



JUKKA SULKAKOSKI

*Tiivistyskorjausten onnistuminen*

**Tekijä**

Jukka Sulkakoski

**Opinnäytetyön nimi**

Tiivistyskorjausten onnistuminen

**Sivu- ja liitesivumäärä**

35 s, 1 s

Rakennusterveysasiantuntijan koulutusohjelma 45 op, Rakennusteollisuuden koulutuskeskus RATEKO. Opinnäytetyö. 7.5.2017 Helsinki

**TIIVISTELMÄ:**

Tässä opinnäytetyössä on pureuduttu tiivistyskorjausten onnistumisen sekä epäonnistumisen syihin yhden kohteen sisäilmakorjauksen kokemusten perusteella. Tiivistyskorjauksista on saatavilla runsaasti ohjeita ja materiaalia mutta toteutettujen korjausten onnistumista on tutkittu verraten vähän. Korjauksiin saatavilla olevan ohjemateriaalin runsaudesta huolimatta tiivistyskorjaukset on mielletty herkästi epäonnistuviksi ja ne herättävät asiantuntijoissakin osin ristiriitaisia tunteita. Monilla on kokemuksia epäonnistuneista tiivistyskorjauksista, jotka ovat johtaneet korjauskierteeseen sekä riitoihin työsuorituksen ja valvonnan asianmukaisuudesta.

Tämä työ selvitti sisäilmälähtöisen tiivistyskorjauksen ongelmia. Korjausprosessia tarkastellaan hieman laajemmin kuin pelkän fyysisen korjaussuorituksen osalta. Tähän julkaistuun osaan on koottu kirjallisuuteen liittyvä julkinen osio. Opinnäytetyöhön sisältyi myös suojellussa kohteessa (ei julkinen) tehtyjä havaintoja korjausprosessista, tiivistyskorjauksista ja niiden onnistumisesta sekä tiivistämisen hankaluuksista.

**AVAINSANAT:**

Tiivistyskorjaus, tiivistäminen, kapselointi

# SISÄLLYSLUETTELO

1. TIIVISTYSKORJAUKSET .....	4
1.1 Tiivistyskorjaukset yleisesti .....	4
1.2 Rakenteiden ilmatiiviys .....	5
1.3 Rakenteiden ilmatiiviyden kehittyminen .....	6
1.4 Tiivistyskorjauksista tehtyjä tutkimuksia.....	8
1.5 Lainsäädäntö ja rakentamismääräykset.....	13
1.5.1 Rakennusta ja rakenteita koskeva lainsäädäntö ja rakentamismääräykset.....	13
1.5.2 Työskentelyolosuhteita koskeva lainsäädäntö.....	15
1.5.3 Sisäilmaston oikeudellinen merkitys .....	16
1.6 Rakenteiden ilmatiiviyttä käsittelevät julkaisut ja artikkelit .....	17
1.7 Viranomaisvalvonta .....	21
1.8 Rakennussuojelu ja suoritettavat korjaukset.....	22
2. RAKENNUSFYSIikka JA TEKNINEN TOTEUTUS.....	24
2.1 Rakennusfysiikka .....	24
2.1.1 Kosteus .....	24
2.1.2 Lämpö.....	25
2.1.3 Ilma.....	25
2.1.4 Paine-erot rakennuksessa .....	27
2.2 Tiivistyskorjauksen tekninen toteutus ja tarkastus.....	29
2.2.1 Lopputuloksen vaatimukset .....	30
2.2.2 Lopputuloksen varmistaminen.....	32
2.2.3 Merkkiainekoe.....	33
3. LÄHDE-/KIRJALLISUUSLUETTELO .....	34
4. LIITTEET .....	37

# 1. TIIVISTYSKORJAUKSET

## 1.1 Tiivistyskorjaukset yleisesti

Rakenteiden sisäpintojen ja liittymien ilmatiivyyden parantamisen eli tiivistyskorjauksen ensisijaisena tavoitteena sisäilmaongelmakohteissa on estää hallitsemattomat ilmavirtaukset rakenteista ja niiden mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien pääsy huonetilaan. Tyypillisesti tiivistyskorjauksissa tehdään toimenpiteitä vaipparakenteiden (alapohja-, ulkoseinä- ja yläpohjarakenteet) sisäpintojen riittävän ilmatiivyyden varmistamiseksi. Tiivistyskorjauksissa käytetyt materiaalit läpäisevät yleensä jonkin verran vesihöyryä ja myös muita kaasuja. Ilmatiivyyden parantamiseksi tehtävät tiivistyskorjaukset rakenteissa sekoitetaan usein muihin korjausmenetelmiin, kuten haitta-aineiden kapselointiin, kapillaarisen kosteuden katkaisemiseen tai muihin kosteuden tai paineellisen veden hallitsemiseksi tehtäviin korjaustoimenpiteisiin. (Laine 2014)

Tavoitteena rakennusvaipan ilmatiivyyden parantamisessa on vähentää energiankulutusta, estää kosteuskonvektio ja estää epäpuhtauksien huoneilmaan kulkeutuminen vuotoilmavirtausten mukana. Korvausilmaa ei oteta rakenteiden ilmapuotokohtien kautta hyvin ilmanpitävässä rakennuksessa, vaan korvausilma otetaan hallitusti tuloilmaventtiilien tai raitisilmanottoaukkojen kautta. Rakenteiden sisäpintojen ilmatiivyydellä voidaan estää mahdollista terveyshaittaa aiheuttavan olosuhteen syntyminen. (Laine 2014)

Tiivistyskorjausmenetelmää on käytetty sisäilmaongelmakohteissa jo pitkään osana muita korjaustoimenpiteitä vaihtelevalla menestyksellä. Kokemuseräisesti on todettu, että pelkkä tiivistyskorjaus yksin käytettynä harvoin riittää, vaan ongelmien poistamiseksi tarvitaan myös muita toimenpiteitä. Siten rakenteiden sisäpinnan ilmatiivyyden parantaminen on aina osa muita korjaustoimenpiteitä. Korjaukset ovat voineet epäonnistua puutteellisten suunnitelmien, huolimattoman toteutuksen tai laadunvarmistuksen puuttumisen vuoksi sekä rakenteissa tapahtuvien ilmiöiden ja kokonaisuuden ymmärtämättömyyden vuoksi. Lisäksi on saatettu tiivistää rakenteita, joihin tiivistyskorjaus ei sovellu. Tutkimustietoa eri menetelmistä ja korjausten onnistumisesta on saatavilla vähän. (Laine 2014)

Yleisenä periaatteena sisäilmaongelmia on ehkäistävä jo ennen kuin ne syntyvät. Tähän tavoitteeseen voidaan päästä hyvällä kiinteistön ylläpidolla, oikea-aikaisilla

korjaustoimenpiteillä, peruskorjausohjelman nopeuttamisella, korjausinvestointiohjelman määrätietoisella noudattamisella ja riittäväillä voimavaroilla sekä koulutuksella ja henkilökunnan ohjeistuksella. Ennakoiva toiminta on erittäin tärkeää. Jokainen voi kiinnittää huomiota rakennuksen, laitteiden tai muiden asennusten puutteisiin ja niiden virheelliseen käyttöön tai puutteelliseen huoltoon. (Espoon kaupunki 2015)

Rakennusten sisäilmaongelmakohteiden parissa työskentelevillä asiantuntijoilla on näkemyseroja tiivistyskorjausten onnistumisesta, korjaustavan vaikutuksesta sisäilmaan sekä korjaustavan käyttöiästä ja vaikutuksista rakennuksen elinkaarikustannuksiin. Erimielisiä ollaan myös siitä, mitä rakenteita ylipäättään on mahdollista ja järkevä korjata ja kuka lopulta päättää korjaustavan valinnasta ja millä edellytyksillä. Yhtenäisten toimintatapojen ja ohjeistuksen puutteen vuoksi syksyllä 2013 käynnistyi yhteistyössä Ympäristöministeriön Kosteus- ja Hometalkoiden sekä Vahanen Oy:n kanssa toteutettu hanke, jonka tarkoituksena oli saavuttaa työpajatoiminnan avulla yhteinen konsensus tiivistyskorjausmenetelmän käytöstä yhtenä sisäilmaongelmakohteiden korjausratkaisuna. (Laine 2014)

## **1.2 Rakenteiden ilmatiiviys**

Rakenteiden tiivistäminen on nostettu korjausratkaisuksi ensimmäisen kerran radon- kaasun pääsyn estämisessä rakennuksen sisälle. Radon on hajuton, näkymätön, haitallinen ja vaarallinen kaasu, jota ei saa tulla haitallisia määriä huonetilaan. Talon alla oleva maaperä on tärkein radonin lähde. Korjausmenetelminä radonin torjunnassa ovat esimerkiksi alapohjarakenteen sisäpinnan ilmatiivistäminen sekä alapohjan alapuolisen maaperän alipaineistaminen erilaisilla menetelmillä. Vanhimmat radonkorjaukset on tehty Suomessa 1980-luvulla ja ensimmäisen kerran radonin torjunnan suunnitteluohje rakenteita tiivistämällä on kuvattu Teknillisen korkeakoulun julkaisussa 114, Radonsuunnitteluohje normaalin radonluokan alueille vuodelta 1991. (Kettunen ym. 1991).

Tutkimuksessa 400 taloon perustuvassa aineistossa vuotoreittien tiivistämisellä saavutettiin 10...50 % radonpitoisuuden alenema. Kyselytuloksesta ei käy ilmi tiivistyskorjausmenetelmä, toteutus eivätkä työmaanaikaiset laadunvarmistusmenetelmät. (Arvela ym. 2012)

Tiivistämisessä on yleisesti noudatettava huolellisuutta, jotta tiivistämisen työvirheiden vaikutus jäisi merkityksettömäksi. Huolellisesti suunnitellulla ja toteutetulla työllä, jonka

lopputulos on varmistettu laadunvarmistusmenettelyillä asianmukaisesti, voidaan tällaisista kohteista mittaustuloksiin perustuvan kokemusten mukaan katkaista radonia sisäilmaan kuljettavat ilmavirtaukset kokonaan. Tällöin radonia voi siirtyä enää diffuusiolla rakenteiden läpi. Yleisesti tiedetään, että esimerkiksi tiivistämällä 70 % ilmavuotokohdista ei saavuteta 70 % alenemaa radonpitoisuudessa, vaan suuri osa ilmavuodoista siirtyy tiivistämättömiin kohtiin. Olennaisena vaatimuksena radonin torjunnassa rakenteita tiivistämällä on, että ilmavirtausreitit katkaistaan kokonaan, eikä vain osittain. (Kettunen ym. 1991)

RT-kortissa 81-11099, Radonin torjunta 2012, on ohjeistettu rakenteiden tiivistämiskäytäntöjä detaljitasolla.

### **1.3 Rakenteiden ilmatiiviyden kehittyminen**

”Jo 1980-luvun kirjallisuudessa (Polvinen ym. 1983) todetaan, että tutkimustietoa erilaisista ilmatiiviyden parantamisen menetelmistä ja korjausten onnistumisesta on saatavilla vähän. Tilanne ei ole tästä juuri muuttunut. Julkaistuja tutkimustuloksia on edelleen vähän. Korjausten jälkeistä korjausten onnistumisen arviointia pitkällä aikavälillä on tehty vain muutamissa kohteissa. Huolellisesti toteutetuista korjauskohteista on saatu positiivista palautetta. Rakenteiden ilmatiiviyden parantaminen sisäilmakohteissa on korjausmenetelmänä edelleen melko uusi, eikä se ole kaikkien rakennusammattilaisten tiedossa.” (Laine 2014)

Ennen vuotta 1950 rakennettujen hirsirakennusten ja purueristeisten puurunkoisten asuinrakennusten (n=5) ilmanvuotoluku  $n_{50}$  keskiarvo on tutkimusten mukaan 7,3 vaihteluvälillä 6...10,4. Useissa kerroksissa olevat pahvit ja tapetit rakenteissa parantavat, havaintojen mukaan, huomattavasti ilmatiiviyttä. Perinteisiä hirsirakennuksia on tiivistetty lämmöneristävyyden parantamiseksi ja vedon tunteen poistamiseksi. (Polvinen ym. 1983)

Vuoden 1955 jälkeen rakennettujen puurunkoisten, mineraalivillalla eristettyjen asuinrakennusten (n=31) ilmanvuotoluvun  $n_{50}$  keskiarvoksi on mitattu 8,5 vaihteluvälillä 2,9...17,8. (Polvinen ym. 1983)

Kivirakenteisten vanhojen arvorakennusten ilmatiiviyys ei myöskään ole erityisen hyvä. Näissä arvorakennuksissa (n=8) on mitattu ilmanvuotoluvuksi  $n_{50}$  [1/h] keskiarvo 6,5. (Tähtinen ym. 2013). Sairaaloissa olevien vanhojen (n=6, rakennusvuosi 1994-2005) eristystilojen

ilmanvuotoluvuksi mitattiin 3-16 l/h ja uusien eristystilojen (n=13, rakennusvuosi 2008-2010) ilmanvuotoluvuksi mitattiin 1-4 l/h . (Salmi ym. 2012)

Vuosina 1978-1981 rakennettujen puuelementtitalojen (n=44) ilmanvuotoluvun  $n_{50}$  keskiarvoksi on mitattu 6, vaihteluvälin ollessa 2,2...12,0. Vuosina 1976-1980 rakennettujen kevytbetonirakenteisten (n=5) rakennusten ilmanvuotoluvun  $n_{50}$  keskiarvoksi on mitattu 3 ja 1970-luvulla rakennettujen betonisandwich- elementtitalojen (n=5) ilmanvuotoluvun  $n_{50}$  keskiarvoksi on mitattu 3,5. (Polvinen ym. 1983)

Rakennusten ilmatiiviyteen kiinnitettiin huomiota 1970-luvulla, jolloin energian hinta kohosi voimakkaasti ja sen seurauksena pyrittiin säästämään energiaa. Markkinoille tuli erilaisia ilman- ja höyrynsulkupapereita ja muoveja. Suomessa tutkittiin rakennuksen ulkovaipan ilmapitävyttä ensimmäisen kerran 1970-luvulla. Siten rakennuskannan ilmatiiviyden on keskimääräisesti huomattavasti parantunut siirryttäessä 1980-luvulle. (Polvinen ym. 1983)

Aikaisemmin ilmapuotolukuna käytetty  $n_{50}$  ei ole suoraan verrannollinen nykyisen  $q_{50}$  ilmanvuotoluvun kanssa. Ilmanvuotoluku  $q_{50}$  ottaa huomioon ilmapuodon vaipan pinta-alaa kohden, kun taas  $n_{50}$  lasketaan kokonaistilavuuden perusteella. Voidaan todeta, että ilmanvuotoluku  $n_{50}$  suosii suuria rakennuksia, koska vaipan pinta-ala ei useinkaan kasva samassa suhteessa rakennuksen tilavuuden kanssa. Pientalojen ilmanvuotoluvut  $n_{50}$  ja  $q_{50}$  ovat samaa suuruusluokkaa. (Paloniitty 2013)

Energiatehokkuusvaatimusten vuoksi sekä asumisen käyttötottumusten muuttumisen ja yhä monimutkaisemmaksi muuttuvien rakenteiden ja rakennusten vuoksi rakenteiden sisäpinnan ilmatiiviyteen on pitänyt kiinnittää entistä suurempaa huomiota. Uudisrakennuksissa rakennusvaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  saa olla enintään 4 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>). Hyvän sisäilmaston, energiatehokkuuden ja kosteusteknisen turvallisuuden kannalta tulisi rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  olla enintään 1 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>). (RakMK D3 2012, RIL 107-2012)

Rakennusvaipan sisäpinnan ilmatiiviyden huomioidaan nykyrakentamisessa jo suunnitteluvaiheessa. Käytännössä toteutus tehdään joko höyrynsululla, joka toimii samalla myös ilmansulkuna tai massiivisella, höyry- ja ilmansulkuna toimivana rakenteella. Työmaalla ei kuitenkaan aina kiinnitetä riittävästi huomiota höyry- ja ilmansulun huolelliseen, tiiviiseen toteutukseen. Uudisrakennusten ilmatiiviydessä on kokemuksen mukaan suuria

työmaatekniikoista ja työn toteuttamisesta johtuvia eroja. Jos tekijät ymmärtävät, mitä tekevät, niin onnistumisen todennäköisyys on korkea. (Laine 2014)

#### **1.4 Tiivistyskorjauksista tehtyjä tutkimuksia**

Rakennusten ilmatiiviyyden pysyvyyttä sekä tiivistysmateriaalien toimintaa on tutkittu Suomessa siitä lähtien, kun ilmatiiviyteen alettiin 1970-luvulla kiinnittää aiempaa enemmän huomiota (Laine, 2015, s. 19).

Tiivistyskorjauksiin liittyviä tieteellisiä tutkimuksia on tehty suhteellisen vähän ja tehdyt tutkimukset ovat yleensä suppeita. Tiedetään, että rakenteiden läpi tapahtuvien ilmavirtausten mukana kulkeutuu epäpuhtauksia huoneilmaan. Näiden ilmavirtausten mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien pitoisuutta ei kuitenkaan pystytä määrittämään tarkasti. Voidaan todeta, että ilmavirtausten mukana siirtyy merkittävämpiä epäpuhtausmääriä, kuin diffuusiolla rakenteiden läpi. Epäpuhtauksien siirtyminen diffuusiolla on hitaampaa ja siirtyvät määrät ovat pienempiä kuin konvektiolla. Poikkeuksena voidaan pitää joitakin vaikeiden haitta- aineiden kyllästämiä rakenteita, kuten raskas öljyjä sisältävää maaperää ja laajalta alueelta öljyn kyllästämaa alapohjalaattaa, jolloin haihduntapinta-ala on suuri suhteessa ilmavuotoreitteihin ja silloin diffuusion merkitys on suurempi.

Laine toteaa, että eräässä kohteessa seurantatutkimuksena tehtyjen ilmatiiviysmittausten mukaan täyttökerroksellisiin välipohjarakenteisiin tehdyt tiivistyskorjaukset olivat yhtä ilmatiiviitä, kuin vuotta aikaisemmin korjausten yhteydessä tehdyissä laadunvarmistusmittauksissa. Kohteen välipohjarakenteet olivat alkuperäisiä puupalkkivälipohjia, joissa täyteenä oli sammalta, turvetta sekä muita luonnonmateriaaleja. Tiivistyskorjaukset tehtiin välipohjien ylä- ja alapintaan siten, että alkuperäiset täyttökerrokset jäivät välipohjarakenteeseen. Merkkiainetekniikalla tehdyissä tutkimuksissa, paine-erolla 10 Pa, välipohjarakenteen sisälle päästettyä merkkiainekaasua ei kulkeutunut lainkaan huonetiloihin. Kun paine-ero oli nostettu 50 Pa, havaittiin tarkastelluissa tiloissa paikallisia vuotokohtia. Vähäisistä vuodoista huolimatta rakenteiden ilmatiiviyys voitiin todeta tavanomaista täyttökerroksellista välipohjarakennetta huomattavasti paremmaksi, minkä ansiosta epäpuhtauksien kulkeutuminen rakenteista sisäilmaan on vähäisempää (Lahtinen ym. 2008).



Laine kertoo, että Arvorakennusten käytettävyys ja hyvä korjauskäytännöt -julkaisussa arvioitiin kahdeksassa arvorakennuksessa korjausratkaisujen merkitystä sisäilman laatuun arviokäyntien ja mittausten avulla. Kohteissa oli tehty tiivistyskorjauksia ja kapselointikorjauksia. Mittauksissa oli havaittu, että vaikka yksittäiset rakenteet ja huonetilat oli korjauksilla saatu tiiviiksi, ne eivät parantaneet oleellisesti koko rakennuksen tiiviyttä, koska muita ympäröiviä rakenteita ei ollut huomioitu tiivistyskorjauksessa. Korjausten jälkeen tehdyissä seurantamittauksissa tarkastelluissa tiloissa ei havaittu tavanomaisesta poikkeavia pitoisuuksia (mm. hiukkasten määrä ilmassa). Hankkeen yhteenvetona todetaankin, että vanhojen rakennusten korjauksissa tiiviyden kannalta on erityisen tärkeää, että huomioidaan koko rakennuksen ominaisuudet ja toiminta ennen ja jälkeen korjausten. Yksittäisten rakenneosien tai kohtien tiiviyskorjausten tekeminen ei paranna koko tilan tiiviyttä merkittävästi, jolloin muiden rakenteiden ja tilojen ominaisuuksien tarkastelu tulee tehdä huolella ja arvioida millaisia hyötyjä ja / tai haittoja yksittäisen rakenneosan tai tilan tiivistäminen muodostaa koko rakennuksen ominaisuuksia ajatellen. Jatkotutkimustarpeena esitettiin riskirakenteiden tiiviyden merkityksen selvittämistä arvorakennuksissa koettuun ja mitattuun sisäilman laatuun riittävän suuren otannan avulla. Mikrobiperäisten epäpuhtauksien kulkeutumisesta rakenteiden läpi huoneilmaan on jonkin verran tutkittua tietoa. Ulkoilmassa ja maaperässä on luonnollisesti mikrobeja. Siksi maaperään ja ulkoilmaan kosketuksissa olevissa vaipparakenteissa (ulkoseinät, alapohja ja yläpohja) on lähes aina ulkoilmasta sekä maaperästä kulkeutuneita mikrobeja. Epäpuhtauksien sijainti, määrä ja ominaisuudet vaikuttavat siihen, tulkitaanko epäpuhtaudet vaurioksi ja onko niillä sisäilman laatua huonontavia vaikutuksia. Epäpuhtaudet heikentävät sisäilman laatua päästessään huonetilaan liian suurina pitoisuuksina. Maaperän ja ulkoilman mikrobit ovat luonnollinen olosuhde ja suunnittelussa huomioitava reunaehto. Esimerkiksi rakennuksen alla maaperässä on tyypillisesti mikrobikasvulle suotuisat lämpö- ja kosteusolosuhteet. Maan huokosilman suhteellinen kosteuspitoisuus on lähellä 100 %RH. Maapohjan lämpötila rakennuksen alla on normaaleissa käyttöolosuhteissa noin +15...+16 °C. Mitä voimakkaampi epäpuhtauslähde on ja mitä lähempänä huoneilmaa se sijaitsee, sen todennäköisempiä haitalliset vaikutukset ovat. (RIL 250-2011, Leivo ym. 2002, Leivo 2007, Kurnitski ym. 1999)

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeiden mukaan mitattaessa asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisiä olosuhteita kuvaavia tekijöitä, mittaukset on tehtävä ensisijaisesti asunnon tai muun oleskelutilan tavanomaista käyttöä vastaavissa olosuhteissa. Tällöin esimerkiksi kemiallisten tekijöiden mittaukset tehdään pääsääntöisesti ilmanvaihdon ollessa päällä osateholla ja ikkunat kiinni. Tällöin näyte edustaa sitä olosuhdetta, jolle asukkaat yleensä

altistuvat. Vastaavasti, jos ilmanvaihtoa koskeva valitus koskee ilmanvaihdon toimintaa sen ollessa täysteholla, tehdään mittaukset näissä olosuhteissa, joka on kuitenkin myös ilmanvaihdon normaali käytötapa. Jos esimerkiksi asunnossa epäillään olevan korkea kemiallisen tekijän pitoisuus, mutta tarkastuksen yhteydessä todetaan, että ilmanvaihtoa ei käytetä oikein, on tarkoituksenmukaista ohjeistaa tai velvoittaa ilmanvaihdon oikeasta käytöstä ja vasta tämän jälkeen arvioida kemiallisen tekijän mittauksen tarve. Kokoontumistiloissa mittaukset tulee tehdä ensisijaisesti käytön aikana tai ilmanvaihdon ollessa päällä vastaavasti kuin käytön aikana. Tilanteissa, joissa mittaustarve koskee tyhjillään olevaa tilaa, voidaan mittaus tehdä ennen kuin tila otetaan käyttöön, mutta tällöinkin tulisi olosuhteet pyrkiä saamaan mm. ilmanvaihdon osalta mahdollisimman lähelle tilan tavanomaista käyttöä. Tällainen tilanne voi syntyä esimerkiksi silloin, kun arvioidaan käyttökieltoon määrätyn tilan olosuhteita ennen käyttökiellon purkamispäätöstä. (Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 8/2016, Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto)

Terveyshaittaa kuvaavien suureiden mittauksessa ja mittaustulosten tulkinnassa on, Valviran antaman asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaan, käytettävä standardoituja menetelmiä tai vastaavia muita luotettavia menetelmiä. Näin varmistetaan, että terveyshaittaa kuvaavien suureiden mittaamisessa käytetään menetelmiä, joilla saatuja tuloksia voidaan luotettavasti toistaa ja joiden luotettavuudesta terveyshaitan arvioimiseksi voidaan varmistua. Mittauslaitteiden on oltava kalibroituja siten kuin mittauslaitteen valmistaja on tarkoittanut. (Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 8/2016, Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto)

Mittaukselle, näytteenotolle ja jatkoanalyysille, jota käytetään terveyshaitan arviointiin, on toimenpiderajan ylittymistä arvioitaessa tehtävä mittaus- tai näytteenottotapahtumaa ja jatkoanalyysiä koskeva epävarmuustarkastelu. Tämä tarkoittaa sitä, että näytteenotosta tai mittauksesta arvioidaan mittaus- tai näytteenottoaikan ja olosuhteen merkitystä mittaus- tai analyysitulokseen ja siihen, kuinka edustavana kyseistä näytettä tai mittauksia voidaan pitää terveyshaitan kokonaisarvion näkökulmasta. Vastaavasti laboratorio on esitettävä selvitys analyysiin liittyvästä epävarmuudesta. Toimenpideraja ylittyy tai alittuu, jos tässä asetuksessa tarkoitettujen altisteiden numeeriset arvot ylittävät tai alittuvat mittausepävarmuus huomioon ottaen. Mittausepävarmuus tulee antaa numeerisena silloin, kuin se on mahdollista ja sanallisena selvityksenä silloin, kun numeerisen epävarmuuden määrittäminen ei ole mahdollista.

(Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 8/2016, Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto)

Laine kertoo, että Pessi ym. tekemässä tutkimuksessa (1999) havaittiin mikrobi-itiöiden kulkeutuvan betonisen julkisivuelementin epätiiviyiskohtien kautta 50 Pascalin alipaineessa sisäilmaan. Tutkimus tehtiin kerrostaloasunnossa, jossa mitattiin mikrobipitoisuuksia sisäilmasta ja ulkoseinärakenteen sisältä otetuista materiaalinäytteistä. Tulosten perusteella eristeessä kasvavilla sädesienillä ja sieni- itiöllä havaittiin olevan yhteys sisäilman pitoisuuksien välillä. Epätiiviyiskohtien tiivistämisen jälkeen mikrobipitoisuudet vähenivät. Tutkimuksessa havaittiin, että betonisandwich-elementtijulkisivu on niin tiivis, että ainoastaan erittäin suuri paikallinen sädesienipitoisuus ( $> 10\ 000$  cfu/g) eristetilassa vaikutti sisäilmaan kohottaen ilman sädesienipitoisuutta ( $> 10$  cfu/m<sup>3</sup>) silloin, kun rakenteiden liitoskohtien kautta tapahtui ilmavuotoa sisätiloihin. (Laine 2014)

Mikrobien kulkeutumista ryömintätilasta sisäilmaan paine-erojen vaikutuksesta on selvitetty myös suppeassa tutkimuksessa, jossa otettiin sisäilman mikrobinäytteitä huonetilan eri alipaineistuksissa (5...6,8 Pa, 10 Pa ja 20 Pa). Tutkimuksessa mikrobien sisäilmapitoisuus ei muuttunut merkittävästi, mutta alipaineistetussa tilanteessa havaittiin normaalitilannetta enemmän kosteusvaurioon viittaavia lajeja, joita oli havaittu myös ryömintätilassa otetuissa näytteissä. Alipaine siis imee todistettusti mikrobeja sisäilmaan, mikäli ilmavuotoa tapahtuu mikrobeja sisältävästä rakenneosasta. (Päkkilä 2012)

Laboratoriossa suoritetun kokeen perusteella mikrobit eivät kuitenkaan kulkeudu ehjän betonirakenteen läpi. Kokeessa erilaisia betonirakenteita ja alapohjalämmöneristeitä asetettiin kahden kammion väliin, joista toisessa oli mikrobeille suotuisat olosuhteet, +20...24 °C ja 80...95 %RH, sekä ravinneliuoksessa *Aspergillus versicolor* -lajin kasvustoa. Kasvatus- ja keräyskammioiden välinen paine-ero oli 1...20 Pa. Kuukauden kuluttua otettiin ilmanäytteet sekä kasvatus- että keräyskammioista. Tulosten perusteella sekä ehjien betonilaattojen että ehjien polyuretaani- ja polystyreenieristeiden läpi ei kulkeutunut itiöitä. Ainoastaan valusaumalla varustetun betonilaatan lävitse kulkeutui sieni-itiöitä. Alustavien tulosten perusteella rakenteet myös estivät MVOC- yhdisteiden kulkeutumisen kammioista toiseen. (Leivo, ym. 2006)

Weckströmin (2003) tutkimuksen mukaan kaasumaiset MVOC- yhdisteet kulkeutuvat diffuusiolla ehjän höyrynsulkumuovikalvon lävitse. Laboratoriossa tehdyn koesarjan perusteella

määritettiin diffuusiokertoimet eräille MVOC- yhdisteille. Diffuusiokertoimilla suoritettujen yksinkertaistettujen laskelmien osoittavat, että MVOC- yhdisteet voivat kulkeutua merkittävinä pitoisuuksina höyrinsulkukalvon lävitse diffuusiolla. Ei ole tiedossa, onko asiaa tutkittu kenttäolosuhteissa. MVOC- mittauksia ei suositella käytettäväksi mikrobiongelman todentamiseen.

Keinänen (2009) tutki polyamidipohjaisen höyrinsulkukalvon soveltuvuutta haitta- aineiden ja mikrobiperäisten epäpuhtauksien torjuntaan laboratorio- ja kenttäkokeilla. Laboratoriokoe osoitti materiaalin soveltuvan kapselointiin kuivissa olosuhteissa, sillä sen diffuusiokerroin oli tutkituille PAH- ja MVOC- yhdisteille pieni. Polyamidikalvon molekyylihuokosten koko muuttuu ympäristön kosteusolosuhteiden mukaan. Siten haitta-aineiden läpäisevyys kasvaa suhteellisen kosteuspitoisuuden kasvaessa. Kenttätutkimukset osoittivat materiaalin soveltuvan hyvin välipohjien kapselointiin kun saavutettiin hyvä ilmatiiviyys. Kenttätutkimuksissa tutkittiin myös M1- luokitellun polyuretaanipohjaisen pinnoitteen toimivuutta kapselointimateriaalina. Pinnoite soveltui kapselointimateriaaliksi, mutta siitä vapautuvat VOC-yhdisteet heikensivät jonkin aikaa sisäilman laatua.

Leif Wirtasen väitöskirjassa (2005) tutkittiin alustan ja kosteuspitoisuuden vaikutusta pintamateriaalien emissioihin. Laboratoriossa asennettiin erilaisia pinnoitteita ja pinnoiteyhdistelmiä alustoille (lasi, kipsilevy ja kalsiumsilikaattilevy), joita säilytettiin kosteuspitoisuuksissa 20 %RH, 50 %RH ja 80 %RH. Materiaaliyhdistelmistä haihtuvat VOC-emissio- pitoisuudet mitattiin 1 vrk, 7 vrk ja 14 vrk kuluttua. Yksittäisten materiaalien emissio mitattiin myös 28 vrk kuluttua. Tutkimuksissa havaittiin, että materiaaliyhdistelmien emissiot ovat suuremmat kuin yksittäisillä materiaaleilla. Kahden matalaemissioiseksi luokitellun materiaalin yhdistelmän emissiot olivat suuremmat kuin erikseen mitatuista materiaaleista. Emissioiden suuruuteen vaikuttavat materiaalien lisäksi aika, kosteus, lämpötila ja alusta. Ilman kosteuspitoisuus vaikuttaa emissioiden määrään ja materiaalin kuivumisnopeuden asennusvaiheessa. Emissiot vähenevät ajan funktiona. Tulosten mukaan on mahdollista saavuttaa alhainen, alle 30 µg/m<sup>2</sup>h, emissiotaso kahden viikon kuluessa. Tämä edellyttää oikeita materiaalivalintoja sekä rakenteiden kuivumiselle otollisten olosuhteiden varmistamista.

## 1.5 Lainsäädäntö ja rakentamismääräykset

### 1.5.1 Rakennusta ja rakenteita koskeva lainsäädäntö ja rakentamismääräykset

Maankäyttö- ja rakennuslain 117 §:n mukaan edellytetään, että:

*”Rakennuksen tulee sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla täyttää rakenteiden lujuuden ja vakauden, paloturvallisuuden, hygienian, terveyden ja ympäristön, käyttöturvallisuuden, meluntorjunnan sekä energiatalouden ja lämmöneristyksen perusvaatimukset (olennaiset tekniset vaatimukset).”*

*”Korjaus- ja muutostyössä tulee ottaa huomioon rakennuksen ominaisuudet ja erityispiirteet sekä rakennuksen soveltuvuus aiottuun käyttöön. Muutosten johdosta rakennuksen käyttäjien turvallisuus ei saa vaarantua eivätkä heidän terveydelliset olonsa heikentyä.”*

Miettinen toteaaakin maankäyttö- ja rakennuslain luovan lähtökohdat hyvälle ja terveelliselle sisäilmastolle, jota muuta asetukset, määräykset ja ohjeet täydentävät. (Miettinen 2010)

Yläpohjarakenteen riittävän vesihöyrytiiveyden varmistaminen mainitaan ensimmäisen kerran Suomen rakentamismääräyksissä vuonna 1975. 1.1.1999 voimaan astuneet, aiemmat määräykset korvanneet C2 määräykset ja ohjeet 1998, koskevat kosteudesta johtuvien vaurioiden ja haittojen välttämistä rakentamisessa. Olennaisena vaatimuksena määräyksissä on, että rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei siitä aiheudu sen käyttäjille tai naapureille hygienia- tai terveystarve riskiä kosteuden kertymisestä rakennuksen osiin tai sisäpinnoille. Rakennuksen näiden ominaisuuksien tulee normaalilla kunnossapidolla säilyä koko taloudellisesti kohtuullisen käyttöajan ajan.

Sisäilmastoa koskevia teknisiä vaatimuksia maankäyttö- ja rakennusasetuksessa on käsitelty §50 kohdassa 3:

*”Hygienia, terveys ja ympäristö. Rakennuksesta ei saa aiheutua hygienian tai terveyden vaarantumista syistä, jotka liittyvät erityisesti myrkyllisiä kaasuja sisältäviin päästöihin, ilmassa oleviin vaarallisiin hiukkasiin tai kaasuihin, vaaralliseen säteilyyn, veden tai maapohjan*

*saastumiseen tai myrkyttymiseen, jäteveden, savun taikka kiinteän tai nestemäisen jätteen puutteelliseen käsittelyyn taikka rakennuksen osien tai sisäpintojen kosteuteen.”*

Tällä hetkellä voimassa oleva Suomen Rakentamismääräyskokoelman osa C2, Kosteus, Määräykset ja ohjeet 1998 määrittelee, mitä tiiviin sisäpinnan toteutus edellyttää. Määräystekstissä todetaan, että ilmansulun ja ilmansulkuna toimivan höyrynsulun saumat, reunat ja läpivientikohdat on tiivistettävä huolellisesti. Selostuksessa tarkennetaan, että ilmansulun ja myös tuulensuojan tulee olla tiiviit ikkunoiden ja ovien karmien kohdalla sekä seinän ja ala-, väli- ja yläpohjien liittymissä. Ilmansulun lävistyksiset tuuletusaukkojen, sähkörasioiden, putkien jne. kohdalla tiivistetään huolellisesti. Määräykset ja ohjeet koskevat kosteudesta johtuvien vaurioiden ja haittojen välttämistä rakentamisessa ja siten määräyksiä voidaan soveltaa myös korjausrakentamisessa.

Rakentamismääräyskokoelman osassa D2, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2012, on määrätty, että rakennuksen painesuhteet ja rakenteiden tiiviys suunnitellaan ja toteutetaan siten, että ne osaltaan vähentävät radonin ja muiden epäpuhtauksien siirtymistä rakennuksessa.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 velvoittaa rakennuksen tekijää seuraavasti:

*”Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että sisäilmassa ei esiinny terveydelle haitallisessa määrin kaasuja, hiukkasia tai mikrobeja eikä viihtyisyyttä alentavia hajuja.”*

Rakennusmääräyskokoelman osassa E1, Rakennusten paloturvallisuus, esitetään vaatimus, jonka mukaan palon ja savun kehittymisen ja leviämisen rakennuksessa tulee olla rajoitettua. Siten esimerkiksi välipohjien läpivientien tulee olla tiiviitä myös palo-osastointivaatimusten takia. Palokatko on sähköjohtojen, -putkien tai muiden teknisten järjestelmien palotekninen tiivistys läpäistävän rakenteen palo-osastointia vastaavaksi. Tiivis palokatko hidastaa tulipalon syttyessä liekkien, kuumuuden ja savukaasujen leviämisen läpivientien kautta. Palokatkot ja -saumat tulee tehdä siten, etteivät tulipalo ja savu pääse leviämään palo-osastosta toiseen avointen aukkojen kautta (Suomen Palokatko yhdistys ry 2013).

Yhteenvedon voidaan todeta, että voimassa olevat rakentamismääräykset suosittavat rakentamaan uudisrakennusten sisäpinnat ilmanpitäväksi.

## 1.5.2 Työskentelyolosuhteita koskeva lainsäädäntö

Työpaikoilla sisäilmastoa ja olosuhteita arvioidaan lainsäädännöllisesti eri pohjalta kuin asuntoja ja muita oleskelutiloja. Vaatimukset työpaikan sisäilmaston laatuun ja työskentelyolosuhteisiin tulevat Työturvallisuuslaista (238/2002), Työterveyshuoltolaista (1383/2001), Valtioneuvoston asetuksesta työpaikkojen turvallisuudesta ja terveysvaatimuksista (577/2003) ja laista liikehuoneiston vuokrauksesta (482/1995).

Asumisterveysasetusta sovelletaan asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisten olosuhteiden valvontaan, ei työpaikkaan.

Työturvallisuuslain 8§:ssä on työnantajan yleinen huolehtimisvelvoite työntekijöiden turvallisuudesta ja terveydestä työssä. Pykälässä säädetään, että ”...työnantajan on otettava huomioon työhön, työolosuhteisiin ja muuhun työympäristöön samoin kuin työntekijän henkilökohtaisiin edellytyksiin liittyvät seikat.” sekä ”Työnantajan on jatkuvasti tarkkailtava työympäristöä, työyhteisön tilaa ja työtapojen turvallisuutta. Työnantajan on myös tarkkailtava toteutettujen toimenpiteiden vaikutusta työn turvallisuuteen ja terveellisyyteen.”

Työturvallisuuslaki 33§ ottaa kantaa työpaikan ilmanvaihtoon ja huoneen tilavuuteen mm seuraavasti:

*”Työpaikalla tulee olla riittävästi kelpollista hengitysilmaa. Työpaikan ilmanvaihdon tulee olla riittävän tehokas ja tarkoituksenmukainen.”*

*”Työhuoneen tilavuuden ja pinta-alan tulee olla riittävä. Siellä tulee olla myös riittävästi tilaa työn tekemistä ja työn vaatimaa liikkumista varten.”*

Työterveyslaki 40§ Biologiset tekijät:

*”Työntekijän altistuminen turvallisuudelle tai terveydelle haittaa tai vaaraa aiheuttaville biologisille tekijöille on rajoitettava niin vähäiseksi, ettei näistä tekijöistä aiheudu haittaa tai vaaraa työntekijän turvallisuudelle tai terveydelle taikka lisääntymisterveydelle.”*

*”Valtioneuvoston asetuksella voidaan antaa tarkempia säännöksiä biologisista tekijöistä ja niiden tunnistamisesta, altistuksen luonteesta sekä sen kestosta ja arvioinnista, raja-arvoista ja torjuntatoimenpiteistä.”*

*”Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksella voidaan antaa tarkempia säännöksiä biologisten altisteiden haitalliseksi tunnetuista ominaisuuksista sekä altisteilta suojautumisen yksityiskohdista ja menettelytavoista.”*

Työpaikan ilmanvaihdosta säädetään Valtioneuvoston asetuksesta työpaikkojen turvallisuudesta ja terveysvaatimuksista (577/2003) seuraavasti:

*”Työhuoneen ilmatilan tulee olla vähintään kymmenen kuutiometriä kutakin työntekijää kohden. Tätä laskettaessa otetaan työhuoneen korkeudesta huomioon enintään kolme ja puoli metriä.”*

*”Jos työpaikalla käytetään koneellista ilmanvaihtoa, se on pidettävä toimintakunnossa. Laitteistossa oleva työntekijälle välitöntä terveyshaittaa aiheuttava lika ja muut epäpuhtaudet on puhdistettava. Laitteiston on toimittava niin, että työntekijöiden terveydelle ei aiheudu haittaa tai vaaraa.”*

*”Jos se on työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden kannalta tarpeellista, ilmanvaihtolaitteisto on varustettava valvontajärjestelmällä, joka ilmoittaa toimintahäiriöistä.”*

Laki liikehuoneiston vuokrauksesta (482/1995) antaa vuokralaiselle oikeuden purkaa vuokrasopimus jos vuokralaisen tai vuokralaisen palveluksessa olevan terveydelle aiheutuu ilmeistä vaaraa huoneiston käyttämisestä sopimuksessa edellytettyyn tarkoitukseen.

### **1.5.3 Sisäilmaston oikeudellinen merkitys**

Rakennuksen omistaja on vastuussa sisäilman terveellisyydestä. Kun teetetään tarvittavia rakennuksen kunnan ja sisäilman laadun selvityksiä ja tutkimuksia, tulee käyttää päteviä asiantuntijoita (esimerkiksi rakennusterveysasiantuntija, STM:n asetus 545/2015). (Käypä hoitosuositus, julkaistu 10.10.2016)



Terveystarkastajalta ja kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta saa ohjeita asianmukaisten selvitysten ja tutkimusten teettämisestä ja tiedot pätevistä rakennuksen kuntoa ja sisäilman laatua koskevien selvitysten tekijöistä. (Käypä hoito-suositus, julkaistu 10.10.2016)

Työturvallisuuslain piiriin kuuluvissa työpaikkarakennuksissa ilmenneen, mahdollisesti sisäilmaan liittyvän oireilun syyn selvittely käynnistyy yhteydenotolla esimieheen. Selvittelyissä on keskeisesti mukana työterveyshuolto, usein myös työpaikan työsuojelu. (Käypä hoito-suositus, julkaistu 10.10.2016)

Tietyissä julkisissa rakennuksissa (koulut, päiväkodit, sairaalat ja hoitolaitokset) noudatetaan sekä terveydensuojelu- että työturvallisuuslakien määräyksiä, koska tiloja käyttävät sekä asiakkaat että työntekijät. Tällöin sisäilmaongelmia selvittävät sekä työ- että ympäristöterveydenhuollon edustajat. Ainakin suurimpiin kuntiin on perustettu moniammatillisia sisäilmatyöryhmiä, joissa on edustettuna keskeisten osallisten (työntekijöiden edustus, terveydenhuolto, vanhemmat ym.) lisäksi yleensä aina kunnan tekninen toimi, joka edustaa vastuullista tilojen omistajaa, joka vastaa tilojen kunnosta ja terveellisyydestä. Niissäkin kunnissa, joissa ei ole sisäilmatyöryhmää, on yleensä toimintaohjeet siitä, mihin ja miten ilmoitetaan kunnan hallitsemisissa tiloissa ilmenneistä ongelmista. (Käypä hoito-suositus, julkaistu 10.10.2016)

Työnantaja voi joutua korvaamaan työntekijälle, mikäli työolosuhteista aiheutuu ammattitauti. Korkein oikeus on ratkaissut (<https://www.finlex.fi/fi/oikeus/kko/1998/19980022>) pitkäaikaisesti ja voimakkaasti korkeissa homesieni-itiöpitoisuuksissa työskennelleen opettajan sairastumisen korvattavaksi ammattitautina. Opettaja oli sairastunut allergiseen nuhaan ja sidekalvontulehdukseen vuosina 1980-1993 työskennellessään koululla, jossa oli todettu homekasvustoa ja korkeita sieni-itiöpitoisuuksia. (Työsuojelu.fi, [www.tyosuojelu.fi/tyoolot/tyoymparisto/sisailma](http://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/tyoymparisto/sisailma))

## **1.6 Rakenteiden ilmatiivyyttä käsittelevät julkaisut ja artikkelit**

Rakennuksen painesuhteiden hallinnasta ja epäpuhtauksien huoneilmaan kulkeutumisen estämisestä on kerrottu Asumisterveysohjeessa (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003) jonka 15.5.2015 voimaan tullut Asumisterveysasetus on korvannut.

Rakenteiden ilmatiivyydestä, toteutuksesta ja tiivistämisessä käytettävistä materiaaleista on ohjeistettu Rakennusinsinööriliiton julkaisuissa RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet vuodelta 2012 sekä vanhemmassa julkaisussa vuodelta 2000 sekä RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen.

Ympäristöministeriön julkaisussa Ympäristöopas 28, Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus vuodelta 1997 todetaan, että epäpuhtauksien kulkeutuminen huoneilmaan voidaan yleensä katkaista seinän ja lattian välisen raon huolellisella tiivistämisellä. RT 14-11197 johdannossa todetaan, että rakenteista sisäilmaan tapahtuvilla ilmavuodoilla on merkittävä vaikutus rakennuksen sisäilman laadulle. Erityisesti tämä korostuu silloin, jos rakennuksessa tai rakenteissa on ongelmia mikrobiperäisten epäpuhtauksien, VOC-yhdisteiden, PAH-yhdisteiden, kuitujen, kuitumaisten haitta-aineiden tai hajujen kanssa. Hallitsemattomat ilmavirtaukset rakenteissa tai niiden kautta voivat kuljettaa näitä epäpuhtauksia sisäilmaan, jossa ne voivat aiheuttaa haittaa rakennuksen käyttäjille. Rakenteiden sisällä olevia epäpuhtauksia ei ole aina mahdollista poistaa, jolloin niiden haittoja voidaan vähentää estämällä kulkeutuminen sisäilmaan ilmavuotojen mukana. Korjausratkaisut epäpuhtauksien kulkeutumisen estämiseksi tulee aina suunnitella kohdekohtaisesti. (RT 14-11197)

Homehaitan poistamiseen rakenteita tiivistämällä tulee kuitenkin olla vankat perusteet. Rakenteiden ilmatiivyyden parantamiseen liittyy myös oleellisesti ilmanvaihtojärjestelmän toiminta. Ympäristöoppaan päivitetty versio Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus julkaistiin 28.9.2016. Opas on saatavissa Valtioneuvoston julkaisuarkisto Valtosta. (<http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/75490>) Uusittu opas antaa käytännön ohjeita rakennusalan ammattilaisille kosteus- ja homevaurioituneiden tai muuten sisäilmaongelmaisten rakennusten kuntotutkimusten suunnittelusta, tekemisestä ja tutkimustulosten analysoinnista ja raportoinnista. Uudessa oppaassa keskitytään kosteus- ja mikrobivaurioiden tutkimiseen ja tunnistamiseen. Asiaan liittyvää rakennusfysiikkaa ja -tekniikkaa käydään myös läpi. Oppaassa käsitellään lisäksi muita yleisimpiä sisäilmanlaatua heikentäviä tekijöitä sekä ilmanvaihdon vaikutusta sisäilmanlaatuun, ja näiden tutkimusmenetelmiä. (Uutinen 23.1.2015, Lausuntopyyntö luonnoksesta rakennusten kuntotutkimusoppaaksi, Ympäristöministeriö)

Oppaassa todetaan, että rakennusvaipan ilmanpitävyyttä voidaan arvioida erilaisten mittausten avulla. Energiatodistuksen laadintaa varten määritetään ilmanvuotoluku eli  $q_{50}$ -luku. Mittaus

tehdään 50 pascalin paine-erolla standardin STS-EN 13829 (Suomen Standardisoimis liitto SFS ry 2000), mukaan. Ilmanvuotoluku määritetään yleensä rakennuksen energiatodistuksen laadintaa varten. Tiiveysmittauksen yhteydessä voidaan tehdä lämpökuvaus ilmapuotokohtien paikantamiseksi. Rakennusvaipan ilmatiiveydestä ei voida tehdä suoria johtopäätöksiä sisäilman laadusta tai rakennuksen terveydellisistä oloista.

Rakenteiden ilmatiiviiden tarkasteluun merkkiainekokein, RT 14-11197 ohjeistaa tavoitetasomääritelmässä, että tiivydelle asetetaan tapauskohtaisesti tavoitetaso. Tavoitetasoon vaikuttaa merkittävästi se, mitä tiiviiden parantamisella tavoitellaan. Jos korjauksella halutaan estää esimerkiksi rakenteessa todennettujen mikrobien tai haitta-aineiden pääsyä sisäilmaan, tavoitetaso on merkittävästi tiukempi. Jos kyseessä on esimerkiksi pelkkä energiatalouden parantaminen tiivistämällä, tavoitetaso voi olla merkittävästi väljempi. Ohjekortissa RT 14-11197 s.2 esitetään, että tavoitetasoina voidaan käyttää seuraavia tasomääritelmiä:

1. Täysin tiivis, vuotoja ei sallita
2. Merkittävä tiiveyden parantaminen: Sallitaan vähäisiä vuotoja alipaineistettuna, -10 Pa.
3. Tiiveyden parantaminen: ei saa olla merkittäviä vuotoja alipaineistettuna, -10 Pa ja enintään vähäisiä vuotoja käyttötilanteessa, ilmanvaihto tasapainotettuna alle -5 Pa.

Kosteuskonvektion estämiseksi rakennukset suunnitellaan hieman alipaineisiksi. Konvektiossa lämmin ja kostea sisäilma virtaa ulkoseinän sisäverhouksen ja höyrinsulkukerroksen epätiivien saumojen kautta ulospäin lämmöneristeeseen, tuulensuojakerrokseen ja tuuletusväliin. Mikrobivaurioitumisriski on rakenteen kylmissä osissa, joissa lämpötilan lasku aiheuttaa ilman suhteellisen kosteuden nousun ja voi aiheuttaa jopa kosteuden tiivistymistä. Riskialueen sijainti riippuu rakenteen lämpötilajakaumasta. Rakenteen vesihöyrynläpäisevyydestä, ilmanläpäisevyydestä ja rakenteen eheydestä riippuu kumpi siirtymismuoto, diffuusio vai kosteuskonvektio, on hallitseva kosteudensiirtymismuoto. Vesihöyryn diffuusio tarkoittaa kaasuseoksessa (esim. ilma) vakio kokonaispaineessa tapahtuvaa vesihöyrymolekyylien liikettä, joka pyrkii tasoittamaan kaasuseoksen höyrypitoisuus- tai höyryn osapaine-eroja. Rakenne on pyrittävä tekemään sisäpinnasta riittävän ilmatiiviiksi haitallisten ilmapuotojen estämiseksi. Lisäksi rakennuksen ulkovaipan yli vallitsevien painesuhteiden on oltava sellaiset, että lämmintä ilmaa ei virtaa kylmiin rakenteisiin tai rakennusosiin. Painesuhteita hallitaan ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmamäärien säädöillä. Käytännössä rakennuksen vaipan ilmanpitävyydessä esiintyy usein puutteita. Vaurioriski on aina

olemassa, kun rakenteen lämpimällä puolella ylipaine on vallitseva. Rakenteiden sisältä tehtävissä seurantamittauksissa havaittavat nopeat paine-eron muutoksia seuraavat kosteuspitoisuuden muutokset rakenteessa ovat tyypillisiä kosteuskonvektiolle. (Ympäristöopas 2016, s. 166)

Rakennuksen ilmatiiviuden varmistamista on käsitelty myös Opetushallituksen julkaisussa ”Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen”, Asikainen ym., 2008. Julkaisussa on esitetty detaljeja ja kerrottu muun muassa tiivistyön suunnittelussa, toteutuksesta työmaalla ja laadunvarmistuksessa huomioitavista asioista. Julkaisussa on käsitelty myös tiivistyskorjausmenetelmien soveltuvuutta eri rakennusosille.

Tampereen teknillinen yliopisto on tuonut esille rakennuksen vaipparakenteiden ilmatiiviuden useissa eri tutkimusraporteissa ja julkaisuissa. Rakennuspohjan mikrobien tuottamien epäpuhtauksien sekä radonin torjumiseksi alapohjarakenteen ja erityisesti sen liitosten muihin rakenneosiin tulee olla ilmanpitäviä. (Leivo ym. 2007)

Ohjeita ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteuttamiselle uudisrakentamisessa rakennetyypeittäin on esitetty tutkimusraportissa 141, ”Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksessa”. (Aho ym. 2009) Julkaisussa on pyritty esittämään ilmanpitävyydeltään hyviä ja toteutettavissa olevia esimerkkiratkaisuja. Ratkaisut perustuvat mm. Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitoksen ja Teknillisen korkeakoulun LVI-tekniikan laboratorion tutkimushankkeiden tuloksiin, joissa selvitettiin uudehkojen pien- ja kerrostalojen ulkovaipan ilmanpitävyyttä. Olemassa olevaan rakennuskantaan tehdyissä tutkimuksissa on todettu, että kaikilla tavanomaisilla rakenneratkaisuilla on mahdollista päästä hyvään ilmatiiviyteen. Joillakin rakenneratkaisuilla se on kuitenkin helpompaa. Esimerkiksi betonirakenteiden sisäpintojen ilmatiiviyys on helpompi toteuttaa kuin kevyen puurakenteen sisäpintojen ilmatiiviyys. (Vinha 2009, 2012)

Rakennustietosäätiön julkaisemassa RT-kortissa RT 81-11099 vuodelta 2012 ohjeistetaan rakenteiden tiivistämistä radonin torjumiseksi. Ohjeessa todetaan, että radonturvallisilla ratkaisulla estetään muidenkin maaperästä ja alapohjarakenteiden alta ilmavirtausten mukana tulevien epäpuhtauksien pääsy huonetilaan. Samoin betonirakenteista todetaan, että ne ovat yleensä riittävän tiiviitä estämään radonin kulkeutumisen sisätiloihin, mutta niissä tulee kuitenkin huolehtia kaikkien saumojen ja liittymien tiivistämisestä. Paikalla valetuissa

rakenteissa tavoitteena on mahdollisimman halkeilematon betonirakenne, sillä jo pienetkin hiushalkeamat voivat mahdollistaa radonin, kuten muidenkin epäpuhtauksien, kulkeutumisen huonetiloihin.

Rakenteissa olevien epäpuhtauksien hallinnasta tiivistyskorjauksilla ja kapseloinnilla on kerrottu muutamissa julkaisuissa, joissa kerrotaan käytännön kokemuksista (Ahonen 2007, Grönholm 2008, Laine 2013). Rakenteiden tiivistyskorjauksista sisäilmaongelmien torjumiseksi on tehty Rakennusterveysasiantuntijakoulutuksen opinnäytetyö (Grönholm 2008), jossa kuvataan mm. rakennetyypeittäin käytettäviä tiivistyskorjausratkaisuja. Sisäilmastonselvityksissä käytettävistä vuotoilmakohtien mittausmenetelmistä on tehty eri merkkiainelaitteistojen toimintaa vertaileva tutkimus (Hintikka 2013).

## **1.7 Viranomaisvalvonta**

Yleisellä tasolla rakennusvalvonnan tehtävänä on valvoa ja opastaa sekä edistää laadukkaan ja viihtyisän rakennuskannan toteutumista. Maankäyttö- ja rakennuslain 125§:n mukaan rakennuksen käyttäjien terveyteen ja turvallisuuteen vaikuttavat korjaukset edellyttävät rakennuslupan hakemista korjauksille. Näihin kohdistuvat toimenpiteet laukaisevat lähes poikkeuksetta rakennuslupatarpeen. Maankäyttö- ja rakennuslakia voidaan tulkita tiukasti siten, että kaikille sisäilmaongelmakohteiden korjauksille olisi haettava rakennuslupa. Käytännössä sisäilmaongelmakohteiden korjauksille haetaan rakennuslupa melko harvoin, ellei korjaukseen sisälly muita rakennuslupaa vaativia toimenpiteitä. Rakennuslupamenettelyn kannalta pelkät yksittäiset, vain osaan rakennusta tehtävät tiivistyskorjaukset ovat erittäin hankalia hyväksyttäviä rakennuslupapäätöksiä, sillä osittaisia tai kokeilukorjauksia MRL ei salli, koska niissä kokonaisuus ei ole helposti hallittavissa. Maankäyttö- ja rakennuslain tiukan tulkinnan mukaan rakennusvalvontaviranomainen ei voi osaltaan varmistua MRL 166§:n edellytyksen mukaisesti, että rakennus on käyttäjilleen terveellinen ja turvallinen. Siksi rakennuslupaviranomainen edellyttää sisäilmaongelmakohteissa kokonaisvaltaista kuntotutkimusta, huolellista erikoissuunnittelua, työn toteutuksen laadunvarmistusta työmaalla sekä korjausten jälkeistä seuranta korjausten onnistumisen varmistamiseksi. Hankkeen eri vaiheisiin osallistuvilta edellytetään rakennusfysikaalista osaamista, pätevyyttä ko. tehtävään ja riittävää kokemusta. Vaatimuksia täsmennetään rakennuslupakohtaisesti. Tällä konseptilla on toteutettu onnistuneesti sisäilma-ongelmakohteiden korjauksia. (Raatikainen 2013)

Yleisesti rakennusvalvonnan rooli on jossain määrin muuttumassa. Pääministeri Jyrki Kataisen hallitus sopi 29.8.2013 budjettiriihessään rakennepoliittisesta ohjelmasta talouden kasvuedellytysten vahvistamiseksi ja kestävyysvajeen umpeen kuromiseksi. Hallitus teki 29.11.2013 päätöksen rakennepoliittisen ohjelman toimeenpanosta. Päätöksen mukaisesti rakennusvalvontatoimen asiantuntemusta ja yhtenäistä toimintatapaa vahvistetaan samalla kun se tullaan kokoamaan suuremmiksi ylikunnallisiksi yksiköiksi. Uudistuksen tavoitteena on muun muassa vahvistaa rakennusvalvonnan asiantuntemusta sekä yhtenäistää rakentamista koskevien säännösten tulkintaa ja toimintatapoja. Muutoksen vaikutus rakennusvalvonnan mahdollisuuksiin ottaa kantaa yksittäisiin korjausmenetelmiin ja ratkaisuihin jää nähtäväksi.

### **1.8 Rakennussuojelu ja suoritettavat korjaukset**

Museovirasto on asiantuntijaviranomainen, joka esittää suojelukeinoja arvokkaiksi katsotuille rakennuksille ja ympäristöille. Ympäristöviranomaiset ja kaavoittajat tekevät suojelupäätöksiä Museovirastoa tai maakuntamuseota kuullen. Museovirasto ei tee suojelupäätöksiä. Suojelun kohdistuminen ja tavoitteet määritellään suojelupäätöksessä tapauskohtaisesti, kohderakennuksen ominaisluonteeseen ja erityispiirteisiin perustuen. Suojelupäätökset tähtäävät kohteen pysyvään säilymiseen. Yksittäisessä suojelukohdetta koskevassa korjaus- tai muutoshankkeessa Museovirasto valvoo suojelun toteutumista ja antaa ohjeita suojelun soveltamisesta. (Linnanmäki 2013, Lehtinen 2014)

Rakennussuojelulainsäädännöllä suojeltuja kohteita oli Suomessa vuonna 2013 yhteensä 279. Erityislainsäädännöllä suojeltuja kohteita on vajaa kaksituhatta. Suomen suojellun rakennusperinnön kokonaismäärästä voidaan esittää likimääräisiä arvioita, koska kaavoituksen keinoin suojelluista kohteista ei ole kattavaa tilastoa. Asemakaavalla suojeltujen rakennusten kokonaismäärä on noin 8000...10 000, mikä on noin prosentti asemakaava-alueiden rakennuskannasta. Suomen rakennuskannassa, johon ei lasketa mukaan kesämökkejä, maatalous- tai muita talousrakennuksia, oli vuoden 2013 lopussa 1,5 miljoonaa rakennusta, joista asuinrakennuksia oli noin 1,2 miljoonaa. Siten suojeltuja rakennuksia on Suomen rakennuskannasta selvästi alle prosentti. Nuorimmat rakennussuojelulla suojellut rakennukset ovat 1970-luvulta. (Eerola ym. 2013, Suomen virallinen tilasto 2014)

Lähtökohtana suojellun rakennuksen korjauksessa on rakennuksen säästämisen periaate. (Linnanmäki 2013, Lehtinen 2014)

Museovirasto arvioi yksittäisiä korjausmenetelmiä sen suhteen miten ne korjausten ja hoidon kokonaisuudessa voivat pitkällä aikajänteellä vaikuttaa rakennussuojelun toteutumiseen. Laajat korjaustyöt vähentävät rakennuksen alkuperäistä materiaa ja voivat vaarantaa arkkitehtuurin ja kulttuurihistoriallisen arvon säilymistä. Onnistuneesti ajoitetuilla, kohdistetuilla ja mitoitetuilla korjaustoimilla voidaan ehkäistä ongelmia ja kaikin tavoin raskaita korjausvyyhtejä. (Linnanmäki 2013, Lehtinen 2014)

Museoviraston suhtautuminen tiivistyskorjauksiin riippuu rakennuksesta, sen entisestä ja tulevasta käyttötarkoituksesta, rakenteista ja pintakäsittelyistä. Tiivistyskorjauksilla voidaan edistää rakennussuojelun toteutumista, jos niillä rakenteita ja pintakäsittelyjä säästään voidaan hallita sisäilman laatua, energiatehokkuutta, paloturvallisuutta, radon- ja haitta-aineongelmia sekä pidentää rakennuksen käyttöikä. Työssään Museovirasto seuraa tiivistyskorjausmenetelmien käyttöä, samoin kuin niitä koskevan osaamisen ja kokemuksen kehitystä. Korjauksissa käytettävien tuotteiden materiaaliominaisuuksista ja korjausratkaisujen pitkäaikaiskestävyydestä tarvitaan tietoa. (Linnanmäki 2013, Lehtinen 2014)

Museovirastolle ei ole vielä kertynyt riittävästi tietoa tiivistyskorjausmenetelmästä, korjauksissa käytettävien tuotteiden materiaaliominaisuuksista ja korjausratkaisun pitkäaikaiskestävyydestä. Museoviraston näkökulmasta tiivistyskorjausmateriaali ei saisi vaurioittaa muita rakenteita eikä asentamisessa saisi kovin paljon kajota muuhun materiaan. Lisäksi tiivistyskorjausmateriaalit tulisi olla tarvittaessa helposti poistettavissa. Tiivistyskorjauksissa käytettävien materiaalien yhdistämisestä vanhojen sekä perinteisten lakkojen ja maalien päällä on hyvin vähän kokemuksia, eikä neuvoja vielä ole saatavilla. Alustan tasaisuusvaatimus saattaa muodostua ongelmaksi, kun joudutaan punnitsemaan tiivistyskorjauksen ja esimerkiksi 1800- luvun alkupuolen kattotuolin hirren veistopinnan arvoa. Museoviranomaiselle voi joskus tulla yllätyksenä, kuinka laaja-alaisia tiivistyskorjaukset voivat olla, eikä aina ole tiedostettu, että korjaus saattaa koskea koko pintaa eikä vain pientä rakoja. Mallityö havainnollistaisi ja auttaisi päätöksen teossa. Sisäilman laadun huomioiminen suojelluissa rakennuksissa on haastavaa. (Linnanmäki 2013, Lehtinen 2014)

## **2. RAKENNUSFYSIKKA JA TEKNINEN TOTEUTUS**

### **2.1 Rakennusfysiikka**

#### **2.1.1 Kosteus**

Kosteus voi vallitsevasta paineesta ja lämpötilasta riippuen esiintyä höyrynä, nesteinä tai kiinteässä muodossa jäänä. Veden ominaisuudet vaihtelevat olomuodosta riippuen. Vesimolekyylit ovat hyvin pieniä. muodon, lämpötilan ja tiheyden suhteen. Kemiallisena yhdisteenä vesimolekyylit ovat kooltaan hyvin pieniä. (RIL 225-2004)

Ilmavirtausten vaikutuksesta kosteus voi siirtyä (konvektio) vesihöyrynä tai sumuna. Sumu koostuu ilmassa leijuvista pienistä vesipisaroista. Kosteus siirtyy nestemäisenä pakotetusti (viistosade julkisivulla). Kosteus voi siirtyä rakennusmateriaalissa diffuusiolla, kapillaarisesti tai painovoiman avulla, jolloin kosteus siirtyy suuremmasta pitoisuudesta pienempään.

Rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta arvioitaessa rakennetta tarkastellaan kosteusteknisen toiminnan kannalta kriittisissä olosuhteissa. Tarkastelussa huomioidaan sisä- ja ulkoilman olosuhteet, rakenteisiin kohdistuvat kosteusrasitukset, säteily ja arvioidaan rakenteen kuivumiskykyä ja vikasietokykyä. Suomen olosuhteissa rakennuksen kosteusteknisessä suunnittelussa päähuomio on vaipparakenteiden kosteusteknisen toimivuuden varmistamisessa. Lisäksi märkätilojen kosteudenhallintaan on kiinnitetty huomiota. Rakenteet suunnitellaan siten, että ne täyttävät Rakentamismääräyskokoelman osan C2 Kosteus 1998 määräykset. Rakennusfysikaalisessa suunnittelussa pyritään estämään ja rajoittamaan kosteuden tunkeutumista rakenteisiin ja varmistamaan rakenteiden riittävä kuivumiskyky. Lisäksi pyritään ehkäisemään rakenteiden ja materiaalien turmeltumista ja parantamaan sisätilojen kosteusviihtyvyyttä. (Vinha 2014, RIL 250-2011)

Hallitsemattomien ilmavuotojen seurauksena ulkoilman mukana siirtyvä kosteus voi tiivistyä rajapintoihin ja aiheuttaa kosteusongelmia. Hallitsemattomat ilmavuodot aiheuttavat myös rakennuksen energiankulutuksen kasvamista. (Hintikka 2013)

Rakenteiden kosteusteknisessä suunnittelussa rakenteisiin kohdistuvaa kosteusrasitusta hallitaan mm. kosteusrasitusta kestäville materiaalivalinnoilla, vedeneristysratkaisuilla, höyryn- ja



ilmansululla sekä työmaateknisillä ratkaisulla. Höyrynsulun pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen vesihöyryn diffuusio ja ilmavirtaukset rakenteeseen ja rakenteessa. Höyrynsulun vesihöyrynläpäisevyys on pieni. Höyrynsulkuna pidetään rakennustarviketta, jonka vesihöyrynvastus  $Z_p$  normaalihuonetiloissa on vähintään  $15 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}$  ( $Z_A=110 \cdot 10^3 \text{ s}/\text{m}$ ,  $S_d=3,0$ ). Esimerkiksi 0,2 mm höyrynsulkumuovikalvon vesihöyrynvastus on noin  $100 \dots 200 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}$ , 0,4 mm alumiinimuovilaminaatin  $2000 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}$  ja ilmansulkupaperin on  $0,4 \dots 4 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}$  (Laine 2010, RIL 107-2012, Vinha 2008).

Höyrynsululle asetetut vaatimukset ja suositukset on esitetty ohjeessa Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet RIL 107-2012. Höyrynsulku- ja ilmansulku ovat yleensä käytännössä sama ainekerros. Tavallisesti massiivisissa rakenteissa, kuten perinteisissä hirsirakennuksissa, ei ole erillistä ilman- ja höyrynsulkukerrosta.

### **2.1.2 Lämpö**

Lämpö voi siirtyä johtumalla, konvektion avulla tai säteilemällä, käytännössä kaikilla kolmella tavalla samanaikaisesti. Johtumista tapahtuu sekä kiinteässä aineessa että materiaalin ilmahuokosissa. (Hagentoft 2001.)

Rakenteet suunnitellaan siten, että Rakentamismääräyskokoelman vaatimukset täyttyvät. Eri osa-alueiden vaatimukset on esitetty rakennusmääräyskokoelmassa osa-alueittain erikseen, esimerkiksi C2 Kosteus, C4 Lämmöneristys ja D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Rakennusteknisen suunnittelun tavoitteena on saada rakenne toimimaan halutulla tavalla koko rakenteen kestoajan. Siten tavoitteena on valita rakenteeseen sopiva lämmöneriste, vähentää lämmöneristeessä tapahtuvaa sisäisen konvektion vaikutusta, pienentää kylmäsiltojen vaikutusta ja estää ilmavuotoja rakenteen läpi. Lämmöneristemateriaali valitaan rakenteen ja olosuhteiden mukaan. Rakennusfysikaalisen suunnittelun lähtökohtana lämmön osalta on pienentää rakennuksen lämpöenergian kulutusta ja ehkäistä rakenteiden ja materiaalien turmeltumista sekä parantaa sisätilojen lämpöviihtyvyyttä. (Vinha 2014)

### **2.1.3 Ilma**

Ilma on useiden kaasujen seos, joka sisältää eniten typpeä ja happea. Puhdas ilma on hajutonta, väritöntä ja mautonta. Ilman sisältämän vesihöyryn määrä riippuu lämpötilasta ja ympäröivistä

kosteuslähteistä. Ilman liike eli ilmavirtaukset syntyvät lämpötilaerojen, painerojen ja ulkopuolisen voiman vaikutuksesta. Rakennuksen ilmavirtauksia ja niiden merkitystä rakenteiden rakennusfysikaalisen toiminnan ja sisäilman laadun kannalta on käsitelty tarkemmin kappaleessa 2.2. (Nevander ym. 1994)

Rakenteiden ilmanpitävyydestä on annettu määräyksiä Rakentamismääräyskokoelman osissa C2 Kosteus 1998, C4 Lämmöneristys 2003 ja D3 Rakennusten energiatehokkuus 2012. Rakennusten sisäilmastoon ja ilmanvaihtoon ottaa kantaa Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2. Rakennuksen rakennusfysikaalisen suunnittelun lähtökohtana ilman osalta on parantaa rakennusvaipan ilmatiiviyyttä ja ehkäistä ilmavirtausten aiheuttamia haittavaikutuksia rakennuksen sisällä ja vaipparakenteissa sekä parantaa sisäilman laatua. (Vinha 2014)

Rakennusvaipan ilmatiiviyydestä vastaava ainekerros ilmansulku sijoitetaan kerroksellisessa rakenteessa yleensä lämpimälle puolelle sisäpinnan lähelle, jolloin se rajoittaa sisäilman virtausta rakenteeseen. Ilmansulkuna pidetään rakennustarviketta, jonka ilmanläpäisykerroin  $K_a$  on  $\geq 0,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ . Ilmansulun ilmanläpäisykerroimen  $K_a$  maksimiarvoksi suositellaan  $1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ , eli ilmansulun ilmanläpäisykerroimen tulisi olla enintään noin kymmenesosa tuulensuojan ilmanläpäisykerroimesta. Yleensä höyrynsulku- ja ilmansulku ovat sama ainekerros. Massiivisissa rakenteissa ei ole erillistä ilmansulkukerrosta. (RIL 107-2012)

Liitteen 1 taulukossa 1 on esitetty eri rakennusmateriaalien sekä maalajien ilman- läpäisevyyksiä (permeabiliteetti). Karkean kalliomurskeen tai soran ilman- läpäisevyys (suuruusluokkaa 10-7 m<sup>2</sup> tai enemmän) on yli tuhatkertainen verrattuna tiiviimpiin maalajeihin, kuten savi, jonka ilmanläpäisevyys on suuruusluokkaa 10-15 m<sup>2</sup>. Vertailun vuoksi mainittakoon betonin (v/s 0.33) ilmanläpäisevyys, joka on noin 10-18 m<sup>2</sup>. Betoni on siis noin tuhat kertaa savimaata ilmatiiviimpi materiaali. Rakennuksen alapuolisessa täyttökerroksessa kapillaarikatkona käytetään tyypillisesti raekooltaan 5...16 mm tai 5...32 mm kalliosta tai sorakivestä murskaamalla tehtyä kiviainesta, jonka ilmanläpäisevyys on suuri. (RIL 121-2004, Arvela ym. 2012, Neville 1963)

#### 2.1.4 Paine-erot rakennuksessa

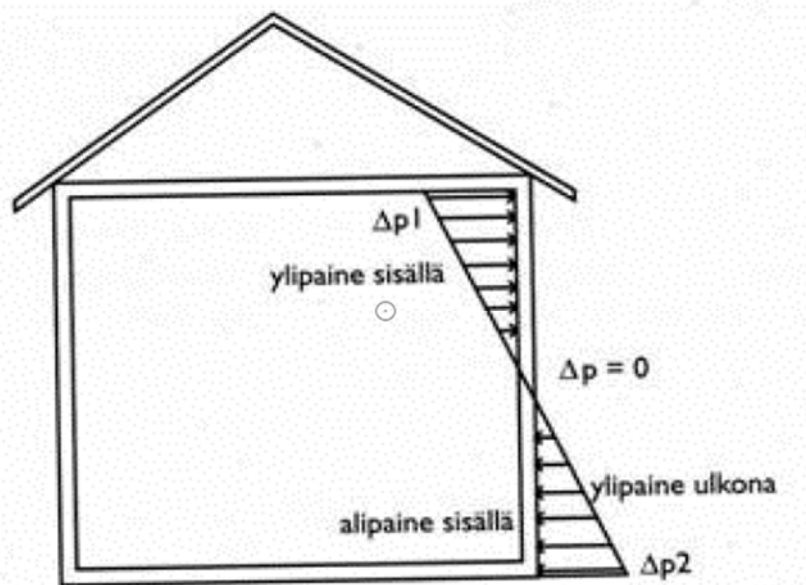
Koneellisella ilmanvaihdolla varustetuissa rakennuksissa rakennuksen sisäosiin syntyvät paine-erot ovat tavanomaisesti säädettävissä ja hallittavissa ilmanvaihtolaitteistoa ja sen pääte-elimää säätämällä. Painovoimaisella ilmanvaihdolla varustetuissa rakennuksissa ilmanvaihto perustuu rakennukseen korkeuden, lämpötilaerojen ja tuulen vuoksi syntyvään paine-eroon. Yleisesti puhutaan ns. hormi-ilmiöstä. Hormi-ilmiössä rakennuksen sisäpuolella lämmin ilma pyrkii nousemaan rakennuksen yläosiin aiheuttaen paine-eron tilojen ala- ja yläosien ilmanpaineissa. Syntyvän paine-eron suuruus riippuu rakennuksen korkeudesta, lämpötilasta ja tuulesta sekä ilmanvaihtojärjestelmästä joka voi olla painovoimainen ilmanvaihto, koneellinen poistoilmanvaihto tai koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Painovoimaista ilmanvaihtoa kutsutaan toisinaan myös ns. luonnonmukaiseksi ilmanvaihdoksi. (RT RakMK-21503, s.2)

Ulko- ja sisäilman lämpötilaeron aiheuttamaa paine-eroa kutsutaan savupiippuvaikutukseksi. Paine-ero syntyy, kun lämmin ilma nousee kylmää ilmaa kevyempänä ylös. Ulkoilmaa lämpimämmän rakennuksen sisäpuolella sen alaosiin kohdistuu alipaine ja yläosiin ylipaine ulkoilmaan verrattuna. Neutraaliakselilla sisä- ja ulkopuolen välinen paine-ero on 0 Pa. Neutraaliakselin sijaintia on käytännössä vaikea tarkkaan määrittää, koska sen sijainti riippuu rakennuksen vaipan epätiiviyiskohtien korkeusasemista ja niiden virtausvastuksista, jotka voivat vaihdella satunnaisesti rakennuksessa. (Kettunen 2015)

Savupiippuvaikutuksen merkitys on suurin talvella, jolloin sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero on suuri. Savupiippuvaikutuksen aiheuttama rakennuksen sisäpuolinen ylipaine nousee neutraaliakselista ylöspäin noin 0,9 Pa metrillä, kun sisä- ja ulkoilman lämpötilaero on 20 °C. Rakennuksen sisäpuolella on ylipainetta rakennuksen koko korkeudella, kun neutraaliakseli on rakennuksen alaosassa, eli alhaalla on esimerkiksi avoin aukko tai muihin rakennusosiin nähden ilmanpitävyydeltään huonoin rakennusosa, esimerkiksi ulko-ovi tuloilma-aukkoineen. Tällöin sisäpuolen yläosaan kohdistuva ylipaine on suurin. Savupiippuvaikutuksen aiheuttama rakennuksen yläosan ylipaine saattaa kumota ilmanvaihdon aiheuttaman alipaineen. Savupiippuvaikutuksen merkitys ja samalla kosteuskonvektion mahdollisuus kasvaa rakennuksen vapaan ilmatilan korkeuden kasvaessa. Tämän vuoksi yli 10 m korkeat tilat, kuten varastot, ja yli 20 m korkeat rakennukset erotetaan omaksi ryhmäksi rakennesuunnittelussa, ja rakenteiden ilman ja vesihöyryn tiiviys on erityisesti otettava huomioon (Kettunen 2015)

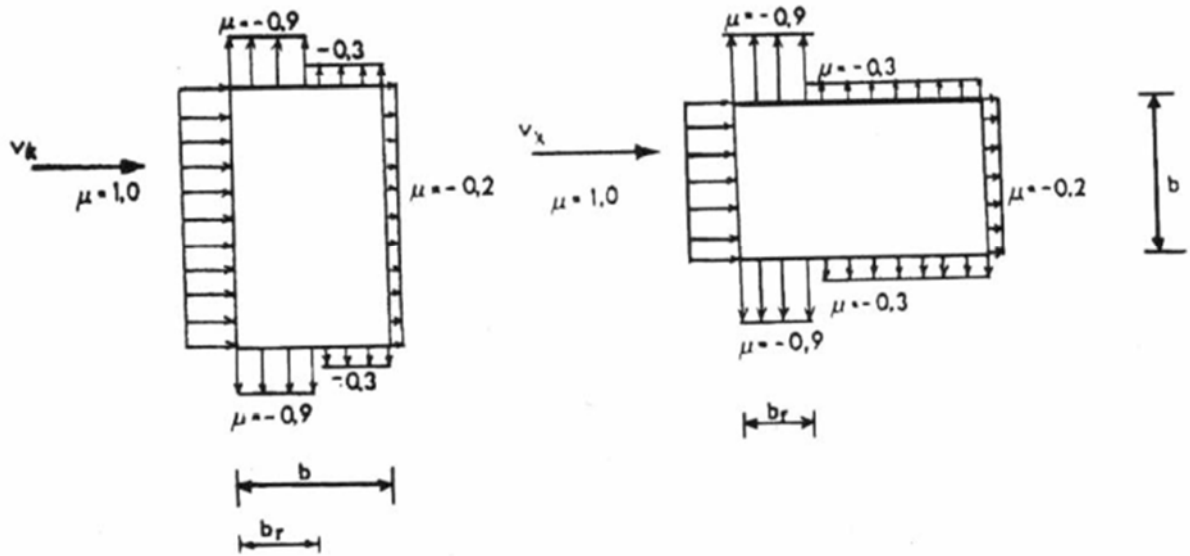
Hormi-ilmiö vaikuttaa myös koneellisella ilmanvaihdolla varustetuissa rakennuksissa ja se on helpoimmin havaittavissa kerrostalojen porrashuoneissa, joissa alaovella on talvisin selvästi havaittavissa voimakas ilmavirtaus ulkoa porrashuoneeseen ja vastaavasti ylimmissä kerroksissa porrashuoneesta huoneistoihin. (Kettunen 2015)

Rakennuksen painesuhteet määräytyvät tuulen, savupiippuvaikutuksen ja ilmanvaihdon yhteisvaikutuksesta. Tyypillisesti painesuhteet vaihtelevat eri vuorokauden- ja vuodenaikoina. Ilmanvaihtolaitteiston toiminta ja tuuli voivat muuttaa painesuhteita vuorokauden aikana hyvin nopeasti ja voimakkaasti. Savupiippuvaikutus muuttaa rakennuksen painesuhteita myös vuodenaikojen mukaan. Kokonaispaine-eron aiheuttama ilman virtaaminen aiheuttaa kosteusvaurioriskin, jos ilma jäähtyy virratessaan rakenteen läpi, mikä vastaa sisäpuolista ylipainetta. (Kettunen 2015)

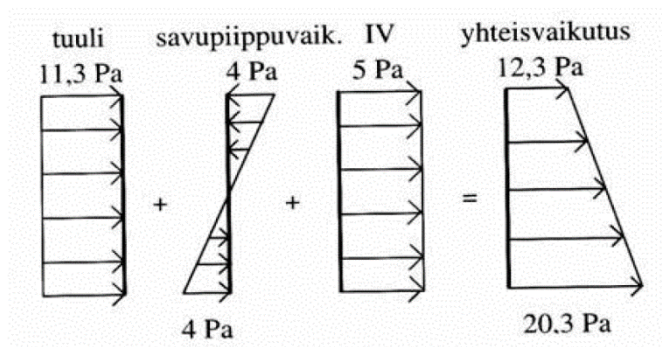


**Kuva 1.** Lämpötilaeroista aiheutuva tasatiiviiseen rakennukseen kohdistuva painejakauma.

Rakennuspaikan vallitseva tuulen suunta ja rakennuksen aukkojen sijainti vaikuttavat rakennuksen sisäpuoliseen paineeseen. Jos rakennuksen tuulenpuoleinen seinä on muita seiniä epätiivimpi, rakennuksen sisäpuolelle muodostuu ylipaine. Rakennuksen sisälle muodostuu alipaine, jos suurin osa aukoista on suojan puoleisella seinällä. Ilmiöllä on merkitystä tarkasteltaessa yksittäistä rakennuspaikkaa, jolloin rakennuspaikan vallitsevan tuulen suunnan avulla voidaan arvioida rakennukseen syntyvää yli- tai alipainetta aukkojen, kuten ovien ja ikkunoiden, perusteella. (Kettunen 2015)



**Kuva 2.** Tasatiiviin rakennuksen ulkoseinien muotokertoimet. Kertoimet sisältävät rakennuksen sisäisen muotokertoimen, RIL 144 -1990.



**Kuva 3.** Tuulen, savupiippuvaikutuksen ja ilmanvaihdon yhteisvaikutus.

## 2.2 Tiivistyskorjauksen tekninen toteutus ja tarkastus

Tiivistys ja kapselointikorjauksilla tarkoitetaan yleisesti rakennuksen vaipan, läpivientien ja liikuntasauvojen tiivistämistä siten, ettei hallitsematonta ilmavuotoa pääse tapahtumaan. Tiivistyskorjauksissa on huomioitava tiiviiden ohella myös rakennuksen ilmanvaihdon säätö vastaamaan muuttunutta tilannetta, ettei vaipan tiivistämisellä siirretä ongelmaa toisaalle rakennuksessa. Ilmanvaihdon ilmavirtojen hallinta on helpompaa niissä rakennuksissa, joissa on koneellinen tulo- ja poistoilma, verrattuna rakennuksiin joissa on pelkkä koneellinen poistoilmanvaihto. Rakenteiden ilmatiiveyttä tutkitaan, koska rakenteissa ja maaperässä on

epäpuhtauksia ja hajuja, jotka ilmavirtojen mukana huonetiloihin kulkeutuessaan voivat heikentää sisäilman laatua. (Ympäristöopas 2016)

Tavanomaisesti tiivistyksiä on toteutettu tiivistämällä epäjatkuvuuskohdat elastisella saumausmassalla. Korjauksiin löytyy runsaasti eri valmistajien laatimaa ohjeistusta ja tässä esityksessä onkin keskitytty lähinnä tarkasteltavassa kohteessa tehtyjen tiivistysten ja niissä käytettyjen aineiden ja materiaalien tarkasteluun. Eri rakennesuunnittelijat voivat suosia eri valmistajien aineita oman kokemuksensa perusteella. Tarkastellun kohteen tiivistyskorjauksiin rakennesuunnittelija on johdonmukaisesti esittänyt käytettävän saman tuoteperheen tuotteita.

Uudet rakennukset toteutetaan tänä päivänä yleensä sisäilmaluokkaan S2. Luokka on saavutettavissa kun käytetään M1 materiaaleja ja rakennustyöt toteutetaan puhtausluokituksen P1 mukaisesti. Sisäilmastoluokitusta ei ole tarkoitettu käytettäväksi rakennuksen terveellisuuden arvioinnissa. (RT 07-10946, s 3)

RT-ohjekortissa esitettyjen yhdisteiden tavoitearvojen alittuminen ei takaa huoneilman terveellisyyttä täydellisesti, koska herkille ihmisille voivat aiheuttaa oireita tavoitearvoja pienemmätkin pitoisuudet. Nykytietämyksen mukaan tavoitearvojen ylittyminen ei merkitse välitöntä terveysvaaraa. Sisäilmaston terveyshaittojen arvioinnissa voidaan asuntojen osalta käyttää sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysasetusta ja Valviran ohjeita sekä Suomen LVI-liiton julkaisemaa Sisäilmaston kuntotutkimusohjetta. Työpaikkojen sisäilmaongelmien ratkaisemista on käsitelty mm. Työterveyslaitoksen julkaisemassa Sisäilman hyväksi raportissa. (RT 07-10946, s 3)

### **2.2.1 Lopputuloksen vaatimukset**

Yleisesti tiedetään, että mittaamalla puhtaaksi todetussa tilassa eivät kaikki niissä aiemmin mikrobeille ja niiden aineenvaihduntatuotteille altistuneet henkilöt pysty korjauksen jälkeenkään oleskelemaan saamatta jonkin asteisia sisäilmaoireita.

Työpaikalla on hyvälle sisäympäristölle lisäksi osin eri kriteerit kuin asunnoissa. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen terveydellisiä olosuhteita koskevat vaatimukset on kirjattu Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysasetukseen. Aiempi asumisterveysohje on päivitetty ja se on saanut asetuksen aseman 15.5.2015.

Työterveyslaitos ohjeistaa sisäympäristötekijöiden vaatimuksista ja tarkastuksesta työpaikoilla mm seuraavasti:

*”Sisäympäristötekijät liittyvät rakennus- ja talotekniikkaan, turvallisuuteen ja toimintaprosesseihin, kuten esimerkiksi rakennuksen ulkovaipan tiiviuteen, toimivaan ilmanvaihtojärjestelmään, kulkureitteihin tai tulostimien sijoitteluun tilassa. Laadukkaassa sisäympäristössä näihin tekijöihin ei liity epäkohtia, puutteita tai terveysriskiä.”*

*”Asiantuntija voi arvioida sisäympäristön olosuhteita katselmoiden (aistinvarainen tarkastelu ja mahdolliset suppeat mittaukset). Asiantuntijalla tulee olla asianmukainen koulutus alalle ja hänen tulee tuntea sisäympäristöön vaikuttavat tekijät. Selvityksissä ensisijaista on päästölähteiden ja ongelmien aiheuttajien tunnistaminen, paikallistaminen ja korjaaminen. Usein tämä onnistuu myös ilman sisäilmamittauksia.”* (Työterveyslaitos 2006, Laadukas sisäympäristö ohje)

Työterveyslaitos on antanut joitakin esimerkkejä hyvän sisäympäristön vaatimuksista oheisessa taulukossa 1.

Taulukko 1. Joitakin esimerkkejä hyvän sisäympäristön vaatimuksista.	
Rakennustekniikka	Ilmanvaihtojärjestelmä ja fysikaaliset tekijät
<ul style="list-style-type: none"><li>• kosteusvaurioita ei ole tai ne on korjattu</li><li>• mahdolliset riskirakenteet on selvitetty</li><li>• matalapäästöiset (M1-luokan) pintamateriaalit</li><li>• liikuntasauvojen tiiviys on tarkistettu</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• huonelämpötila kesäaikana 23–26 °C ja talviaikana 20–22 °C</li><li>• vetohaittoja ei esiinny</li><li>• valaistus on riittävä</li><li>• häiritsevää melua ei esiinny</li><li>• ilmanvaihtojärjestelmä on säädetty ja se puhdistetaan säännöllisesti</li><li>• koneellinen tuloilma on suodatettu tehokkaasti ja on puhtaampaa kuin huoneilma</li></ul>

**Taulukko 1.** Työterveyslaitos 2006, Laadukas sisäympäristöohje.

Yleensä lauhkeiden teollistuneiden maiden ongelmat ovat kosteus ja mikrobikasvu, ilmanvaihdon ongelmat, kuituongelmat ja lattiapäällysteiden kemiallinen hajoaminen. 27.9.2016

julkaistun Käypä hoito-suosituksen yksi keskeinen sanoma on, että kosteusvauriot tulee pyrkiä korjaamaan ja niiden synty ehkäisemään, koska näin voidaan vähentää hengitystieoireilua ja ylläpitää rakennuksen kuntoa. (Seuri 2016)

### **2.2.2 Lopputuloksen varmistaminen**

Tiivistyskorjausten onnistumista voidaan arvioida usein eri tavoin, mm tarkastelemalla silmämääräisesti tehtyjä tiivistyksiä, havainnoimalla ilmavirtauksia merkkisavuilla, suorittamalla rakenteiden tiiveysmittauksia, merkkiainetutkimuksella sekä lämpökuvauksella. Silmämääräisesti tarkastelemalla tai merkkisavuilla ei käytännössä ole mahdollista varmistua tiivistysten onnistumisesta luotettavasti. Pelkästään rakenteiden tiiviyyttä tiiveysmittauksella tarkastelemalla ei myöskään ole mahdollista havaita niin pieniä vuotoja, joista epäpuhtaudet voivat jo päästä sisäilmaan. Toistaiseksi ainoa käyttökelpoinen tiivistyskorjausten tarkistamiskeino on merkkiainekoe. Merkkiainetekniikka mahdollistaa ilmavuotokohtien sijainnin tarkan määrittämisen, koska menetelmällä voidaan tutkia jatkuvana mittauksena merkkiaineen liikkumista ilmavirtausten mukana rakenteissa ja/tai eri tilojen välillä. (Ympäristöopas 2016)

*”Merkkiainekokeella tarkoitetaan tutkimusmenetelmää, jossa erityistä kaasua ja sitä havaitsevaa mittalaitetta apuna käyttäen selvitetään rakenteen sisällä ja rakenteen läpi tapahtuvia ilmavirtauksia.” (RT 14-11197, s 1)*

*”Ilmavuotoluvun määrittämiseksi käytettävää tiiveysmittausta ei tule sekoittaa merkkiaineella tehtäviin tiiveysmittauksiin, joiden tarkkuus on huomattavasti parempi.” (RT 14-11197, s 1)*

Ihmisen hajukynnys on eräiden kaasumaisten yhdisteiden osalta alle 10 miljardisosaa (ppb) kuutiometrissä ilmaa joten myös hajun lähteen selvittäminen täsmällisesti on yksi kaasuanalysaattorin käyttökohde. Sisäilmaongelmaa aiheuttavat mikrobien aineenvaihduntatuotteet voivat olla myös kaasumaisessa muodossa. Merkkiainekokeet toteutetaan yleensä alipaineistamalla tutkittava tila, jolloin saadaan tarkat tutkimustulokset tutkittavan rakenneosan ilmatiiviydestä. (Hintikka 2013)

Tarkkailemalla rakennuksen painesuhteita saadaan kuva sen käytönaikaisista painesuhteista ja niiden mahdollisista poikkeamista. Tiivistämällä rakenteita pyritään katkaisemaan ilmayhteys



rakennuksen vaipan ja sisäilman välillä. Painesuhteet voivat vaihdella hetkellisesti yli 30 Pa tuulen vaikutuksesta. (Hintikka 2013)

”Onnistunut tiivistyskorjaus sisältää huolellisen ennakkosuunnittelun ja osaavan urakoitsijan laadunvalvontoineen korjaustyön edetessä.” (Hintikka 2013)

### **2.2.3 Merkkiainekoe**

Merkkiainekokeella tarkoitetaan tutkimusta, jossa rakenteeseen johdetaan merkkiainetta (kaasua) ja merkkiaineen ilmaisimella pyritään havaitsemaan kaasun kulkeutumisreittejä rakenteen läpi tutkittavaan tilaan. Merkkiainekokeen käytännön suoritus ja tarvittava välineistö on selostettu yksityiskohtaisesti RT-ohjekortissa 14-11197.

RT-ohjekortti rakenteiden ilmatiiviyden tarkasteluun on julkaistu marraskuussa 2015. Aikaisemmin merkkikaasulla tehtävälle tiiviyden tutkimiselle ei ollut ohjekorttia. Merkkiainekokeita on Suomessa kuitenkin tehty arviolta noin kymmenen vuoden ajan. Vahanen yhtiöt on tehnyt merkkiainekokeita noin kahdeksan vuotta, joista viimeisen kuuden vuoden ajan ne ovat olleet keskeisessä asemassa tiivistyskorjausten laadunvarmistuksessa. Merkkikaasukokeiden merkitys ja tarve on kaiken aikaa kasvanut. (Petri Sallinen, Vahanen Yhtiöt puhelinhaastattelu 9.2.2016)

Keskeisenä pontimena RT-ohjekortin luomiseen merkkikaasukokeelle oli yhtenevien toimintamallien luominen. Merkkiainekoe on vaativa ja edellyttää tekijältä jonkin verran rakennusfysiikan tuntemista, jotta tulokset ovat luotettavia. Mikäli perusasiat eivät ole selviä, tuloksiin ei voi luottaa. (Petri Sallinen, Vahanen Yhtiöt puhelinhaastattelu 9.2.2016)

RT 14-11197 ohjeistaa, että tiiveydelle tulee asettaa tapauskohtaisesti tavoitetaso, joina voidaan käyttää kappaleessa 2.6 , s.24 esitettyjä määritelmiä.

Ohjeen mukaan tavoitetason määrittelee erikseen jokaiseen kohteeseen päärakennesuunnittelija, tai tiiveyden suunnittelusta vastaava suunnittelija. Tavoite, mihin tiivistämisellä pyritään, vaikuttaa merkittävästi tavoitetasoon. Tavoitetaso on merkittävästi tiukempi, jos tavoitteena on korjauksella estää esimerkiksi rakenteessa todennettujen mikrobin tai haitta-aineiden pääsyä sisäilmaan. Pelkän energiatalouden parantamiseen tähtäävän tiivistyskorjauksen tavoitetaso voi

olla merkittävästi väljempi. Tavoitetason määrittelyssä sovitaan myös, toistetaanko mittauksia aina tehtyjen korjausten jälkeen, kunnes tavoitetaso on saavutettu. Kun tavoitetaso on täysin tiivis, korjauksia ja mittauksia tulee suorittaa, kunnes tavoitetaso on saavutettu. (RT-ohjekortti 14-11197, s 2)

### **3. LÄHDE-/KIRJALLISUUSLUETTELO**

Arvela, H., Holmgren, O., Reisbacka, H. 2012. Asuntojen radonkorjaaminen. STUK-A252/Maaliskuu 2012. Yliopistopaino, Helsinki. 2012.

Espoon kaupunki 2015. Menettelytapaohjeet ja yleiset periaatteet sisäilmaongelmien ratkaisemiseksi Espoon kaupungin kiinteistöissä.

Hagman, R. 26.9.2005, Sisäilmastokysely, Lausunto. ISS Palvelut Oy.

Hakamäki, H. 2015. Toteutustavan vaikutus ulkovaipparakenteen sisäpinnan ilmavuototiivistysten pysyvyyteen. Aalto-yliopisto, Talonrakennustekniikka, Diplomityö.

HI-CON A/S verkkopalvelu, [luettu 8.2.2016] Saatavissa: [<http://www.hi-con.dk/Default.aspx?ID=2316>]

Hintikka, T. 2013. Tiiviysmittaukset sisäilmastoteknisissä selvitystöissä. Ilmavuotoa osoittavat merkkiainelaitteistot. Metropolia ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikka, Insinööriyö. 2.12.2013.

Keinänen, 2009. H. Polyamidipohjaiset kapselointiratkaisut haitta-aineiden ja epäpuhtauksien torjunnassa. Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. Diplomityö.

Kettunen, A-V., Slunga E., Viljanen M. 1991. Radonin merkitys talonrakennustekniikassa. Radonsuunnitteluohje normaalin radonluokan alueille. Teknillinen korkeakoulu, Rakennetekniikan laitos. Julkaisu/Report 114. Espoo.

Kettunen, A-V, 2015. Maaperän epäpuhtaudet. RTA-koulutuksen luento 16.12.2015.

Kurnitski, J., Hyttinen, M. Pasanen, P., Asikainen, V ja Matilainen M. Ryömintätilan kosteus ja mikrobit. 1999. Kevytsora-, sepele- ja kuivauskoneratkaisut. Mikrobit ryömintätalassa ja asunnoissa. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, Talonrakennustekniikan laboratorio, Raportti B62.

Laine, K. 2014. Rakenteiden ilmatiiviyden parantaminen sisäilmakorjauksessa. Itä-suomen yliopisto, Koulutus- ja kehittämisspalvelu Aducate, Opinnäytetyö.

Leivo, V., Rantala, J. 2006. Maanvastaisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus. Tutkimusraportti 139. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikan laitos.

Leivo, V. ja Rantala, J. 2007. Maanvastaiset alapohjarakenteet- Rakennusfysikaalisen suunnittelun ja rakenteiden korjaamisen reunaehdot. Sisäilmastoseminaari 2007, SIY raportti 25. s.97-102.

Miettinen, M. 2010. Kemiallisesti hajoavien lattian pintarakenteiden korjaaminen. Savonia ammattikorkeakoulu, Rakennus- ja turvallisuustekniikka, Opinnäytetyö.

Minkkinen, J. 21.9.2012, Toimenpide-esitys jälkiseurannasta. ISS Proko Oy.

Oikarinen, H. 20.11.2008, Sisäilmastokysely, Lausunto. Suomen terveystalo.

Polvinen, M., Kauppi, A., Saarimaa, J., Haalahti, P ja Lahikainen M. 1983. Rakennusten ulkovaipan ilmanpitävyys. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tutkimuksia 215. Espoo.

Pessi, A-M., Suonketo, J., Pentti, M., Rantio-Lehtimäki, A. 1999. Betonielementtijulkisivujen mikrobiologinen toimivuus. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Tutkimusraportti.

Päkkilä, T. 2012. Mikrobin kulkeutuminen sisäilmaan paine-eron vaikutuksesta. Aalto-yliopisto, Diplomityö.

Rakennustietosäätiö. 2012. RT-kortti Radonin torjunta RT 81-11099.

Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2012. RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Saarijärven Offset Oy.

Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2004. RIL 121-2004. Pohjarakennusohjeet.

Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2004. RIL 225-2004 Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien laskenta. Helsinki, DARK Oy.

Salmi K., Kähkönen E., Holopainen R., Reijula K. 2012. Ilmavälitteisten infektioiden hallinta sairaaloiden eristystiloissa - loppuraportti. Mitatut tiiviudet, paine-erot, ilmanvaihtuvuus, lämpöolot ja kyselytulokset sekä ohjeita eristystilojen suunnittelulle. Helsinki: Työterveyslaitos.

Työsuojelu.fi, Sisäilma, Lainsäädäntö, Työsuojeluhallinnon verkkopalvelu, [luettu 6.2.2016] Saatavissa: [<http://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/tyoymparisto/sisailma>]

Työsuojelu.fi, Sisäilma, Oikeuden päätökset ja ennakkotapaukset, Työsuojeluhallinnon verkkopalvelu, [luettu 6.2.2016] Saatavissa: [<http://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/tyoymparisto/sisailma>]

Valtonen, Ville, 14.10.2015: Lääkäri: "Energia- ja lämmitys talot ovat myrkkytaloja", Vantaan Sanomat 21.10.2015

Ympäristöministeriö. Uutinen 23.1.2015. Lausuntopyyntö luonnoksesta rakennusten kuntotutkimusoppaaksi. [luettu 6.2.2016]

Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön raportteja 9/2015. Uusimuotoinen rakennusvalvontatoimi. Saatavissa [<http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/155607>]

Ympäristöministeriö. Ympäristöopas 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Saatavissa [<http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/75490>]

Viitanen, H. 2004. Betonin ja siihen liittyvien materiaalien homehtumisen kriittiset olosuhteet – betonin homeenkesto. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Tutkimus.

Weckstörn, Anders. 2003. Mikrobiperäisten haihtuvien orgaanisten yhdisteiden diffuusio rakenteiden läpi. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto, diplomityö.

Wirtanen, Leif. 2005. Influence of moisture and substrate on the emission of volatile organic compounds from wall structures. Teknillinen korkeakoulu. Rakennustekniikka. Julkaisu 19. Espoo.

#### 4. LIITTEET

##### Liite 1.

Taulukko 1. Maalajien ja maalajitteiden ilmanläpäisevyys.

<b>Maalaji tai -lajite</b>	<b>Ilmanläpäisevyys <math>k</math> (permeabiliteetti) [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Rakeiden läpimitta [mm]</b>
Savi	10 <sup>-15</sup> *	< 0,002
Siltti	10 <sup>-14</sup> *	0,002...0,06
Hiekkamoreeni	10 <sup>-13</sup> *	lajittumaton
Soramoreeni	10 <sup>-12</sup> *	lajittumaton
<b>Hiekka</b>		0,06...2,0
hienohiekka	10 <sup>-11</sup> *	0,06...0,2
keskihiekka	10 <sup>-10</sup> *	0,2...0,6
karkea hiekka	10 <sup>-9</sup> *	0,6...2,0
<b>Sora</b>		2,0...60
hienosora	10 <sup>-9</sup> *	2...6
keskisora	10 <sup>-8</sup> *	6...20
karkeasora	10 <sup>-7</sup> *	20...60
<b>Kivet</b>	-	60...600
<b>Rakennusmateriaalit</b>		
Kutterinlastu, tiheys 100 kg/m <sup>3</sup>	11 500 · 10 <sup>-12</sup>	-
Mineraalivilla, tiheys 100-150 kg/m <sup>3</sup>	250...1000 · 10 <sup>-12</sup>	-
Tiili	0,1...1 · 10 <sup>-12</sup>	-
Kevytbetoni	0,02...0,15 · 10 <sup>-12</sup>	-
Betoni	0,0001...0,01 · 10 <sup>-12</sup>	-

\* suuruusluokka

Taulukon lähteet: RIL 121-2004, Arvela ym. 2012, Neville 1995, Nevander ym. 1994.