

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutus

Marko Heikkilä

RAKENNUTTAJAN MUISTILISTA - TIIVISTYSKORJAUS

Opinnäytetyö
Helmikuu 2019



OPINNÄYTETYÖ
Helmikuu 2019
Rakennustekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Marko Heikkilä

Nimeke
Rakennuttajan muistilista - tiivistyskorjaus

Toimeksiantaja
Joensuun tilakeskus

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli koota olemassa olevaa tietoa tiivistyskorjauksista ja niihin vaikuttavista taustatekijöistä sekä luoda kootun tiedon pohjalta rakennuttajalle muistilista tiivistyskorjauksen huomioimiseen korjaushankkeissa. Rakenteiden ilmatiiviuden parantamista, eli tiivistyskorjausta, käytetään osana muita korjaustoimenpiteitä sisäilmaongelmakohteissa ja menetelmän käyttö on yleistynyt viime vuosina.

Opinnäytetyö toteutettiin kirjallisuustutkimuksena. Aihealue on laaja, joten opinnäytetyö rajattiin käsittelemään rakennuttajan kannalta merkittävää tietoa.

Tiivistyskorjausten onnistuminen on ollut vaihtelevaa. Epäonnistuneen korjauksen syynä on yleensä ollut suunnittelijan tai toteuttavan urakoitsijan ymmärtämättömyys tai huolimattomuus. Tutkimuksia on myös voitu suorittaa liian vähäisessä määrin ennen suunnitteluvaihetta. Kaikilta osin huolellisesti toteutetuissa korjaushankkeissa tiivistyskorjaukset ovat pääsääntöisesti onnistuneet. Tiivistyskorjauksen onnistuminen vaatii asiantuntemusta, huolellisuutta ja toimivaa tiedonkulkua koko hankkeen ajan. Rakennuttajan tehtävä on merkittävä rakennuttajan ollessa yleensä ainoa henkilö, joka on mukana korjaushankkeessa alusta loppuun asti. Opinnäytetyöprosessin tuloksena syntyi koottu tietopaketti, jota rakennuttaja voi käyttää apuna korjaushankkeen edetessä.

Kieli

suomi

Sivuja 49

Liitteet 1

Liitesivumäärä 2

Asiasanat

tiivistyskorjaus, rakenteiden ilmatiiviys, korjaushanke



THESIS
February 2019
Degree Programme in Civil Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+358 13 260 600

Author
Marko Heikkilä

Title
Checklist for Construction Project Managers - Airtightness Renovation

Commissioned by
Joensuun tilakeskus

Abstract

The aim of this thesis was to compile available information of airtightness renovations and the background factors that affect them, and to use this compiled information as a basis for creating a checklist for construction project managers, allowing them to take airtightness renovation into account in renovation projects. Improving the airtightness of structures, or airtightness renovation, is a part of other renovation measures on sites with indoor air problems, and the method has become more prevalent in recent years.

The thesis was implemented as a literature review. As this is an extensive topic, a decision was made to limit the study on information significant from the perspective of construction project managers.

The success of airtightness renovations has varied. Renovations have usually failed due to a lack of understanding or the carelessness of the designer or contractor implementing the work. The inspections carried out before the planning phase may also have been insufficient. The airtightness renovations of carefully implemented renovation have been primarily successful. The success of airtightness renovations requires proficiency, diligence and well-functioning information flow throughout the entire project. The role of construction project managers is significant, as they are usually the only individuals involved in the renovation project from its start to finish. The thesis process resulted in a compiled information kit that construction project managers can utilise as the renovation project proceeds.

Language

Finnish

Pages 49
Appendices 1
Pages of Appendices 2

Keywords

airtightness renovation, airtightness of structures, renovation project

Sisältö

1	Johdanto	5
1.1	Työn tausta ja tavoite	5
1.2	Joensuun tilakeskus organisaationa	5
2	Rakenteiden ilmatiiviys	6
2.1	Ilmanvuotoluku	6
2.2	Suomalaisen rakennuskannan ilmatiiviys (1950–2018)	7
2.3	Lainsäädäntö, rakentamismääräykset ja ohjeet	10
3	Sisäilman laatu	13
3.1	Sisäilman laatu	13
3.2	Rakennuksen ja rakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta	16
3.2.1	Kosteus	16
3.2.2	Kosteuden siirtyminen rakenteisiin	18
3.2.3	Lämpö	21
3.3	Rakennuksen painesuhteet	22
3.3.1	Tuuli	23
3.3.2	Savupiippuvaikutus	23
3.3.3	Ilmanvaihto	25
3.3.4	Tuulen, savupiippuvaikutuksen ja ilmanvaihdon yhteisvaikutus rakennuksen painesuhteisiin	26
3.4	Tiivistyskorjaukset sisäilmakorjauksina	26
4	Tiivistämisen tavoite	27
4.1	Epäpuhtauksien kulkeutumisen estäminen tiloihin ja terveyshaittaa aiheuttavan tekijän poistaminen	27
4.2	Kosteusrasituksen (konvektio) estäminen	27
4.3	Energiatehokkuuden parantaminen	27
5	Tiivistäminen korjaustapana	28
5.1	Sisäilmaongelman korjaustasot	28
5.2	Rakenteet, joita ei tule tiivistää ilman erityistä harkintaa	31
5.3	Toimenpiteen ja korjausmenetelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä	32
5.4	Tiivistyskorjausten arviointi korjausmenetelmänä	34
6	Rakennuttajan muistilista tiivistyskorjauksista	37
6.1	Tarvittavat esiselvitykset	37
6.2	Suunnitelmat	40
6.3	Työmaan perehdyttäminen ja tiivistyskorjausten toteutus työmaalla	43
6.4	Työn aikainen valvonta ja laadunvarmistus	44
6.5	Korjausten ylläpito	45
6.6	Korjausten onnistumisen jälkiseuranta	45
7	Pohdinta	46
	Lähteet	48

Liitteet

Liite 1 Rakennuttajan muistilista tiivistyskorjaukseen

1 Johdanto

1.1 Työn tausta ja tavoite

Opinnäytetyön aihe sai alkunsa kesällä 2017 työskennellessäni Joensuun kaupungin tekniseen keskukseen kuuluvassa kiinteistöpalvelut-yksikössä työnjohtajana. Isoin johdettavista työkohteistani oli sisäilmaongelmakohde, jossa tiivistyskorjausta käytettiin osana muita korjaustoimenpiteitä. Työskentelyn ohessa mietin, pystyisinkö tekemään opinnäytetyöni tiivistyskorjauksiin liittyen jollekin korjaushankkeessa mukana olleelle osapuolelle. Otin yhteyttä Joensuun tilakeskukseen, joka toimi korjaushankkeessa rakennuttajana, ja yhdessä rajasimme aiheen, joka vastasi tilakeskuksen rakennuttamisen tarpeita tiivistyskorjaustavan osalta.

Tiivistyskorjaus on ollut jo pitkään osana muita korjaustoimenpiteitä sisäilmaongelmakohteissa. Tässä opinnäytetyössä kootaan olemassa olevaa tietoa tiivistyskorjauksiin ja niihin vaikuttaviin taustatekijöihin liittyen. Opinnäytetyön tavoite on tuottaa Joensuun tilakeskukselle rakennuttajan muistilista tiivistyskorjauksen huomioimiseen korjaushankkeissa, apuvälineeksi korjaushankkeen sujuvaan hallintaan ja läpivientiin.

1.2 Joensuun tilakeskus organisaationa

Joensuun kaupungin organisaatio muodostuu konsernin johdosta sekä eri toimialoista; elinvoiman, hyvinvoinnin ja kaupunkiympäristön toimialoista [1]. Joensuun tilakeskus on osa kaupunkiympäristön toimialaa. Tilakeskus toimii kuitenkin erillisenä taseyksikkönä ja siitä vastaava luottamushenkilötoimielin on kaupunginhallituksen omistajaohjausjaosto. [2.] Joensuun tilakeskuksen tehtävä on hankkia kaupunkikonsernin tarvitsemat toimitilat ja näiden tilojen käyttäjien tarvitsemat kiinteistö- ja muut tilapalvelut. Tilakeskuksen vastuulla on myös kaupungin omistaman tilaomaisuuden ylläpito ja arvon säilyttäminen sekä tilaomaisuuden tehokkaan käytön suunnittelu. [3.]

2 Rakenteiden ilmatiiviys

2.1 Ilmanvuotoluku

Rakenteiden ilmatiiviyttä voidaan mitata rakennuksen ilmanpitävyyteen kehitetyllä kokeella, jossa rakennukseen aiheutetaan 50 pascalin [Pa] ali- tai ylipaine. Yleensä koe suoritetaan aiheuttamalla alipaine. Kokeessa mitataan ilman tilavuusvirta, joka rakennukseen täytyy puhaltaa (ylipainekoe) tai sieltä pois (alipainekoe), jotta rakennuksen vaipan yli saadaan haluttu paine-ero. Vaipalla tarkoitetaan rakennekerroksia, jotka erottavat rakennuksen lämpimät osat kylmistä osista ja ulkoilmasta. Kokeen perusteella laskettava ilmanvuotoluku kertoo, kuinka tiivis rakennuksen vaippa on. [4, 155–156.]

Aikaisemmin käytössä on ollut ilmanvuotoluku n_{50} , joka kertoo, montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa:n paine-ero ulkoilmaan nähden [5, 2]. Rakennuksen sisätilavuus mitataan ulkovaipan sisäpintojen mukaan, välipohjia ei lasketa ilmatilavuuteen. Ilmanvuotoluku n_{50} lasketaan kaavalla 1. [5, 11–12.]

$$n_{50} = Q_{50}/V \quad (1)$$

missä

n_{50} = ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, 1/h

Q_{50} = ilman tilavuusvirta 50 Pa:n paine-eron aiheuttamiseksi, m³/h

V = rakennuksen sisätilavuus, m³

Ilmanvuotoluvun laskentaperusteet muuttuivat 1.7.2012. Nyt voimassaolevissa määräyksissä ohjeistetaan käyttämään ilmanvuotolukua q_{50} . Tiiviyskokeen raportoinnissa esitetään molemmat luvut.

Ilmanvuotoluku q_{50} ilmoittaa vaipan keskimääräisen vuotoilmavirran tunnissa 50 Pa:n paine-erolla kokonaissisämittojen mukaan laskettua vaipan pinta-alaa kohden. Vaipan pinta-alaan lasketaan ulkoseinät aukotuksineen sekä ylä- ja alapohja. Ilmanvuotoluku q_{50} saadaan laskettua kaavalla 2. [4, 155–156.]

$$q_{50} = Q_{50}/A \quad (2)$$

missä

q_{50} = ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$

Q_{50} = ilman tilavuusvirta 50 Pa:n paine-eron aiheuttamiseksi, m^3/h

A = rakennuksen vaipan ala sisämittojen mukaan laskettuna, m^2

Ilmanvuotoluku on yksinkertaisesti mitattavissa oleva suure, jonka avulla rakennusten ilmatiiviyttä voidaan verrata keskenään [6, 125]. Rakennuksen sisätilavuuden kasvaessa yleensä myös suhde V/A kasvaa. Tämän seurauksena ilmanvuotoluku n_{50} pienenee yleensä rakennuksen tilavuuden kasvaessa, vaikka vaipan ilmanpitävyys ei paranekaan. Tästä johtuen ilmanvuotoluku q_{50} kuvaa paremmin vaipan todellista ilmanpitävyyttä suuremmissa rakennuksissa. Pientalojen kohdalla ilmanvuotoluvut n_{50} ja q_{50} ovat samaa suuruusluokkaa. [5, 11.]

Uuden rakennuksen ilmanvuotoluku q_{50} voi olla enintään $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Ilmanvuotoluku voi ylittää edellä mainitun arvon, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut sitä edellyttävät. [7, § 27.] Vaikka asetus antaa liikkumavaraa, uudisrakentamisessa tavoitearvona pidetään kuitenkin $q_{50} < 1,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, jotta saavutetaan hyvä sisäympäristön laatu ja vastataan paremmin energiatehokkuudesta asetettuihin vaatimuksiin [8, 11].

2.2 Suomalaisen rakennuskannan ilmatiiviyys (1950–2018)

Ilmatiiviyksmittauksista kerätystä tiedosta voidaan seurata, miten rakennusten vaipan ilmatiiviyys on kehittynyt viime vuosikymmenten aikana. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT, on kerännyt tietoa rakennusten vaipan ilmanpitävyydestä jo vuonna 1983 julkaisemassa tutkimuksessaan [9].

VTT:n tutkimuksessa on suoritettu tuolloin mittauksia 93 pientalossa. Tutkimuksen mukaan ennen vuotta 1955 rakennettujen paikalla tehtyjen hirsiseinäisten sekä ranko- ja lautaseinäisten purueristeisten puutalojen ($n=5$) ilmanvuotoluvun n_{50} keskiarvo on 7,3. Vuoden 1955 jälkeen rakennettujen paikalla tehtyjen ranko- ja levyseinäisten mineraalivillaeristeisten puutalojen ($n=31$) ilmanvuotoluvun n_{50}

keskiarvoksi on mitattu 8,5. Vuosien 1978–1981 aikana rakennettujen puuelementtitalojen (n=44) ilmanvuotoluvun n_{50} keskiarvo on 6. 1970-luvun aikana rakennettujen betonisandwich-elementtitalojen (n=5) ilmanvuotoluvun n_{50} keskiarvoksi on mitattu 3,5. Vuosien 1976–1980 aikana rakennettujen kevytbetonitalojen (n=5) ilmanvuotoluvun n_{50} keskiarvo on 3. Vuosien 1970–1980 aikana rakennettujen tiilirakenteisten pientalojen (n=3) ilmanvuotoluvun n_{50} keskiarvoksi on mitattu 9,6. [9, 32–36.]

VTT:n tutkimuksessa on havaittu, että joissakin mittauskohteissa suunnitellut tiivistysratkaisut ovat jääneet osittain tai täysin toteutumatta lähinnä kiireen, rakentajien huolimattomuuden ja rakennusaikaisen valvonnan riittämättömyyden vuoksi. Hirsiseinäisten ja purueristeisten puutalojen keskimääräistä parempi tiiviys verrattuna muihin paikalla rakennettuihin puutaloihin selittyy suurelta osin niiden vaipassa olevilla pahvi-, paperi- ja tapettikerroksilla, jotka parantavat tiiviyyttä. Lisäksi tutkimuksessa on päätelty, että 1970-luvulla paikalla rakennettujen, mineraalivillaeristeisten puutalojen huonompi tiiviys verrattuna aiemmin rakennettuihin vastaavanlaisiin taloihin voi johtua suurelta osin ammattitaidottomien työläisten osallistumisesta rakentamiseen huomattavasti entistä enemmän sekä aiempaa nopeammasta rakentamisesta erityisesti 1970-luvun puolella välissä. Rakennusten vaipan tiiviyyteen on alettu kiinnittämään huomiota 1970-luvun lopulla, joten rakennusten vaipan ilmatiiviys on parantunut siirryttäessä 1980-luvulle. Tutkimuksessa kivirakenteisten pientalojen, lukuun ottamatta tiilitaloja, on todettu olevan tiiviimpiä kuin puisten rakennusten. [9, 36–38.]

Rakennusten vaipan ilmanpitävyydestä on myös uudempaa tutkimustietoa. Vuonna 2013 tehdyssä tutkimuksessa [10] on kerätty tiiviysmittaustuloksia sertifioiduilta mittaajilta. Tutkimuksessa on ollut mukana yli tuhat rakennusta, joista 725 omakotitaloa, 112 rivi- tai paritalo- huoneistoa, 61 kerrostaloa, 55 kerrostalo- huoneistoa ja 83 muuta rakennusta. Muut rakennukset ovat teollisuus-, varasto-, myymälä-, liike ja koulurakennuksia. Rakennukset ovat vuosilta 1920–2012, huomattavan enemmistön ollessa kuitenkin vuoden 2000 jälkeen valmistuneita. [10, 44.]

Tutkimuksen mukaan vuosina 1950–1999 rakennettujen yksikerroksisten puurunkoisten pientalojen ($n=8$) ilmanvuotolukujen n_{50} ja q_{50} keskiarvot ovat 7 ja 8,3. Tiiveimmät tälle ajanjaksolle sijoittuvat rakennukset ovat valmistuneet 1990-luvun loppupuolella. Vuosien 2000–2009 aikana rakennetuissa ($n=46$) ilmanvuotolukujen keskiarvot ovat 2 ja 1,3. Vuonna 2010 tai sen jälkeen rakennetuissa ($n=528$) ilmanvuotolukujen keskiarvot ovat 1,1 ja 0,9. [10, 48–50.]

Vuosina 1950–1999 rakennettujen useampikerroksisten puurunkoisten pientalojen ($n=15$) ilmanvuotolukujen n_{50} ja q_{50} keskiarvot ovat 7,6 ja 7,9. Kuten yksikerroksisten puurunkoisten pientalojen kohdalla, tämän ajanjakson tiiveimmät rakennukset on rakennettu 1990-luvun loppupuolella. Vuosien 2000–2009 aikana rakennetuissa ($n=22$) ilmanvuotolukujen keskiarvot ovat 2,5 ja 3. Vuonna 2010 tai sen jälkeen rakennetuissa ($n=100$) ilmanvuotolukujen keskiarvot ovat 1,4 ja 1,4. [10, 50–52.]

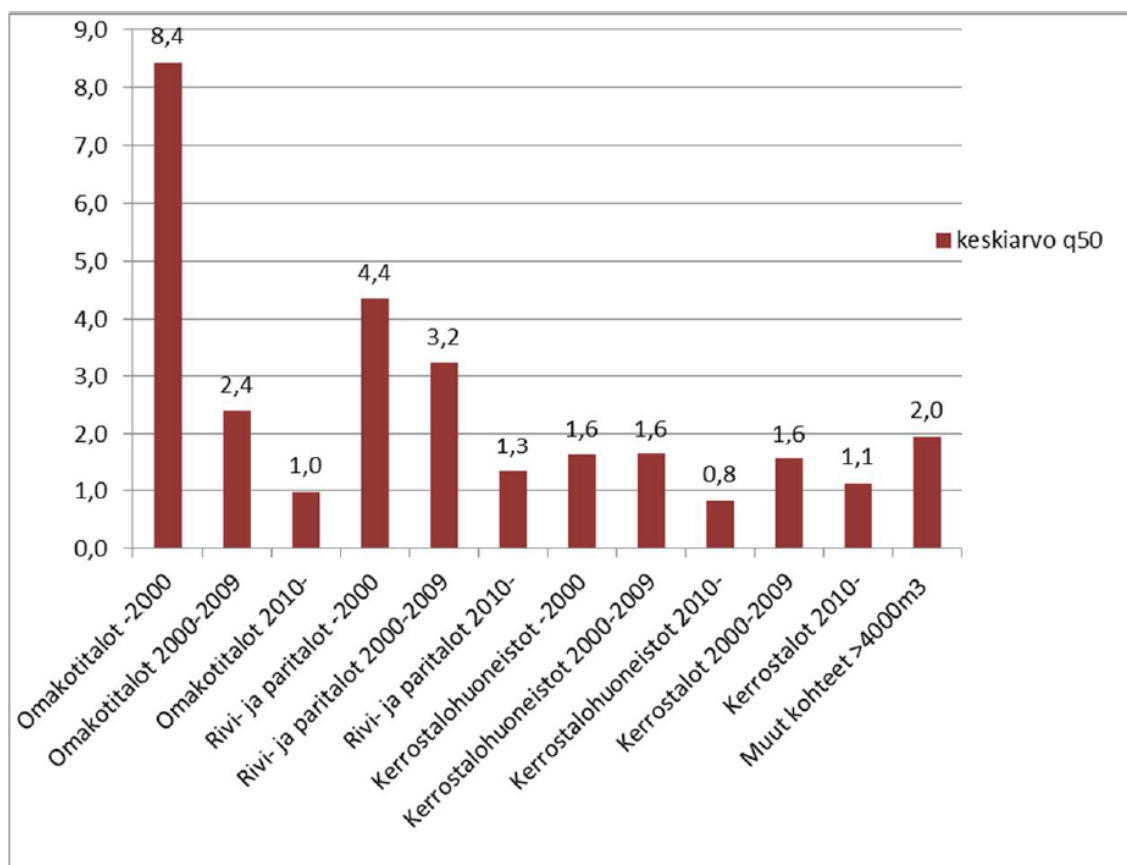
Tutkimuksessa kivrunkoisten pientalojen on todettu olevan pääsääntöisesti hyviä ilmanpitävyydeltään. Kivrunkoisten yksikerroksisten pientalojen ilmanvuotolukujen n_{50} ja q_{50} keskiarvot ovat 1,2 ja 0,7. Useampikerroksisten kivrunkoisten pientalojen ilmanvuotolukujen keskiarvot ovat 0,9 ja 1,3. [10, 53.]

Tutkimuksessa on ollut mukana myös hirsirunkoisia pientaloja. Niiden ilmanvuotolukujen n_{50} ja q_{50} keskiarvot ovat 6,5 ja 9,6. Hirsirunkoiset rakennukset ovat vaikeita tai jopa mahdottomia toteuttaa hyvin ilmanpitäviksi niiden liitosrakenteiden takia. [10, 54.]

Kerrostalojen osalta tutkimuksessa on ollut mukana koko rakennuksen käsittäviä mittaustuloksia 52 ja huoneistokohtaisia tuloksia 64. Koko rakennuksen käsittävien ilmanvuotolukujen n_{50} ja q_{50} keskiarvot ovat 0,6 ja 1,2. Huoneistokohtaisten ilmanvuotolukujen n_{50} ja q_{50} keskiarvot ovat 1,7 ja 1,1. [10, 55–56.]

Tutkimuksessa mukana olleet muut kuin asuinrakennukset on rakennettu vuosina 2004–2012. Muiden tilavuudeltaan alle 4000 m³:n rakennusten ilmanvuotolukujen n_{50} ja q_{50} keskiarvot ovat 1,4 ja 2,1. Muiden tilavuudeltaan yli 4000 m³:n rakennusten ilmanvuotolukujen n_{50} ja q_{50} keskiarvot ovat 0,7 ja 2. [10, 60–61.]

Tutkimuksista [9; 10] havaitaan, että rakennusten ilmatiiviys on kehittynyt viime vuosikymmenten aikana. Suurin kehitys on tapahtunut 2000-luvun vaihteessa. Ilmatiiviyden kehitys on ollut kuitenkin vielä selkeästi havaittavissa myös 2010-luvulla. Kuviosta 1 voidaan nähdä, miten rakennusten ilmatiiviys on kehittynyt nykytasolleen. Nykyään rakentamisessa kiinnitetään yhä enemmän huomiota rakenteiden ilmatiiviyteen energiatehokkuusvaatimusten, rakennusfysikaalisen toimivuuden ja hyvän sisäilmaston vuoksi.



Kuvio 1. Ilmanvuotoluvun q_{50} kehittyminen rakennustyypeittäin (Immonen 2013).

2.3 Lainsäädäntö, rakentamismääräykset ja ohjeet

Suomessa rakentamista säännellään maankäyttö- ja rakennuslailla sekä tarkemmillä valtioneuvoston ja ympäristöministeriön antamilla asetuksilla, jotka kootaan Suomen rakentamismääräyskokoelmaan. Kokoelman asetukset ovat perinteisesti koskeneet uuden rakennuksen rakentamista ja korjaus- tai muutostöissä

asetuksia on sovellettu vain siltä osin kuin toimenpiteen laatu ja laajuus ovat edellyttäneet.

Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan korjaus- ja muutostyötä varten on haettava rakennuslupa, jos työllä voi olla vaikutusta rakennuksen käyttäjien terveydellisiin oloihin [11, § 125]. Sisäilmaongelmakohteiden korjauksille haetaan rakennuslupa käytännössä kuitenkin melko harvoin, jos korjaukseen ei sisälly muita rakennuslupaa edellyttäviä toimenpiteitä [12, 26]. Luvanvaraisuus on selvitettävä korjaussuunnitteluvaiheessa rakennusvalvontaviranomaiselta. Luvanvaraisessa rakennushankkeessa rakennuksen vaipan ilmatiiviyttä parantavien toimenpiteiden jälkeen on varmistettava lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän oikea ja energiatehokas toiminta, tehtävä tarpeellisin osin taloteknisten järjestelmien tasapainotus ja säätö sekä esitettävä todennus tehdyistä toimenpiteistä rakennusvalvontaviranomaiselle loppukatselmuksen yhteydessä [13, § 12].

Maankäyttö- ja rakennuslaissa asetetaan myös vaatimuksia rakennuksen terveellisyydelle. Rakennus ei saa aiheuttaa terveyden vaarantumista esimerkiksi sisäilman epäpuhtauksien tai rakennuksen osien ja rakenteiden kosteuden vuoksi. Rakentamisessa käytettävät tuotteet eivät saa suunnitellun käyttöikänsä aikana aiheuttaa sisäilmaan sellaisia päästöjä, joita ei voida pitää hyväksyttävänä. [11, § 117 c.] Lisäksi rakennukseen kohdistuvat korjaus- ja muutostyöt eivät saa heikentää rakennuksen käyttäjien terveydellisiä oloja [11, § 117].

Rakenteiden ilmatiiviydelle on asetettu vaatimuksia ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. Rakennuksen vaipan, liitosten sekä sisärakenteiden ilmatiiviyden on estettävä vesihöyryn rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden kannalta haitallinen siirtyminen rakenteisiin [14, § 6]. Jos rakenteessa on ilman- tai höyrynsulku, sen reunojen, saumojen ja läpivientikohtien on oltava tiiviitä [14, § 24].

Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta asetetaan vaatimuksia rakennuksen painesuhteille sekä rakenteiden ilmatiiviydelle. Rakennuksen ulko- ja ulospuhallusilmavirrat tulee suunnitella si-

ten, ettei rakenteisiin aiheudu ylipaineen vuoksi rakenteita vaurioittavaa pitkäaikaista kosteusrasitusta. Toisaalta alipaineen vuoksi ei saa aiheutua epäpuhtauksien siirtymistä sisäilmaan. Rakennuksen vaipan ja sisärakenteiden ilmatiiviyys sekä savupiippuvaikutuksen hallinta tulee suunnitella siten, että ilmanvaihdon toiminnan edellytykset varmistetaan ja vältetään rakenteissa olevien epäpuhtauksien, maaperässä olevien epäpuhtauksien ja radonin siirtymistä sisäilmaan sekä vältetään kosteuden siirtymistä rakenteisiin. [15, § 21.]

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta sisältää vaatimuksen ilmanvuotoluvulle. Uuden rakennuksen ilmanvuotoluku q_{50} voi olla enintään $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Ilmanvuotoluku voi ylittää edellä mainitun arvon, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut sitä edellyttävät. [7, § 27.]

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta asettaa vaatimuksen, jonka mukaan palon ja savun leviäminen rakennuksessa tulee rajoittaa palo-osastoinneilla [16, § 14]. Osastoivassa rakennusosassa sijaitsevat läpiviennit eivät saa heikentää rakennusosan osastoivuutta olennaisesti [16, § 18]. Rakenteiden liitosten ja läpivientien on oltava siis ilmatiiviitä myös palo-osastointia koskevien vaatimusten takia.

Maankäyttö- ja rakennuslaki sekä Suomen rakentamismääräyskokoelmaan kerätyt tarkemmat ympäristöministeriön asetukset näyttävät muodostavan selkeän yhtenäisen linjan. Annetut vaatimukset korostavat rakenteiden ilmatiiviyden merkitystä sisäilmaston terveellisyyden, energiatehokkuuden ja paloturvallisuuden kannalta.

Lainsäädännön ja rakentamismääräysten lisäksi rakenteiden ilmatiiviyttä käsitellään erillisissä ohjeissa ja julkaisuissa. Seuraavassa mainitaan muutamia niistä.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n julkaisussa RIL 107-2012 ”Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet” (2012) on annettu ohjeita eri rakenteiden ilmatiiviyden toteutuksesta. Myös Tampereen Teknillisen Yliopiston julkaisussa Tutkimusraportti 141 ”Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus

asuinrakennuksissa” (Aho ym., 2009) esitetään ohjeita ilmatiiviiden rakenteiden ja liitosten toteutuksesta.

Opetushallituksen julkaisussa ”Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen” (Asikainen ym., 2008) käsitellään tiivistämistä muiden korjaustapojen joukossa. Julkaisussa kerrotaan ilmavuotojen paikallistamismenetelmistä, tiivistyksen suunnittelusta ja toteutuksesta sekä tiivistystyön laadunvarmistuksesta. Julkaisussa esitellään myös detaljeja ja käsitellään tiivistyskorjauksen soveltuvuutta eri rakenteille.

Ympäristöministeriön julkaisussa Ympäristöopas 2016 ”Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus” (Pitkäranta ym., 2016) kerrotaan rakennuksen painesuhteiden ja ilmatiiviyden merkityksestä rakenteiden toimintaan ja sisäilman laatuun. Julkaisussa käydään myös läpi aiheeseen liittyvää rakennusfysiikkaa.

Rakennustietosäätiö RTS:n julkaisussa RT 14-11197 ”Rakenteiden ilmatiiviyden tarkastelu merkkiainekokein” (2015) esitetään ohjeet merkkiainekokeiden suorittamiseen. Ohjeiden mukaisia merkkiainekokeita voidaan käyttää laadunvarmistukseen tiivistystyössä tai uudisrakentamisessa sekä rakennusten sisäilma- ja kuntotutkimuksissa.

3 Sisäilman laatu

3.1 Sisäilman laatu

Rakennuksessa koettuun sisäilman laatuun vaikuttavat yleensä useat eri tekijät. Yleisesti rakenteiden kosteus- ja mikrobivauriot aiheuttavat merkittävässä määrin sisäilmaongelmia, mutta sisäilman laatua heikentävät myös monet muut, edellä mainituista riippumattomat tekijät. Tällaisia voivat olla esimerkiksi lämpö- ja kosteusolosuhteet, muun muassa vetoisuus, kuiva huoneilma ja liian korkea lämpötila, ilmanvaihtojärjestelmän puutteet tai väärät säädöt. Ilmanvaihdon ollessa väärin säädetty paine-erojen aiheuttamat vuotoilmavirtaukset voivat lisätä

epäpuhtauksien kulkeutumista rakenteista sisäilmaan. Liian vähäinen ilmanvaihto puolestaan ei kuljeta ilmassa olevia epäpuhtauksia tarpeeksi tehokkaasti pois tilasta. Lisäksi sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat pöly sekä kemialliset, hiukkasmaiset ja kuitumaiset päästöt. Yleensä sisäilmaongelmat koostuvat yhden tekijän sijaan useista eri tekijöistä yhdessä. [17, 14.] Taulukossa 1 on esitetty yleisimpiä sisäilman laatua heikentäviä tekijöitä.

Taulukko 1. Yleisimmät sisäilman laatua heikentävät tekijät (Pitkäranta 2016).

Epäpuhtaus tai muu haittatekijä	Tavanomainen lähde/syy	Haitta / oire
Allergeenit	Koti- ja lemmikkieläimet, siitepölyt, kemikaalit, pöly- ja varastopunkit, mikrobikasvustot	Allerginen nuha, silmä-, astma- ja iho-oireilu
Ammoniakki	Materiaalien kosteusvauriot, viemärit, lemmikkieläimet, tupakointi	Hajuhaitat, ärsytysoireet
Asbestikuidut	Useat eri rakennusmateriaalit	Syöpäriskin kasvu, asbestoosi
Formaldehydi	Lastulevyn ym. materiaalien kosteusvauriot, sisustus tuotteet, tekstiilit ja pesuaineet	Hajuhaitat, ärsytysoireet, kosketusihottuma, syöpäriskin kasvu.
Hiilidioksidi (CO ₂)	Ihmiset, lemmikkieläimet, heikko ilmanvaihto	Suuri pitoisuus viittaa tilojen käyttöön nähden riittämättömään ilmanvaihtoon. Erittäin korkeissa pitoisuuksissa väsymys, päänsärky.
Hiilimonoksidi (häkä, CO)	Tulisijat, liikenne	Häkämyrkytys, tukehtumiskuolema
Häiritsevät hajut	Materiaalien kosteusvauriot, ilmavuodot rakenteista, materiaalit, kemikaalit, käyttäjät	Ärsytysoireet, epämukavuus
Vähäinen ilmanvaihtuvuus	Heikkotehoinen ilmanvaihto, IV-järjestelmän viat, ilmanjaon puutteet	Epäpuhtauksien kertymisestä aiheutuva oireilu ja epämukavuus
Liiallinen alipaineisuus rakennuksen ulkovaipan yli	Ulkoilmavirtoihin nähden liialliset poistoilmamäärät	Epäpuhtauksien kulkeutuminen rakenteista sisäilmaan
Kuiva sisäilma	Kylmä ja kuiva ulkoilma	Ihon ja limakalvojen ärsytysoireet, oireiluherkkyuden kasvu
Lämpötila, liian matala tai korkea, vetoisuus	LVI-järjestelmän puutteet ja säätövirheet, pintasäteily, ilmavuodot	Epämukavuus, sairastavuuden lisääntyminen
Mikrobit ja niiden aineenvaihdintatuotteet	Kosteus- ja mikrobivauriot, ilmavuodot rakenteista, IV-kanaviston epäpuhtaudet kosteissa järjestelmänosissa	Hengitystieärsytys, astma, allergiset sairaudet, hengitystieinfektioiden lisääntyminen, yleisoireet
Otsoni	Ilmanpuhdistimet, kopiokoneet	Hengitystieiden ärsytysoireet. Voimistaa allergeenien vaikutusta
PAH-yhdisteet	Vanhat kosteuseristeet, kivihiilipiki, polttotapahtumat	Hajuhaitat, syöpäriskin kasvu
PCB	Rakennusmateriaalit, mm. elementti-saumaussmassat ja maalit, lämmönsiirto-aineet	Syöpäriskin kasvu
Pienhiukkaset	Ulkoilma (teollisuus, liikenne), tupakan savu, kopiokoneet, kosteusvauriot, pienpoltto, kynttilät ja tulisijat	Viihtyvyyshaitat, sydän- ja hengityselinsairaudet, astma
Radon	Maaperä, rakennuksen alustäyttö	Keuhkosyöpäriskin kasvu
Teolliset mineraalivillakuidut	Lämmön- ja ääneneristysmateriaalit rakenteissa ja IV-järjestelmässä	Silmien ja hengitystieiden ärsytysoireet
VOC-yhdisteet (haihtuvat orgaaniset yhdisteet, engl. volatile organic compounds)	Kosteusvauriot, rakennusmateriaalit, sisustusmateriaalit, tekstiilit, pesuaineet, kosmetiikka, ihmiset ja lemmikkieläimet	Ärsytysoireet, astma
Öljyhiilivedyt	Rakennusmateriaalit (mm. valuasfaltti), öljyvahingot rakenteisiin ja maaperään rakennuksen alla	Hajuhaitat

Sisäilman laatua voidaan tutkia erilaisilla mittausmenetelmillä. Kirjallisuudessa on esitetty viitearvoja sisäilman fysikaalisille olosuhteille, kemiallisille ja mikrobiologisille epäpuhtauksille sekä hiukkasten ja kuitujen määrille ja pitoisuuksille. Sisäilman laatua voidaan siis arvioida vertaamalla mittaustuloksia viitearvoihin. Vaikka mittaustulokset viitearvojen perusteella osoittaisivat sisäilman laadun olevan kelvollinen, yksilö voi kuitenkin kokea sisäilman laadun huonona. Yksilön kokemukseen sisäilman laadusta vaikuttavat yksilölliset erot. [12, 40.] Osa varsinkin mikrobien aiheuttamille terveyshaitoille altistuvista ihmisistä tulee altistuksen jatkuessa herkemmäksi eli reagoi jatkossa pienempiin sisäilman epäpuhtauksien pitoisuuksiin. Yleisesti oletetaan myös, että samanaikainen altistuminen useille mikrobilajeille on perimmäinen syy, miksi pienetkin pitoisuudet aiheuttavat joissakin tapauksissa terveyshaittoja. Kvantitatiivista tietoa eri mikrobilajien samanaikaisista hyväksyttävistä pitoisuuksista ei ole olemassa. [18, 52–54.]

Yksi rakentamisen ja korjausrakentamisen tärkeimmistä tavoitteista tulisi olla hyvän sisäilmaston luominen rakennukseen. Sisäilmastolla tarkoitetaan kaikkia tekijöitä, jotka vaikuttavat sisäilman laatuun. Rakennustietosäätiö RTS on julkaisussaan RT 07-11299 ”Sisäilmastoluokitus 2018 – Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset” (2018) esitellyt sisäilmastoluokat, joita voidaan käyttää apuna suunniteltaessa ja rakennettaessa entistä terveellisempiä ja viihtyisämpiä rakennuksia. Luokituksia voidaan käyttää korjausrakentamisessa soveltuvin osin. [8, 1–2.] Sisäilmastoluokat ovat:

S1: Yksilöllinen sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai yllämpenemistä esiinny. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät ääniolosuhteet, ja hyviä valaistusolosuhteita on tukemassa yksilöllisesti säädettävä valaistus.

S2: Hyvä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritseviä hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat hyvät. Vetoa ei yleensä esiinny, mutta yllämpeneminen on mahdollista kesäpäivinä. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet.

S3: Tyydyttävä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät maankäyttö- ja rakennuslain nojalla annetut säädökset ja terveysuojelulain perusteella asetetut vähimmäisvaatimukset. Asetusten vaatimusten täyttyminen ei välttämättä edellytä S3-luokan tavoitearvojen käyttämistä. S3-luokan arvot esitetään tässä ensisijaisesti vertailun tueksi. [8, 5.]

Julkaisussa esitetään tavoitearvot eri sisäilmastoluokille. Tavoitearvoja on esitetty esimerkiksi operatiiviselle lämpötilalle, ilman liikenopeudelle, hiilidioksidipitoisuuslisälle, radonpitoisuudelle, hiukkaspitoisuuksille ja ilman suhteelliselle kosteudelle. [8, 5–9.]

3.2 Rakennuksen ja rakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta

3.2.1 Kosteus

Kosteusvauriot syntyvät rakenteeseen tai materiaaliin pitkään kohdistuneesta kosteusrasituksesta. Pitkään kosteina pysyvissä rakenteissa tai materiaaleissa voi alkaa kasvaa mikrobeja. Yksittäisen kosteusrasituksen kuivuessa riittävän nopeasti mikrobien kasvu ei ehdi alkaa. Rakenteisiin kohdistuvat kosteusrasitukset ja rakenteiden kuivumiskyky perustuvat erilaisiin fysikaalisiin kosteuden siirtymistapoihin tai siirtymistapojen yhdistelmiin. [17, 101.]

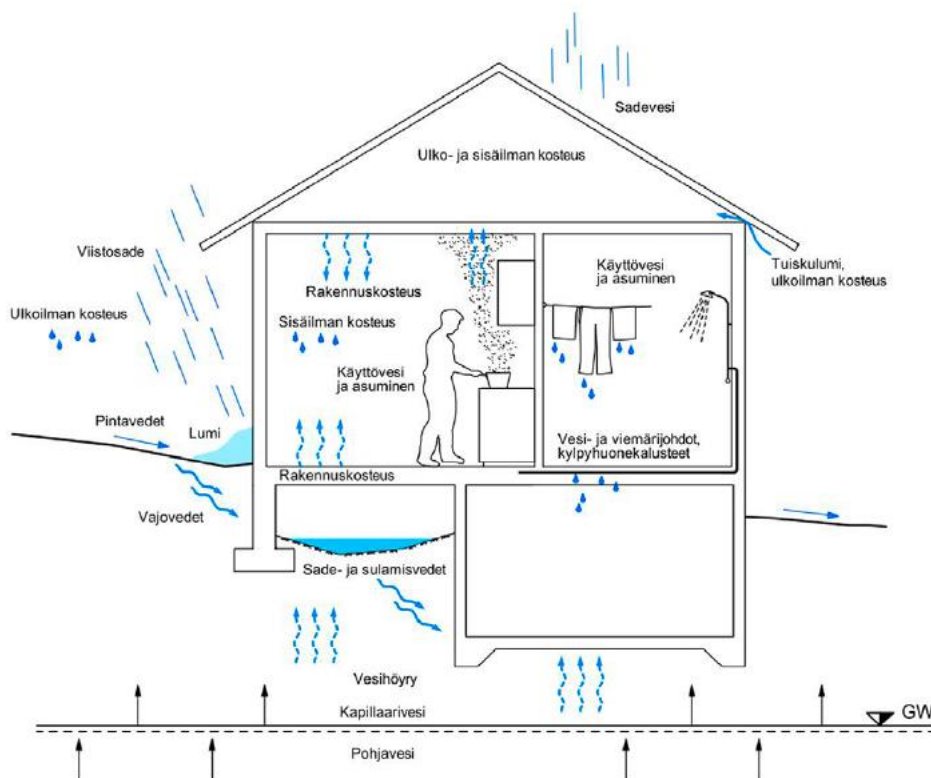
Vesi esiintyy kolmessa eri olomuodossa; vesihöyrynä, vetenä ja jäänä. Vesi muuttaa olomuotoaan lämpötilan vaikutuksesta. Vesihöyryn tiivistymistä vedeksi, kutsutaan kondensoitumiseksi. Vesihöyry kondensoituu rakenteen pinnalle tai huokosseinämään, joutuessaan kosketuksiin sellaisen pinnan tai huokosseinämän kanssa, jonka lämpötila alittaa ympäröivän ilman kastepistelämpötilan. [17, 101.] Tavallisimpia syitä rakennuksissa esiintyvälle kondensoitumiselle ovat esimerkiksi:

- liian alhainen huonetilan sisäpinnan lämpötila (esimerkiksi kylmä ikkunalaus tai kylmäsillat rakenteessa)

- höyrynsulun väärä sijainti, puutteellisuus tai siinä olevat reiät, jotka mahdollistavat ilmavirtauksen sisältä ulos
- kirkkaina öinä yön vastasäteily alentaa rakennuksen vaipan ulkopintojen (esimerkiksi vesikate, erityisesti peltikate) lämpötilan alle ulkoilman lämpötilan
- rakenteiden kuivaaminen lämmittämällä tai rakennustöistä aiheutuva kosteus (esimerkiksi tasoitetyöt)
- kosteuden siirtyminen ilmavirran mukana tilaan, jossa on alempi lämpötila (esimerkiksi huonetilasta ullakotilaan). [17, 102; 19, 72.]

Nopeus, jolla kosteus höyrystyy eli haihtuu pinnalta, riippuu eri tekijöistä. Näitä ovat pinnan lämpötila, pinnalla virtaavan ilman nopeus, ilman lämpötila pinnan ympärillä, suhteellinen kosteus ja pintaan osuva auringonsäteily. [17, 102.]

Yleisimmät kosteuslähteet ovat sisäilman kosteus, ulkoilman kosteus, sade, maaperä tai putkivuodot [17, 106–111]. Kosteuslähteitä on havainnollistettu selkeästi kuvassa 1.



Kuva 1. Rakennuksen yleisimmät kosteuslähteet (Pitkäranta 2016).

Sisäilman kosteus riippuu ulkoilman kosteudesta, sisätilan kosteustuotosta ja tilan ilmanvaihtuvuudesta. Sisätilan kosteustuotto muodostuu esimerkiksi rakennuskosteudesta, ihmisistä, eläimistä, kasveista, käyttövedestä, ruoan laitosta ja pyykinkuivauksesta. Rakennuskosteus on kosteutta, jota rakenteisiin tai rakennusmateriaaleihin on jäänyt niiden valmistuksen, varastoinnin, kuljetuksen ja rakentamisen yhteydessä. Jos rakennustyö on suoritettu oikealla rakennerratkaisulla ja hyvää rakennustapaa noudattaen, pääosa ylimääräisestä rakennuskosteudesta poistuu vuoden sisällä rakennuksen käyttöönotosta. [17, 106–108.]

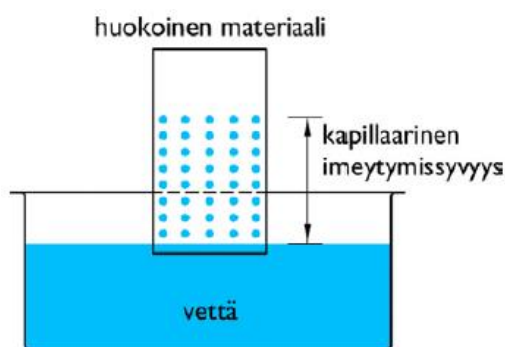
Ulkoilman kosteus riippuu vuodenajasta. Lämmin ilma pystyy sitomaan suuremman määrän kosteutta kuin kylmä ilma, joten kesällä vesihöyryn määrä ulkona on suurimmillaan. [17, 109.] Sateen aiheuttama kosteusrasitus on suurimmillaan syksyllä, jolloin sadejaksot ovat yleisiä ja vuorokautiset lämpötilamuutokset pieniä. Sade aiheuttaa kosteusrasitusta myös lumen muodossa. Kevyt lumi voi tunkeutua esimerkiksi yläpohjarakenteisiin. Lumen ja jään kasaantuessa ja sulaessa aiheutuu merkittäviä kosteusrasituksia. Maaperän aiheuttama kosteusrasitus muodostuu veden kapillaarinoususta ja rakenteeseen kohdistuvasta vedenpaineesta. Maaperän kosteusrasituksen määrä riippuu maalajin kapillaarisuudesta, pohjavedenpinnan korkeudesta ja salaojaverkoston toiminnasta. [17, 110–111.]

3.2.2 Kosteuden siirtyminen rakenteisiin

Kosteus siirtyy rakenteisiin ja rakenteissa kapillaarisesti, painovoimaisesti, diffuusiolla tai konvektiolla. Kosteuden siirtymistä voi tapahtua myös mainittujen siirtymistapojen yhdistelmillä. [17, 111–117.]

Kapillaarinen siirtyminen tarkoittaa huokosalipaineen erojen aiheuttamaa nesteen siirtymistä huokoisessa aineessa. Kuvassa 2 on esitetty kapillaarisen siirtymisen periaate. Huokosalipaineen suuruus määräytyy huokosen koon mukaan, pienemmällä huokosella on suurempi huokosalipaine. Siksi vesi voi siirtyä kapillaarisesti myös suuremmasta huokosesta pienempään huokoseen. Vesi nousee myös korkeammalle materiaalin huokosten ollessa pieniä. Veden kapillaarista

siirtymistä voi tapahtua huokoisessa materiaalissa pysty- tai vaakasuunnassa. Kosteuden kapillaarista siirtymistä ilmenee aina rakenteen ollessa kosketuksessa veteen tai kapillaarisesti yhteydessä toiseen kapillaarisella kosteusalueella olevaan materiaaliin tai maaperään. Myös kosteuden kondensoituminen rakenteisiin mahdollistaa kosteuden kapillaarisen siirtymisen rakenteissa. Kapillaarinen siirtyminen rakenteeseen on yleensä estettävä katkaisevalla ainekerroksella rakenteen kosteusteknisen toiminnan varmistamiseksi. [17, 111–112; 19, 68.]

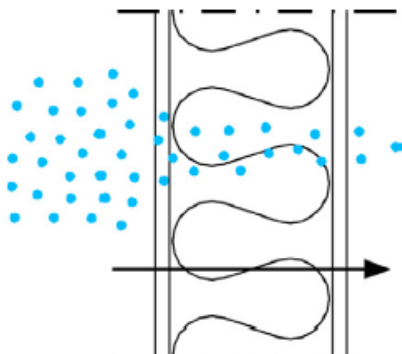


Kuva 2. Veden kapillaarinen siirtyminen huokoiseen materiaaliin (Pitkäranta 2016).

Painovoimainen siirtyminen tarkoittaa veden kulkeutumista alaspäin painovoiman vaikutuksesta. Vesi voi päästä kulkeutumaan rakenteiden sisään painovoimaisesti, jos veden johtaminen ulospäin rakenteista on toteutettu virheellisesti tai rakenteiden ulkopinnat eivät ole vesitiiviisti toteutettuja. Oikein toteutettujen sadevesijärjestelmien ja vierustäyttöjen avulla vesi on mahdollista johtaa hallitusti ulospäin rakenteiden ulkopinnoilta painovoimaisen siirtymisen ansiosta. Painovoimainen siirtyminen mahdollistaa myös salaojitusten käytön rakennuksen kuivattamiseksi. [17, 112–113.]

Diffuusiolla tarkoitetaan ilmiötä, jossa epätasaisesti jakautuneessa kaasuseoksessa olevat kaasumolekyylit pyrkivät liikkumaan siten, että syntyy tasaisesti jakautunut kaasuseos. Kosteuden siirtyminen diffuusiolla perustuu siis ilmiöön, jossa vesihöyryn pitoisuuserot pyrkivät tasaantumaan. Diffuusion suunta on aina suuremmasta vesihöyryn pitoisuudesta tai osapaineesta pienempään päin. Ylei-

simmin diffuusion suunta on rakennuksen sisältä ulospäin sisäilman kosteustuoton takia. [17, 113–114; 19, 70–71.] Kuvassa 3 on esitetty vesihöyryn diffuusion periaate.



Kuva 3. Periaatekuva vesihöyryn diffuusiosta. Pallot kuvaavat vesimolekyylejä. Nuoli näyttää diffuusion suunnan, suuremmasta pitoisuudesta pienempään päin (Pitkäranta 2016).

Kosteuden siirtyminen konvektiolla tarkoittaa vesihöyryn siirtymistä ilmavirran mukana. Konvektiolla tarkoitettava ilmavirtaus syntyy rakenteen yli vallitsevan ilman kokonaispaine-eron vaikutuksesta. Ilmavirran suunta on suuremmasta paineesta pienempään paineeseen päin. Rakennuksessa konvektio tapahtuu huokoisten materiaalien ja rakenteissa olevien rakojen läpi. Konvektiolla on kuivattava vaikutus rakenteelle, kun ilma lämpenee matkallaan rakenteen läpi. Kun ilma jäähtyy matkallaan rakenteen läpi, rakenne kastuu. Jos ilma jäähtyy rakenteessa alle kastepistelämpötilan, kosteus kondensoituu, eli tiivistyy rakenteeseen. [17, 115.]

Diffuusion haittojen estämiseksi rakenteeseen sijoitetaan yleensä riittävän vesihöyrytiivis kerros lämmöneristeen ja lämpimän sisätilan väliin. Lisäksi yleisperiaatteena tulisi olla, että kerroksellisessa seinärakenteessa vesihöyrynvastus pienenee sisältä ulospäin mentäessä. Rakenteen sisältäessä epätiivveyskohtia konvektiolla siirtyvän kosteuden määrä voi olla moninkertainen diffuusioon verrattuna. Konvektion estämiseksi rakenteen sisäpinnasta on tehtävä riittävän ilmatiivis haitallisten ilmapuotojen hallitsemiseksi. Lisäksi rakennus pidetään hieman

alipaineisena, jotta lämmintä ilmaa ei virtaa kylmiin rakenteisiin. [17, 115–117; 19, 71–72.]

3.2.3 Lämpö

Lämpö siirtyy rakenteessa johtumalla, säteilemällä tai konvektiolla. Käytännössä lämmönsiirtyminen tapahtuu kaikilla edellä mainituilla tavoilla samaan aikaan. [19, 40–41.]

Johtumisessa tapahtuu lämmön virtaamista molekyylien liike-energian siirtyessä molekyylistä toiseen. Lämpö virtaa lämpimästä kylmempään päin pyrkien tasoittumaan väliaineessa. Lämmön johtumista ilmenee kiinteissä aineissa ja nesteissä. [19, 40.]

Säteilyssä energia siirtyy valon nopeudella sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä. Kaikki kappaleet, joiden lämpötila on yli absoluuttisen nollapisteen, lähettävät säteilyä. Rakennustekniikassa säteilylämpöä esiintyy kahdessa muodossa, lyhytaaltoisena auringonsäteilynä ja pitkäaaltoisena kappaleiden säteilemänä lämpönä. Säteilyn aallonpituus vaikuttaa esimerkiksi ikkunan lämmönläpäisevyyteen. Auringon lähettämä lyhytaaltainen säteily läpäisee ikkunalaasin hyvin, mutta sisältä ulos pyrkivä pitkäaaltoinen lämpösäteily läpäisee ikkunan huonosti. Säteilyn osuessa johonkin pintaan, se heijastuu tai absorboituu. [19, 40.]

Konvektiossa lämmön siirtyminen tapahtuu kaasun tai nesteen virtauksen mukana. Konvektio voi esiintyä pakotettuna tai luonnollisesti. Pakotetussa konvektiossa jokin ulkopuolinen voima liikuttaa kaasua tai nestettä, esimerkiksi koneellinen ilmanvaihto, ihmisen liike tai tuuli. Luonnollisessa konvektiossa liikkeen saa aikaan lämpötilaerojen aiheuttama tiheysero. Puhtaasti luonnollinen konvektio on harvinaista. [19, 41.]

Lämmönsiirtyminen vaikuttaa myös kosteudensiirtymiseen. Ilman suhteellinen kosteus nousee rakenteen sisällä, jos rakenne pääsee viilenemään paikallisesti

sisäosistaan. Rakenteen sisäinen paikallinen viileneminen voi johtua esimerkiksi rakenteellisesta kylmäsillasta tai lämmöneristeen väärin toteutetusta asennuksesta. Jos rakenne viilenee kylmäsillan tai ilmavuodon kohdalta paikallisesti alle kastepistelämpötilan, kosteus tiivistyy rakenteen sisäpintaan tai sisälle aiheuttaen kosteusvaurioriskin. [17, 117.]

Rakenteen lämpötilamuutosten vaikutusta kosteuden siirtymiseen voi havainnollistaa esimerkiksi sateen kastelemasta tiilijulkisivusta ja sen kosteusteknisestä käyttäytymisestä auringonsäteilyn vaikutuksen kohteena. Auringonsäteily lämmittää julkisivua, jolloin tiilimuuraukseen imeytynyt vesi höyrystyy muurauksesta. Mikäli julkisivun tausta ei ole tehokkaasti tuulettuva, kosteus siirtyy sisäpuoliseen lämmöneristeeseen ja sisäkuoreen. Rakenteiden sisäosien ollessa huomattavasti julkisivua viileämpiä, kosteus voi tiivistyä höyrönsulun ulkopinnalle ja aiheuttaa ajan myötä kosteusvaurion. [17, 117.]

3.3 Rakennuksen painesuhteet

Rakennuksen painesuhteet muodostuvat tuulen, savupiippuvaikutuksen ja ilmanvaihdon yhteisvaikutuksesta. Rakennuksen tiloissa ja rakenteissa tapahtuvat ilmavirtaukset syntyvät paine-erojen seurauksena. Ilmavirtaukset siirtävät lämpöä ja kosteutta sekä kuljettavat mahdollisia epäpuhtauksia. Rakennukset suunnitellaan hieman alipaineisiksi kosteuskonvektion aiheuttaman kosteusvaurioriskin johdosta (katso luku 3.2.2). [17, 118.]

Rakenteissa ja maaperässä on lähes aina epäpuhtauksia. Siksi rakenteiden läpi ei pitäisi ottaa korvausilmaa tiloihin, vaan se tulisi tuoda tiloihin hallitusti ilmanvaihtojärjestelmän tai raitisilmaventtiilien kautta. Rakenteiden ja niiden liitosten ilmatiiviydellä on huomattava merkitys rakennuksen ilmanvaihdon toimintaan ja rakennuksen painesuhteisiin. [17, 118–119.]

Rakennuksen paine-eroja käsiteltäessä paineen mittayksikkönä käytetään pascalleita [Pa]. Normaaliolosuhteissa rakennuksen pitäisi olla alipaineinen ulkoil-

maan verrattuna 0–10 Pa. [20, 8.] Koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää käytettäessä ilmanvaihto tulisi suunnitella siten, että alipaine ulkoilmaan verrattuna on 0–2 Pa [17, 121].

3.3.1 Tuuli

Tuulen vaikutus rakennuksen sisä- ja ulkoilman välisiin paine-eroihin riippuu tuulen suunnasta ja voimakkuudesta, rakennuksen korkeudesta, muodosta ja sijainnista, sekä ympäröivistä rakennuksista ja ympäröivästä maastosta. Tuulen puoleiseen seinään tai kattopintaan kohdistuu ylipaine ja tuulensuojan puoleisiin pintoihin alipaine. Tuulen aiheuttamaa painetta voidaan arvioida yleisellä tasolla laskennallisesti, mutta sen tarkka määrittäminen on vaikeaa tuulen vaihtelevuudesta ja rakennusten monimutkaisemmista muodoista johtuen. [20, 10–11.]

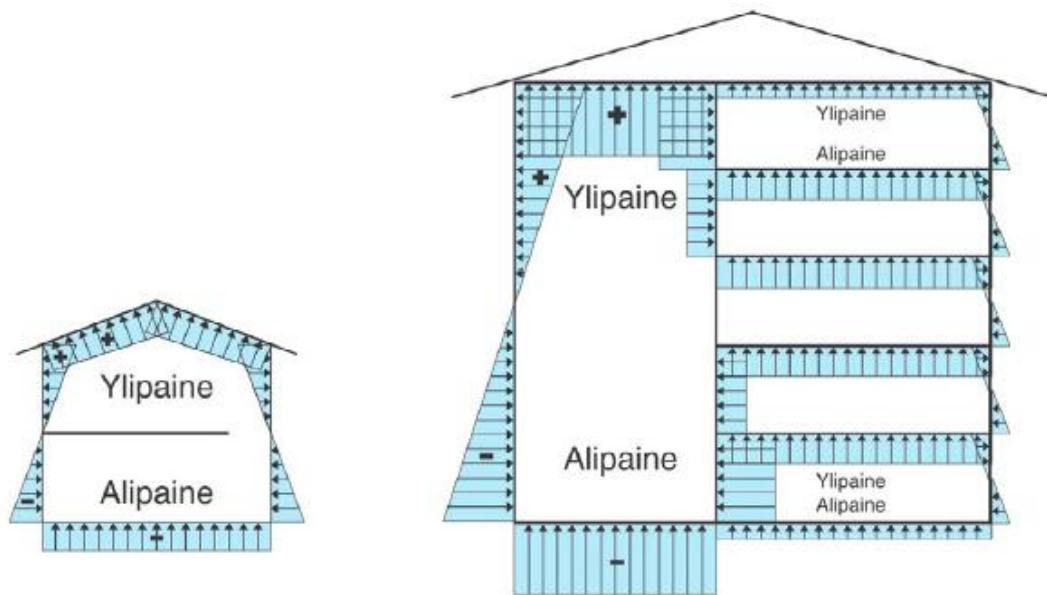
Tuuli aiheuttaa rakennuksen sisälle ylipaineen, jos tuulenpuoleinen seinä on epätiivimpi kuin muut seinät. Alipaine sisälle muodostuu tilanteessa, jossa suurin osa rakennuksen aukoista sijaitsee tuulensuojan puoleisella seinällä. [17, 119.]

3.3.2 Savupiippuvaikutus

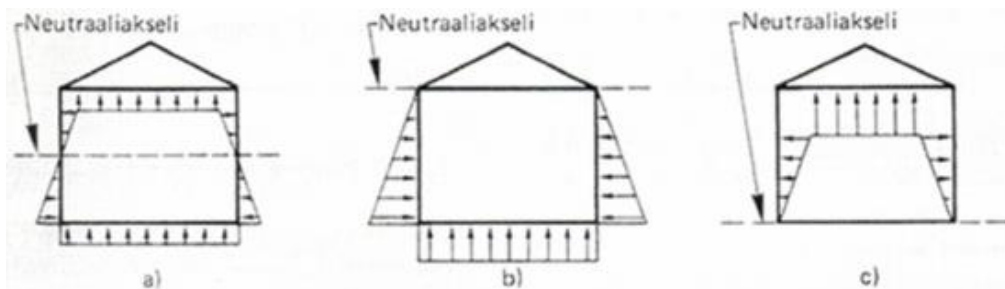
Savupiippuvaikutus tarkoittaa ilmiötä, jossa ulko- ja sisäilman lämpötilaero aiheuttaa paine-eron. Lämmin ilma on tiheydeltään pienempää ja kevyempää kuin kylmä ilma, joten se pyrkii nousemaan ylös aiheuttaen tilan yläosaan ylipaineen. Seurauksena lämpimän rakennuksen sisäpuolen tilojen alaosissa on alipaine ja yläosissa ylipaine ulkoilmaan verrattuna. Kylmä ilma pyrkii virtaamaan sisään rakennuksen alaosista ja lämmin ilma ulos yläosista. [20, 9.] Kuvassa 4 on havainnollistettu savupiippuvaikutuksen aiheuttama painejakauma tasatiiviiseen rakennukseen.

Niin kutsutulla neutraaliakselilla sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero on 0 Pa. Neutraaliakselin sijainti riippuu rakennuksen vaipan ilmapuotokohtien sijainneista. Jos ilmapuotokohdat ovat rakennuksen yläosissa, neutraaliakseli sijaitsee

ylhäällä ja rakennuksen alaosissa on suurempi alipaine. Jos ilmavuotokohtat ovat rakennuksen alaosissa, neutraaliakseli sijaitsee alhaalla ja rakennuksen yläosissa on suurempi ylipaine. Ilmavuotokohtien ollessa tasaisesti jakautuneena neutraaliakseli sijaitsee keskellä (kuva 5). [20, 9.] Käytännössä neutraaliakselin tarkan sijainnin määrittäminen on vaikeaa, koska sijainti riippuu rakennuksen ulkovaipan ilmavuotokohtien korkeusasemista ja niiden virtausvastuksista, jotka vaihtelevat vuotokohdasta riippuen [17, 120].



Kuva 4. Savupiippuvaikutuksen aiheuttama painejakauma. Ilmavuotokohtien ollessa tasaisesti jakautuneena neutraaliakseli sijaitsee vapaan ilmatilan keskellä (Kattoliitto ry 2013).



Kuva 5. Neutraaliakselin sijainti ja painejakaumat, kun a) rakennuksen ulkovaipan ilmavuotokohtat ovat jakautuneet tasaisesti, b) ilmavuotokohtat sijaitsevat rakennuksen yläosissa, c) ilmavuotokohtat sijaitsevat rakennuksen alaosissa (Björkholtz 1997).

Savupiippuvaikutuksesta aiheutuva rakennuksen sisäpuolinen ylipaine nousee neutraaliakselista ylöspäin noin 0,9 Pa metrin matkalla sisä- ja ulkolämpötilojen eron ollessa 20 °C. Savupiippuvaikutus on voimakkaimmillaan talvella, kun sisä- ja ulkoilman väliset lämpötilaerot ovat suuria. Rakennuksen vapaan ilmatilan korkeuden kasvaessa savupiippuvaikutus korostuu, samalla myös kosteuskonvektion mahdollisuus lisääntyy. Savupiippuvaikutuksesta rakennuksen yläosiin aiheutuva ylipaine voi kumota koneellisella ilmanvaihdolla aiheutetun alipaineen. Rakenteiden ilman ja vesihöyryn tiiviys on erityisesti otettava huomioon yli 10 metriä korkeissa tiloissa. [17, 120.]

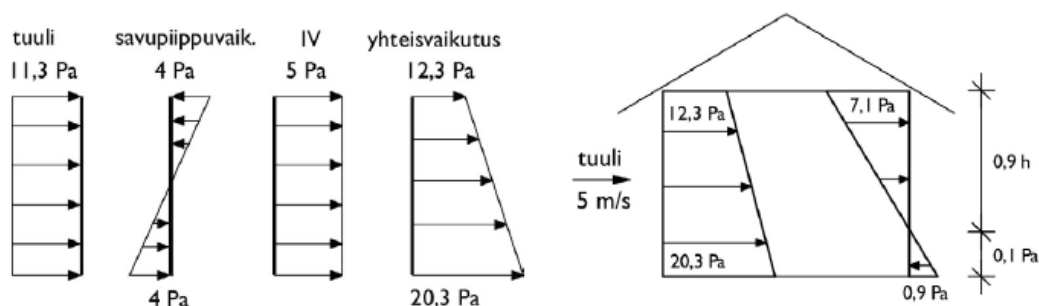
3.3.3 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon aiheuttama paine-ero sisä- ja ulkoilman välillä riippuu ilmanvaihdon toteutustavasta. Ilmanvaihto voidaan toteuttaa koneellisella tulo- ja poistoilmajärjestelmällä, painovoimaisella ilmanvaihtojärjestelmällä, koneellisella poistoilmavaihtojärjestelmällä tai kahden viimeksi mainitun yhdistelmällä. Painovoimainen ilmanvaihto perustuu savupiippuvaikutukseen ja oli yleisin järjestelmä 1960-luvulle asti. Koneellisten ilmanvaihtojärjestelmien aiheuttamat paine-erot riippuvat järjestelmän säädöstä, ulkovaipan tiiviyydestä ja tulo- ja poistoilmaventtiilien sijainnista. Koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä on tehokkain tapa toteuttaa ilmanvaihto, koska järjestelmää voi säätää. Mitä ilmatiiviimpi rakennuksen ulkovaippa on, sitä tarkemmin järjestelmä toimii. Väärin säädetty järjestelmä aiheuttaa usein suurimmat paine-erot rakennuksen ulkovaipan yli. [17, 121; 20, 11–12.]

Koneellisesta tulo- ja poistoilmajärjestelmästä aiheutuvat paine-erot riippuvat tulo- ja poistoilmavirtojen säädöstä. Kun tuloilmavirta on suurempi kuin poistoilmavirta, rakennus on ylipaineinen. Poistoilmavirran ollessa suurempi kuin tuloilmavirta rakennus on alipaineinen. Koneellisella tulo- ja poistoilmajärjestelmällä toteutettuna rakennuksen tulisi olla hieman alipaineinen, noin 0–2 Pa. Alipaineisuuden ylittäessä 15 Pa, alipaineisuuden syy tulisi selvittää ja tasapainottaa ilmanvaihtoa. [17, 121.]

3.3.4 Tuulen, savupiippuvaikutuksen ja ilmanvaihdon yhteisvaikutus rakennuksen painesuhteisiin

Kuten luvussa 3.3 todettiin, rakennuksen painesuhteet muodostuvat tuulen, savupiippuvaikutuksen ja ilmanvaihdon yhteisvaikutuksesta. Kuvassa 6 on esitetty periaate yhteisvaikutuksen aiheuttamista painejakaumista tuulen- ja suojanpuoleisiin seiniin rakennuksen ollessa tasatiivis. Painesuhteet vaihtelevat näiden tekijöiden vaikutuksesta vuorokauden- ja vuodenajasta riippuen. Tuuli ja ilmanvaihtojärjestelmän toiminta-ajat voivat muuttaa painesuhteita vuorokauden sisällä paljon. Savupiippuvaikutus muuttaa painesuhteita vuodenajasta riippuen. [17, 122.]



Kuva 6. Periaate tuulen, savupiippuvaikutuksen ja ilmanvaihdon yhteisvaikutuksesta (Ympäristöministeriö 1997).

3.4 Tiivistyskorjaukset sisäilmakorjauksina

Rakenteiden ilmatiivyyden parantamista, eli tiivistyskorjauksia, voidaan käyttää osana sisäilmakorjauksia. Tiivistyskorjauksia ei tule kuitenkaan koskaan käyttää ainoana korjaustoimenpiteenä vaan aina osana muita korjaustoimenpiteitä. Tiivistyskorjaus muuttaa aina rakennuksen painesuhteita. Tiivistyskorjauksen yhteydessä tulee vähintään selvittää ilmanvaihtojärjestelmän puhdistustarve sekä tarkastaa ja säätää tulo- ja poistoilmamäärien suhde vastaamaan muuttuneita painesuhteita koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää käytettäessä. Painovoimaista tai koneellista poistoilmanvaihtojärjestelmää käytettäessä tulee varmistaa hallitun korvausilman saannin riittävyys. [12, 59–61; 17, 119.] Tiivistämistä korjaustapana käsitellään luvussa 5.

4 Tiivistämisen tavoite

4.1 Epäpuhtauksien kulkeutumisen estäminen tiloihin ja terveystahaitta aiheuttavan tekijän poistaminen

Kuten luvuissa 3.1 ja 3.3 on jo todettu, alipaineen vallitessa vuotoilmavirtaukset rakenteiden läpi voivat kuljettaa mukanaan sisäilmaan epäpuhtauksia ja terveystahaitta aiheuttavia tekijöitä. Ulkovaipan sisäpinnan ilmatiiviyden parantamisella, eli liitosten, liikuntasauvojen, läpivientien ja halkeamien tiivistämisellä voidaan katkaista ilmavirtaukset ja estää niiden mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien ja terveystahaitta aiheuttavien tekijöiden kulkeutuminen rakenteista, maaperästä tai ulkoilmasta sisäilmaan. Samalla vaikutetaan myös lämpöviihtyvyyteen vedon tunteen vähentyessä ja sisäpintojen lämpötilojen noustessa. [12, 44; 20, 20.]

4.2 Kosteusrasituksen (konvektio) estäminen

Luvun 3.2.2 mukaisesti yksi kosteuden siirtymistavoista rakenteisiin tai rakenteissa on konvektio. Ilmiössä vesihöyry siirtyy ilmavirtauksen mukana. Ylipaineen vallitessa rakennuksessa tai sen osissa vuotoilmavirtausten suunta on sisältä ulospäin. Lämpimän sisäilman jäähtyessä matkallaan rakenteen läpi, aiheutuu kondensoitumisriski, eli ilmassa oleva vesihöyry voi tiivistyä rakenteiden kylmissä osissa vedeksi ja aiheuttaa kosteusvaurioriskin. Kosteuden siirtymistä rakenteisiin konvektiolla voidaan estää ulkovaipan sisäpinnan ilmatiiviyden parantamisella. [20, 16–17.]

4.3 Energiatohokkuuden parantaminen

Rakenteiden ilmatiiviyden parantamisella vaikutetaan suoraan rakennuksen energiankulutuksen pienenemiseen. Vuotoilmavirtausten katkaisemisen jälkeen rakennuksen lämpöhäviöt pienenevät, kun lämpö ei pääse ilmavirtausten mu-

kana ulos rakennuksesta eikä kylmää ilmaa pääse sisälle. Myös lämmöntalteenottolaitteistosta saadaan suurempi hyöty, kun ilma poistuu ainoastaan ilmanvaihtojärjestelmän kautta. [21, 7–8.]

Tampereen teknillisen yliopiston tutkimuksen mukaan vuotoilmavirtausten on todettu aiheuttavan 15–30 % tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysenergiankulutuksesta tavanomaisessa 2-kerroksisessa pientalossa, jonka ilmanvuotoluku n_{50} on 3,9 1/h. 2-kerroksisen pientalon tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysenergiankulutuksen on todettu kasvavan keskimäärin 7 % ja kokonaiskulutuksen 4% ilmanvuotoluvun n_{50} kasvaessa yhdellä yksiköllä. [22, 120.]

Rakenteiden ilmatiivyyden parantaminen on kuitenkin vain yksi rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavista tekijöistä. Rakennuksen energiatehokkuus muodostuu rakennuksen vaipan, taloteknisten järjestelmien, sääolosuhteiden, rakennuksen käytön ja käyttötottumusten yhteisvaikutuksesta ja järjestelmien yhteen sovittamisesta. Käyttötottumuksista esimerkiksi ikkunatuuletuksella voidaan kasvattaa huomattavasti lämmitysenergiankulutusta muuten energiatehokkaassa rakennuksessa. [12, 43; 20, 20.]

5 Tiivistäminen korjaustapana

5.1 Sisäilmaongelman korjaustasot

Korjauksen laajuuden ja korjaustavan määrittäminen sisäilmaongelmakohteessa on monesti vaikeaa. Kohteissa, jotka on korjattu perusteellisesti, sisäilmaan liittyvät terveysoireet ovat yleensä vähentyneet merkittävästi, kun taas kohteissa, joita on korjattu vain osittain, oireet ovat helpottuneet yleensä vähemmän. Kohteissa on usein rakenteita, esimerkiksi rakennuksen keskellä sijaitsevia maanvastaisia kellarinseiniä, joita ei niiden sijainnin takia pystytä korjaamaan nykyisin vaadittuun tasoon. Tosiasiassa jokaisen vanhemman rakennuksen vaipasta löytyy mikrobeja jostain paikasta, kuten eristeiden ulkopinnoista tai ainakin lattioiden

alla olevasta täyttömaasta. Korjaussuunnittelussa haastavana tehtävänä on ymmärtää, milloin, missä ja millä edellytyksillä mikrobikasvu aiheuttaa terveyshaittariskin rakennuksen käyttäjille. [18, 56.]

Mikrobien tuottamien itiöiden ja rihmaston osien, sekä muiden epäpuhtauksien, kuten mineraalivillakuitujen, kulkeutuminen sisäilmaan voidaan estää katkaisemalla ilmavirtaus rakenteesta sisäilmaan, eli tiivistämällä ulkovaipan sisäpinta. Tiivistäminen ei kuitenkaan sovellu hyvin kaikkiin rakenteisiin (katso luku 5.2). Mikrobien aineenvaihduntatuotteet ovat kaasuja ja läpäisevät useimpia rakennusmateriaaleja diffuusiolla. Jos rakenteeseen joudutaan jättämään mikrobivaurioitunutta materiaalia, on siis huomioitava, että rakenteesta tehdään diffuusiotiivis, niin etteivät kaasutkaan läpäise sitä. [18, 56–57.]

Opetushallituksen julkaisussa ”Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen” (Asikainen ym., 2008) on luokiteltu korjausvaihtoehdot kolmeen tasoon – A, B ja C. A-tason korjaukset ovat kevyitä, mutta kuitenkin pysyviksi korjauksiksi tarkoitettuja. B-tason korjaukset ovat keskiraskaita korjauksia. A- ja B-tasojen korjauksissa rakenteeseen jätetään vaurioitunutta materiaalia, mutta epäpuhtauksien kulkeutuminen materiaalista sisäilmaan estetään, B-tasossa kahdella eri tavalla. C-tason korjaukset ovat raskaita korjauksia, niissä vaurioitunut materiaali poistetaan kokonaan ja uusi rakenne vastaa nykyisten rakentamismääräysten vaatimuksia. [18, 57.]

A-korjaustasossa kaikkia rakenteen vaurioituneita osia ei poisteta, vaan rakenne tiivistetään ilmatiiviiksi. Korjauksen jälkeen rakenteesta ei saa tulla epäpuhtauksia sisäilmaan. Tiivistyksen onnistuminen varmistetaan merkkiaineanalyysillä. Tiivistyksen toimintaa seurataan säännöllisesti 3–5 vuoden välein uusittavalla merkkiaineanalyysillä. [18, 57.]

- Pääsääntöisesti A-tason korjausratkaisuja on suositeltavaa käyttää, kun
- korjattavat materiaalit ovat itsessään tiiviitä tai ne on mahdollista tiivistää, esimerkiksi hyvälaatuinen betonirakenne
 - rakenteita on mahdoton purkaa tai purkaminen johtaa käyttöhyötyyn nähden kohtuuttomiin kustannuksiin
 - tila on toisarvoisessa käytössä. [18, 57.]

B-korjaustaso on samankaltainen kuin A-korjaustaso. B-korjaustasossa kuitenkin lisätään tiivistyskorjauksen varmuutta alipaineistamalla vaurioitunut eristetila. Korjausta ei kuitenkaan tule jättää pelkän alipaineistuksen varaan vaan tiivistyskorjauksen itsessään tulee olla jo toimiva. B-korjaustasossa merkkiaineanalyysin lisäksi alipaineistuksen onnistuminen varmistetaan paine-eromittauksella. Rakenteen toimintaa seurataan säännöllisesti 3–5 vuoden välein uusittavilla merkkiaineanalyysillä ja paine-eromittauksilla. [18, 58.]

B- ja A-tason korjauksia voidaan soveltaa pääasiassa betonirakenteisiin, jotka ovat itsessään kohtalaisen tiiviitä. Myös tiillisissä rakenteissa voidaan joissain tapauksissa soveltaa tiivistyskorjauksia, jos muurattu rakenne päällystetään esimerkiksi tiiviillä laastikerroksella. Puu- ja levyrakenteita ei kannata korjata tiivistämällä niiden huonon perusilmatiiviuden tähden. [18, 58.]

C-korjaustasossa kaikki vaurioituneet osat poistetaan rakenteesta ja uusi rakenne vastaa nykyisten rakentamismääräysten vaatimuksia. Korjauksen jälkeen rakenteessa ei ole vaurioitunutta materiaalia eikä siitä näin ollen tule epäpuhtauksia sisäilmaan. C-korjaustasossa siis korjataan vaurioitunut rakenne nykyaikaiseksi, varmatoimiseksi rakenteeksi. [18, 57.]

Pääsääntöisesti on suositeltavaa käyttää C-tason korjausratkaisuja, kun

- korjataan kevyitä, esimerkiksi puu- ja levyrakenteita
- mikrobivaurioiset materiaalit on muuten helppo poistaa
- korjattavassa tilassa on jatkuvasti käyttäjiä
- rakenne halutaan saada uutta vastaavaksi. [18, 57.]

Korjausratkaisun valinta on aina tapauskohtaista. Korjaustapaa valittaessa tulee arvioida, miten korjaus vaikuttaa rakenteen kosteus- ja lämpötekniiseen toimintaan ja kantavuuteen sekä miten korjaus vaikuttaa sisäilman epäpuhtauksiin ja rakennuksen käyttäjien terveyteen. Vaurioituneiden rakenteiden vaihtaminenkaan ei välttämättä riitä, mikäli olosuhteet rakenteessa jäävät sellaisiksi, että rakenne voi vaurioitua uudestaan. Ongelman aiheuttaja pitäisi aina pyrkiä selvittämään ja poistamaan. Ongelman poistaminen ei kuitenkaan aina ole mahdollista (esimerkiksi kostea kellarin osa, jonka kosteusrasitusta ei saada pienennettyä) ja tällöin tila voi olla järkevää poistaa käytöstä kokonaan. Tällöin on syytä huolehtia,

ettei vaurioituneesta tilasta kulkeudu epäpuhtauksia käytössä oleviin tiloihin, esimerkiksi alipaineistamalla vaurioitunut tila suhteessa muuhun rakennukseen omalla ilmanvaihtojärjestelmällä. [18, 58–59.]

5.2 Rakenteet, joita ei tule tiivistää ilman erityistä harkintaa

Rakenteiden ilmatiiviyden parantaminen ei sovellu hyvin kaikkiin rakenteisiin. Joihenkin rakenteiden kohdalla tulee käyttää erityistä harkintaa ennen tiivistämistä. Tiivistyskorjauksen soveltuvuus ja käytettävä korjausmenetelmä on suunniteltava aina tapauskohtaisesti rakenteen rakennusfysikaalinen toimivuus huomioon ottaen. [12, 75–76.]

Yleensä rakenteita, joissa on selvästi todettava mikrobi- tai kosteusvaurio, ei tulisi tiivistää. Vaurio pitäisi poistaa rakenteesta ja korjata rakenne rakennusfysikaalisesti toimivaksi, jottei vaurio pääse uusiutumaan. Myöskään kaikkien haitta-ainesten kulkeutumista huoneilmaan ei voida estää tiivistyskorjauksella tai kapseloinnilla, tällaisia ovat esimerkiksi öljyhiilivedyt. Tällöin on pohdittava muita korjausvaihtoehtoja. [12, 76.]

Ilmavirtaukset voivat kuivattaa rakenteita, joten tiivistyskorjausta suunniteltaessa tulee arvioida, miten tarkasteltavan rakenteen rakennusfysikaalinen toimivuus muuttuu kosteuden osalta, jos ilmavirtaukset rakenteiden läpi katkaistaan. Kosteusrasituksen kohteena olevien rakenteiden tiivistyskorjauksessa korjausmateriaalien tulee kestää mahdollinen kosteusrasitus. [12, 76.]

Valesokkelirakenteen tiivistyksessä tulee käyttää erityistä harkintaa. Rakennetta pidetään riskirakenteena. Yleisesti rakennetyypissä rakenteen sisälle pääsee kosteutta useista kosteuslähteistä, mutta kosteus ei poistu kunnolla rakenteesta. Rakenteen toimivuus tai toimimattomuus on tapauskohtaista ja riippuu eroista rakenteen toteutuksessa ja ulkopuolisen kosteusrasituksen määrässä. Riskirakenteessa riskit eivät aina toteudu ja rakenne voi olla myös toimiva. Jos toimivan valesokkelirakenteen ilmavirtaukset katkaistaan ilman harkintaa, ilmavirtausten

kuivattava vaikutus voi loppua ja rakenteen puumateriaalit voivat alkaa lahota. [12, 76–77.]

Puurunkoisia, alapohjan kaksoislaattarakenteen sisälle ulottuvia väliseiniä ei tulisi tiivistää. Tällaisen rakenteen ensisijaisena korjausvaihtoehtona tulisi pitää purkamista ja uutta rakenneratkaisua. Myös täyttökerroksellisen vanhan välipohjan tiivistämiseen on suhtauduttava kriittisesti, ottaen huomioon erityisesti rakenteen rakennusfysikaalinen toiminta ja siinä tapahtuvat muutokset, mikäli rakenne tiivistetään. [12, 77.]

Massiivisten seinärakenteiden tiivistystä suunniteltaessa tulee huomioida seinärakenteen kuivumiskyky tiivistyskorjauksen jälkeen. Perinteisten vanhojen hirsiseinärakenteiden tiivistämisessä on käytettävä erityistä harkintaa. Rakenteen kosteustekninen toimivuus on pääosin ilmavirtausten rakennetta kuivattavan vaikutuksen varassa. [12, 77.] Museoviraston julkaisussa Korjauskortisto ”Lämmöneristyksen parantaminen” (2000) esitetään periaatteita perinteisten vanhojen hirsirakennusten tiivistämisestä. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n julkaisussa RIL 107-2012 ”Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet” (2012) annetaan ohjeita nykyaikaisen hirsirakennuksen tiivistämisestä.

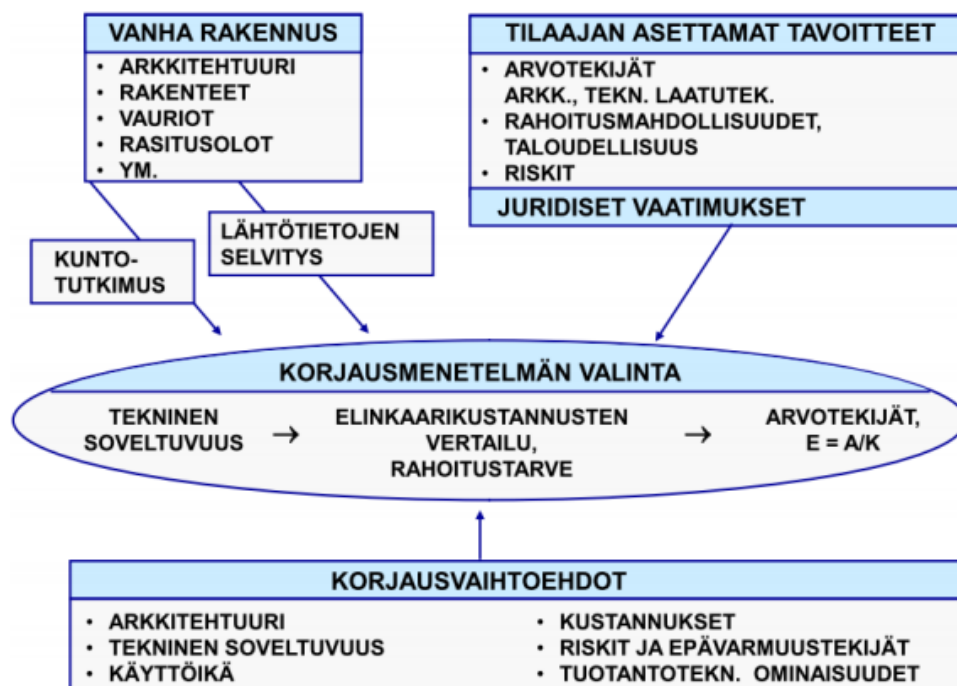
5.3 Toimenpiteen ja korjausmenetelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä

Sisäilmaongelmalliselle rakennukselle tehtävät toimenpiteet valitaan aina kohdekohtaisesti. Toimenpiteet voidaan jakaa pääpiirteisesti esimerkiksi seuraavasti:

- rakennuksen poistaminen käytöstä ja purkaminen
- vaurioituneiden rakenteiden purkaminen kokonaan ja korvaaminen uusilla nykyvaatimusten mukaisilla rakenteilla
- rakenteiden purkaminen ja korjaaminen riittävältä laajuudelta
- väliaikaisten toimenpiteiden tekeminen ja tilojen käytön jatkaminen esimerkiksi varsinaisten korjausten alkamiseen tai uusiin tiloihin muuttoon asti
- ei toimenpiteitä. [12, 108.]

Väliaikaisia toimenpiteitä voivat olla esimerkiksi tilojen poistaminen käytöstä, siivouksen tehostaminen, ilmanvaihtojärjestelmän säätö- ja puhdistustyö, käyttöiältään lyhytkestoiset korjaukset tai vuoden sisällä purettaviksi päätettyjen rakennusten kohdalla jopa rakennuksen ylipaineistaminen. Väliaikaisilla toimenpiteillä tilojen käyttöä voidaan jatkaa muutaman kuukauden ajan, niillä ei poisteta ongelmaa. Varsinaiset korjaukset tai väistötilat on pyrittävä toteuttamaan mahdollisimman nopeasti. Toimenpiteen valintaan liittyvään päätöksentekoon vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi vaurioiden laajuus ja vakavuus, korjausten kiireellisyys, korjaus- ja elinkaarikustannukset, rahoitusmahdollisuudet, rakennuksen ikä ja elinkaari, rakennuksen käyttö sekä rakennuksen suojeleaste [12, 108].

Jos rakennuksen käyttöikää päädytään jatkamaan korjauksilla, edessä on korjausmenetelmän valinta. Korjausmenetelmän valintaan vaikuttavat pitkälti samat tekijät kuin edellä mainittuun toimenpiteen valintaan. Lisäksi vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi muut rakennukseen lähiaikoina suunnitellut korjaustoimenpiteet, korjattavien rakenteiden tekniset käyttöiät, korjauksen tekninen soveltuvuus ja käyttöikä, korjaukseen käytössä oleva aika ja kokemukset menetelmän toimivuudesta. [12, 110.] Kuvassa 7 on esitetty korjausmenetelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä.



Kuva 7. Korjausmenetelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä (Kuosa 2003).

Kustannusvertailu eri toimenpiteiden välillä on monesti haastavaa. Kustannusvertailussa on mietittävä saavutettavaa kokonaishyötyä; saavutetaanko menetelmällä asetetut tavoitteet sekä mikä on korjauksen ja rakennuksen käyttöikä toimenpiteen jälkeen. Vanhan rakennuksen tai rakenteen purkaminen kokonaan ja uuden rakentaminen on yleensä kallein toimenpide. Huolellisesti ja oikein toteutetut korjauksetkin voivat nousta kustannuksiltaan korkeiksi. Korjausrakentamiseen sisältyy aina epävarmuustekijöitä, jotka voivat moninkertaistaa kustannukset. [12, 110.]

Sisäilmaongelmaisen kohteen korjauksessa ensisijaisena toimenpiteenä on aina vaurioituneiden rakenteiden purkaminen ja korvaaminen nykyaikaiset vaatimukset täyttävillä uusilla rakenteilla. Vanhan rakenteen purkaminen ja korvaaminen uudella rakenteella voi olla myös taloudellisesti kannattavampaa tilanteessa, jossa vanha rakenne on lähestymässä käyttöikänsä loppua. Rakenteen purkaminen kokonaan voi olla perusteltua myös, jos rakenteessa on sisäilman laatuun vaikuttavien tekijöiden lisäksi muutakin toiminnallisuuteen liittyvää merkittävää vikaa. Vaurioituneen rakenteen purkaminen kokonaan ei kuitenkaan aina ole mahdollista esimerkiksi rakenteen sijainnin, rakennuksen suojelun tai taloudellisten syiden takia. Tällöin rakenteiden tiiviys ja ilmanvaihdon merkitys korostuvat. Rakenteiden ilmatiiviyden parantaminen tehdään yleensä joka tapauksessa, riippumatta siitä korvataanko vanha rakenne kokonaan uudella rakenteella vai korjataan vanhaa rakennetta vain riittävältä laajuudelta. [12, 109.]

5.4 Tiivistyskorjausten arviointi korjausmenetelmänä

Yleisesti on tiedossa, että rakenteiden ilmatiiviyden parantamisella voidaan estää hiukkasmaisten epäpuhtauksien kulkeutuminen ilmavirtausten mukana ja hidastaa myös kaasumaisten epäpuhtauksien kulkeutumista, mutta tiivistyskorjausten osuutta onnistuneissa sisäilmakorjauksissa ei kuitenkaan tunneta tarkasti. Tutkimustietoa ei ole tarpeeksi siitä, miten nopeasti ja millä pitoisuuksilla kaasumaiset epäpuhtaudet kulkeutuvat diffuusiolla rakenteiden ja materiaalien läpi tai mikä merkitys diffuusiolla kulkeutuvilla epäpuhtauksilla on sisäilman laatuun. [12, 111.]

Korjausten onnistumista ja vaikutusta rakennusten käyttäjien oireisiin on tutkittu korjausten määrään verrattuna vain vähän, mutta kokemusten mukaan tiivistyskorjaukset sisäilmaongelmakohteissa ovat onnistuneet huolellisesti toteutettuina. Huolimaton suunnittelu tai toteutus ovat olleet yleensä syitä epäonnistuneelle korjaukselle. Perusteellisesta korjauksesta ja homepölyttömäksi siivouksesta huolimatta oireet ovat palanneet herkimmille yksilöille tiloihin takaisin muutettaessa. [12, 111.]

Korjausmenetelmän pitkäaikaiskestävyyttä ei ole tutkittu laajasti. Tiivistyskorjauksissa käytettävien materiaalien pitkäaikaiskestävyyttä on kuitenkin tutkittu ja materiaaleista on kokemusta vuosikymmenten ajalta. Nestemäisenä levitettävien vedeneristeiden käyttöikä pidetään rasisluokasta riippuen 20–40 vuotta. Tiivistyskorjauksiin kohdistuva rasis on kevyt. [12, 112.]

Tiivistyskorjausten toteuttamisessa on huomioitava koko rakennuksen vaipan ilmatiiviyys, sillä yksittäisen rakenteen ilmatiiviyden parantaminen ei juurikaan paranna rakennuksen ilmatiiviyttä tai vähennä tilan epäpuhtauspitoisuutta. Korjausten suunnittelu edellyttää rakennusfysikaalista tuntemusta ja kokemusta. Korjausten toteutus työmaalla vaatii kokemusta ja perehtyneisyyttä työmenetelmään. [12, 112.] Taulukossa 2 on esitetty nelikenttäanalyysi (SWOT) tiivistyskorjauksista.

Taulukko 2. Nelikenttäanalyysi (SWOT) tiivistyskorjauksista (Laine 2014).

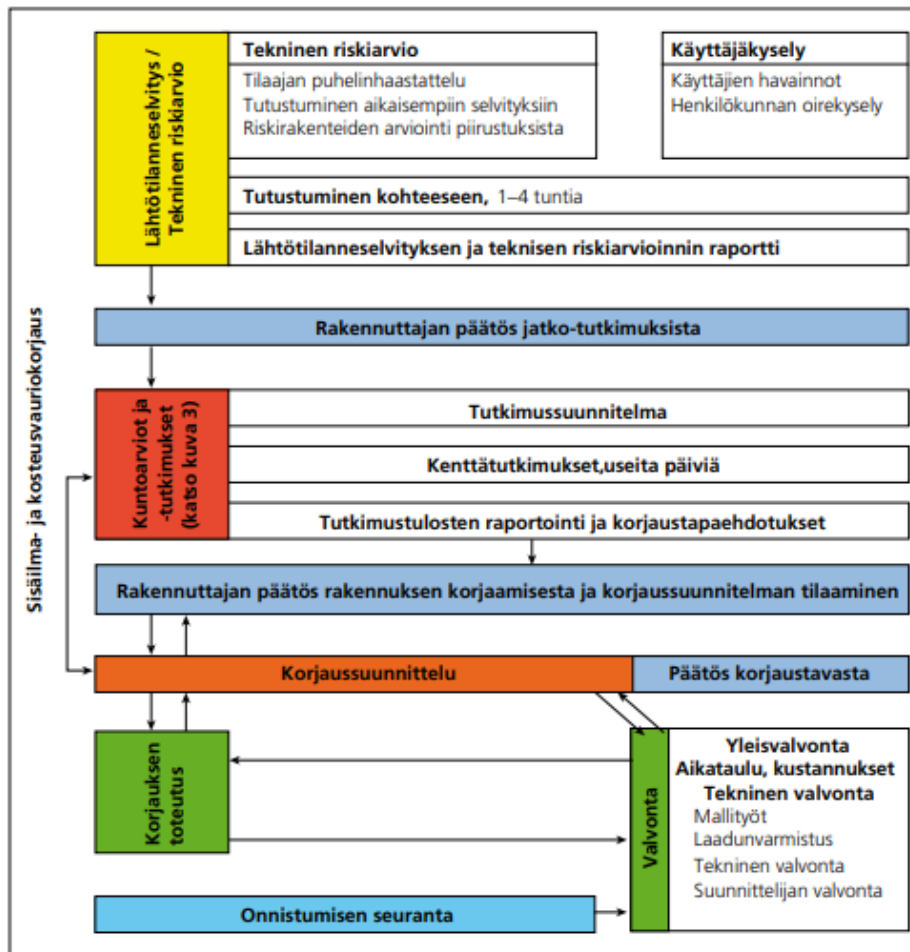
Vahvuudet	Heikkoudet
<ul style="list-style-type: none"> • Voidaan estää terveyshaittaa aiheuttava olosuhde • Kustannustehokas ratkaisu verrattuna purkamiseen ja uuden rakentamiseen • Epäpuhtauksien kulkeutumisen estäminen • Energiankulutuksen pieneneminen • Kosteuskonvektion estäminen • Asumisviihtyvyyden paraneminen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ei yleensä estä epäpuhtauksien kulkeutumista diffuusiolla rakenteiden läpi ainakaan täysin • Ei ole laajoja tutkimustuloksia vaikutuksesta sisäilman laatuun • Onnistumiset perustuvat käytännön kokemuksiin ja pienimuotoisiin tutkimuksiin • Vaatii erikoisosaamista suunnittelijalta (rakennusfysikaalinen suunnittelutehtävä) • Vaatii erikoisosaamista rakennustyömaalla • Saattaa rajoittaa tilojen käyttöä ja muunneltavuutta
Mahdollisuudet	Uhat
<ul style="list-style-type: none"> • Uusi korjausmenetelmä sisäilmaongelmien poistamiseksi • Vaihtoehto raskaille purkukorjauksille • Vaihtoehto ylikorjaamiselle • On tehty useissa kohteissa, joten tutkimuskohteita on olemassa jatkoselvityksiä varten. • Edistää rakennusteollisuuden tuotekehitystä 	<ul style="list-style-type: none"> • Korjausmenetelmää käytetään väärin tai korjaukset toteutetaan huolimattomasti tai ilman suunnitelmia • Pitkäaikaiskestävyydestä ei ole tutkimustietoa • Herkimpien oireilu ei poistu

6 Rakennuttajan muistilista tiivistyskorjauksista

Seuraavissa luvuissa käsitellään tiivistyskorjauksen huomioimista korjaushankkeen eri vaiheissa. Yhteenvedo vaiheissa huomioitavista pääkohdista on esitetty muistilistana liitteessä 1.

6.1 Tarvittavat esiselvitykset

Sisäilmaongelma tulee esille monesti käyttäjien oireiluna [18, 11]. Sisäilmakorjaushanke alkaa yleensä tarveselvitysvaiheella. Korjaustarveselvitys aloitetaan lähtötilanneselvityksellä, joka koostuu teknisestä riskiarviosta, tutustumisesta kohteeseen ja käyttäjäkyselystä kuvan 8 mukaisesti.



Kuva 8. Sisäilmakorjauksen prosessi (Opetushallitus 2008).

Tekninen riskiarvio tilataan kuntotutkimuksiin erikoistuneelta yritykseltä. Teknisessä riskiarviossa kuntotutkija voi tiivistyskorjauksiin liittyen kartoittaa ilmanvaihtojärjestelmän teknistä tasoa sekä mahdollisia ilmavuotoreittejä ja niiden merkitystä rakenteiden toimintaan ja sisäilman laatuun piirustusten sekä aiempien selvitysten ja korjausraporttien perusteella. Myös kohdekäynnillä voidaan havaita selviä ilmavuotoreittejä silmämääräisesti rakojen ja halkeamien muodossa. [12, 54; 18, 15.]

Teknisen riskiarvion lisäksi käyttäjäkyselyllä voidaan saada tietoa sisäilmaongelman laajuudesta ja mahdollisesti myös paikannettua ongelmia. Käyttäjäkysely on hyvä tehdä myös korjausten onnistumisen seuranta ajatellen. Kun käyttäjäkysely toistetaan korjausten jälkeen, voidaan arvioida, miten korjaukset ovat onnistuneet ja miten ne vaikuttavat käyttäjien oireisiin [18, 16–17.] Opetushallituksen julkaisussa ”Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen” (Asikainen ym., 2008) on esitelty mallilomakkeet, esimerkit ja ohjeet käyttäjäkyselyn toteuttamiseen.

Lähtötilanneselvityksen raportissa arvioidaan tarvittavien kuntotutkimusten laajuus ja määritellään mitä asioita tutkitaan [18, 15]. Tiivistyskorjausten osalta kuntotutkimuksessa vähintään paikallistetaan tarkasti ilmavuotokohtat ja suoritetaan ilmanvaihdon toimintatarkastus [18, 227]. Näiden lisäksi kuntotutkimuksissa voi olla mukana kosteusvauriokartoitus ja sen perusteella tarvittaessa tehtävä kosteustekninen kuntotutkimus, sisäilman laadun arviointi sekä sisäilmaston kuntotutkimus. Kuntotutkimusraportissa esitetään kohteeseen sopivat korjaustapa- vaihtoehdot. [18, 18–23].

Rakenteiden ilmavuotokohtia voidaan paikallistaa lähtötiedoista, silmämääräisesti, merkkisavututkimuksella tai merkkiainetutkimuksella. Lisäksi lämpökuvausta voidaan käyttää apuvälineenä, mutta havaitut lämpövuotokohtat eivät aina korreloi suoraan ilmavuotokohtien kanssa. Lähtötiedoista voidaan paikallistaa mahdollisia ilmavuotokohtia tutkimalla piirustuksia, liitosten toteutustapoja ja käytettyjä materiaaleja. Silmämääräisesti kohteesta voidaan havaita selkeät sisäkuoren halkeamat, reiät ja raot. Jos rakenteessa on silmämääräisesti havaitta-

via suuria ilmavuotokohtia, mahdollisten pienempien ilmavuotokohtien paikallistaminen merkkisavulla tai merkkiaineella voi osoittautua vaikeaksi, sillä suurten rakojen kautta virtaava merkkiaine häiritsee pienten rakojen kautta virtaavan merkkiaineen havaitsemista. [12, 54–55; 18, 228.]

Merkkisavututkimuksella voidaan havainnoida ilmavirtoja liitoskohtien läheisyydessä ja siten arvioida ilmavuotokohtia. Tutkimuksessa kemiallisessa prosessissa tuotettua savua lasketaan astiasta tutkittavan rakenteen läheisyyteen. Merkkisavututkimuksen tulkintaa vaikeuttaa kuitenkin ilmanvaihtolaitteiston tai lämpöpatterien aiheuttama normaali sisätilassa tapahtuva ilmavirtaus. Lämmityskaudella esimerkiksi ulkoseinän ja ikkunan liitoskohdan tarkastaminen merkkisavulla voi olla haastavaa, jos ikkunan alapuolella sijaitsee lämpöpatteri, joka aiheuttaa ikkunan läheisyyteen voimakkaita ilmavirtauksia. [12, 54; 18, 228.]

Merkkiainetutkimuksella paikallistetaan ilmavuotokohdat rakenteista, joista ilmavuotokohtia ei voida paikallistaa silmämääräisen tarkastelun, kevyiden rakennevausten tai merkkisavututkimuksen perusteella. Tutkittavan tilan tulee olla alipaineinen, tarvittaessa tila voidaan alipaineistaa erillisellä puhaltimella. Tutkimuksessa merkkikaasua lasketaan poratusta reiästä rakenteen sisälle. Sähköisen analysaattorin anturia siirretään esimerkiksi tutkittavaa liitosta pitkin ja analysaattori antaa merkin todetessaan kaasun virtaavan sisätilaan liitoksen jonkin kohdan läpi. [18, 229.]

Kuntotutkimuksessa ei yleensä paikallisteta kaikkia yksittäisiä ilmavuotokohtia merkkiainetutkimuksen avulla. Jos ilmavuotokohtia löytyy esimerkiksi paljon maanvastaisen alapohjan ja ulkoseinän välisestä liitoksesta, voidaan olettaa, että niitä on vielä tutkimattomissakin alapohjan liitoskohdissa, sillä yleensä rakennuksen rakenteet on toteutettu samalla periaatteella läpi rakennuksen. Hyvän sisäilman laadun varmistamiseksi ulkovaipan sisäpinnan ilmatiivyyden lisäksi myös rakennuksessa sijaitsevien puhtaampien ja likaisempien tilojen välisten seinä-, lattia- ja kattorakenteiden tulisi olla ilmatiiviitä. Likaisemmista tiloista, kuten WC-tiloista, hormeista, teknisistä tiloista ja varastoista ei tulisi virrata ilmaa puhtaampiin sisätiloihin. [18, 231.]

Ilmanvaihdon toimintatarkastuksessa tutkitaan ilmanvaihtojärjestelmän yleistä kuntoa, puhtautta ja teknistä tasoa. Jos rakennuksessa on ainoastaan painovoimainen tai koneellinen poistoilmanvaihto, ilmanvaihtojärjestelmän korjaustarve on melko todennäköinen. Tarkastuksessa tarkastetaan järjestelmän puhtaus ja mahdolliset mineraalikululähteet päätelaitteiden äänenvaimennusmateriaaleista. Myös ilmavirtojen riittävyys selvitetään sekä tulo- ja poistoilmavirtojen tasapaino arvioidaan paine-eromittauksilla. Tarvittaessa ilmanvaihdon riittävyttä voidaan tarkastella myös hiilidioksidipitoisuuden mittausten avulla. Lisäksi tarkastuksessa selvitetään huonelämpötilat ja termostaattien kunto. [18, 18–19.]

6.2 Suunnitelmat

Suunnittelu alkaa hankesuunnitteluvaiheella. Hankesuunnitteluvaiheessa tehdään kuntotutkimusraportin pohjalta päätös käytettävästä korjaustapavaihtoehdosta ja määritellään korjauksen laajuus, esimerkiksi mitä rakenteita puretaan ja korvataan uusilla rakenteilla sekä mitä vaurioituneita rakenteita voidaan mahdollisesti jättää paikalleen tiivistettynä tai kapseloituna. [23, 15.] Hankesuunnitteluvaiheessa määritetään hankkeelle kustannustaso ja aikataulu käytettävän korjaustapavaihtoehdon sekä asetettujen laajuus-, käyttöikä- ja laatutavoitteiden pohjalta. Mahdollisten väistötilojen tarve selvitetään myös hankesuunnittelun aikana. [24, 89.]

Hankesuunnitteluun sisältyy olennaisesti viestinnän suunnittelu. Pääsääntöisesti käyttäjiä olisi hyvä tiedottaa korjaustöistä avoimesti koko hankkeen ajan. Tiedotusten tulee kuitenkin olla tarkkaan mietittyjä, jotta vältytään aiheuttamasta turhaa hämmennystä käyttäjille. [18, 30.] Lisäksi hankesuunnitteluvaiheessa valitaan suunnittelijat. Korjaushankkeen onnistumista edesauttaa sujuva tiedonhallinta hankkeen aikana. Tiedonhallinta on helpompaa, jos kuntotutkijana, suunnittelijana ja valvojana toimii sama henkilö, jolloin hankkeen aikana kohteesta kertynyt tieto on koko ajan luotettavasti käytettävissä. Kuntotutkimus, suunnittelu ja valvonta vaativat kuitenkin erityyppistä ammattitaitoa, joten tehtävissä toimivat usein eri henkilöt. Tällöin tiedon välittyminen henkilöltä toiselle on varmistettava huolel-

lisesti koko hankkeen ajan. [18, 29.] Rakenteiden ilmatiiviyden parantaminen voidaan luokitella rakennusfysikaaliseksi suunnitteluksi ja suunnittelutehtävän vaativuus voi olla tavanomainen, vaativa tai poikkeuksellisen vaativa Valtioneuvoston asetuksen 214/2015 ja Ympäristöministeriön ohjeen YM1/601/2015 mukaisesti. Suunnittelijoiden on osoitettava kelpoisuutensa tehtävään Ympäristöministeriön ohjeen YM2/601/2015 mukaisesti.

Hankesuunnitteluvaihetta seuraa korjaussuunnitteluvaihe (uudisrakentamisessa rakennussuunnitteluvaihe), joka jakaantuu kahteen vaiheeseen, luonnos- ja toteutussuunnitteluun. Luonnossuunnitteluvaiheessa valitaan kohteen suunnitteluratkaisut ja toteutustapa sekä tehdään luonnossuunnitelmat. Toteutussuunnitteluvaiheessa valitaan hankkeen urakointitapa, laaditaan asiakirjat ja piirustukset hankintaa varten, valmistellaan hankinnat, sekä solmitaan urakkasopimukset. [24, 89–90.] Korjaussuunnitteluvaiheessa toteutetaan rakennusfysikaalinen suunnittelu, tiivistyskorjausten rakennetekninen suunnittelu, ilmanvaihtotekninen suunnittelu sekä laaditaan laadunvarmistukseen ja seurantaan liittyvät suunnitelmat. Tiivistyskorjausta ei tule käyttää milloinkaan osana sisäilmakorjausta ilman tutkimuksia, suunnittelua, toteutuksen valvontaa ja seuranta. [12, 57–62.] Korjaustapaa ja korjaussuunnitelmia voidaan joutua tarkentamaan ja täydentämään jälkikäteen, jos korjaustyön aikana, esimerkiksi rakenteiden avaamisen yhteydessä, havaitaan uusia tai odotettua laajempia vaurioita [18, 14].

Rakennusfysikaalisessa suunnittelussa tarkastellaan rakenteen toimintaa lämpö- ja kosteusteknisesti sekä esimerkiksi tiivistyskorjauksen vaikutusta rakenteen kuivumiskykyyn. Rakennusfysikaalisessa suunnittelussa otetaan huomioon myös työtekniset ja taloudelliset seikat sekä ympäristövaikutukset. [25, 362.] Materiaaleja valittaessa huomioidaan niiden päästöluokitus ja soveltuvuus käyttötarkoitukseen [25, 368]. Rakennusfysikaalinen suunnittelu voidaan usein tehdä ilman laskentatarkasteluja, mutta laskentaohjelmien käyttö lisääntyy jatkuvasti [25, 363].

Tiivistyskorjausten rakenneteknisessä suunnittelussa tehdään rakennetekniset suunnitelmat, jotka sisältävät työselostuksen sekä piirustukset, joissa tiivistyskorjausten toteutus esitetään detaljitasolla. Suunnitelmista ilmenee lisäksi tarvittavat

purkutyöt ja niiden laajuus, käytettävät materiaalit, tiivistettävän alustan valmistelun toimenpiteet ja korjausmenetelmän käyttöikä. Suunnitelmissa määritellään myös laadunvarmistusmenetelmät, esimerkiksi mallityöt, työvaiheiden tarkastukset ja tiivistyskorjauksen laadunvarmistus merkkiainetekniikalla ennen pintamateriaalien asennusta. [12, 59–60.]

Tiivistyskorjauksen suunnittelu tulee aina toteuttaa kohdekohtaisesti huomioon ottaen rakenteen lämpö- ja kosteustekninen toimivuus ja siinä tapahtuvat mahdolliset muutokset tiivistämisen jälkeen. Jos tiivistämisen jälkeen on mahdollista, että kosteuserhän rakenteen kosteuspitoisuus voi nousta haitallisesti, tiivistyskorjausta suunniteltaessa on käytettävä erityistä harkintaa tai jätettävä rakenne tiivistämättä. Kosteus- ja mikrobivauriossa vaurioituneen materiaalin osalta yleisohjeena sisäilmaan yhteydessä olevat selvästi vaurioituneet materiaalit on uusittava aina. Rakenteen sisällä tai ulkopuolella tuuletustilassa oleva vaurioitunut materiaali voidaan jättää paikalleen, mikäli epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan voidaan estää luotettavasti ja vaurioituneesta materiaalista ei ole haittaa esimerkiksi rakenteen kantavuudelle. [12, 58–59.]

Ilmanvaihtoteknisessä suunnittelussa suunnitellaan ilmanvaihtojärjestelmän säätötyö, jotta tulo- ja poistoilmamäärien suhde saadaan vastaamaan rakennuksen muuttuneita painesuhteita tiivistyskorjauksen jälkeen. Ilmanvaihtojärjestelmän säätö tulisi suunnitella siten, että rakennus on hieman alipaineinen, noin 0–2 Pa. Paine-eron ollessa pieni ulkovaipan yli, rakenteiden läpi tapahtuvat ilmavirtaukset minimoidaan. Rakennukseen voi jäädä yksittäisiä pieniä ilmapuotoja korjausten jälkeen esimerkiksi korjausten laajuudesta johtuen. Ilmanvaihtojärjestelmän säätötyöllä voidaan vähentää näiden vuotojen merkitystä rakennuksen toimivuuden kokonaisuutena. [12, 61.]

Laadunvarmistukseen ja seurantaan liittyen laaditaan laadunvarmistus- ja seurantasuunnitelma. Suunnitelman tarkoitus on varmistaa, että korjauksella saavutetaan asetetut tavoitteet. [12, 61.] Suunnitelmassa tulisi käsitellä ainakin seuraavia asioita:

– dokumentointi ja vastuuhenkilöt hankkeen aikana

- rakennukseen jätettävien materiaalien ja rakenteiden kunnon ja puhtauden todentaminen sekä perustelut
- työmaan olosuhteiden hallintaan ja puhtaudenthallintaan liittyvät ohjeet (esimerkiksi pölyn- ja kosteudenthallintasuunnitelma, osastoinnit, suojaukset)
- tiivistyskorjauksen laadunvarmistuksen toimenpiteiden määrittely (mallityöt, laadunvarmistusmittauksiin liittyvät ohjeet mittaustavasta, mitattavista tiloista ja raja-arvoista)
- ilmanvaihto- ja taloteknisten järjestelmien käyttöönotto- ja toimintatarkastukset (ilmamäärä ja paine-eromittaukset)
- arviointi suunnitelmien ja tehtyjen korjausten teknisestä toimivuudesta sekä vaikutuksesta sisäilman laatuun
- loppu- ja jälkisiivousten ohjeistus ja laadunvarmistus, tehostettu siivous käyttäjien paluun jälkeen
- rakennuksen huolto-ohjelman arviointi ja kiinteistöhuollon ohjeistaminen
- viestintäsuunnitelman arviointi ja käyttäjien paluun ohjeistus
- korjauksen jälkeinen onnistumisen seurantasuunnitelma (mittaukset, selvitykset, käyttäjäkyselyt). [12, 62.]

6.3 Työmaan perehdyttäminen ja tiivistyskorjausten toteutus työmaalla

Tiivistyskorjauksen onnistuminen vaatii tarkan suunnittelun lisäksi huolellista työskentelyä urakoitsijalta ja valvojalta. Suunnitelmissa esitettyjä materiaaleja ja työtekniikoita ei saa muuttaa ilman suunnittelijan hyväksyntää. Jos urakoitsija ei tunne esitettyjä materiaaleja tai työtekniikoita, urakoitsijan edellytetään hankkivan tarvittava koulutus esimerkiksi materiaalivalmistajalta ennen työhön ryhtymistä. [12, 60.]

Tiivistyskorjauksen toteuttaminen onnistuneesti on haastava rakennustyö. Tiivistyskorjaukseen rakennustyönä ei kuitenkaan käytännössä usein suhtauduta tarpeeksi vakavasti tai huolellisesti työmaalla. Työntekijöiden perehdytykseen tulisi suunnitelmien tarkan läpikäymisen lisäksi sisältyä keskustelu, jossa tuodaan

esille työvaiheen tarkoitus. Työntekijän asenteella työtään kohtaan on ratkaiseva merkitys työn lopputulokseen. [26, 4.] Kun työntekijä ymmärtää, miksi työvaihe tehdään ja miksi se on tärkeä, työvaihe tulee suoritettua todennäköisesti huolellisemmin [26, 10].

Tiivistystyövaiheen jälkeen, ennen pintamateriaalien asennusta, suoritetaan laadunvarmistustoimenpiteet tiivistetylle rakenteelle laadunvarmistussuunnitelman mukaisesti [12, 63]. Kun tiivistystyö on hyväksytty, pintamateriaalit voidaan asentaa. Pintamateriaaleja asennettaessa ei saa rikkoa tehtyjä tiivistyksiä. Ilmanvaihtojärjestelmän tarkastus ja säätötyöt suoritetaan tiivistyskorjauksen jälkeen, jotta järjestelmä saadaan vastaamaan rakennuksen muuttuneita painesuhteita tiivistyskorjauksen myötä [12, 61].

6.4 Työn aikainen valvonta ja laadunvarmistus

Tiivistyskorjaus vaatii huolellista valvontaa. Valvojaa valittaessa on varmistettava, että hänellä on sisäilmakorjaushankkeeseen riittävä osaaminen, kokemus ja aikaa riittävästi hankkeelle. [23, 17.] Valvojan on hyvä olla hankkeessa mukana jo suunnitteluvaiheessa, jolloin hän tuntee taustat ja suunnitelmat tarpeeksi hyvin. Valvoja suorittaa työvaiheittain (esimerkiksi purkutyöt, osastoinnit, tiiviiden varmistaminen, pinnoitettavuuden varmistus) työvaihekatkelmukset, joista laaditaan kirjalliset dokumentit. [23, 32.]

Tiivistyskorjauksen onnistumista varmistetaan laadunvarmistusmenetelmillä työn edetessä. Suunnitelmat voidaan tarkastaa esimerkiksi rakennusfysikaalisen toimivuuden kannalta tarvittaessa ulkopuolisen tahon toimesta ennen töiden aloittamista. Jokaiselle erilaiselle rakenteelle tehdään suunnitelman mukainen mallityö ennen varsinaisen työn aloittamista. Tarkastettu ja hyväksytty mallityö toimii tulevien työsuoritusten työmallina urakoitsijalle. [12, 60–63.]

Tiivistyskorjausten laadunvarmistus tehdään ennen pintamateriaalien asennusta, jotta mahdollisia puutteita voidaan vielä korjata helposti. Tarkastus tehdään aina

kaikissa tiloissa vähintään aistinvaraisena, eli silmämääräisesti tai merkkisavututkimuksella. Lisäksi merkkiainetutkimuksella tehdään mittauksia pistokoelun- toisesti tai kaikissa tiloissa ennalta laaditun laadunvarmistussuunnitelman mukai- sesti. Merkkiainetutkimusta käytettäessä saadaan luotettavin tulos rakenteen tiiviydestä. Laadunvarmistusmenettelyä voidaan täydentää lämpökameraku- vauksella tai ilmavuotoluvun määrittämisellä, jos siihen nähdään erillistä tarvetta. Ilmanvaihtojärjestelmän säätötyön laadunvarmistus toteutetaan ilmamäärä- ja paine-eromittauksin. Kaikista laadunvarmistustoimenpiteistä laaditaan kirjalliset dokumentit. [12, 63.]

6.5 Korjausten ylläpito

Tiedot suoritetuista tiivistyskorjauksista lisätään rakennuksen huoltokirjaan. Huol- tokirjassa esitetään korjausten sijainnit, käytetyt materiaalit, käyttöikä sekä mah- dolliset huoltotoimenpiteet ja tarkastusajanjaksot. Huoltokirja antaa tuleville kor- jauksille lähtötiedot, sillä tulevissa korjauksissa on huomioitava jo tehdyt tiivistykset. [12, 71.]

Käyttäjille tiedotetaan tehdyistä korjauksista ja korostetaan, että tiivistettyihin ra- kenteisiin ei saa tehdä asennuksia omatoimisesti. Käyttäjille ohjeistetaan, miten tilan talotekniset järjestelmät toimivat ja mitä säätöjä saa tehdä itse. Käyttäjiä oh- jeistetaan myös tilan siisteystason ylläpitämisessä. Esimerkiksi tilan esteettä- myys vaikuttaa tilan siivouksen toteuttamiseen, jolla taas on selvä vaikutus sisäil- man laatuun. Siivousohjelma myös tarvittaessa päivitetään korjausten jälkeen. [12, 70–71.]

6.6 Korjausten onnistumisen jälkiseuranta

Jälkiseurantavaihe kestää tavallisesti 1–5 vuotta. Korjausten onnistumista voi- daan seurata käyttäjäkyselyllä sekä erilaisilla tarkastuksilla ja seurantamittauk- silla. Tarkastettavia kohteita ovat esimerkiksi siivoustaso sekä ilmanvaihtojärjes- telmän toimivuus ja puhtaus. Seurantamittauksia voidaan tehdä sisäilman

olosuhteille, rakenteiden ilmatiiviydelle sekä tarvittaessa sisäilman kemiallisille ja mikrobiologisille pitoisuuksille, mikäli pitoisuuksia on mitattu myös ennen korjauksia. Suunnitteluvaiheessa laadittu seurantasuunnitelma helpottaa onnistumisen jälkiseurantaa. Kohteessa toimineen sisäilma- tai kuntotutkijan on suositeltavaa toimia seurantasuunnitelman laatijana. [12, 72; 23, 37.]

Käyttäjien oireilun loppuminen tai käyttäjäkyselyistä sekä muuten käyttäjiltä saatu palaute on tärkein mittari onnistumisen arvioinnissa [12, 73; 23, 37]. Käyttäjäkysely toteutetaan samalla tavalla kuin lähtötilanneselvityksessä. Kyselyiden vertailu on luotettavaa, kun kyselyt suoritetaan samaan vuodenaikaan. Luotettavuutta lisää kyselyiden kohdentaminen samoille henkilöille tai henkilöryhmille, mikäli he ovat palanneet korjatulle alueelle. [18, 17.]

Tarkastuksia ja mittauksia voidaan tehdä pistokokeilla tai kaikissa korjatuissa tiloissa [12, 72]. Siivoustasoa tarkastellaan silmämääräisesti ja tarvittaessa mittauksella tai näytteenotolla. Painesuhteiden, ilmamäärien, hiilidioksidipitoisuuden, lämpötilan ja kosteuspitoisuuden mittauksilla voidaan arvioida ilmanvaihtojärjestelmän ja lämmitysverkon säätötyön onnistumista. [12, 73–74.] Tiivistettyjen rakenteiden ilmatiiviyttä seurataan 1–5 vuoden välein uusittavalla merkkiainetutkimuksella sekä aistinvaraisella arvioinnilla [12, 73; 18, 57]. Mikäli kohteessa on mitattu kemiallisia ja mikrobiologisia pitoisuuksia ennen korjauksia ja niitä päätetään mitata myös korjauksen jälkeen, näytteet tulisi ottaa samaan vuodenaikaan ja samoista kohdista. Näytteet tulisi ottaa aikaisintaan kuuden kuukauden kuluttua tilojen käyttöönotosta. Mikrobimittaukset tulisi tehdä talvikaudella, maan ollessa lumen tai jään peitossa. [23, 37–38.]

7 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli koota olemassa olevaa tietoa tiivistyskorjauksista ja niihin vaikuttavista taustatekijöistä sekä luoda kootun tiedon pohjalta rakennuttajalle muistilista tiivistyskorjauksen huomioimiseen korjaushankkeissa. Opinnäytetyö tehtiin kirjallisuustutkimuksena. Aihealue on laaja ja siihen liittyvää

tietoa on saatavilla paljon. Opinnäytetyö rajattiin käsittelemään rakennuttajan kannalta merkittäviä seikkoja. Tutkimus oli kokonaisuutena mielenkiintoinen ja opin itse paljon tiivistyskorjauksiin vaikuttavista tekijöistä. Opinnäytetyö on pyritty laatimaan mahdollisimman selkeälukaiseksi, myös aiheeseen perehtymättömiä henkilöitä ajatellen.

Tiivistyskorjauksia on käytetty yli 15 vuoden ajan osana muita korjaustoimenpiteitä sisäilmaongelmakohteissa. Korjausten onnistuminen on ollut vaihtelevaa. Epäonnistuneen korjauksen syynä on yleisimmin ollut suunnittelijan tai urakoitsijan ymmärtämättömyys tai huolimattomuus. Tarvittavat tutkimukset on myös voitu toteuttaa liian suppeasti. Muuten onnistuneita korjauksia on pilattu huolimattomalla siivouksella tai huonosti toteutetulla viestinnällä. Kaikilta osin huolellisesti toteutetuissa hankkeissa korjaukset ovat yleensä onnistuneet.

Tiivistyskorjauksen onnistuminen vaatii asiantuntemusta, tarkkuutta ja huolellisuutta koko hankkeen ajan; tutkimuksissa, suunnittelussa, toteutuksessa, valvonnassa ja jälkiseurannassa. Edellytyksiä hankkeen onnistumiselle ovat myös toimiva tiedonkulku hankkeen sisällä ja viestintä rakennuksen käyttäjille. Rakennuttajan tehtävä on merkittävä rakennuttajan ollessa yleensä ainoa henkilö, joka on korjaushankkeessa mukana alusta loppuun saakka.

Lähteet

1. Joensuun kaupunki. Joensuun kaupungin organisaatio. Päivitetty 26.2.2018. [Viitattu 26.6.2018.]
<http://www.joensuu.fi/kaupungin-organisaatio>.
2. Joensuun kaupunki. Kaupunkiympäristön toimiala. Päivitetty 23.2.2018. [Viitattu 26.6.2018.]
<http://www.joensuu.fi/kaupunkiympariston-toimiala>.
3. Joensuun kaupunki. Tilakeskus. Päivitetty 3.1.2014. [Viitattu 26.6.2018.]
<http://www.joensuu.fi/tilakeskus>.
4. Paloniitty, S. Rakennusten tiiviysmittaus. Rakentajain kalenteri 2013. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2013. ISSN 0355-550X.
5. Rakennustieto Oy. RT 80-10974. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2009.
6. Kauppinen, T. Rakennusten ilmanpitävyys. Rakentajain kalenteri 2011. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2010. ISSN 0355-550 X.
7. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017.
8. Rakennustieto Oy. RT 07-11299. Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2018.
9. Polvinen, M., Kauppi, A., Saarimaa, J., Haalahti, P. & Laurikainen, M. Rakennusten ulkovaipan ilmanpitävyys. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tutkimuksia 215. 1983. ISBN 951-38-1712-1.
10. Immonen, M. Rakennuksen vaipan ilmatiivyyden vaikutus energiatehokkuuteen. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Rakentamisen koulutusohjelma. 2013. [Viitattu 1.7.2018.]
<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/68045/Rakennuk.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
11. Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999.
12. Laine, K. Rakenteiden ilmatiivyyden parantaminen sisäilmakorjauksessa. Opinnäytetyö. Itä-Suomen yliopisto. Koulutus- ja kehittämisspalvelu Aducate. Rakennusterveys. 2014. [Viitattu 8.8.2018.]
https://www2.uef.fi/documents/976466/2568699/LaineKatariina_virallinen2014.pdf/3db1e1b4-23f1-42c6-93fa-165ee53fff5a.
13. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13.
14. Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017.
15. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017.
16. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017.
17. Pitkäranta, M. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöopas 2016. Helsinki: Ympäristöministeriö. 2016. ISBN 978-952-11-4626-8.
18. Asikainen, V. & Peltola, S. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. Helsinki: Opetushallitus. 2008. ISBN 978-952-13-3851-9.
19. Siikanen, U. Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2014. ISBN 978-952-267-001-4.

20. Paloniitty, S. Rakennusten tiiviysmittaus. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy. 2012. ISBN 978-952-269-034-0.
21. Aho, H. & Korpi, M. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 141. 2009. ISBN 978-952-15-2739-5.
22. Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Jokisalo, J., Eskola, L., Palonen, J., Kur-nitski, J., Aho, H., Salminen, M., Salminen, K. & Keto, M. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 140. 2009. ISBN 978-952-15-2738-8.
23. Levola, M. Ohje julkisen rakennuksen sisäilmakorjauksen rakennuttajalle. Opinnäytetyö. Rakennusteollisuuden Koulutuskeskus RATEKO. Rakennusterveysasiantuntijan koulutusohjelma. 2017. [Viitattu 4.12.2018.]
https://www.pori.fi/sites/default/files/atoms/files/ohje_julkisen_rakennuksen_sisailmakorjauksen_rakennuttajalle.pdf.
24. Tähtinen, K., Aalto, L., Pietarinen, V-M., Lappalainen, S., Holopainen, R., Palomäki, E. & Kuokkanen, J. Arvorakennusten käytettävyys ja hyvät korjauskäytännöt. Helsinki: Työterveyslaitos. Sisäympäristön kehittäminen. Loppuraportti. 2013. ISBN 978-952-261-350-9.
25. Vinha, J. Rakennusten rakennusfysikaalisen suunnittelun ja rakentamisen periaatteet. Rakentajain kalenteri 2009. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2008. ISSN 0355-550 X.
26. Riutanheimo, J. Voiko tiivistyskorjaus onnistua? Alakoulun kuntotutkimuksen ja sisäilmakorjauksen arviointi. Opinnäytetyö. Itä-Suomen yliopisto. Koulutus- ja kehittämispalvelu Aducate. Rakennusterveys. 2018. [Viitattu 9.1.2019.]
https://www.uef.fi/documents/10975/11755/181025_final_riutanheimo_julkaisu.pdf/29339694-6490-4540-85c5-86228bd2765f.

Rakennuttajan muistilista tiivistyskorjaukseen

Tarveselvitysvaihe	
Ilmavuotokohtien paikallistaminen ja selvitys niiden merkityksestä rakenteiden toimintaan ja sisäilman laatuun lähtötilanneselvityksen ja kuntotutkimuksen yhteydessä.	<input type="checkbox"/>
Ilmanvaihdon toimintatarkastus kuntotutkimuksen yhteydessä.	<input type="checkbox"/>
	
Hankesuunnitteluvaihe	
Päätökset korjaustapavaihtoehdosta ja tiivistyskorjauksen	<input type="checkbox"/>
– laajuustavoitteesta	<input type="checkbox"/>
– käyttöikä- ja laatuavoitteista	<input type="checkbox"/>
– aikataulusta ja kustannustasosta	<input type="checkbox"/>
– suunnittelijoista.	<input type="checkbox"/>
Väistötilojen tarpeen selvittäminen.	<input type="checkbox"/>
Viestinnän ja käyttäjien tiedotuksen suunnittelu.	<input type="checkbox"/>
Hankkeen tiedonhallinnan toteutuksen suunnittelu.	<input type="checkbox"/>
	
Korjaussuunnitteluvaihe	
Rakennusfysikaalinen tarkastelu ja suunnittelu tiivistettäville rakenteille.	<input type="checkbox"/>
Tiivistyskorjauksen rakennetekninen suunnittelu.	<input type="checkbox"/>
Ilmanvaihtotekninen suunnittelu.	<input type="checkbox"/>
Laadunvarmistus- ja seurantasuunnitelman laatiminen.	<input type="checkbox"/>

Kuva 9. Yhteenveto luvuista 6.1 ja 6.2.

Rakennuttajan muistilista tiivistyskorjaukseen

Rakentamisvaihe

Työntekijöiden perehdyttäminen työvaiheen tarkoitukseen, materiaaleihin ja työtekniikoihin; tarvittaessa koulutus esimerkiksi materiaalivalmistajalta.

Valvojan suorittamat työvaihekatseukset.

Tiivistyskorjauksen toteutuksen laadunvarmistus:

– mallityöt jokaiselle erilaiselle rakenteelle ennen varsinaisen työn aloittamista

– tehdyn tiivistyksen tarkastus kaikissa tiloissa laadunvarmistussuunnitelman mukaisesti ennen pintamateriaalien asennusta.

Ilmanvaihtojärjestelmän tarkastus- ja säätötyö tiivistyskorjauksen jälkeen.

Ilmanvaihtojärjestelmän säätötyön laadunvarmistus ilmamäärä- ja paine-eromittauksilla.



Käyttöönotto vaihe

Huoltokirjan päivitys sisältämään tehtyjen korjausten tarkat tiedot.

Käyttäjien ohjeistus tiloista, järjestelmistä ja siivouksen esteettömyydestä.

Siivousohjelman päivitys tarvittaessa.



Jälkiseurantavaihe (laaditun seurantasuunnitelman mukaisesti)

Käyttäjäkyselyn uusiminen mahdollisimman samanlaisena alkuperäisen kyselyn kanssa.

Siivoustason tarkastus.

Sisäilman olosuhdemittaus ja ilmanvaihtojärjestelmän toimintatarkastus.

Tiivistettyjen rakenteiden ilmatiiviyden seuraaminen mittauksilla ja arvioilla 1–5 vuoden välein.

Sisäilman näytteenotto aikaisintaan 6kk käyttöönotosta, jos pitoisuuksia on mitattu myös ennen korjauksia (kummatkin näytteenotot samanlaisina).

Kuva 10. Yhteenvedo luvuista 6.3-6.6.