieto Oy (toim.) *Rakentajain kalenteri 2012*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Siikanen, U. (2014). *Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovelluksia*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Simonson, C. (2000) *Moisture, Thermal and Ventilation Performance of Tapanila Ecological House*. Espoo: VTT Technical research center of Finland. Haettu 25.2.2018 osoitteesta <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2069.pdf>

Sisäilmayhdistys ry. (2018). Tulosten analysointi. Haettu 13.5.2018 osoitteesta www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Ongelmien-tutkiminen/Rakennustekniset-tutkimukset/Tulosten-analysointi

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. (2014). *RIL 255-1-2014. Rakennusfysiikka I. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Suomen terveystilma Oy (2018). Vanhan venttiilin tilalle Velco VSR-tuotekokonaisuudet. Haettu 12.5.2018 osoitteesta http://www.terveysilma.fi/fi/vanhan_venttiilin_saneeraus?utm_source=www.rakentaja.fi

Ympäristöministeriö (2013). *Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiantehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä*. Haettu 7.4.2018 osoitteesta <http://www.ym.fi/download/noname/%7B924394EF-BED0-42F2-9AD2-5BE3036A6EAD%7D/31396>

Ympäristöministeriö (2017). *Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta*. Haettu 9.4.2018 osoitteesta <http://www.ym.fi/download/noname/%7B940FA2F9-B175-43DE-8453-7FB46CBB3976%7D/132600>

LIITTEET

Liite 1. Ilman koostumus sekä paineen yksiköitä ja muuntokertoimia

Taulukko 7:1. Ilman koostumus.

		Tilavuus-%	Moolimassa kg/kmol	Kiehumispiste, °C
Typpi	N ₂	78,09	28,02	−196
Happi	O ₂	20,95	32,00	−183
Argon	Ar	0,933	39,94	−186
Hilidioksidi ¹⁾	CO ₂	0,03	44,01	− 78,5
Neon	Ne	0,0018	20,18	−246
Helium	He	0,0005	4,0	−269
kuiva ilma		100 %	28,97	

¹⁾ Vaihtelee paikkakunnan ja korkeuden mukaan.

Taulukko 7:2. Paineen yksiköitä ja muuntokertoimia.

Nimitys	Lyhenne	Muunnos
Ilmakehä	1 atm	= 101325,0 Pa
Tekninen ilmakehä	1 kp/cm ²	= 98066,5 Pa
	1 bar	= 10 ⁵ Pa
Elohopeamillimetri	1 mmHg = torr	= 133,322 Pa
Millimetri vesipatsasta	1 mmVp	= 9,806 Pa
Tuuma elohopeaa (inch of mercury)	1 inHg	= 3386,38 Pa
Tuuma vettä (inch of water)	1 inWG	= 249,082 Pa
Millibaari	1 mbar	= 100 Pa
Naula neliöjalkaa kohden	1 lb/ft ²	= 47,88 Pa
Naula neliötuumaa kohden	1 psi = lb/in ²	= 689,475 Pa

Kuva 17. (Seppänen 1996, 187)

Liite 2. Sisäilman kosteuslisät

Kosteusluokka	Kosteuslisän mitoitusarvo talvella ($T \leq 5 \text{ °C}$)	Rakennustyyppi ^(3,4)
1	$> 5 \text{ g/m}^3$ ⁽¹⁾	Kylpylät, uimahallit, laitoskeittiöt, pesulat, panimot, kirjapainot, kasvihuoneet, kostutetut tilat, ratsastusmaneesit, maatalouden tuotantorakennukset, eläinsuojat, teollisuuden kosteusrasitetut tilat
2	5 g/m^3	Asuinrakennukset, toimisto- ja liikerakennukset, hotellit ja majoitusrakennukset, ravintolat, kokoontumis- ja juhlatilat, opetusrakennukset ja päiväkodit, sairaalat ja hoitolaitokset, museot, liikuntahallit ja -tilat, jäähallit ja jäähdytetyt liikuntatilat ^(5,6) , kylmä- ja pakkahuoneet ^(5,6) , talviasuttavat vapaa-ajan asunnot
3	3 g/m^3 ⁽²⁾	Vapaa-ajan asunnot, puolilämpimät tai kylmillään olevat rakennukset, varastot ja säilytystilat, ajoneuvosuojat, tekniset tilat, väliaikaiset ja siirrettävät rakennukset

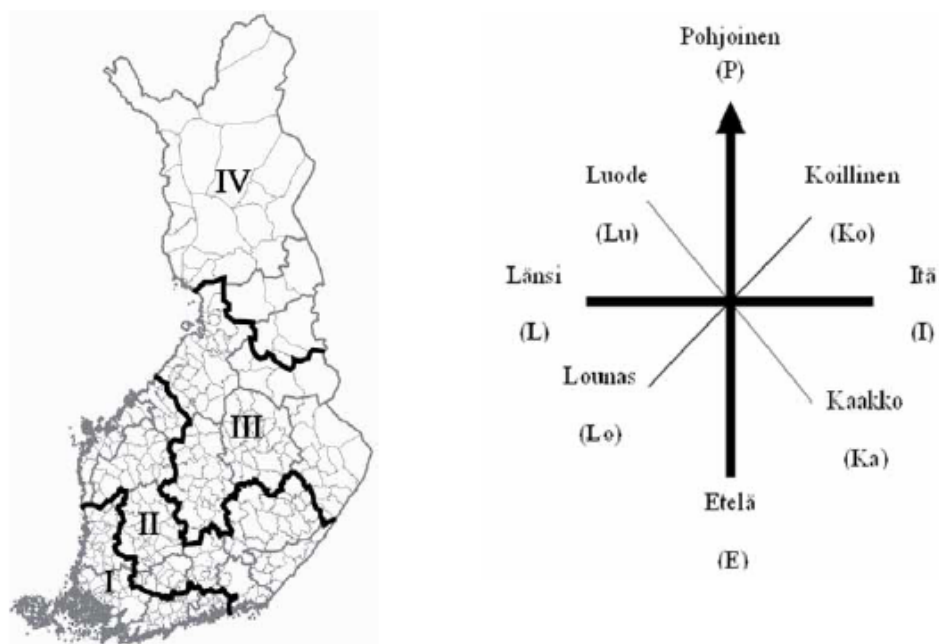
Kuva 18. Sisäilman kosteuslisät (Hämeen ammattikorkeakoulu 2017)

Liite 3. Huonelämpötilan hallinnan suunnittelussa käytettävät säätiedot

Huonelämpötilan hallinnan suunnittelussa käytettävät säätiedot

Huonelämpötilan hallinnan suunnittelussa käytetään taulukoissa L1.1-L1.4 esitettyjä säätietoja. Suomi on jaettu neljään säävyöhykkeeseen, jotka esitetään kuvassa L1.1. Tunnittaiset säätiedot ovat saatavissa ympäristöministeriön verkkosivuilta.

Säävyöhykkeille I ja II käytetään samoja säätietoja, mutta mitoittavat ulkoilman lämpötilat ovat erikseen.



Kuva L1.1. Säävyöhykkeet ja ilmansuuntien lyhenteet.

<i>Taulukko L1.1. Mitoittavat ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä.</i>	
Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C
I	-26
II	-29
III	-32
IV	-38

Kuva 19. (Ympäristöministeriö 2017)

Liite 4. Kriittiset vesihöyrynpitoisuudet ja -osapaineet

-Kriittiset vesihöyrynpitoisuudet v_k ja -osapaineet p_k

Lämpötila [°C]	vesihöyry- osapaine [Pa]	vesihöyry- pitoisuus [g/m ³]	Lämpötila [°C]	vesihöyry- osapaine [Pa]	vesihöyry- pitoisuus [g/m ³]	Lämpötila [°C]	vesihöyry- osapaine [Pa]	vesihöyry- pitoisuus [g/m ³]	Lämpötila [°C]	vesihöyry- osapaine [Pa]	vesihöyry- pitoisuus [g/m ³]
-20	102.3	0.88	-13	200.4	1.67	-6	379.4	3.08	1	658.6	5.21
-19.9	103.1	0.88	-12.9	202.3	1.68	-5.9	382.6	3.1	1.1	663.5	5.24
-19.8	104	0.89	-12.8	204.3	1.7	-5.8	385.8	3.13	1.2	668.4	5.28
-19.7	104.9	0.9	-12.7	206.3	1.72	-5.7	389.1	3.15	1.3	673.4	5.32
-19.6	105.8	0.9	-12.6	208.3	1.73	-5.6	392.3	3.18	1.4	678.3	5.35
-19.5	106.7	0.91	-12.5	210.4	1.75	-5.5	395.6	3.2	1.5	683.3	5.39
-19.4	107.6	0.92	-12.4	212.4	1.77	-5.4	398.9	3.23	1.6	688.4	5.43
-19.3	108.6	0.93	-12.3	214.5	1.78	-5.3	402.3	3.26	1.7	693.4	5.47
-19.2	109.5	0.93	-12.2	216.5	1.8	-5.2	405.6	3.28	1.8	698.5	5.51
-19.1	110.5	0.94	-12.1	218.6	1.82	-5.1	409	3.31	1.9	703.7	5.54
-19	111.5	0.95	-12	220.8	1.83	-5	412.4	3.33	2	708.8	5.58
-18.9	112.5	0.96	-11.9	222.9	1.85	-4.9	415.8	3.36	2.1	714	5.62
-18.8	113.6	0.97	-11.8	225	1.87	-4.8	419.3	3.39	2.2	719.2	5.66
-18.7	114.6	0.98	-11.7	227.2	1.88	-4.7	422.7	3.41	2.3	724.4	5.7
-18.6	115.7	0.99	-11.6	229.4	1.9	-4.6	426.2	3.44	2.4	729.7	5.74
-18.5	116.7	0.99	-11.5	231.6	1.92	-4.5	429.7	3.47	2.5	735	5.78
-18.4	117.8	1	-11.4	233.8	1.94	-4.4	433.2	3.49	2.6	740.4	5.82
-18.3	118.9	1.01	-11.3	236	1.95	-4.3	436.8	3.52	2.7	745.7	5.86
-18.2	120.1	1.02	-11.2	238.3	1.97	-4.2	440.3	3.55	2.8	751.1	5.9
-18.1	121.2	1.03	-11.1	240.5	1.99	-4.1	443.9	3.58	2.9	756.6	5.94
-18	122.4	1.04	-11	242.8	2.01	-4	447.5	3.6	3	762	5.98
-17.9	123.5	1.05	-10.9	245.1	2.03	-3.9	451.2	3.63	3.1	767.5	6.02
-17.8	124.7	1.06	-10.8	247.4	2.04	-3.8	454.8	3.66	3.2	773	6.06
-17.7	125.9	1.07	-10.7	249.7	2.06	-3.7	458.5	3.69	3.3	778.6	6.1
-17.6	127.1	1.08	-10.6	252.1	2.08	-3.6	462.2	3.72	3.4	784.2	6.15
-17.5	128.4	1.09	-10.5	254.4	2.1	-3.5	465.9	3.74	3.5	789.8	6.19
-17.4	129.6	1.1	-10.4	256.8	2.12	-3.4	469.7	3.77	3.6	795.5	6.23
-17.3	130.9	1.11	-10.3	259.2	2.14	-3.3	473.4	3.8	3.7	801.2	6.27
-17.2	132.2	1.12	-10.2	261.6	2.16	-3.2	477.2	3.83	3.8	806.9	6.31
-17.1	133.5	1.13	-10.1	264.1	2.18	-3.1	481	3.86	3.9	812.6	6.36
-17	134.8	1.14	-10	266.5	2.2	-3	484.9	3.89	4	818.4	6.4
-16.9	136.1	1.15	-9.9	269	2.21	-2.9	488.7	3.92	4.1	824.2	6.44
-16.8	137.5	1.16	-9.8	271.5	2.23	-2.8	492.6	3.95	4.2	830.1	6.49
-16.7	138.8	1.17	-9.7	274	2.25	-2.7	496.5	3.99	4.3	836	6.53
-16.6	140.2	1.18	-9.6	276.5	2.27	-2.6	500.5	4.01	4.4	841.9	6.57
-16.5	141.6	1.2	-9.5	279	2.29	-2.5	504.4	4.04	4.5	847.9	6.62
-16.4	143	1.21	-9.4	281.6	2.31	-2.4	508.4	4.07	4.6	853.9	6.66
-16.3	144.4	1.22	-9.3	284.2	2.33	-2.3	512.4	4.1	4.7	859.9	6.71
-16.2	145.9	1.23	-9.2	286.8	2.35	-2.2	516.4	4.13	4.8	866	6.75
-16.1	147.3	1.24	-9.1	289.4	2.38	-2.1	520.5	4.16	4.9	872.1	6.8
-16	148.8	1.25	-9	292	2.4	-2	524.5	4.19	5	878.2	6.84
-15.9	150.3	1.27	-8.9	294.6	2.42	-1.9	528.6	4.22	5.1	884.4	6.89
-15.8	151.8	1.28	-8.8	297.3	2.44	-1.8	532.8	4.26	5.2	890.6	6.93
-15.7	153.3	1.29	-8.7	300	2.46	-1.7	536.9	4.29	5.3	896.8	6.98
-15.6	154.9	1.3	-8.6	302.7	2.48	-1.6	541.1	4.32	5.4	903.1	7.03
-15.5	156.4	1.32	-8.5	305.4	2.5	-1.5	545.3	4.35	5.5	909.4	7.07
-15.4	158	1.33	-8.4	308.1	2.52	-1.4	549.5	4.38	5.6	915.8	7.12
-15.3	159.6	1.34	-8.3	310.9	2.54	-1.3	553.7	4.41	5.7	922.1	7.17
-15.2	161.2	1.35	-8.2	313.6	2.57	-1.2	558	4.45	5.8	928.6	7.21
-15.1	162.8	1.37	-8.1	316.4	2.59	-1.1	562.3	4.48	5.9	935	7.26
-15	164.4	1.38	-8	319.2	2.61	-1	566.6	4.51	6	941.5	7.31
-14.9	166.1	1.39	-7.9	322.1	2.63	-0.9	571	4.55	6.1	948.1	7.36
-14.8	167.7	1.41	-7.8	324.9	2.65	-0.8	575.3	4.58	6.2	954.6	7.41
-14.7	169.4	1.42	-7.7	327.8	2.68	-0.7	579.7	4.61	6.3	961.3	7.46
-14.6	171.1	1.43	-7.6	330.7	2.7	-0.6	584.2	4.65	6.4	967.9	7.5
-14.5	172.8	1.45	-7.5	333.6	2.72	-0.5	588.6	4.68	6.5	974.6	7.55
-14.4	174.5	1.46	-7.4	336.5	2.74	-0.4	593.1	4.71	6.6	981.3	7.6
-14.3	176.3	1.48	-7.3	339.4	2.77	-0.3	597.6	4.75	6.7	988.1	7.65
-14.2	178	1.49	-7.2	342.4	2.79	-0.2	602.1	4.78	6.8	994.9	7.7
-14.1	179.8	1.5	-7.1	345.3	2.81	-0.1	606.7	4.82	6.9	1001.7	7.75
-14	181.6	1.52	-7	348.3	2.84	0	611.3	4.85	7	1008.6	7.8
-13.9	183.4	1.53	-6.9	351.4	2.86	0.1	615.9	4.88	7.1	1015.6	7.85
-13.8	185.2	1.55	-6.8	354.4	2.88	0.2	620.5	4.92	7.2	1022.5	7.9
-13.7	187	1.56	-6.7	357.4	2.91	0.3	625.2	4.95	7.3	1029.5	7.96
-13.6	188.9	1.58	-6.6	360.5	2.93	0.4	629.9	4.99	7.4	1036.6	8.01
-13.5	190.8	1.59	-6.5	363.6	2.96	0.5	634.6	5.03	7.5	1043.7	8.06
-13.4	192.7	1.61	-6.4	366.7	2.98	0.6	639.3	5.06	7.6	1050.8	8.11
-13.3	194.6	1.62	-6.3	369.9	3	0.7	644.1	5.1	7.7	1058	8.16
-13.2	196.5	1.64	-6.2	373	3.03	0.8	648.9	5.13	7.8	1065.2	8.22
-13.1	198.4	1.65	-6.1	376.2	3.05	0.9	653.7	5.17	7.9	1072.4	8.27

Kuva 20. (Hämeen ammattikorkeakoulu 2017)

tila [°C]	höyryn- osapaine [Pa]	höyry- pitoisuus [g/m ³]	tila [°C]	höyryn- osapaine [Pa]	höyry- pitoisuus [g/m ³]	tila [°C]	höyryn- osapaine [Pa]	höyry- pitoisuus [g/m ³]	tila [°C]	höyryn- osapaine [Pa]	höyry- pitoisuus [g/m ³]
8	1079.7	8.32	14	1603.4	12.1	20	2337.8	17.28	26	3357.1	24.32
8.1	1087.1	8.38	14.1	1613.7	12.18	20.1	2352.2	17.38	26.1	3376.9	24.46
8.2	1094.4	8.43	14.2	1624.1	12.25	20.2	2366.7	17.49	26.2	3396.9	24.69
8.3	1101.9	8.48	14.3	1634.5	12.32	20.3	2381.3	17.59	26.3	3417.1	24.73
8.4	1109.3	8.54	14.4	1645.1	12.4	20.4	2396	17.69	26.4	3437.3	24.87
8.5	1116.8	8.59	14.5	1655.6	12.47	20.5	2410.7	17.79	26.5	3457.6	25.01
8.6	1124.4	8.65	14.6	1666.2	12.55	20.6	2425.5	17.9	26.6	3478	25.15
8.7	1132	8.7	14.7	1676.9	12.63	20.7	2440.4	18	26.7	3498.5	25.29
8.8	1139.6	8.76	14.8	1687.7	12.7	20.8	2455.4	18.1	26.8	3519.2	25.43
8.9	1147.3	8.82	14.9	1698.5	12.78	20.9	2470.5	18.21	26.9	3539.9	25.57
9	1155	8.87	15	1709.4	12.86	21	2485.6	18.31	27	3560.8	25.71
9.1	1162.8	8.93	15.1	1720.3	12.93	21.1	2500.9	18.42	27.1	3581.7	25.85
9.2	1170.6	8.99	15.2	1731.3	13.01	21.2	2516.2	18.53	27.2	3602.8	26
9.3	1178.5	9.04	15.3	1742.3	13.09	21.3	2531.6	18.63	27.3	3624	26.14
9.4	1186.4	9.1	15.4	1753.4	13.17	21.4	2547.1	18.74	27.4	3645.3	26.29
9.5	1194.3	9.16	15.5	1764.6	13.25	21.5	2562.6	18.85	27.5	3666.7	26.43
9.6	1202.3	9.22	15.6	1775.9	13.33	21.6	2578.3	18.96	27.6	3688.2	26.58
9.7	1210.4	9.27	15.7	1787.2	13.41	21.7	2594	19.07	27.7	3709.8	26.73
9.8	1218.4	9.33	15.8	1798.5	13.49	21.8	2609.8	19.18	27.8	3731.6	26.87
9.9	1226.6	9.39	15.9	1810	13.57	21.9	2625.8	19.29	27.9	3753.4	27.02
10	1234.8	9.45	16	1821.5	13.65	22	2641.7	19.4	28	3775.4	27.17
10.1	1243	9.51	16.1	1833	13.73	22.1	2657.8	19.51	28.1	3797.5	27.32
10.2	1251.3	9.57	16.2	1844.6	13.82	22.2	2674	19.62	28.2	3819.7	27.47
10.3	1259.6	9.63	16.3	1856.3	13.9	22.3	2690.3	19.73	28.3	3842	27.62
10.4	1268	9.69	16.4	1868.1	13.98	22.4	2706.6	19.85	28.4	3864.4	27.77
10.5	1276.4	9.75	16.5	1879.9	14.07	22.5	2723	19.96	28.5	3886.9	27.93
10.6	1284.8	9.81	16.6	1891.8	14.15	22.6	2739.5	20.08	28.6	3909.6	28.08
10.7	1293.4	9.88	16.7	1903.7	14.23	22.7	2756.2	20.19	28.7	3932.3	28.23
10.8	1301.9	9.94	16.8	1915.8	14.32	22.8	2772.9	20.31	28.8	3955.2	28.39
10.9	1310.5	10	16.9	1927.8	14.41	22.9	2789.6	20.42	28.9	3978.2	28.54
11	1319.2	10.06	17	1940	14.49	23	2806.5	20.54	29	4001.4	28.7
11.1	1327.9	10.12	17.1	1952.2	14.58	23.1	2823.5	20.66	29.1	4024.6	28.86
11.2	1336.7	10.19	17.2	1964.5	14.66	23.2	2840.6	20.77	29.2	4048	29.02
11.3	1345.5	10.25	17.3	1976.9	14.75	23.3	2857.7	20.89	29.3	4071.4	29.18
11.4	1354.3	10.32	17.4	1989.3	14.84	23.4	2874.9	21.01	29.4	4095	29.33
11.5	1363.3	10.38	17.5	2001.8	14.93	23.5	2892.3	21.13	29.5	4118.8	29.49
11.6	1372.2	10.44	17.6	2014.4	15.02	23.6	2909.7	21.25	29.6	4142.6	29.66
11.7	1381.2	10.51	17.7	2027	15.1	23.7	2927.2	21.37	29.7	4166.6	29.82
11.8	1390.3	10.57	17.8	2039.7	15.19	23.8	2944.9	21.49	29.8	4190.7	29.98
11.9	1399.4	10.64	17.9	2052.5	15.28	23.9	2962.6	21.62	29.9	4214.9	30.14
12	1408.6	10.71	18	2065.3	15.37	24	2980.4	21.74	30	4239.2	30.31
12.1	1417.8	10.77	18.1	2078.3	15.47	24.1	2998.3	21.86			
12.2	1427.1	10.84	18.2	2091.3	15.56	24.2	3016.3	21.98			
12.3	1436.4	10.91	18.3	2104.3	15.65	24.3	3034.4	22.11			
12.4	1445.8	10.97	18.4	2117.5	15.74	24.4	3052.6	22.23			
12.5	1455.2	11.04	18.5	2130.7	15.83	24.5	3070.8	22.36			
12.6	1464.7	11.11	18.6	2143.9	15.93	24.6	3089.2	22.49			
12.7	1474.3	11.18	18.7	2157.3	16.02	24.7	3107.7	22.61			
12.8	1483.9	11.25	18.8	2170.7	16.11	24.8	3126.3	22.74			
12.9	1493.5	11.32	18.9	2184.2	16.21	24.9	3145	22.87			
13	1503.2	11.39	19	2197.8	16.3	25	3163.7	23			
13.1	1513	11.46	19.1	2211.5	16.4	25.1	3182.6	23.13			
13.2	1522.8	11.53	19.2	2225.2	16.5	25.2	3201.6	23.26			
13.3	1532.7	11.6	19.3	2239	16.59	25.3	3220.7	23.39			
13.4	1542.6	11.67	19.4	2252.9	16.69	25.4	3239.8	23.52			
13.5	1552.6	11.74	19.5	2266.8	16.79	25.5	3259.1	23.65			
13.6	1562.6	11.81	19.6	2280.9	16.89	25.6	3278.5	23.78			
13.7	1572.7	11.88	19.7	2295	16.98	25.7	3298	23.92			
13.8	1582.9	11.96	19.8	2309.2	17.08	25.8	3317.6	24.05			
13.9	1593.1	12.03	19.9	2323.4	17.18	25.9	3337.3	24.19			

Kuva 21. (Hämeen ammattikorkeakoulu 2017)

Liite 5. Kosteuden ja suhteellisen kosteuden kuukausikeskiarvoja eri paikkakunnilla

Taulukko 3:11. Kosteuden (X_v g/m³) ja suhteellisen kosteuden (φ %) kuukausikeskiarvot eräillä paikkakunnilla vuosina 1961–80.

Paikkakunta		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII
Helsinki-Vantaa	x_v	2,9	2,8	3,3	4,3	5,9	8,2	10,0	10,0	8,1	6,0	4,6	3,5	5,8
	φ	88	87	82	75	65	64	72	78	84	86	89	89	80
Pori	x_v	3,0	2,8	3,3	4,3	5,9	8,1	9,8	9,8	7,9	6,0	4,5	3,5	5,8
	φ	87	85	81	76	67	66	73	78	83	85	88	87	80
Turku	x_v	3,1	3,0	3,4	4,4	5,9	8,1	9,9	9,9	8,1	6,2	4,7	3,7	5,9
	φ	89	88	82	76	66	64	72	77	84	87	90	90	80
Tampere	x_v	2,8	2,6	3,1	4,1	5,7	7,9	9,5	9,5	7,7	5,8	4,4	3,3	5,5
	φ	87	85	80	74	65	64	70	76	83	85	89	88	79
Lahti	x_v	2,7	2,5	3,1	4,3	6,0	8,4	10,1	10,0	7,9	5,8	4,4	3,3	5,7
	φ	88	85	81	76	67	67	74	80	86	88	91	89	81
Lappeenranta	x_v	2,5	2,5	3,1	4,1	5,7	8,0	9,7	9,8	7,8	5,7	4,3	3,1	5,5
	φ	88	86	81	75	64	64	70	77	84	87	91	89	80
Jyväskylä	x_v	2,5	2,4	3,0	3,9	5,5	7,8	9,4	9,4	7,3	5,5	4,1	3,0	5,5
	φ	89	87	81	74	66	65	72	80	85	88	91	89	81
Vaasa	x_v	2,9	2,7	3,2	4,2	5,6	7,9	9,5	9,5	7,6	5,7	4,3	3,3	5,5
	φ	88	86	83	78	68	67	73	79	84	86	89	89	81
Kuopio	x_v	2,4	2,3	2,9	3,8	5,4	8,0	9,7	9,6	7,5	5,4	4,0	2,5	5,3
	φ	80	80	81	74	64	64	69	76	83	86	90	89	79
Joensuu	x_v	2,2	2,2	2,8	3,8	5,3	7,8	9,6	9,5	7,3	5,3	3,9	2,8	5,2
	φ	87	86	81	74	64	65	70	78	84	86	90	89	79
Kajaani	x_v	2,2	2,1	2,7	3,6	5,1	7,5	9,1	9,4	6,9	5,0	3,7	2,6	5,0
	φ	86	85	81	74	66	66	69	78	84	87	90	88	79
Oulu	x_v	2,3	2,2	2,8	3,7	5,2	7,6	9,2	9,2	7,0	5,1	3,7	2,8	5,1
	φ	86	85	81	75	66	65	69	77	82	85	88	87	79
Rovaniemi	x_v	2,0	2,0	2,6	3,4	4,6	6,9	8,5	8,3	6,5	4,5	3,2	2,4	4,6
	φ	88	87	83	75	66	64	68	76	84	89	92	90	80

Kuva 22. (Seppänen 1996, 75)

Liite 6. Rakennusaineiden kosteudenläpäisykertoimia ja -vastuksia

Eräiden rakennusaineiden kosteudenläpäisykertoimia ja -vastuksia. (RIL-107-2000)

Materiaali	Paksuus [mm]	Kosteudenläpäisykerroin W_p [kg/(m ² s*Pa)]*10 ⁻⁴	Kosteudenläpäisy- vastus Z_p [(m ² s*Pa)/kg]*10 ⁹
Paperi	1	10	0.1
Kalkkilaasti	10	2	0.5
Kipsilevy	13	2	0.5
Ilma	100	2	0.5
Mineraalivilla, kevyt	100	2	0.5
KS- laasti	10	1	1
Puolikova puukuitulevy	10	1	1
Lateksialustainen tekstiilimatto		1	1
Kevytsorabetoni	100	1	1
Kevytbetoni	100	0.7	1.5
Kova puukuitulevy	3.5	0.7	1.5
Kuitusementtilevy	5	0.7	1.5
Mineraalivilla, kova	100	0.7	1.5
Bitumilla tai hartsilla kyllästetty huokoinen puukuitulevy	12	0.9	1.1
Lastulevy	12	0.4	2.5
Puu	10	0.2	5
Tiili	100	0.2	5
Kalkkihiekkakivi	100	0.1	10
Linoleum		0.04	25
Bitumipahvi, tuulensuoja		0.04	25
Solumuovi, EPS	100	0.04	25
Betoni	100	0.02	50
Vinyylimatto		0.01	100
Polyeteenikalvo	0.2	0.002	500
Bitumikermi (BTL 2)		0.0007	1500
Erikoiskalvot esim.			
Bitumikermi+alumiiniokkolevy (0.08mm)		0.0001	10000
Metalli, lasi		0 ?	
Kalkkimaali		2	0.5
Öljyemulsiomaali		2	0.5
Sementtimaali		2	0.5
Silikaattimaali		1	1
Tekokumipohjainen julkisivumaali		0.06	15
Alkydiöljyimaali		0.06	15
Kloorikautsumaali		0.02	50
Polyuretaanilakka		0.02	50

Taulukossa esitetyt arvot ovat ainoastaan suuntaa-antavia ja kunkin tuoteryhmän sisällä on taulukkoarvoista huomattavastikin poikkeavia arvoja.

Huomaa, että nämä pätee vain näille materiaalikerrosten paksuuksille. Paksuusmuunnos:

$$Z_p = (d_{\text{todellinen}} / d_{\text{taulukko}}) * Z_{p, \text{taulukko}}$$

Kuva 23. (Hämeen ammattikorkeakoulu 2017)

Liite 7. Rakennusmateriaalien ilmvirtausteknisiä arvoja

Taulukko 4.1. Rakennusmateriaalien ilmvirtausteknisiä arvoja. (Nevander & Elmarsson 1994; Hagentoft 2001; RIL 225-2004 2005.)

Materiaali	Tiheys [kg/m ³]	Ilmanläpäisevyys ·10 ⁻⁶ [m ³ /(m·s·Pa)]	Permeabiliteetti ·10 ⁻¹² [m ²]	Lähde
Betoni	-	0,000005...0,0005	0,0001...0,01	3
Kevytbetoni	-	0,001...0,04	0,02...0,15	3
Tiili	1470	0,005...0,05	0,1...1	3
Puu, kuusi tangentin suuntaan	410	-	0,2 ·10 ⁻¹⁵	1
Kova puukuitulevy	960	-	5,1 ·10 ⁻¹⁵	1
Huokoinen puukuitulevy	215	-	6,7	1
Mineraalivillalevy, ohut kohtisuoraan levyä vastaan	10...50	80...400	1500...7500	3
Mineraalivillalevy, ohut pitkittäin levyn suuntaisesti	10...50	160...800	3000...1500	3
Irtopuhallettava puukuitueriste	30...45	50...120	-	2
Irtopuhallettava mineraalivillaeriste	23...40	250...700	-	2
Kutterinlastu	100	500...800	11 5000	3
Kalkkilaasti	-	0,005	0,1	3
Kalkki-sementtilaasti	-	0,0003...0,004	0,006	3

1) Hagentoft 2001. 2) RIL 225-2004 2005. 3) Nevander & Elmarsson 1994.

Kuva 24. (Hämeen ammattikorkeakoulu 2017)

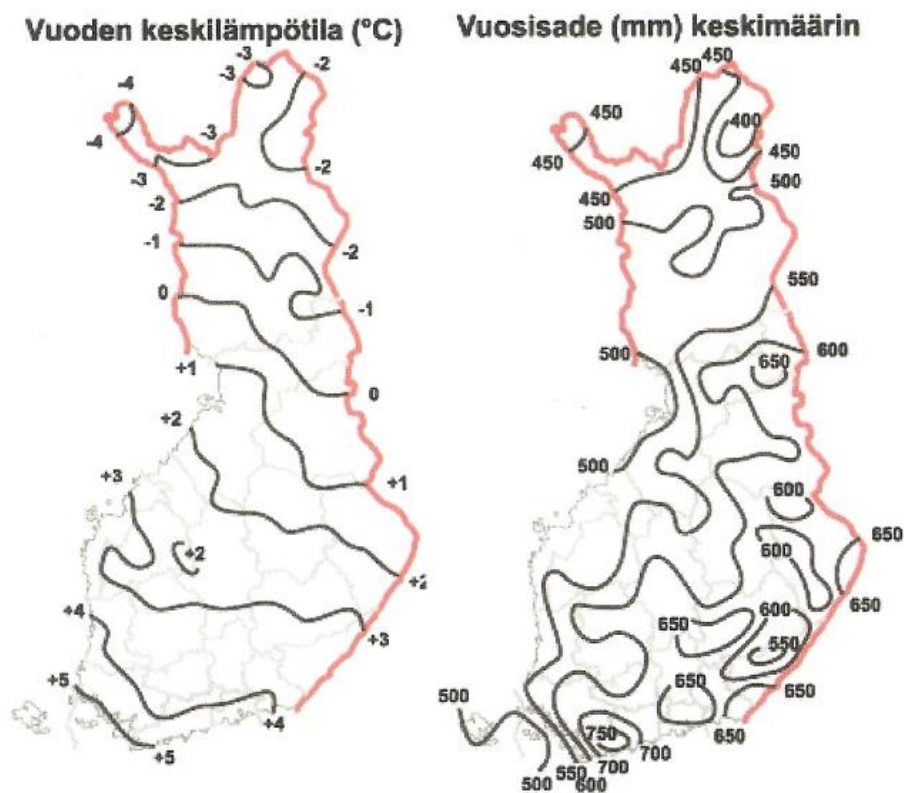
Liite 8. Asuinrakennuksen sisätilan kosteudentuottoarvoja

Taulukko K.4.1. Asuinrakennuksen sisätilan kosteudentuottoarvoja /RIL 107-2000/.

Kosteuslähde	Kosteustuotto
Ihminen	40... 300 g/h riippuen aktiviteetista (keskimäärin 90 g/h)
Kylpy	700 g/h
Suihku	2600 g/h
Keittiötoiminta	600... 1500 g/h (päivittäinen keskiarvo noin 100 g/h)
Avoin vesipinta	40 g/m ² h
Kasvit	
- Pienet kasvit	7... 15 g/h
- Keskikokoiset	10... 20 g/h
Vaatteiden pesu ja kuivaus	
- Lingottu pyykki	10... 50 g/h /kg kuivaa pyykkiä
- vettä tippuva	20... 100 g/h /kg kuivaa pyykkiä

Kuva 25. (Rafnet)

Liite 9. Keskimääräinen lämpötila ja vuosisade Suomessa



*Kuva K.4.4. Keskimääräinen lämpötila ja vuosisade Suomessa 1961-1990
/Ilmatieteenlaitos /.*

Kuva 26. (Rafnet)

Liite 10. Kuroutumiskertoimen arvoja erilaisille tuloilma-aukoille

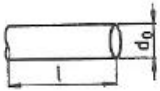
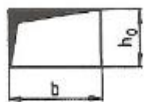
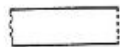
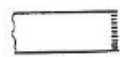
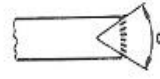
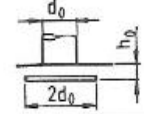
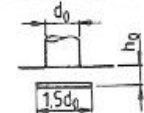
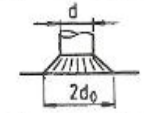
Taulukko 6:2. Kuroutumakertoimen arvoja erilaisille tuloilma-aukoille.

Aukon tyyppi	α
Suuttimet	0,99
Teräväreunaiset pyöreät reiät	0,63
Suorakaiteenmuotoiset aukot (pyöristetyt)	0,82—0,88
Reiitetyt levyt	0,74—0,82
Säleiköt	0,66—0,74

Kuva 27. (Seppänen 1996, 158)

Liite 11. Heittopituuskertoimia

Taulukko 6:1. Heittopituuskertoimia K eri tuloilma-aukoille ja -elimille suoran kanavan päässä.
 R = vapaan alan osuus kokonaisalasta h_0 = elimen korkeus, raon korkeus
 b = elimen leveys d_0 = halkaisija

		K
Pyöreän kanava-aukko		6
Suorakaideaukko $b/h_0 = 1$ 5 10 20		5,8 5,5 5,3 5,0
Reikälevy (pyöreä tai neliö) $r = 0,5...0,8$ 0,2...0,5 0,005...0,2		5,3 4,4 4,0
Säleikkö yhdensuuntaisin sälein ($b/h = 2...5$) $r = 0,8...0,9$		5,5
Säleikkö suunnattavin sälein, $\alpha = 45^\circ$ 60° 90°		3,1 2,5 1,8
Vapaasti puhaltava radiaalisuihku $h_0 = 0,2 d_0$		0,9
Radiaalisuihku kattopintaa pitkin $h_0 = 0,2 d_0$ 0,3 d_0 0,4 d_0		1,4 1,3 1,2
Kartiohajottaja		1,1
Rakoveintiili Puhallus kattoa pitkin yhteen suuntaan		4,8
Rakoveintiili alle 10 cm korkea seinällä yli 10 cm korkea Rei'itetyn katon paneeli (v_0 alle m/s) $R = 0,03...0,05$ $R = 0,1...0,2$		3,9 4,4 2,7 3,5

Kuva 28. (Seppänen 1996, 157)

Liite 12. Rästyskorkeuden tuulen nopeuden määrittelyssä tarvittavat kertoimet

Taulukko 8:3. Rästyskorkeuden tuulen nopeuden määrittelyssä tarvittavat kertoimet.

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

Kuva 29. (Seppänen 1996, 211)

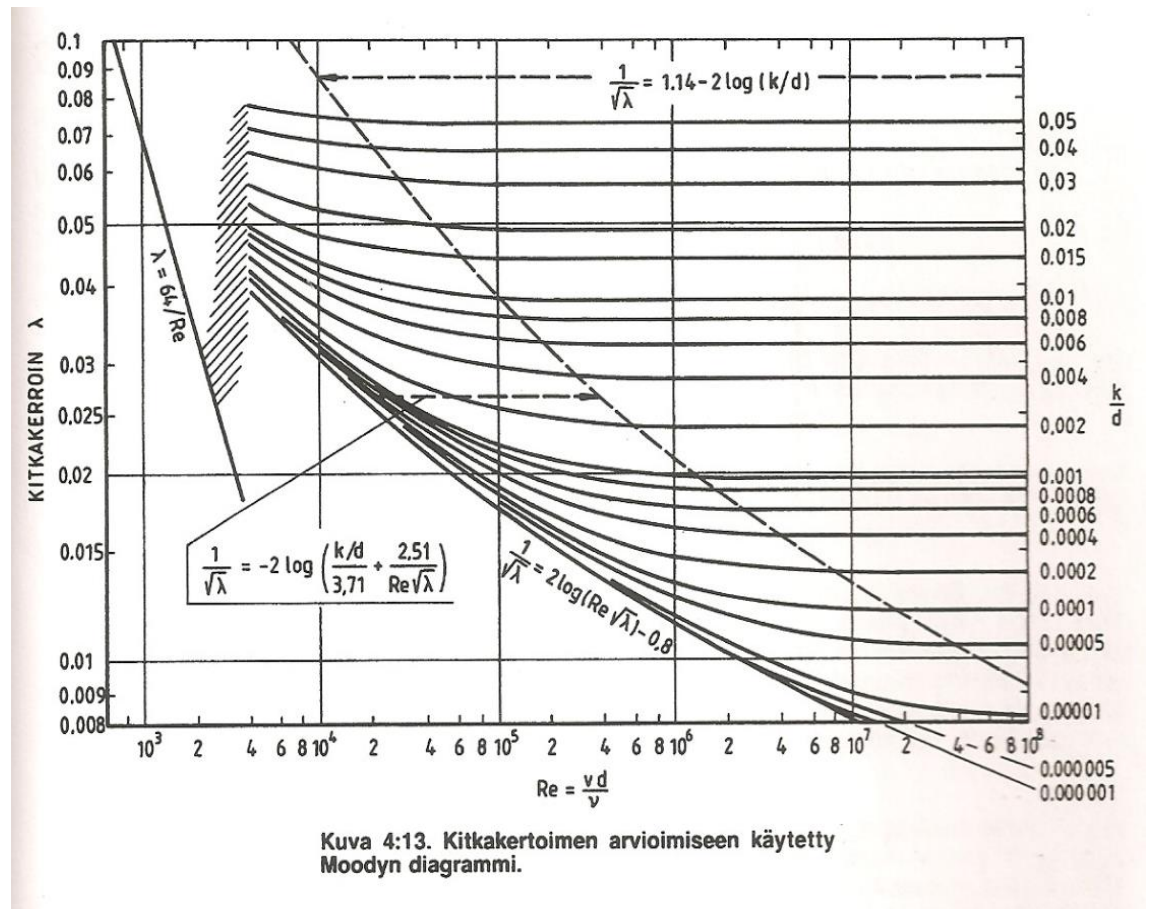
Liite 13. Kanavamateriaalien karheus

Taulukko 4:4. Kanavamateriaalien karheus k, mm.

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

Kuva 30. (Seppänen 1996, 96)

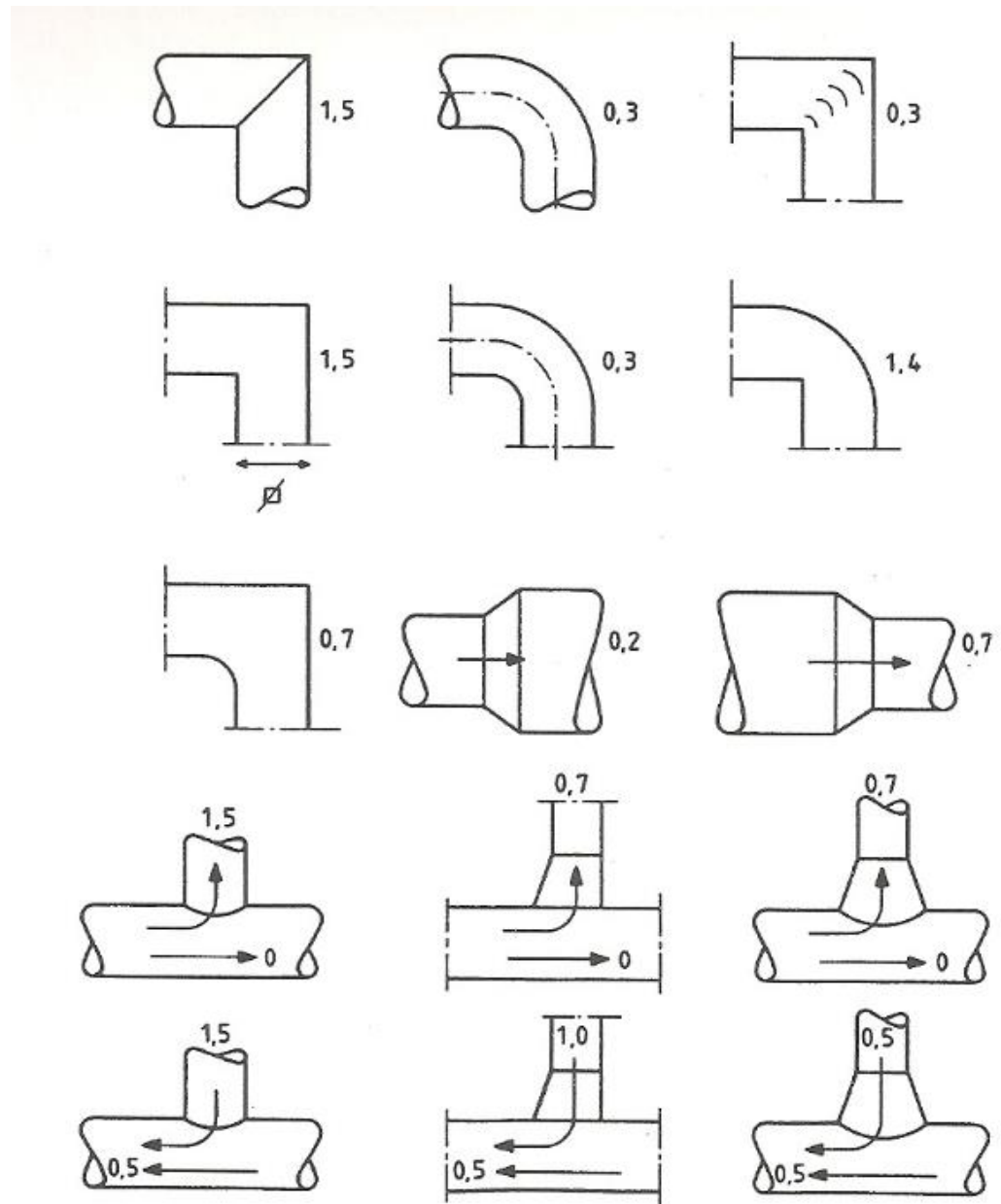
Liite 14. Moody-diagrammi kitkakertoimen arvioimiseen



Kuva 4:13. Kitkakertoimen arvioimiseen käytetty Moodyn diagrammi.

Kuva 31. (Seppänen 1996, 97)

Liite 15. Kanavaosien kertavastuskertoimia



Kuva 4:17. Tavallisten kanavaosien likimääräisiä kertavastuskertoimia.

Kuva 32. (Seppänen 1996, 100)

Liite 16. Rakennusmateriaalien lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja, tiheyksiä ja ominaislämpökapasiteetteja vakiopaineessa

Taulukko 3.2. Tavallisimpien rakennusaineiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja ($\lambda_{0,0}$) sekä tiheyksiä (ρ) ja ominaislämpökapasiteetteja vakiopaineessa (C_p).⁷

Aine, tarvike	Tiheys (ρ) kg/m ³	Ominaislämpö- kapasiteetti (c_p) J/(kgK)	Lämmön- johtavuuden suunnitteluarvo ($\lambda_{0,0}$) W/(mK)
LÄMMÖNERISTEET JA TÄYTEAINEET			
mineraalivilla, levy ja matto	10–200	1030	0,050
solumuovilevy, paisutettua polystyreeniä			
– grafiittipohjainen eriste	10–50	1450	0,035
– tavallinen eriste	10–50	1450	0,050
solumuovipuru, polystyreeniä	10–20	1450	0,080
solumuovilevy, suulakepuristusmenetelmällä valmistettua polystyreeniä			
– ponneaineella CFC 12 ¹⁾	20–65	1450	0,035
– muu ponneaine	20–65	1450	0,040
solumuovilevy, polyuretaania (PUR tai PIR)			
– ponneaineella CFC 11 ¹⁾	28–55	1400	0,030 ²⁾
	28–55	1400	0,024 ³⁾
– ponneaineella pentaani	28–55	1400	0,033 ²⁾
	28–55	1400	0,030 ³⁾

Kuva 33. (Siikanen 2014, 42)

Aine, tarvike	Tiheys (ρ) kg/m ³	Ominaislämpö- kapasiteetti (c_p) J/(kgK)	Lämmön- johtavuuden suunnittelu-arvo ($\lambda_{s,d}$) W/(mK)
ruiskutettavat tai valettavat polyuretaanieristeet			
– umpisoluinen eriste	28–55	1400	0,033
– avosoluinen eriste	28–55	1400	0,045
solulasi	100–150	1000	0,065 ⁴⁾
puukuitueriste, levy	30–50	1600	0,050
pellava, levy tai matto	30–50	1600	0,050
lastuvillalevy	250–450	1470	0,080
korkkilevy	150	1500	0,045
– paisuletu	200	1500	0,050
	400	1500	0,065
koneellisesti puhallettavat kuitueristeet yläpohjassa⁵⁾			
– mineraalivilla	15–60	1030	0,050
– puukuitueriste seinässä	20–70	1600	0,050
– puukuitueriste ⁶⁾	35–70	1600	0,050
kutterinlastu			
– löysänä	80	1600	0,140
– sullottuna	120	1600	0,080
sahanpuru			
– löysänä	120	1600	0,120
– sullottuna	200	1600	0,080
– sekoite kutterinlastun kanssa, 1:1	140	1600	0,070
kalsiumsilikaattilevy			
	150	1000	0,050
	300	1000	0,070
	600	1000	0,10
	1000	1000	0,16
kevytbetonimurske	400	1000	0,15
kevytsora	200–400	1000	0,10
koksikuona	700	1000	0,25
masiunikuona, rakeistettu	150	900	0,10 ³⁾
	250	900	0,12 ⁷⁾
KIVIMATERIAALIT			
asfaltti	2100	1000	0,70
betoni	2000	1000	1,37
	2200	1000	1,65
	2400	1000	2,0
– 1 % terästä	2300	1000	2,3
– 2 % terästä	2400	1000	2,5
betonireikäkivet muurattuina ⁸⁾	1400	1000	0,55
betonitäyskivet muurattuina	2000	1000	1,2
karkaistu kevytbetoni	400	1000	0,10
– elementteinä	450	1000	0,12
	500	1000	0,135
	600	1000	0,175
– harkkoina ohut- ja ilmasaumoin	400	1000	0,12
	450	1000	0,13

Kuva 34. (Siikanen 2014, 43)

Aine, tarvike	Tiheys (ρ) kg/m ³	Ominaislämpö- kapasiteetti (c_p) J/(kgK)	Lämmön- johtavuuden suunnittelu-arvo (λ_{ij}) W/(mK)
	500	1000	0,145
	600	1000	0,185
kevytsorabetoni			
– paikalleen valettuna tai elementteinä	650	1000	0,20
	800	1000	0,24
	1000	1000	0,35
	1200	1000	0,45
	1400	1000	0,55
	1600	1000	0,70
valetut kevytsorabetonieristeet			
– ylä- ja alapohjassa	400	1000	0,11
	500	1000	0,13
	600	1000	0,17
kevytbetoniharkot muurattuina			
– rakosaumat	650	1000	0,20
– 10 mm täydet saumat	650	1000	0,24
kalkkihiekkatiilet muurattuina	1900	1000	0,95
poltetut tiilet muurattuina			
– reikätiilet ⁴⁾	1300	1000	0,50
	1500	1000	0,60
täystiilet	1300	1000	0,60
	1500	1000	0,65
	1700	1000	0,70
rappauslaasti			
– kalkkilaasti	1700	1000	0,90
– kalkkisementtilaasti	1800	1000	1,0
– sementtilaasti	2000	1000	1,2
RAKENNUSLEVYT			
kipsilevy	700	1000	0,21
	900	1000	0,25
kuitusementtilevy	1100	900	0,25
	1500	900	0,30
sementtilastulevy	1200	1500	0,23
lastulevy	300	1700	0,10
	600	1700	0,14
	900	1700	0,18
OSB-lastulevy	650	1700	0,13
puukuitulevy (myös MDF-levy)	250	1700	0,070
	400	1700	0,10
	600	1700	0,14
	800	1700	0,18
vaneri	300	1600	0,090
	500	1600	0,13
	700	1600	0,17
	1000	1600	0,24

Kuva 35. (Siikanen 2014, 44)

Aine, tarvike	Tiheys (ρ) kg/m ³	Ominaislämpö- kapasiteetti (c_p) J/(kgK)	Lämmön- johtavuuden suunnitteluarvo (λ_p) W/(mK)
MUITA RAKENNUSAINEITA			
puu	450	1600	0,12
	500	1600	0,13
	700	1600	0,18
lasi	2500	750	1,0
muovi			
– akryyli	1050	1500	0,20
– polykarbonaatti	1700	1200	0,20
– polypropeeni	910	1800	0,22
– polyvinyylikloridi (PVC) jäykkä	1390	900	0,17
– PVC, joustava, 40 % pehmennin	1200	1000	0,14
– solumuovi	270	1400	0,10
TIIVISTYSAINHEET			
polyeteenivaahdo	70	2300	0,050
polyuretaanivaahdo	70	1500	0,050
METALLIT			
alumiini	2800	880	160
kupari	8900	380	380
teräs	7800	450	50
– nostumaton teräs	7900	460–500	30–17
LUONNONKIVET			
graniitti	2500–2700	1000	3,5
hiekkakivi	2600	1000	2,8
kalkkikivi			
– pehmeä	1800	1000	1,1
– kova	2200	1000	1,7
marmori	2800	1000	3,5
vuolukivi	3000	1000	6,4
MAALAJIT			
savi tai siltti	1700–1800	1200–2500	1,5
hiekkä, sora tai moreeni	1700–2200	910–1180	2,0
KAASUT			
ilma	1,23	1008	0,025
argon	1,70	519	0,0187
krypton	3,56	245	0,0090
ksenon	5,68	160	0,0054
VESI			
jää			
– –10 °C	920	2000	2,3
– 0 °C	900	2000	2,2

Kuva 36. (Siikanen 2014, 45)

Liite 17. Voimassa olevien määräyksien soveltaminen perusparannettavaan rintamamiestaloon

Sovelletaan nykyisiä määräyksiä rintamamiestaloon, jossa on painovoimainen ilmanvaihto ja hengittävät rakenteet.

Seuraavassa luvussa on tarkasteltu Ympäristöministeriön asetuksen rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen korjaus- ja muutostöissä sisältöä ja vaikutusta rintamamiestalon perusparantamisessa (Ympäristöministeriö 2013).

1 §:ssä osoitetaan, että tätä asetusta tulee noudattaa vanhan asuinrakennuksen rakennus- tai toimenpideluvanvaraisessa korjaus- tai muutostyössä. Rintamamiestalon kunnostustyö on myös laajuudesta riippuen tällainen.

2 §:ssä osoitetaan, että korjaus- tai muutostyössä tulee noudattaa asetusta rakennusten energiatehokkuudesta. Korjaus- tai muutostyöhankkeeseen ryhtyvän on osoitettava tavat, joilla energiatehokkuutta parannetaan. Jos varmistutaan etteivät rakennuksen ominaisuudet heikkene niin käyttötarkoituksen pysyessä samana voidaan kesäajan huonelämpötila jättää laskematta. Laajamittaisen korjauksen yhteydessä tulee osoittaa korjauksien olevan kustannusoptimaalisia.

3 §:ssä osoitetaan, että kaikkien korjaus- tai parannusratkaisujen ei tarvitse täyttää vaatimuksia vaan rakennusosia ja järjestelmiä parannetaan tapauskohtaisesti. Vaatimustason alitusta voidaan kompensoida ylittämällä vaatimustaso toisissa ratkaisuissa. Rakennuksen pääasiallinen lämmitysjärjestelmä on mitoitettava vähintään laskennallisesti tarvittavalle täydelle lämmitysteholle.

4 §:ssä asetetaan rakennusosakohtaiset vaatimukset, huomioidaan kuitenkin 3 §:n antama mahdollisuus rakennusosa kohtaiseen kompensaatioon. Alapohja rakenteita voidaan parantaa tapauskohtaisesti.

5 §:n ei ota kantaa painovoimaiseen ilman vaihtoon, mutta edellyttää energian kulutuksen pienentämiseen eri keinoin. Kohdan 5 pääasiallisen lämmöntuottojärjestelmän ja pääasiallisen lämmönjakojärjestelmän suhdetta voi soveltaa esimerkiksi puulämmitteiseen asuintaloon, jossa lämpöä tuotetaan puilla ja lämmönjako tapahtuu ilman liikkeiden mukana. Tällöin lämpöenergiaa saadaan tulisijan tehon mukaan, mutta lämmön siirto ei kuluta energiaa. Painovoimaisen ilmanvaihdon yhteydessä ei lämpöä saada ilmasta talteen, mutta ilmanvaihto toimii ilman energiaa, jolloin energia säästyy. Vesi- ja viemärijärjestelmät uusitaan uudisrakentamisen määräyksien mukaan.

6 §:n mukaan pientalon standardikäyttöön perustuvan energian kulutuksen tulee olla ≤ 180 kWh/m². Tätä tulee noudattaa, mikäli rakennuksen

energian tehokkuuden parantaminen perustuu standardikäytön energian kulutukseen ja sen pienentämiseen omassa rakennusluokassaan.

7 §:ä antaa mahdollisuuden rakennuksen kokonaisenergian kulutuksen kautta tapahtuvaan energian kulutuksen pienentämiseen. Pientalossa vaadittu E-luku on $\leq 0,8 \times E$ -laskettu. Laskentaohjelmien oletuksena voi olla, että rakennuksessa täytyy olla lämmöntalteenotto tai jokin muu tekninen järjestelmä ilmanvaihtoa varten. Painovoimaisen ilmanvaihdon yhteydessä voi laskentatuloksella olla melko huono.

8 §:ä osoittaa, että rakennushankkeeseen ryhtyvän on valittava jokin kolmesta esitetystä tavasta parantaa rakennuksen energian kulutusta. Rakennuksen teknisten järjestelmien uudistaminen ja parantaminen tehdään aina 5 §:n mukaan, riippumatta rakennusosa tai rakennusluokkakohdasta valinnoista.

9 §:ä ohjaa korjausrakentamista pitkänaikavälin suunnitteluun siten, että kokonaisuus otetaan huomioon tehtäessä korjaus- ja muutossuunnittelua. Tällä tavoin saadaan myös laajempia korjaus- ja muutostöitä hajautettua pitkälle aikavälille, joka on välttämätöntä hankkeiden rahoituksen sekä rakennuksien käytön kannalta.

10 §:ssä varmistetaan, että rakennuksen vaipan ja sen osien tiiveydestä huolehditaan, jotta tehtyjen korjaustoimenpiteiden hyödyt saavutetaan ja mahdolliset vuotoihin liittyvät riskit vältetään. Tulee myös varmistua rakenteiden oikeasta lämpö-, ääni- ja kosteusteknisestä toimivuudesta sekä palo-teknisestä eristävydestä.

11 §:ssä osoitetaan, että painovoimaisella ilmanvaihdolla varustetun rakennuksen korjaus- ja muutostyön yhteydessä on tarvittaessa osoitettava ilmanvaihdon oikea toiminta ja tuloilman saanti. Ilmanvaihtokertoimena on 0,5 1/h. Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelussa sovelletaan ympäristöministeriön asetusta rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Kaikkien rakennus- ja teknisten järjestelmien osalta tulee varmistua niiden oikeasta toiminnasta.

12 §:ssä osoitetaan, että rakennuksen vaipan osien merkittävien parannuksien jälkeen täytyy rakennuksen lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien toiminta tarkastaa sekä tarvittaessa säätää.

13 §:n mukaan rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen osoitetaan aiempien pykälien osoittamilla tavoilla. Korjaus- ja muutostyön yhteydessä voidaan aikaisemmin tehdyt parannukset laskea eduksi, jos ne ovat todennettavissa.

14 §:ä osoittaa, että kyseiset vaatimukset ovat voimassa.

Seuraavassa luvussa on kerrottu Ympäristöministeriön julkaisua Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta muokailen rintamamiestalo-remonttia koskevat oleelliset vaatimukset (Ympäristöministeriö 2018).

1 § osoitetaan, että Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta on voimassa korjaus- ja muutostyö kohteissa.

3 §:ssä osoitetaan, että suunnittelijan on rakennuksen korjaus- ja muutostyössä tai käyttötarkoituksen muutoksessa selvitettävä rakennuksen rakennusaikainen rakentamistapa ja rakenteen kosteustekninen toimivuus. Korjaussuunnittelussa tulee varmistaa rakennuksen kosteustekninen toimivuus suunnitellun teknisen käyttöajan ajan.

4 §:n mukaan on korjaus- ja muutostyössä tai käyttötarkoituksen muutoksessa ensisijaisesti noudatettava alkuperäisen rakenteen toimintatapaa, mikäli alkuperäinen rakenne on ollut kosteusteknisesti toimiva. Jos kosteusteknisiä riskejä on olemassa alkuperäisessä rakenneratkaisussa, tulee sen korjaus- ja muutossuunnittelussa noudattaa tätä asetusta. Vanha kosteusteknisesti toiminut rakenne voidaan korjata vastaamaan alkuperäistä rakennetta.

30 §:ä osoittaa, että asetus on voimassa ja käynnissä oleviin hankkeisiin sovelletaan säännöksiä, jotka olivat voimassa ennen tätä asetusta.

Seuraavassa luvussa käydään läpi Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Sovelletaan asetusta rintamamiestalon sisäilman laadun ja sisäilmaston olosuhteiden parantamiseen rakennukseen perusparantamisen yhteydessä. (Ympäristöministeriö 2017.)

1 §:ssä osoitetaan, että asetusta ei tarvitse soveltaa korjausrakentamisessa. Tämä asetus pitää sisällään erittäin tärkeää sisältöä pohdittaessa sisäilman laatuun sekä sisäilmaston olosuhteisiin vaikuttavia tekijöitä. Tämän asetuksen sisältöä sovelletaan tässä yhteydessä rintamamiestalon sisäilman laadun ja sisäilmaston olosuhteiden parantamiseen.

3 §:ssä veloitetaan eri suunnittelualojen suunnittelijat ottamaan suunnitelmiaan huomioon niiden vaikutus sisäilmastoon. Rintamamiestalon perusparannuksen yhteydessä näitä kohtia voidaan soveltaa seuraavasti:

- Lämpö- ja kosteuskuormitus: Syntyy kun tiloja lämmitetään ulkoilman lämpötiloja lämpimämmiksi. Ihmisen toiminta kuten peseytyminen ja ruuanlaitto lisäävät kosteuskuormaa.
- Laitteiden kuormitus: Normaalit ruuan valmistamiseen ja säilyttämiseen tarvittavat laitteet aiheuttavat kosteus- ja lämpökuormia. Vaatteiden pesemiseen ja kuivaamiseen tarvittavat laitteet aiheuttavat

kuormitusta. Raskaiden laitteiden yhteydessä varmistetaan rakenteiden kantavuus tai sellaisia ripustettaessa kiinnikkeiden ja kiinnitys alustan kestävyys.

- Valaistus kuormitus: Alkuperäisissä ratkaisuissa sähkölaitteistot ovat hyvin vaatimattomia ja valaisimien, katkaisijoiden sekä pistorasioiden määrä hyvin vähäinen. Sähkölaitteiden sijoittelu voi olla huolimatonta esimerkiksi vesipisteiden läheisyydessä. Sähkölaitteistojen kytkennät ja vuosien varrella tehdyt muutokset voivat olla riskialttiita esimerkiksi kytkentöjen ja suojausien osalta. Valaisimien ja muiden sähkölaitteiden sijoitteluun ja määrään tulee kiinnittää huomiota remontoinnin yhteydessä.
- Henkilökuormat: Henkilökuormat aiheuttavat sisäilmaan kosteuslisää sekä epäpuhtauksia kuten hiilidioksidia.
- Melulähteet: Asuinrakennuksissa on normaalissa asuinkäytössä vähän melua tuottavia laitteita tai melua tuottavaa toimintaa.
- Prosessit: Lämmöntuottamiseen tarkoitetut prosessit kuten vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä yhdistettynä lämmönlähteeseen kuten öljypoltin. Puunpolttoon ja savukaasujen poisjohtamiseen liittyvät toiminnot. Nämä tuottavat lämpö- ja kosteuskuormia rakenteille ja jonkin verran sisäilman hiukkaspäästöjä.
- Rakennustuotteiden päästöt: Vanhoilla rakennusmateriaaleilla voi esiintyä niiden ikääntymiseen liittyviä päästöjä, jotka voivat olla hiukkasmaisia tai kaasuja. Kosteuskuormat kuten suuri sisäilman suhteellinen kosteus tai kosteuskuormitus esimerkiksi ulkoisesta tekijästä kuten maaperän kapillaarisista ominaisuuksista johtuen lisäävät päästöjä. Rakennusmateriaalien pölyvyys lisääntyy suhteellisen kosteuden laskiessa. Siivoukseen käytettävät menetelmät vaikuttavat materiaalien kosteuspitoisuuteen.
- Rakennuksen käyttöön liittyvät epäpuhtaudet: Keittiötiloissa syntyy ruuan valmistamiseen ja likaisien astioiden puhdistamiseen liittyviä epäpuhtauksia. Märkätiloissa ja saunassa on epäpuhtauksia ihmisten peseytymisestä johtuen. WC-tiloissa on luonnollisesti myös enemmän epäpuhtauksia kuin asuinhuoneissa. Eteistiloihin kulkeutuu epäpuhtauksia ulkopuolelta.
- Sää: Rakentamisen aikainen kosteudenhallinta, rakennuksen sijainnin mukaiset sääolosuhteet.
- Ääniolot: Rakennuksen sijainti esimerkiksi kaupunki tai maaseutu.
- Ulkoilman laatu: Rakennuksen sijainti esimerkiksi kaupunki tai maaseutu.
- Muut ympäristö tekijät: Maaperän ominaisuuksiin liittyvät tekijät kuten esimerkiksi maaperän radon päästöt tai savimailla voimakas kapillaarisuus.
- Sijainti ja rakennuspaikka: Vuoden keskimääräiset sääolosuhteet kuten mitoittavat lämpötilat ja ulkoilman suhteelliset kosteudet, tuuliolosuhteet, meren läheisyys ja tontin ominaisuudet kuten maaperän kosteus ja kantavuus.

3 §:n sisältämien kohtien suunnittelu tulee tehdä uudessa rakennettava rakennuksessa ottaen huomioon rakennuksen käyttötarkoituksen mukainen sisäilmasto. Rintamamiestalon perusparannuksen yhteydessä näitä kohtia voidaan soveltaa seuraavasti:

- Lämpö- ja kosteusominaisuudet: Rakenteiden kosteusteknisen toiminnan varmistaminen sisä- ja ulkopuolista kosteusrasitusta vastaan. Sisäilman kosteuden siirtymisen estäminen rakenteisiin rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä ja vesihöyrynvastusta parantamalla. Rakennuksen hyvä lämmön eristys ja tiiviys parantavat rakennuksen lämpöolosuhteita.
- Ikkunoiden ominaisuuksia ja aurinkosuojaus: Ikkunoiden valinnalla voidaan vaikuttaa neljällä tavalla. Ensimmäinen vaikutus on rakennuksen vaipan lämmöneristävyyden parantaminen eli sisältä ulos pyrkivän lämmön liikkeen rajoittaminen. Tämä nostaa sisäilman lämpötilaa ja vähentää energian kulutusta. Toinen vaikutus on ulkoa sisälle pyrkivän lämmön liikkeen ja säteilylämmön vähentäminen, tällä vaikutetaan kesäaikaisiin sisäilman lämpötiloihin. Tämä laskee kesäaikaisia sisäilman lämpötiloja ja vähentää tuuletuksen tarvetta. Kolmas vaikutus on vuotoilmavirtojen väheneminen tai kokonaan loppuminen ikkunoiden tilkerakojen tiivistymisen seurauksena. Neljäs tapa vaikuttaa on mahdollisuus ottaa tuloilmaa ikkunoiden kautta. Tuloilma on puhdasta ja hieman esilämmitettyä. Aurinkosuojauksena voivat toimia verhot, sälekaihtimet, markiisit, pihan istutukset tai ikkunoiden eristävyys ulkoisia lämpökuormia vastaan.
- Rakennuksen energiatehokkuus ja ilmanpitävyys: Energiatehokkuuden parantamiseen valittavilla rakennetyypeillä kuten hengittävä puupohjainen rakenne tai diffuusiotiivis rakenne on vaikutusta sisäilmastoon. Hengittävät rakenteet tasoittavat ilmanladullisia ääriarvoja ja ovat alkuperäisien rakennetyyppien toimintaperiaatteiden mukaisia. Diffuusiotiiviillä rakenteilla estetään sisäilman sisältämän kosteuden ja muiden sisäilman kaasujen vaihtuminen rakenteiden lävitse. Diffuusiotiivis rakenne pienentää vaipparakenteiden kosteuskuormia. Lämmöneristeen sijoittamisella rakenteessa kuten sisäpinnan lisälämmön eristys, ulkopinnan lisälämmön eristys tai koko rakenteen uudelleen eristäminen on vaikutusta muun muassa tuulensuojaukseen ja ilmanpitävyyteen. Vanhojen eristeiden kokonaan poistaminen voi olla kosteusvaurioituneen rakenteen hyvän toiminnan kannalta välttämätöntä. Tuulensuojan tiiveydellä on suuri vaikutus rakennuksen lämpöolosuhteisiin niin rakenteiden sisällä kuin myös koko rakennuksessa. Rakennuksen ilmanpitävyyden parantaminen alentaa energian kulutusta ja ilmanvirtausta rakenteiden lävitse.
- Rakennuksen ulkovaipan, alapohjan ja kuilujen ilmanpitävyyttä sekä tilojen välisten rakenteiden ilmanpitävyyttä: Tilojen välisellä ilmanpitävyydellä tarkoitetaan rintamamiestaloissa kerroksien välistä ilmanpitävyyttä. Kerroksien välinen ilmanpitävyys voidaan toteuttaa asentamalla portaikkoon kynnykselliset ja tiivistein varustetut väliovet joiden asennusraot on tiivistetty. Tiloja rajaavien rakenteiden tulee

myös olla ehjiä ja ehyitä. Rakennuksen suuret korkeuserot ja porraskuilun avoimuus mahdollistavat voimakkaan savupiippuilmion. Portaikko toimii hormina, jonka korkeus on rakennuksen korkeus. Jos rakennuksen alaosissa on ulkoilman siirtoon tarkoitettuja reittejä tai vuotoilmareittejä rakennuksen vaipan lävitse, niin korvausilmaa virtaa rakennuksen alaosista. Rakennuksen sisäpuolella on ulkoilman lämpötilasta ja tuuliolosuhteista riippuen melko suuri sisäpuolinen alipaine. Savupiippu vaikutuksesta johtuen ilma pyrkii portaikossa yläkerrokseen muodostaen sinne ylipainetta. Suurin ylipaine kohdistuu yläpohjaa vasten. Yläpohjan ilman- ja vesihöyryn pitävyyteen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Alapohjan ilmanpitävyys on hyvä betonirakenteissa kellarikerroksissa, alta tuulettuvissa ratkaisuisa ilmanpitävyyden kanssa voi olla ongelmia.

- Ääneneristys ja meluntorjunta: Rakenteiden ääneneristävyys ominaisuudet paranevat perusparantamisen yhteydessä. Rakenteet tiivistyvät ja niihin tulee lisää äänen liikkeitä vastustavaa materiaalia eli massaa. Jos rakennus sijaitsee esimerkiksi vilkkaasti liikennöidyn tien läheisyydessä kannattaa äänitekniiseen suunnitteluun kiinnittää erityistä huomiota. Ilmanvaihdon reittien kuten tuloilmaventtiilien suuntauksella tai tuuletusikkunoiden sijoittelulla voidaan suoraan vaikuttaa rakenteen lävistävän äänen määrään.
- Tilojen valaistus ja päivänvalon hyödyntäminen: Kunnostettavaan rakennukseen voidaan lisätä uusia ikkunoita kantavien rakenteiden antamien mahdollisuuksien ja tilojen käyttötarkoituksen mukaan. Valaistus voidaan suunnitella kunnostettavan rakennuksen tarpeiden mukaiseksi.
- Rakennusmateriaalit: Valitaan käyttötarkoitukseen soveltuvat materiaalit, siten että ne täyttävät niille asetetut vaatimukset. Rakennusmateriaaleille luokiteltavia ominaisuuksia ovat muun muassa kosteuden kesto, paloturvallisuus, akustiikka, pintalämpötila, kulutuskestävyys, puhdistettavuus, huollettavuus, taloudellisuus, käyttöikä, lujuus ja päästöluokitus, kun nämä vaatimukset täyttyvät tuote on käyttöominaisuksiltaan tarkoituksenmukainen.
- Suunnitellaan rakennuksen lämmitystä ja jäähdytystä sekä muita talotekniikkajärjestelmiä, niiden käyttövarmuutta ja tilantarvetta: Lämmityslaitteistoja on monenlaisia ja niiden uudistamiseen lukematon määrä mahdollisuuksia. Perinteinen ratkaisu jossa yhdistettyinä ovat vesikiertoinen patterijärjestelmä ja öljypoltin sekä kerroksissa puulämmitys mahdollisuus. Tässä ratkaisussa talon keskellä on korkea piippu, joka on yhdistetty kellarikerroksessa olevaan öljypolttimeen ja kerroksissa oleviin tulipesiin. Rakennuksen toiminnot ovat keskittyinä rakennuksen keskellä olevan piipun ympärille. Tilat ovat melko sidottuja sijoittelultaan sekä muokattavuudeltaan. Painovoimaisen ilmanvaihdon poistoilmahormit sijaitsevat samassa piipussa, joten piippu mahdollistaa lähes kaikki rakennuksen käyttötarkoituksen mukaiset toiminnot. Sen purkamista ei edes kannata harkita tilojen päivittämisen yhteydessä, sillä silloin rakennuksen alkuperäinen toimintaperiaate menetetään.

- Rakennustyömaan kosteudenhallinta: Korjausrakentamisen tärkeänä piirteenä on tehdä kaikki työt ilman vesivahinkoja. Sääsuojauksista tulee huolehtia korjauksien yhteydessä.
- Rakennustöiden puhtauden hallinta: Rintamamiestalo johon tehdään perusparannus voi sisältää lukuisia epäpuhtaus lähteitä. Purkutyöt tulee suunnitella tapauskohtaisesti ja muistaa haitta-ainekartoituksen tekeminen. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purkutyöstä on omat ohjeistuksensa. Normaalista rakennustyöstä syntyy aina pölyä ja jätettä. Pölyn hallintaan on lukuisia keinoja ja ohjeita. Syntyvät jätteet tulee lajitella ja työskentelyalueella tulee ylläpitää järjestystä.
- Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden hallinta: Ilmanvaihtoon tarkoitetut painovoimaisen ilmanvaihdon hormit tulpataan pölyävien työvaiheiden ajaksi.

”Rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisen sisäilmaston aikaansaamiseksi voidaan käyttää rakenteellisia keinoja, pienentää sisäisiä kuormitustekijöitä, rajoittaa ulkoisten ja sisäisten kuormitustekijöiden vaikutusta sekä käyttää lämmitys-, jäähdytys-, ilmanvaihtoja ilmastointitekniisiä keinoja sekä näihin liittyvää ohjausta ja säätöä.” (Ympäristöministeriö 2017.)

- Rakenteelliset keinot sisäilmaston luomiseksi: ”Rakennuksen korjaus- ja muutostyössä tai käyttötarkoituksen muutoksessa rakennuksen kosteustekniseen toimivuuteen ei tarvitse tehdä muutoksia, jos rakennus on kosteusteknisesti toimiva.” (Ympäristöministeriö 2017.)
Ympäristö ministeriön asetus rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta ohjaa korjausrakentamisen suunnitteluratkaisuja hyödyntämään alkuperäisen rakenteen toimintaperiaatteita. Rintamamiestalon tapauksessa rakennuksen vaipan rakenteiden tulisi siis olla hengittäviä. Hengittävän rakenteen toiminta perustuu sen suuren kosteuskapasiteettiin. Hengittävät rakenteet voivat sitoa runsaasti kosteutta ja luovuttaa sitä ympäröivään ilmaan. Eri- laisten sisäilman epäpuhtauksien kuten hiilidioksidin läpäisy sisäilmasta ulkoilmaan on yksi rakenneratkaisun eduista. Puukuitueristyksen etuja ovat myös eristeen sisällä tapahtuvan ilmanliikkeen vähäisyys niiden tiiviin rakenteen johdosta. Tämä johtaa lämpimämpiin vaipanrakenteisiin ja korkeampaan sisäilman lämpötilaan. Yläpohjarakenteissa voidaan hyödyntää erityisen hyvän lämmöneristyskyvyn ja suuren vesihöyrynvastuksen omaavia materiaaleja kuten alumiinilla pinnoitettuja uretaanilevyjä. Rakennuksen painejakaumasta johtuen yläpohjarakenteisiin kohdistuu ylipainetta, jolloin lämmin sisäilma pyrkii rakenteen sisään. Vesihöyrytiivillä ja hyvän lämmöneristyskyvyn omaavalla rakenteella on hyvät ominaisuudet käytettäväksi rintamamiestalon yläpohjarakenteessa. Alapohjarakenteiden tiiviyyttä ja lämmöneristyskykyä voidaan parantaa mahdollisuuksien mukaan.
- Sisäisten kuormitustekijöiden pienentäminen: Sisäilman merkittävin kuormitustekijä on sen sisältämä kosteus. Märkätilojen poistoilmanvaihdoista ja sen säätö sekä tehostus mahdollisuuksista tulee huolehtia. Rakennuksen siivouksessa ja puhdistamisessa tulee käyttää mahdollisimman vähän vettä ja

voimakkaita pesuaineita. Pyykin kuivaukselle tulisi varata hyvän ilmanvaihdon omaava tila, pyykki olisi hyvä kuivata mahdollisuuksien mukaan ulkona. Ruuan valmistuksessa käytettyjen astioiden pitkäaikainen liottaminen lisää myös sisäilmaan haihtuvan kosteuden määrää. Ruuanlaitto ja ruuan keittopaikka tulee varustaa liesituulettimella tai vastaavan toimintaperiaatteen omaavalla laitteella esimerkiksi painovoimaisella poistoilmakeräimellä.

- Ulkoisten ja sisäisten kuormitustekijöiden vaikutuksen rajoittaminen: Suunnitellaan rakenteet kestäväksi niille tulevat rasitukset. Teknisen käyttöiän täyttyessä rakennusosien sekä rakenneosien tulisi olla kunnostettavissa ja normaalin käytön aikana huollettavissa.
- Talotekniikan säätömahdollisuudet: Ilmanvaihdon säätömahdollisuudet ovat oleellisia. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilmanvaihdon tehokkuus vaihtelee voimakkaasti ulkoilman lämpötilan ja tuuliolosuhteiden mukaan. Talvikuukausina on tarve ilmanvaihdon rajoittamiselle ja kesäkuukausina tehostamiselle. Niin sanotuissa likaisissa tiloissa on tarvetta ilmanvaihdon ajoittaiselle tehostamiselle.

4 §:ssä esitetään vaatimukset huonelämpötilojen suunnitteluarvoille.

- Lämmityskauden huonelämpötila: Sisäilman lämpötilan vaihteluväli 20–25 celsiusastetta on saavutettavissa rintamamiestyyppisissä rakennuksissa. Alkuperäisessä kunnossa olevalle rintamamiestalolle kyseisen sisäilman lämpötilan vaihteluvälin saavuttaminen on haasteellista. Voimakas savupiippu vaikutus viilentää rakennuksen kellarikerrosta voimakkaasti varsinkin, jos ilmanvaihdon säätömahdollisuudet ovat puutteelliset. Kellarikerros siis viilenee liikaa. Rakennuksen muissakin kerroksissa on ongelmia, rakenteet ovat usein hataria ja voimakas savupiippuvaikutus imee kylmän ulkoilman rakenteiden sisään. Esimerkiksi välipohjarakenteissa voi olla ilmankulun mahdollistavia reittejä lattiapalkkien välissä. Usein nämä onkalot ovat molemmista päistään yhteydessä kylmiin ulkoseinien alaosiin, kylmä ilma siis kulkee rakenteen sisällä rakennuksen sisäpuoleisen alipaineen muodostaessa sopivat paineolosuhteet ilman liikkeille. Nyt siis lattian rajassa lämpötila voi laskea alle ohjearvojen. Yleisesti voidaan todeta erilaisten ilman konvektio virtausten aiheuttavan huonelämpötilojen laskua. Asetuksen mukainen sisäilman lämpötilan vaihteluväli 20–25 celsiusastetta voidaan saavuttaa rakennuksen vaipan rakenteiden ominaisuuksia parantamalla sekä varustamalla painovoimaisen ilmanvaihdon laitteet säätömahdollisuuksilla.
- Lämmityskauden ulkopuolella: Huonelämpötilan vaihteluväli lämmityskauden ulkopuolella on 20–27 celsiusastetta. Tämä voidaan saavuttaa kesäaikana lisäämällä ilmanvaihtoa tuulettamalla ja huolehtimalla suojauksesta sekä varjostuksesta auringon säteilyä vastaan. Yläpohjarakenteiden sekä rakennuksen vaipan rakenteiden hyvällä tuuletuksella ja lämmöneristävyydellä voidaan myös vaikuttaa ulkoa sisälle siirtyvän lämpöenergian määrään. Vaipan hyvät lämmöneristys ominaisuudet tasaavat sisäilman lämpötilojen huippuarvoja kesäaikana ja parantavat sisäilmaston olosuhteita asetuksen osoittamalle tasolle.

5 §:ssä esitetään vaatimukset sisäilman laadulle.

- Huonetiloissa tulee huolehtia riittävästä poisto- ja tuloilmavirroista, poistoilmavirran tulisi olla niin voimakas, että tuloilmaventtiiliä vasten vallitsee alipaine. Ilman vaihdon jatkuva oikea toiminta on tärkeää sisäilman hyvän laadun kannalta.
- Hiukkasmaiset epäpuhtaudet: Voivat olla esimerkiksi peräisin ikääntyvistä ja huonokuntoisista materiaaleista. Hiukkasmaisia epäpuhtauksia voi kulkeutua sisätiloihin myös ulkoilman mukana esimerkiksi ikkuna tuuletuksen yhteydessä.
- Fysikaaliset tekijät: Esimerkiksi sisäilman kosteus, sisäilman konvektiovirtaukset, veto, lämpöolosuhteet, säteilyolosuhteet ja ääniolosuhteet tulee olla hallittuja. Vaatimustaso saavutetaan lämpö- ja kosteusteknisesti toimivilla rakenteilla sekä hallitulla ilmanvaihdolla.
- Kemiallisia ja mikrobiologisia tekijöitä: Erilaiset mikrobiologiset tekijät aiheuttavat sekä kemiallisia, että hiukkasmaisia päästöjä. Kosteus- ja mikrobivaurioituneet rakenteet ovat aina ongelmallisia sisäilman laadun kannalta. Kemiallisia tekijöitä voi aiheutua myös ihmisen toiminnasta esimerkiksi voimakkaiden pesuaineiden käyttö, erilaisten liuottimien sekä maalien käyttö, erilaisten öljyjen ja öljynjalosteiden käyttö ja emissiot jotka ovat seurausta korkeasta sisäilman suhteellisesta kosteudesta. Rakenteiden kosteusvaurioiden seurauksen sisäilmaan voi vapautua myös yhdisteitä esimerkiksi mattoliimoista.
- Hajut: Terveellisessä ja turvallisessa rakennuksessa, joka on kosteusteknisesti toimiva ja varustettu riittävällä ilmanvaihtolaitteistolla ei hajuja esiinny. Hajut ovat usein peräisin kosteus- ja mikrobivaurioituneista rakenteista sekä vanhentuneista rakennusmateriaaleista. Perusparantamisen jälkeen myös rintamamiestalo voi täyttää tämän päivän asetusten vaatimukset.

6 §:ssä esitetään vaatimukset sisäilman kosteudesta.

- Sisäilman suhteellinen kosteus voidaan hallita ilmanvaihdon avulla. Perus ilmanvaihdon lisäksi suuren kosteuskuormituksen omaaviin tiloihin tulee järjestää tehostettava ilmanvaihto. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa märkätilojen ilmanvaihtoa voidaan tehostaa poistoilmahormiin kytkettävillä imureilla tai puhaltimilla. Perusparannuksen yhteydessä voidaan rakentaa poistoilmavaihdolle myös uusia reittejä esimerkiksi ulkoseinän lävitse ja varustaa se puhaltimella.

8 §:ssä esitetään vaatimukset ilmanvaihdosta.

- Mittaus: Rintamamiestalojen painovoimaisessa ilmanvaihdossa ei ole mittausmahdollisuutta. Ilmanvaihdon mittaustietona toimivat tilojen käyttäjien kokemukset sisäilman laadusta ja sisäilmaston olosuhteista. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa voidaan mitata hormin venttiilistä erilaisilla mittareilla, jotka kertovat paine-erot venttiiliin yli tai antavat venttiilistä virtaavan ilman määrän. Myös ulkoilman paineen ja rakennuksen sisäisen paineen mittaaminen kertovat ilmanvaihdon toiminnasta, samaan toiminnalliseen arvioon päästään, kun tunnetaan lämpötilaerot sisä- ja ulkoilman välillä.

- Ohjaus: Painovoimaiseen ilmanvaihtoon on olemassa itsesäätyviä venttiilejä, jotka reagoivat lämpötilaeroihin. Perinteisiä venttiilejä täytyy säätää mekaanisesti tarpeen mukaan.
- Seuranta: Tilojen käyttäjien kokemukset sisätilojen olosuhteista.

9 §:ssä esitetään vaatimukset ulkoilmavirroista.

- Oleskelutilojen ulkoilmavirraksi on mitoitettava vähintään 6 dm³/s henkilöä kohti suunniteltuna käyttöaikana.
- Koko rakennuksen ulkoilmavirraksi on mitoitettava kuitenkin vähintään 0,35 (dm³/s)/m² lattian pinta-alaa kohden suunniteltuna käyttöaikana.
- Asuinhuoneiston ulkoilmavirraksi on mitoitettava kuitenkin vähintään 18 dm³/s.

Asetuksen mukaisien ulkoilmavirtojen saavuttaminen voi olla ongelmallista, kun ulkoilman ja sisäilman lämpötilaerot ovat pienet. Painovoimaiseen ilmanvaihtoon on olemassa erilaisia tehostamisratkaisuja;

- Kanavan yläpään asennettava kanavaan alipainetta tekevä tuulitoiminen vedonparantaja. Tuulensuunta ei vaikuta turbiinin pyörimissuuntaan. Estää ilman takaisin virtausta hormissa.



Kuva 37. Tuulitoiminen vedonparantaja (allergia-apu.fi).

- Kanavapuhaltimet ja poistoilmapuhaltimet ovat kanavan ylipaineiselle puolelle eli poistoilmakanavan huonetilan päähän asennettavia puhaltimia. Ne tehostavat ilmanvaihtoa luomalla kaavaan ylipainetta.



Kuva 38. Poistoilmapuhallin (pisla.fi).

- Korvausilmaventtiilit joissa on tuloilman suodatus, äänenvaimennin ulkoa sisälle tulevan äänen estämiseksi sekä ulko- ja sisäpuolinen säleikkö.



Kuva 39. Tuloilma tuotekokonaisuus (terveysilma.fi).

- Itsesäätyvä korvausilmaventtiili jonka toiminta perustuu ulkoilman lämpötilaan. Kylmällä ilmalla venttiili säätyy pienemmälle ja lämpimällä ilmalla suuremmalle.



Kuva 40. Itsesäätyvä korvausilmaventtiili (terveysilma.fi).

- Tuuletusikkunaan asennettava ulkoilmaventtiili jossa yhdistettynä ääniloukku.



Kuva 41. Ääniloukku estää melun siirtymisen ulkoa sisätiloihin venttiilin kautta (terveysilma.fi).

- Tuuletusikkunoihin voidaan asentaa suodattimia estämään hiukkasmaisien epäpuhtausten kulkeutuminen sisäilmaan.



Kuva 42. Tuuletusikkunaan asennettava tuloilman suodatin (terveysilma.fi).

- Piipun päälle asennettava piipunhattu parantaa hormien vetoa ja estää tuulen aiheuttaman takaisin puhalluksen.



Kuva 43. Piipunhattu (heinox-hormit.fi).

10 §:ssä esitetään vaatimukset ilmavirtojen ohjauksesta.

- Tulo- ja poistoilmaventtiilien sijoittamisessa tulee huomioida ilmanvirtaukset puhtaasta tilasta likaisemman tilan suuntaan. Tuloilmaventtiilien sijoittelussa tulee kiinnittää huomiota niiden aiheuttamaan vedontunteeseen. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa tuloilmaventtiileille sopivia sijoitus paikkoja ovat esimerkiksi lämmityspatterien taustat, lämmityspatterien yläpuoliset alueet ja korkeat sijoitus kohdat tai toisarvoiset tilat joissa viileän ilman liike ei häiritse. On myös olemassa tuloilmaventtiilejä, joissa on tuloilman esilämmitys.
- Vaatimus 30 prosentin ilmanvaihdon tehostamisesta onnistuu tuuletusikkunoiden avaamisella.

12 §:ssä esitetään vaatimukset ilmansuodatukselta.

- Painovoimaiseen ilmanvaihtoon on olemassa tuloilmaventtiilejä, joissa on ulkoilman suodatus.

13 §:ssä esitetään poistoilmaluokat.

- Rintamamiestalon poistoilmaluokka on poistoilmaluokka 1. Pahoin kosteusvaurioituneessa rakennuksessa poistoilmaluokka voi olla luokka 2, 3 tai 4.

14 §:ssä esitetään vaatimukset ulkoilmalaitteiden ja ulospuhallusilmalaitteiden sijoittamisesta.

- Rakennuksen ilmanpitävyyden tulee olla sellainen, että ulkoilma virtaa rakennukseen tuloilmaventtiilien kautta. Tuloilmaventtiileitä täytyy olla myös riittävä määrä.
- Ulkoilman laatua heikentäviä tekijöitä ovat muun muassa vilkkaasti liikennöity tie tai kaupunki kortteleissa kadut. Tuloilmaventtiilit ja tuuletusmahdollisuudet tulisi sijoittaa rakennuksen puhtaammille seinustoille ja näin pienentää ulkoisalle kulkeutuvien epäpuhtauksien määrää. Poistoilmalaitteiden sekä savukaasujen poistamiseen tarkoitettujen hormien ja tuloilmakanavien etäisyys tulisi olla mahdollisimman pitkä. Epäpuhtauslähteiden tulisi sijaita korkeammalla kuin tuloilmalaitteiden.
- Lumen ja sadeveden pääsyn estämiseksi piipun päälle voidaan asentaa piipunhattu ja ulkoilmaventtiileihin ulkoilmasäleiköt. Ulkoilmasäleiköt voidaan tiivistää rakenteisiin vedenpitävästi esimerkiksi käyttämällä tiivistysmassoja.
- Rintamamiestalon ulospuhallusilma johdetaan rakennuksen vesikaton yläpuolelle, savupiipussa olevien poistoilmahormien välityksellä. Kun asennetaan painovoimaista ilmanvaihtoa tehostavia laitteita, esimerkiksi märkätiloihin sopiva poistoilmareitti on suoraan seinästä ulos. Rintamamiestalojen poistoilmaluokka on 1 ja se tarkoittaa, että kaikki poistettavilma voidaan johtaa seinästä ulos.

15 §: esitetään vaatimukset palautus-, siirto- ja kierrätysilmalle.

- Painovoimaisen ilmanvaihdon yhteydessä kyseessä on vain siirtoilma. Siirtoilmana voidaan käyttää vain ilmanpuhtaudeltaan samanarvoisten tai puhtaampien tilojen ilmaa joka ei sisällä epäpuhtauksia tai hajuja.

17 §:ssä esitetään vaatimukset ilman jaolle ja poistolle.

- Ilman tulee virrata koko oleskeluvyöhykkeelle. Ilmanvirtaus ei saa aiheuttaa epäviihtyisyyttä aiheuttavaa ilman liikettä. Epäpuhtauksien poistoon tarkoitettussa ilmanvaihdon tehostuksessa tästä voidaan poiketa.

18 §:ssä esitetään vaatimukset ilmanvaihdon yhdistämiselle.

- Rintamamiestalojen poistoilmahormit palvelevat kukin vain yhtä ilmanvaihdollista pistettä. Hormit ovat alapäästään yhteydessä huonetilaan ja yläpäästään ulkoilmaan. Tällä tavoin vältetään tiloista toisiin tapahtuvat poistoilmavirrat ja poistoilmahormin teho on suhteessa sen korkeuteen. Rintamamiestalon hormien toteutus on siis toimiva.

21 §:ssä esitetään vaatimukset rakenteiden ilmanpitävyydestä ja ilmavirroista aiheutuvat paineet.

- 21 §:ssä esitettyjen vaatimuksien täyttämiseksi tulee toteuttaa laajamittainen perusparannus rintamamiestalo tyyppiseen rakennukseen. Esimerkiksi rintamamiestalojen yläpohja- ja vaipparakenteiden ilmanpitävyydestä, lämmöneristävyydestä ja tuulensuojauksesta ei ole varmuutta. Edellä luetellut rakennetekniset ominaisuudet ovat edellytys hallittujen rakennuksen sisäisien painesuhteiden luomiselle. Hallitut painesuhteet tarkoittavat hallittuja korvausilmavirtoja, jatkuvaa poistoilmavirtaa ja rakennuksen painejakauman muodostamista sellaiseksi, että yläpohjaan kohdistuva ylipaine kumotaan tai sitä hallitaan ja alapohjarakenteisiin kohdistuva alipaine on hallittu. Rakennuksen painejakauman muodostumiseen vaikuttaa useat tekijät. Eräitä tärkeimpiä tekijöitä ovat jo edellä luetellut rakenteiden ilmanpitävyys, -lämmöneristävyys ja -tuulensuojaus, näiden lisäksi korvausilmareittien tasainen sijoittaminen jokaiseen kerrokseen, portaikon suljettavat ovet kerroksien välillä ja ilmanvaihdon säätömahdollisuudet ovat avain asemassa.

22 §:ssä esitetään vaatimukset tulisijasta ja erillispoistosta.

- Tulipesä ja esimerkiksi liesituuletin tarvitsevat riittävän korvausilmansaannin. Korvausilma tulee saada hallitusti korvausilmaventtiilistä. Mikäli korvausilmaa ei ole saatavilla niin sitä alkaa virrata rakenteiden lävitse vuotoilmavirtoina ja mahdollisesti poistoilmakanavien kautta. Tällaiset hallitsemattomat ilmavirrat voivat kuljettaa mukanaan epäpuhtauksia ja aiheuttaa sisäilman laadun heikkenemistä.

24 §:ssä esitetään vaatimukset ilmanvaihtojärjestelmän puhdistettavuudesta ja huollettavuudesta.

- Painovoimaisen ilmanvaihdon hormit voidaan nuohota ja venttiilit voidaan puhdistaa, joten järjestelmä on puhdistettavissa. Venttiilit ja varusteet voidaan myös vaihtaa, joten järjestelmää voidaan huoltaa.

25 §:ssä esitetään vaatimukset ilmanvaihtojärjestelmän eristämisestä.

- Rintamamiestaloissa painovoimaisen ilmanvaihdon hormit ovat yleensä muurattuja. Muuratuilla rakenteilla on tässä käyttötarkoituksessa pieni kondensoitumisriski, joten lämmöneristystä ei kondenssiveden muodostumisen estämiseksi tarvita. Kylmässä ullakkotilassa olevaa hormia voidaan lämmöneristää, kun sillä tavoitellaan hormin lämpötilan nousua ja näin ilmanvaihdon tehostamista.

28 §:ssä osoitetaan voimaantulo.

- Tämä asetus on voimassa ja se koskee uuden rakennuksen rakentamista. Sitä voidaan soveltaa korjausrakentamiseen sisäilman laadun ja sisäilmaston olosuhteiden parantamiseen ja niiden ymmärtämiseen.