



RAKENNUSTIETO >

Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> rakennustieto.fi/rk/palvelut

Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuista artikkeleista](#)

Rakenteiden ilmatiivyyden parantaminen osana onnistunutta sisäilmakorjausta

Katariina Laine, diplomi-insinööri

*Projektipäällikkö, Vahanen Oy, Rakennusfysikaaliset asiantuntijapalvelut
katariina.laine@vahanen.com*

Rakennusvaipan ilmanpitävyyden parantamisen tavoitteena on estää rakenteiden läpi hallitsemattomasti tapahtuvat vuotoilmavirtaukset. Korjausrantamisessa rakennusvaipan ilmatiivyyden parantamiseksi tehtäviä toimenpiteitä kutsutaan tiivistyskorjauksiksi. Niiden tavoitteena on estää paitsi hallitsemattomat ilmapirtaukset rakenteista myös ilmapirtausten mukana kulkeutuvien epäpuhtausien pääsy huonetilaan. Tiivistyskorjauksissa tehdään tyyppillisesti toimenpiteitä vaipparakenteiden sisäkuoren riittävän ilmatiivyyden varmistamiseksi.

Korjattaessa olemassa olevan rakennuksen ilmanpitävyyttä pyritään ilmatiivyyteen, joka rakennuksessa olisi alun perin pitänyt olla. Korjausmenetelmästä käytetään nimityksiä tiivistyskorjaus, ilmanpitävyyden parantaminen, ilmatiivyyden parantaminen ja yleisesti tiivistys.

Rakenteiden ilmatiivyyden parantamiseksi tehtävät tiivistyskorjaukset sekoitetaan usein muihin korjausmenetelmiin, kuten haitta-aineiden kapselointiin, kapillaarisen kosteuden katkaisemiseen tai muihin kosteuden tai paineellisen veden hallitsemiseksi tehtäviin korjaustoimenpiteisiin. Usein menetelmää käytetäänkin sisäilmaongelmakohteissa osana muita korjaustoimenpiteitä, sillä pelkkä tiivistyskorjaus harvoin riittää poistamaan ongelmia. Korjausratkaisut ovat useimmissa tapauksissa kompromisseja, joissa on jouduttu tinkimään ideaalisesta lämpö- ja kosteusteknisestä toiminnasta, jotta rakennus olisi kokonaisuudessa toimiva.

Tiivistyskorjauksilla voidaan myös vähentää energiankulutusta ja estää kosteuskonvektio. Rakennuksen sisäkuoren tiivistys on lisäksi ollut jo pitkään vakiintunut korjausmenetelmä radonin torjunnassa. Tiiviysvaatimukset on huomioitu myös uudisrakentamista käsittelevissä rakennusmääräyksissä ja ohjeissa.

Rakennusten sisäilmaongelmakohteiden parissa työskentelevillä asiantuntijoilla on näkemyseroja tiivistyskorjausten onnistumisesta, korjaustavan vaikutuksesta sisäilmaan, korjaustavan käyttöiästä ja vaikutuksista rakennuksen elinkaarikustannuksiin. Yhtenäisten toimintatapojen ja ohjeistuksen kehittämiseksi on käynnistetty vuoden 2014 aikana useita hankkeita.

Tiivistyskorjaukset ovat voineet epäonnistua rakenteissa tapahtuvien ilmiöiden ja kokonaisuuden ymmärtämättömyyden, puutteellisten suunnitelmien, huolimattoman toteutuksen tai laadunvarmistuksen puuttumisen vuoksi. Lisäksi on saatettu tiivistää rakenteita, joihin tiivistyskorjaus ei sovellu.

Kosteus- ja mikrobivaurioituneen rakennuksen korjauksessa on ensisijaisena vaihtoehtona vaurioituneiden rakenteiden poistaminen. Purkaminen ja uuden rakentaminen on vaihtoehto myös silloin, kun rakenne on lähestymässä käyttöikänsä loppua, jolloin purkaminen ja uuden rakentaminen saattaa olla kokonaistaloudellisesti parempi vaihtoehto kuin vanhan korjaaminen. Sen sijaan esimerkiksi suojelluissa rakennuksissa purkaminen on yleensä mahdollista vain rajoitetusti jos ollenkaan. Purkaminen ja uuden rakentaminen ei aina ole mahdollista myöskään taloudellisista syistä. Toisinaan pienien epäpuhtausmäärän poistaminen edellyttäisi kohtuuttomia purkutoimia. Usein vanhoissa rakennuksissa ei saada eikä voida poistaa kaikkia riskirakenteita tai kontaminoituneita materiaaleja, jolloin rakenteiden tiiviyys ja ilmanvaihdon toimivuuden merkitys korostuu. Koska purkaminen ja uuden rakentaminen ei aina ole mahdollista, tarvitaan vaihtoehtoisia korjausmenetelmiä.

Ulkovaipparakenteissa ja rakennuksen alapuolissa maaperässä on lähes aina mikrobiperäisiä epäpuhtauksia sekä radonia, jotka huonetilaan päästessään voivat heikentää sisäilman laatua. Rakenteiden ilmatiivyyden parantamisella voidaan vähentää maaperästä kulkeutuvien epäpuhtausien sekä ulkovaipan ulko-osien tai mikrobivauriokorjauksien jäljeltä rakenteisiin jääneiden vähäisten epäpuhtausien pääsyä sisäilmaan. Siten rakennuksen sisäkuoren ilmanpitävyydellä voidaan estää terveyshaittaa aiheuttavan olosuhteen syntyminen.

1 Rakenteiden ilmanpitävyyden huomioiminen radonin torjunnassa

Radonin torjunnasta rakenteiden tiivistysmenetelmällä on kokemusta vuosikymmenten ajalta, ja menetelmä on jo vakiintunut korjausratkaisu. Vanhimmat radonkorjaukset rakenteita tiivistämällä on tehty 1980-luvulla. Radonkorjausmenetelmiä ovat

myös esimerkiksi alapohjarakenteen sisäkuoren ilmatiivistäminen sekä alapohjan alapuolisen maaperän alipaineistusratkaisut.

Radon on hajuton, näkymätön, haitallinen ja vaarallinen kaasu, jota ei saa tulla haitallisia määriä huonetilaan. Rakentamismääräyksissä todetaan, että tiivis yhtenäinen laattarakaisu on radonturvallinen ratkaisu. Maanvaraisen laatan ja perusmuurin sauman tiivistystoimet ovat välttämättömiä, kun perusmuuri ja laatta rakennetaan erikseen. Lisäksi läpivientien tiivistäminen on erittäin tärkeää kaikissa rakenneratkaisuissa. Tiivis, halkeilematon betonirakenne estää radonin pääsyn haitallisissa määrin rakenteen läpi. [1]

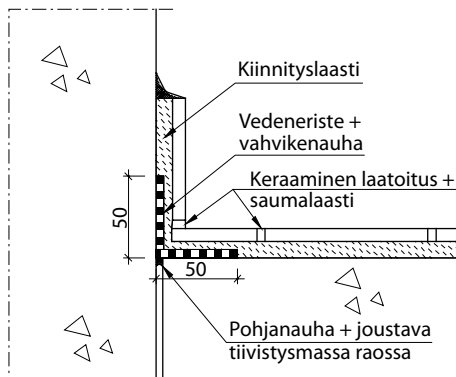
Radon on hyvä indikaattori tiivistyskorjausten onnistumiselle eli sille kuinka paljon ilmaa alapohjan kautta huoneilmaan tulee. Siksi radonmittausta ennen ja jälkeen korjaustöiden voidaan käyttää tiivistyskorjauksen onnistumisen arvioinnissa kohteissa, joissa radonia esiintyy. [2]

Olellaisena vaatimuksena radonin torjunnassa rakenteita tiivistämällä on, että ilmavirtausreitit katkaistaan kokonaan, eikä vain osittain. Yleisesti tiivistämisessä on noudatettava huolellisuutta, jotta tiivistämisen vaikutus työvirheiden takia jää merkityksettömäksi. Kun korjaukset on suunniteltu, työ toteutettu huolellisesti ja onnistuminen varmistettu asianmukaisesti laadunvarmistusmenettelyillä, voidaan tällaisista kohteista mittaustuloksiin perustuvan kokemusten mukaan katkaista radonia sisäilmaan kuljettavat ilmavirtaukset kokonaan, jolloin radonia voi siirtyä enää diffuusion avulla rakenteiden läpi. [2]

2 Rakennuksen ulkovaipparakenteiden sisäkuoren ilmatiiviyden uudisrakentamisessa

Uudisrakentamista koskevissa rakentamismääräyksissä edellytetään lähtökohtaisesti rakenteiden sisäkuoren ilmatiiviyttä. Sisäkuoren ilmatiiviyttä tehdään joko höyrynsululla, joka toimii samalla myös ilman-sulkuna tai massiivisella, höyryn- ja ilmansulkuna toimivana rakenteella. Hyvin ilmanpitävässä rakennuksessa korvausilmaa ei oteta rakenteiden ilma-voitokohdista, vaan hallitusti tuloilmaventtiilien tai raitisilmanottoaukkojen kautta. [3, 4, 5, 6]

Rakenteiden liitoskohdat eivät yleensä ole täysin tiiviit, vaan tiiviin sisäkuoren toteuttaminen vaatii kohdekohtaista yksityiskohtien suunnittelua. Esimerkiksi maanvaraiselle betonilaatalle on tyyppilistä, että uuden betonilaatan valun jälkeen laatan reuna-alueille muodostuu kuivumiskutistumisen vaikutuksesta rakoja. Myös nurkkakohtiin ja pilarien ympärille voi muodostua kuivumiskutistumisen aiheuttamia halkeamia. Siksi betonirakenteiden lii-



Kuvat 1 ja 2. Periaateratkaisu maanvaraisen betonilaatan ja betoniseinän liitoskohdan tiivistyskorjauksesta vedeneristysmassajärjestelmällä. Ote suunnitelmasta ja valokuva toteutuksesta työmaalla.

toskohdissa on lähes poikkeuksetta epäjatkavuuskohtia, joiden kautta voi tapahtua ilma vuotoja, ellei liitoskohtien ilmatiiviyttä ole erikseen suunniteltu. Kuvissa 1 ja 2 on esimerkki maanvaraisen betonilaatan tiivistyskorjausperiaatteesta.

Kosteusteknisen turvallisuuden, hyvän sisäilman ja energiatehokkuuden kannalta tulisi rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} olla enintään $1 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Rakennusvaipan ilmanvuotoluku uudisrakennuksissa saa olla enintään $4 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Ilmanvuotoluku voi olla tätä korkeampi, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä. Jos ilmanpitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menet-

lyllä, rakennusvaipan ilmapuotolukuna käytetään $4 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Pienempi ilmanpitävyys voidaan osoittaa mittaamalla. Rakennuksesta mitattu alhainen vuotoilmaluku ei kuitenkaan takaa vaipparakenteiden moitteetonta toimintaa ilmatiiviyden osalta, koska vaipassa voi silti esiintyä paikallisesti merkittäviä ilmanvuotokohtia. Siksi ilmansulun kaikkien liitosten ja läpivientien huolellinen tiivistäminen on tärkeää. [6, 7]

Uudet matalaenergian rakennuskonseptit ovat haastavia erityisesti paksujen lämmöneristyskerrosten ja rakenteiden kuivumiseen liittyvien tekijöiden vuoksi. Ulkovaipparakenteiden sisäpinnan vesihöyry- ja ilmatiiviyden ja ulkopuolisen rakentamisen aikaisen sääsuojauksen sekä kuivattamisen merkitys kasvaa, jotta paksumpi ja siksi hitaammin kuivuva lämmöneristekerros pysyy riittävän kuivana.

3 Rakenteiden ilmatiivyyden tavoitteet

3.1 Rakenteiden ilmatiivyyden vaikutukset rakenteiden toimintaan

Rakennusvaipan ilmanpitävyyden parantamisella on siis myönteinen vaikutus energiankulutuksen vähenemiseen, kosteuskonvektion estämiseen ja epäpuhtauksien kulkeutumisen estämiseen vuotoilmavirtausten mukana. Lisäksi ilmanpitävä rakennusvaippa on perusedellytys koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän luotettavalle ja energiatehokkaalle toiminnalle. Ilmanpitävyyden parantamisella voidaan parantaa myös asumisviihtyvyyttä, kun vedontunne poistuu ja pintalämpötilat kohoavat. [8]

Rakennusvaipan ilmanpitävyyden parantamisen kielteisenä vaikutuksena on, että rakenteita kuivatavat ilmavirtaukset heikentyvät ja että rakennusaikeisen kosteuden poistuminen voi hidastua. Rakenteita kuivattavaa vaikutusta voi esiintyä erityisesti vanhoissa hirsirakennuksissa ja muissa vanhoissa puurakenteissa. Rakenteita kuivatavat talvikaudella ilmatiiviydeltään heikkojen ulkoseinärakenteiden läpi tapahtuvat ilmavirtaukset. Maaperän huokosten ilman suhteellinen kosteuspitoisuus on kuitenkin lähellä 100 % RH ja siten alapohjarakenteista vuotokohtien kautta tapahtuvat ilmavirtaukset eivät rakenteita kuivata.

Edellä mainituista seikoista johtuen rakenteita ei tule milloinkaan tiivistää ilman tutkimuksia, suunnittelua, jorjauksen valvontaa ja seurantaa.

Uudisrakentamisessa rakennusaikeisen kosteus poistuu rakenteista hitaammin, kun rakenteiden läpi ei tapahdu ilmavirtauksia. Rakennuskosteuden hidas poistuminen rakenteista asettaa tiukempia vaatimuksia työmaan kosteudenhallinnalle, sillä ra-

kenteissa käytettävien rakenteiden tulee olla entistä kuivempia asennusvaiheessa.

3.2 Energiankulutuksen väheneminen

Ilmapuotojen todellinen vaikutus energiankulutukseen riippuu mm. ilmapuotokohtien jakaumasta ja rakennuksen vaipan yli vaikuttavista paine-eroista. Rakenteiden lävitse tapahtuvilla ilmavirtauksilla on rakenteiden lämmöneristävyyttä heikentävä ja rakenteita viilentävä vaikutus.

Energiankulutukseen vaikuttaa myös rakennuksen käyttö ja asukkaiden käyttötottumukset. Esimerkiksi ikkunatuuletus voi kasvattaa merkittävästi lämmitysenergian tarvetta muuten hyvin ilmanpitävässä rakennuksessa. Nykyisillä lämmöneristyspaksuuksilla vuotoilman vähentäminen on merkittävimpiä ja edullisimpia energiankulutuksen vähentämisen keinoja energiataloudeltaan jo sillällään hyvien rakennusten parantamisessa. Hyvällä ilmanpitävyydellä voidaan parantaa rakennuksen energiatehokkuusluokkaa. [8]

3.3 Kosteuskonvektion estäminen

Lämpimään sisäilmaan sitoutunut kosteus siirtyy ilmavirtausten mukana ilmapuotokohtien kautta sisätiloista ulospäin. Kosteuden tiivistyessä rakenteiden sisällä viileisiin pintoihin voi aiheutua kosteusvaurioita. Lisäksi rakenteiden sisällä ilmapuotokohtien kautta kulkeutuva lämpö ja kosteus mahdollistavat paikalliset mikrobikasvulle suotuisat olosuhteet juuri siihen kohtaan, josta ilma voi virrata huonetiloihin päin. Kosteuskonvektio vähennee, kun rakenteen sisäkuori on ilmanpitävä.

Myös kylmän vuotoilman aiheuttama rakenteiden pintojen jäähtyminen aiheuttaa kosteuden tiivistymisriskin, jota voidaan hallita estämällä rakenteiden läpi kulkeutuvat ilmavirtaukset.

3.4 Epäpuhtauksien kulkeutumisen estäminen ja vaikutus sisäilman laatuun

Sisäilman laatuun vaikuttavat useat tekijät. Sisäilman fysikaalisia olosuhteita, kemiallisia ja mikrobiologisia epäpuhtauksia, hiukkasten ja kuitujen määrää ja pitoisuuksia voidaan tarkastella erilaisin mittausmenetelmin ja tuloksia voidaan verrata kirjallisuudessa esitettyihin viitearvoihin. Siten edellä mainittuja tekijöitä voidaan tarkastella objektiivisesti. Ihmiset kokevat sisäilman laadun kuitenkin yksilöllisten erojen ja psykososiaalisten tekijöiden vuoksi subjektiivisena kokemuksena. [9]

Ilmavirtaukset ja niiden mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien kulkeutuminen huoneilmaan voidaan katkaista tiivistämällä vaipparakenteiden sisäkuoren epätiiviyyskohdat. Ilmavirtausten mukana voi kulkeutua huonetilaan mikrobiperäisiä epäpuh-



Kuva 3. Ulkoseinärakenteen ja alapohjarakenteen tiivistyskorjauksia.

tauksia, hiukkasia, radonia ja kemiallisia epäpuhtauksia tai muita haitta-aineita. Ilmavuotokohdista voi tulla sisätiloihin myös melua ja hajuja, kuten tupakansavua tai ruuankäryä.

Rakenteiden ilmanpitävyys parantaa myös paloturvallisuutta hidastamalla savukaasujen leviämistä.

Kuvassa 3 on esimerkki toimistorakennuksessa tehdyistä tiivistyskorjauksesta, jonka tarkoituksena oli estää ulkovaipparakenteissa olevien epäpuhtauksien kulkeutuminen huoneilmaan.

Terveydensuojelulain lähtökohdana on ennalta ehkäisy ja siksi ko. laki ohjaa terveyshaittaa aiheuttavan olosuhteen poistamiseen. Rakenteiden sisäkuoren ilmanpitävyydellä voidaan estää terveyshaittaa aiheuttavan olosuhteen syntymistä. Terveyshaitan poistamisen pääperiaatteena on sekä selvittää epäpuhtauksien alkuperä että estää epäpuhtauksien leviäminen sisäilmaan. Epäpuhtauksia kertyy sisäilmaan usein puutteellisesti toimivan ilmanvaihtojärjestelmän kautta tai siten, että ulkoilma tulee sisälle hallitsemattomasti rakenteiden kautta, jolloin rakenteiden läpiviennit ja saumakohdat on tiivistettävä. Rakennusvaipan ilmanpitävyydellä voidaan vaikuttaa myös asumisviihtyvyyteen, kun vedontunne poistuu ja sisäpintojen lämpötilat kohoavat. [9, 10]

3.5 Rakennuksen painesuhteiden ja ilmatiivyyden merkitys rakennuksen toimintaan ja sisäilman laatuun

Rakennuksen painesuhteet määräytyvät tuulen, savupiippuvaikutuksen ja ilmanvaihdon sekä tilojen käytön yhteisvaikutuksesta. Rakennuksen painesuhteet vaihtelevat ja voivat muuttua hyvin nopeasti ja voimakkaasti. Paine-erojen seurauksena ilma virtaa huoneilasta toiseen, rakennuksen eri kerrosten välillä tai ulkovaipparakenteiden lävitse. Ilma-

virtaukset siirtävät mukanaan lämpöä, kosteutta ja epäpuhtauksia, kuten hiukkasia, mineraalivillakuituja, mikrobiperäisiä ja kemiallisia epäpuhtauksia sekä radonia tai muita haitta-aineita. Rakennuksen painesuhteiden selvittämisellä voidaan arvioida rakennuksessa tapahtuvien ilmavirtausten suuruutta, suuntaa ja ilmavirtausten mukana siirtyvän kosteuden, lämmön ja epäpuhtauksien merkitystä rakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuuden kannalta sekä niiden vaikutusta sisäilman laatuun. Rakennuksen painesuhteita ja ilmavirtauksia rakennuksessa voidaan arvioida aistinvaraisesti merkkisavulla tai puhdassavukokeen avulla. Rakennuksen painesuhteita voidaan selvittää suuntaa-antavasti hetkellisillä paine-eromittauksilla ja tarkemmin pitkäkestoisilla, jatkuvilla seurantamittauksilla käyttäen mittaja-tiedonkeräyslaitteita.

4 Rakenteiden ilmanpitävyyden tutkimismenetelmät

Ennen tiivistyskorjausten suunnittelua ja toteutusta työmaalla tehdään tarvittavat selvitykset korjaussuunnittelussa tarvittavien lähtötietojen selvittämiseksi. Rakenteiden ilmavuotokohtien sijainnit voidaan selvittää tarkasti merkkiainetekniikalla, jossa rakenteeseen poratusta rei'istä lasketaan merkkiaineikaasua tarkasteltava rakenteen sisälle. Tarkasteltava huonetilä tehdään alipaineiseksi, jolloin ilmavirtauksen suunta on tutkittavasta rakenteesta huonetilään päin. Merkkiaineanalyysaattorilla voidaan havaita ilmavuotokohdat, joiden kautta merkkiaineikaasu pyrkii kulkeutumaan huonetilään.

Rakennusvaipan ja yksittäisten rakennusosien ilmanpitävyyttä voidaan selvittää tarkastelemalla rakennepiirustuksista liitosten toteutustapaa ja käytettyjä materiaaleja. Kohteessa tehtävissä tutkimuksissa rakenteiden epäjatkuvuuskohtia, kuten rakoja ja halkeamia voi havaita usein myös silmä-määräisesti. Rakenteita avaamalla, kuten jalkalistoja ja ikkunoiden listoituksia irrottamalla voidaan tarkastella liitoskohtien toteutustapaa ja siten arvioida niiden ilmanpitävyyttä. Ilman liikettä liitoskohtien lähellä voidaan havainnoida merkkisavun avulla aistinvaraisesti tehtävässä arvioinnissa. Kuntotutkimuksen tukena tehtävässä lämpökamerakuvausssä voidaan myös havaita lämpövuotokohtia.

5 Rakenteiden tiivistyskorjausten suunnittelu

5.1 Rakennetekninen suunnittelu

Tiivistyskorjaukset eivät sovi kaikille rakennetyypeille. Rakenteita ei tule milloinkaan tiivistää ilman tutkimuksia, suunnittelua, korjauksen valvontaa ja seurantaa. Lähtökohtaisesti rakenteita, joissa on

mikrobi- tai kosteusvaurio ei tiivistetä. Vaurio ja vaurion aiheuttaja poistetaan siten, että vaurio ei uusiudu ja että rakenne toimii jatkossa rakennusfysiikaalisesti oikein.

Ilmatiivyyden parantamisella ei voida estää joidenkin haitta-aineiden, esimerkiksi öljyhiilivetyjen kulkeutumista huoneilmaan, vaan on käytettävä muita toimenpiteitä. Silloin, kun haitta-aineiden purkaminen ei tule kysymykseen, voidaan joissakin kohteissa käyttää kapselointikorjausta. Kapseloinnilla tarkoitetaan korjausmenetelmää, jonka tavoitteena on estää haitta-aineiden tai muiden epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan sekä konvektiolla että diffuusiolla. Haitta-aineiden kapseloinnissa käytettävät tuotteet estävät tai hidastavat kaasujen kulkeutumisen diffuusiolla. Kapselointimateriaali on yhtäaikaaisesti myös ilmatiivis ja siten se katkaisee myös rakenteiden läpi tapahtuvat ilmarivaukset.

Ilmanpitävyyden parantamisessa katkaistaan ilmavirtausreitit rakenteiden läpi. Koska ilmavirtauksilla saattaa olla rakennetta kuivattava vaikutus, on tapauskohtaisesti arvioitava, miten rakenteen kosteustekninen toimivuus muuttuu. Suojeltujen rakennusten tiivistyskorjausdetaljit on harkittava ja neuvoteltava tapauskohtaisesti eri suojelutahojen kanssa. Käytetyt ratkaisut ovat aina teknisten ja rakennushistoriallisten näkökohtien kompromisseja, johon vaikuttaa muun muassa rakennuksen suoje-lun aste.

Tiivistyskorjausten suunnittelu on rakennusfysiikaalista suunnittelua, jonka vaativuus vaihtelee tavanomaisesta poikkeuksellisen vaativaan. Suunnittelu tehdään aina kohdekohtaisesti, eikä suunnitelmia tule suoraan soveltaa muissa kohteissa. Suunnittelu edellyttää asiantuntemusta ja käytettävien materiaalien ja menetelmien tuntemista.

Tiivistyskorjausten suunnittelussa on huomioitava rakennuksen lämpö- ja kosteustekninen toimivuus, joka voi muuttua tiivistyskorjausten toteuttamisen myötä. Mikäli tiivistämisen jälkeen on vaara, että kosteusherän rakenneosan kosteuspitoisuus saattaisi nousta haitallisesti, ei tiivistäminen lähtökohtaisesti tule kysymykseen. Tiivistyskorjausten yhteydessä huomioidaan rakenteiden kuivumiskyky muun muassa ulkoseinä-rakenteiden kohdalla siten, että rakenteessa on toimiva tuuletusväli. Hankkeeseen valittavien suunnittelijoiden tulee olla riittävän päteviä suhteessa hankkeen vaatuu-teen.

Tiivistyskorjaukset ovat osa muita korjaustoimenpiteitä. Rakenteiden ilmatiivyyden parantamisen yhteydessä tulee vähintään tarkastaa ja tarvittaessa säätää ilmanvaihtojärjestelmä vastaamaan muutuneita painesuhteita. Kosteus- ja mikrobuivaurion korjaamisessa poistetaan rakenteista vaurioituneet materiaalit ja huolehditaan jätettävien rakenteiden

ja pintojen puhdistuksesta mekaanisesti (imurointi, pyyhintä). Yleisohje on, että sisäilmaan yhteydessä olevat selvästi vaurioituneet materiaalit vaihdetaan tai kunnostetaan aina. Rakenteiden sisällä tai ulkopuolisissa tuuletustiloissa olevaa homehtunutta materiaalia ei välttämättä tarvitse uusia tai puhdistaa, mikäli homepölyn ym. aineiden kulkeutuminen huonetiloihin voidaan estää luotettavasti.

Rakenteet korjataan siten, että ne toimivat rakennusfysiikaalisesti oikein. Toteutuksen tulee olla pitkäikäinen ja varmatoiminen. Rakenteiden alipaineistuksella voidaan saada lisävarmuutta rakenteissa olevien epäpuhtauksien hallitsemiselle. Maanvastaisen alapohjarakenteen alapuolisen maaperän alipaineistamisella tarkoituksena on estää rakennuksen alla maaperässä olevien epäpuhtauksien ja mikro-bien kulkeutuminen huoneilmaan. Maaperän alipaineistuksella on myös maaperää kuivattava vaikutus, mikä on osoitettu mittauksin monissa kohteissa alipaineistusjärjestelmän käyttöönaton jälkeen. Alipaineistusratkaisuja voidaan käyttää ryömintätiloissa, erityyppisissä alapohjarakenteissa, sekä täyttökerroksellisissa välipohjissa, kuten väestönsuojien täyttökerrosten kuivatuksessa tai vanhan täyttökerroksellisen välipohjan epäpuhtauksien hallitsemisessa. [11, 12]

Suunnitelmissa määritellään tiivistyskorjausten toteutustavat ja käytettävät materiaalit. Suunnitelmissa nimettyjä materiaaleja ja työn toteutustapaa ei saa muuttaa hyväksyttämättä muutoksia suunnittelijalla. Suunnitelmiin kirjataan korjausmenetelmän käyttöikä. Rakennetekniset suunnitelmat koostuvat työselostuksesta sekä tarvittavista piirustuksista, joissa tiivistyskorjausten toteutustapa on määriteltävä tarkasti detailitasolla. Suunnitelmissa määritetään purkutöiden laajuus, toteutustapa ja alustan valmistelu. Alustan tulee olla riittävän tasainen, luja, puhdas liasta ja pölystä ja muista tartuntaa heikentävistä aineista. Alustan valmistelu edellyttää tyypillisesti pintamateriaalien poistamista, sillä tiivistyskorjaus onnistuu vain harvoin suoraan vanhojen pintojen päälle tehtynä.

Suunnitelmissa määritellään työn teknisen toteutuksen laadunvarmistusmenetelmät, kuten eri työvaiheiden tarkastukset, mallityöt ja tiivistyskorjauksen onnistumisen varmistaminen merkkiaine-tekniikalla ennen pintamateriaalien asentamista. Mallityöt erilaisista tiivistettävistä rakenteista ovat tärkeitä työn onnistumisen kannalta. Hyväksytyt mallityöt toimii tulevien työsuoritusten työmallina.

5.2 Ilmanvaihtotekninen suunnittelu

Ilmanvaihtojärjestelmän toiminta on aina tarkastettava ja painesuhteet säädettävä tiivistyskorjausten jälkeen, jotta rakennuksen tiivistyskorjauksen myö-

tä muuttuneet painesuhteet saadaan hallintaan. Sisäilmakorjauksen jälkeen tavoiteltava paine-ero ulkovaipan yli on vähän alipaineinen, kuitenkin lähellä 0 Pa.

Ilmanvaihtoteknisessä suunnittelussa on huomioidava myös hallittu korvausilman saanti ja ilmanvaihtojärjestelmän säätötyö.

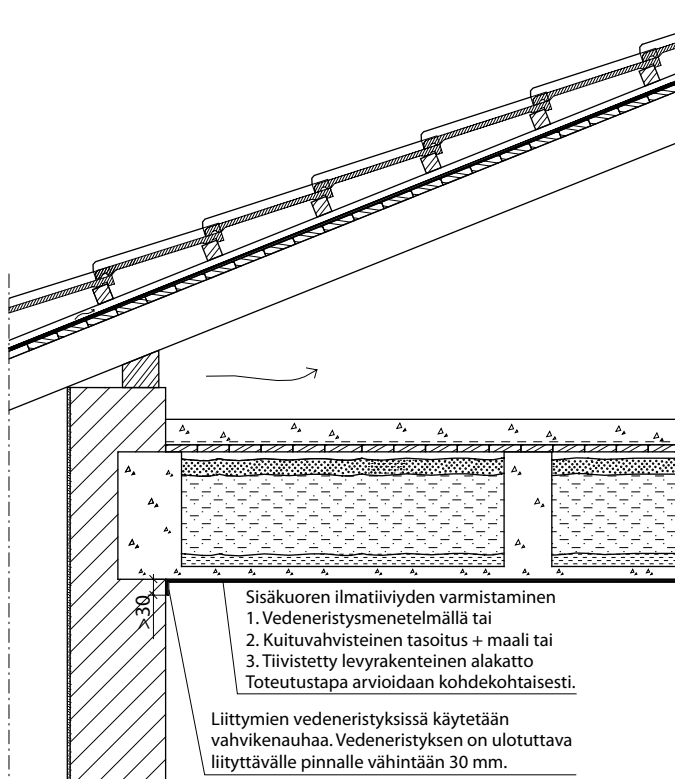
7 Tiivistyskorjauksissa käytettävät materiaalit

Tiivistyskorjauksissa käytettäville tuotteille ei ole viranomaisten asettamia vaatimuksia. Ilmansulkuna pidetään rakennustarviketta, jonka ilmanläpäisykerroin on enintään $1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. Ilmanläpäisevyys on materiaalikohtainen ominaisuus. Rakenteiden ilmatiiviiden parantamisessa voidaan käyttää esimerkiksi saumanauhaa, tiivistysmassaa, polyuretaanivaahtoa, erikoisteippiä tai erikoisliimanauhaa. Käytettävillä tuotteilla tulee olla käytötarkoitukseensa riittävä tartunta- ja muodonmuutoskyky, pitkäaikaiskestävyys ja ilmanpitävyys.

Tiivistysmassaa, polyuretaanivaahtoa ja erikoisteippejä käytettäessä tulee varmistaa, että tiivistys on tehty riittävän leveää tartunta-aluetta käyttäen.

Rakenteen ilmanpitävyyttä voidaan parantaa myös erilaisilla materiaaliyhdistelmillä, kuten tiili-muurauksen pintaan asennettavalla järjestelmällä, johon kuuluu tiivis tasoite, vahvistusverkko ja pintakäsittely, kuten maali. Riittävän ilmatiiviitä rakennusmateriaaleja ovat esimerkiksi muovilattiapäällysteet, useat pinnoitteet ja epoksipohjustimet. Myös tiiviit rakennuslevyt, kuten kipsilevytyt, jonka saumat on huolellisesti saumattu tiiviiksi, voi toimia osana rakenteen ilmansulkua.

Tiivistyskorjauksissa käytettävien materiaalien tulee olla käyttötarkoitukseensa testattuja, elastisia materiaaleja. Niiltä edellytetään myös hyvää silloituskykyä ja pitkäaikaiskestävyyttä. Materiaalien tulee olla myös turvallisesti testattuja, vähäpäästöisiä ja mielellään M1-luokiteltuja, jos tuote jää pintamateriaaliksi. Käytettävän materiaalin tulee olla yhteensopiva alustan ja päälle tulevan materiaalin kanssa. Materiaalilla tulee olla hyvä tartunta alus-



Kuva 4. Täyttökerroksellisen vanhan yläpohjarakenteen ilmatiiviiden periaatekuva.

taansa ja vaatimukset alustalle on esitettävä. Tiivistyskorjaukseen käytettävän materiaalin vesihöyrynläpäisevyys tai vesihöyrynvastus tulisi olla tiedossa. Lisäksi tulisi tietää materiaalin kemikaalikestävyys. Koska tiivistyskorjauksia tehdään sisätiloissa, ei käytettäviltä materiaaleilta vaadita erityistä säänkestävyyttä. Materiaalien mahdollinen tuoteperhe on hyvä asia, mutta ei välttämätön.

Tiivistyskorjausten kohteita ovat pääasiassa rakenteiden liitoskohdat. Lisäksi voidaan tiivistää kokonaisia seinä-, katto- tai lattiapintoja, jolloin tiivistyskorjaus tulee rajata sellaisiin tuotteisiin, käytötapoihin ja -laajuuksiin, joiden turvallisesta toiminnasta on kokemuksia. Käsiteltäessä laajoja pinta-aloja suunnittelijan tulee kiinnittää huomiota erityisesti käytettävien materiaalien emissioihin asennusvaiheessa ja valmiina pintoina (kuva 4). Suunnitteli- ja päättää käytettävistä tuotteista ja määrittelee ne suunnitelma-asiakirjoihin. Materiaalien valinta on mitoitustehtävä, jossa pitää hahmottaa rakenteissa tapahtuvat muodonmuutokset, valita käyttötarkoitukseen sopivat tuotteet, ymmärtää korjattava ongelma ja varmistaa ratkaisun toimivuus.

8 Tiivistyskorjausten toteutus työmaalla

Huolellinen työ on ehdoton edellytys korjauksen onnistumiselle. Mikäli urakoitsija ei tunne suunnitelmassa nimettyjä työtekniikoita tai materiaaleja, niin urakoitsijan edellytetään hankkivan tarvittava koulutus esimerkiksi materiaalivalmistajalta. Tiivistyskorjauksen onnistuminen varmennetaan työmaalla tarkoituksenmukaisella laadunvarmistusmenettelyllä. Laadunvarmistustoimenpiteistä ja katselmuskäynneistä laaditaan kirjallinen dokumentti. Tiivistyskorjausten laadunvarmistus työmaalla tehdään ennen kuin pintarakenteet on asennettu paikoilleen. Tarkastus tehdään tarkoituksenmukaisella laadunvarmistusmenettelyllä eli aistinvaraisen tarkastuksen lisäksi tiiviys tarkastetaan merkkiainetekniikalla. Laadunvarmistus tehdään lähtökohtaisesti kaikissa korjatuissa tiloissa aistinvaraisesti ja merkkiainetekniikalla voidaan tehdä mittauksia joko jokaisessa korjatussa tilassa tai pistokoelunteisesti valituissa tiloissa.

Tiivistyskorjausten toteuttajille ja valvojille ollaan laatimassa sertifiointikoulutusta.

8.1 Laadunvarmistus merkkiainetekniikalla

Rakenteen ilmatiiviyttä tarkasteltaessa merkkiainetekniikalla lasketaan merkkiaineakaasua tutkittavaan rakenteeseen, josta kaasu pyrkii ilmavirtausten mukana alipaineisen huonetilan suuntaan. Huonetilassa merkkiaineakaasu havaitaan ja vuotokohdat paikallistetaan merkkiaineanalysaattorilla. Ilmavuo-

toikkojen paikallistamisessa merkkiainetekniikalla on huomioitava seuraavassa esitettyjä asioita, jotta laadunvarmistusmenettely on luotettava. Ennen mittauksen aloittamista tarkasteltavan rakenteen alipaineisuus huonetilaan verrattuna varmistetaan paine-eromittauksella. Alipaineisuuden säilymistä on suositeltavaa seurata paine-eromittauksella koko merkkiainemittauksen ajan. Huonetilan on oltava alipaineinen tarkasteltavan rakenteen suhteen, sillä muuten ilman virtaussuunta ei ole huonetilan päin ja merkkiaineakaasu ei kulkeudu huonetilaan. Tutkittavassa huonetilassa tulisi pyrkiä vakioalipaineeseen 10–15 Pa tulosten vertailtavuuden parantamiseksi. Alipaineistus toteutetaan joko rakennustyömaan osastoinnin alipaineistuskalustolla tai oviaukkoon asennettavalla alipaineistuskalustolla.



Kuvat 5 ja 6. Alapohjarakenteen tiivistyskorjauksia ennen pintarakenteiden asentamista.

Merkkiaineakaasu lasketaan tutkittavan rakenteen sisälle tavanomaisesti rakenteen läpi poratun reiän kautta. Merkkiaineakaasun syöttöposteitä tulee olla riittävän tiheästi, jotta kaasu kulkeutuu luotetavasti koko tutkittavan rakenteen alueelle. Merkkiaineakaasun syöttöletkun tiivistys tulee tehdä tiiviiseen rakenneosaan, kuten höyrynsulkukalvoon tai esimerkiksi ulkoseinän betoniseen sisäkuoreen. Merkkiaineakaasua laskettaessa rakenteeseen tulee tarkistaa, etteivät merkkiaineakaasupullo, letkun liitokset tai syöttöletkun liitoskohta rakenteeseen vuoda. Mikäli tarkasteltavaan tilaan pääsee merkkiaineakaasua, se hankaloittaa tai estää laadunvarmistusmittauksen luotettavan suorittamisen ja huone-tila on tuulettava ennen kokeen uusimista.

Merkkiakaasun annostelu riippuu tutkittavasta rakenteesta. Merkkiaineakaasun leviämiseen rakenteessa vaikuttavat rakenteen sisäiset ilmavirtaukset, rakenteen muodot, käytetyt materiaalit, kaasun syöttönopeus ja määrä alipaineisuus tutkittavan rakenteen yli. Merkkiaineakaasun leviäminen ja liikkumissuunnan selvittäminen on erityisen tärkeää alapohjarakenteiden laadunvarmistusmittauksissa, sillä rakennuksen alla olevan maaperän ja kapillaarikatkokeroosien ilmanläpäisevyydet vaihtelevat merkittävästi.

Vuotokohdat havaitaan merkkiaineanalysointin antaman tuloksen perusteella, ja tulosta tulkitaan kvalitatiivisesti. Aistinvaraisessa tarkastelussa ja tulkinta on yksinkertainen: vuotoa joko on tai ei ole. Merkkiakaasun pitoisuutta rakenteessa ei tunneta. Siksi tulosten tulkinnessa tutkijan ammattitaidolla on suuri merkitys. Havaitut vuotokohdat merkitään ja vuotokohtien tiivistyskorjaustapa ohjeistetaan. Merkkiaineakoe on toistettavissa niin monta kertaa, että vuotokohdat on korjattu ja rakenne on tiivis. Laadunvarmistusmittauksista laaditaan kirjallinen raportti, jossa esitetään havaitut vuotokohdat esim. pohjakuvassa. Valokuvat 5 ja 6 on otettu laadunvarmistusmittausten yhteydessä.

9 Tiivistyskorjausten onnistuminen ja pitkäaikaiskestävyys

9.1 Korjausten onnistumisen arviointi

Rakennushankkeen laadunvarmistusasiakirjoissa voidaan määrittää korjausten jälkeiset seuranta-toimenpiteet, joiden tarkoituksena on varmistaa ja todentaa korjausten onnistuminen. Laadunvarmistusasiakirjassa määritetään tarkastusten ajankohdat, toimenpiteet ja vastuhenkilöt. Korjausten onnistumisen tarkastukset ja mittaukset dokumentoidaan.

Korjausten onnistumista voidaan arvioida aistinvaraisesti tarkastuksilla, erilaisilla mittauksilla sekä käyttäjäkyselyillä eli käyttäjien subjektiivisilla kokemuksilla. Onnistumisen varmistamisen mittauk-

set voi tehdä ulkopuolinen asiantuntija, esimerkiksi kohteen kuntotutkimukset tehnyt henkilö. Tarkastukset ja mittaukset voidaan tehdä pistokoelunotoisesti tai jokaisessa korjatussa tilassa. Korjausten onnistumisen seurantamenetelmät, tarkastustiheys ja laadun tavoitetaso määritellään kohdekohtaisesti. Mittaustuloksia verrataan ennen korjausta tehtyihin mittaustuloksiin ja havaintoihin sekä viranomaisohjeistuksessa annettuihin ohjeellisiin viitearvoihin ja laadunvarmistus- ja seurantasuunnitelmassa esitettyihin kriteereihin.

Koska tiivistyskorjaukset ovat osa eri korjausten kokonaisuutta, tulee onnistumisen arvioinnissakin tarkastella koko korjauksen onnistumista. Jos esimerkiksi tiivistystyö on tehty hyvin, mutta loppusiivous on laiminlyöty tai ilmanvaihtojärjestelmä ei toimi suunnitellusti, on selvää, että käyttäjät kokevat korjausten epäonnistuneen. Käyttäjiltä suoraan saatu palaute on usein hyvä mittari korjausten onnistumisen arvioinnissa.

Tärkeimmät korjausten onnistumisen arviointimenetelmät ovat

- käyttäjiltä saatu palaute ja käyttäjäkysely ennen ja jälkeen korjausten
- rakenteiden ilmanpitävyyden tarkistusmittaukset
- ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuden tarkastus
- siivoustason tarkastus
- sisäilmaolosuhteiden mittaus
- sisäilman kemiallisten ja mikrobiologisten pitoisuuksien mittaus.

9.1 Tiivistyskorjausten pitkäaikaiskestävyys

Radonin torjunnasta rakenteiden tiivistysmenetelmällä on kokemusta vuosikymmenten ajalta ja menetelmä on vakiintunut korjausratkaisu. Sisäilma-ongelmakohteissa tiivistyskorjausmenetelmä on ollut käytössä noin 15 vuotta. Korjauksissa käytettävien yksittäisten materiaalien pitkäaikaiskestävyyttä on tutkittu ja materiaalien toimivuudesta kohteissa on vuosikymmenten kokemus. Nestemäisenä levitettävillä vedeneristeillä tehdyillä tiivistyskorjauksilla voidaan hyvin arvioida olevan 40 vuoden käyttöikä, sillä tiivistyskorjauksiin kohdistuva rasitus on kevyt [13]. Yksittäisissä kohteissa on tehty korjausten jälkeisiä seurantamittauksia, joissa rakenteet on todettu yhtä ilmatiiviiksi kuin työmaan aikana tehdyissä laadunvarmistusmittauksissa.

Tiivistyskorjauksiin liittyviä tutkimuksia on tehty suhteellisen vähän. Tiedetään, että rakenteiden läpi tapahtuvien ilmavirtausten mukana kulkeutuu epäpuhtauksia huoneilmaan ja että tiivistyskorjauksilla voidaan estää ilmavirtausten mukana kulkeutuvien hiukkasmaisten epäpuhtauksien kulkeutuminen ja hidastaa kaasumaisten epäpuhtauksien kulkeutumista. Ei ole tiedossa, minkälaisia pitoisuuksia epäpuhtauska voi siirtyä ilmavirtausten mukana, mikä

on riittävä vähennys epäpuhtausmäärissä tai turvallinen enimmäispitoisuus. Ei myöskään tiedetä, mikä merkitys diffuusiolla rakenteiden läpi kulkeutuvilla epäpuhtauksilla on sisäilman laadun kannalta. Mikrobiperäisten epäpuhtauksien merkityksen arvioimista vaikeuttaa se, että ei ole olemassa terveysterveysteisiä raja-arvoja. Voidaan kuitenkin arvioida, että ilmapvirtausten mukana siirtyvästi merkittävämpiä epäpuhtausmääriä kuin diffuusiolla rakenteiden läpi. Vähäisen tutkimustiedon vuoksi tiivistyskorjausten osuutta onnistuneissa sisäilmakorjauskohteissa ei tunneta tarkasti. Kokemusten perusteella onnistuneita kohteita on. Perusteellimmat korjaukset ja homepölyttömäksi siivoaminen eivätkään välttämättä puhdistusta tiloja riittävän puhtaiksi herkimille henkilöille, vaan heillä oireet usein palaavat tiloihin tultaessa [14].

Tiivistyskorjausten toteuttamisessa on oleellista huomioida koko rakennusvaipan ilmanpitävyys, koska yksittäisiin rakenteisiin tehdyt tiivistykset eivät oleellisesti paranna rakennuksen ilmanpitävyyttä eivätkä vähennä huonetilan epäpuhtauspitoisuuksia.

Lähdeluettelo

- [1] Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa B3, Pohjarakenteet. Määräykset ja ohjeet 2004. Ympäristöministeriö, Helsinki.
- [2] Kettunen, A-V, Slunga E., Viljanen M. Radonin merkitys talonrakennustekniikassa. Radon-suunnitteluohje normaalin radonluokan alueille. Julkaisu/Report 114. Teknillinen korkeakoulu, Rakennetekniikan laitos. 1991. Espoo.
- [3] Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998 Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto.
- [4] Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C3, Rakennusten lämmöneristys 2010, Määräykset. Ympäristöministeriö, Helsinki.
- [5] Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö, Helsinki.
- [6] Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3, Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö, Helsinki.
- [7] Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet.
- [8] Vinha J. Rakennusten rakennusfysikaalisen suunnittelun ja toteutuksen periaatteet. Tampereen Teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Rakentajain kalenteri 2014. s.351-373.
- [9] Sosiaali- ja terveysministeriö. Asumisterveysohje 2003:1. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita.
- [10] Terveystieteiden tutkimuskeskus. Terveystieteiden tutkimuskeskus. 19.8.1994/763.
- [11] Ympäristöministeriö. Ympäristöopas 29. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjaus. 1997. Tampere.
- [12] Salo, E. Alipaineistus osana epäpuhtauksien hallintaa käytännön esimerkkejä. Sisäilmastoseminaari 2014, SIY raportti 32. s.197-202.
- [13] KH 90-00403 / LVI 01-10424. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitotaksot, tammikuu 2008.
- [14] Kosteus- ja hometalkoot, Suomen JVT- ja kuivausliikkeiden liitto ry ja Työterveyslaitos. Ohje siivoukseen ja irtaimiston puhdistukseen kosteus- ja homevauriokorjausten jälkeen. 2011.