

YMPÄRISTÖOPAS 2016

Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus

Toim. Miia Pitkäranta



YMPÄRISTÖMINISTERIÖ

YMPÄRISTÖOPAS 2016

Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus

Toim. Miia Pitkäranta

Helsinki 2016

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

YMPÄRISTÖOPAS 2016
Ympäristöministeriö
Rakennetun ympäristön osasto

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö
Kansikuva: YHA-Kuvapankki / Mauri Mahlamäki
Kansikuva on kuvituskuva, eivätkä siinä esiintyvät rakennukset liity julkaisun aiheeseen

Julkaisu on saatavana internetistä:
<http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/>

Painettu julkaisu on myynnissä:
www.rakennustieto.fi

Hansaprint Oy, Turenki 2016

ISBN 978-952-11-4625-1 (nid.)
ISBN 978-952-11-4626-8 (PDF)
ISSN 1238-8602 (pain.)
ISSN 1796-167X (verkkoj.)



4041 0024
Painotuote

ESIPUHE

Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus -oppaan tarkoituksena on toimia oppikirjana ja ohjeena kosteus- ja mikrobivaurioiden ja rakennusten sisäilmaongelmien kanssa tekemisissä oleville kuntotutkijoille ja muille asiantuntijoille. Opas antaa käytännön ohjeita rakennusalan ammattilaisille kosteus- ja homevaurioituneiden tai muuten sisäilmaongelmaisten rakennusten kuntotutkimusten suunnittelusta, tekemisestä ja tutkimustulosten analysoinnista ja raportoinnista.

Opas on päivitetty ympäristöministeriön vuonna 1997 julkaiseman Ympäristöopas 28 – Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus -kirjan pohjalta. Kosteusvauriot ovat yleisiä sisäilmaongelmien aiheuttajia, mutta sisäilmaongelmia aiheuttavat myös muut, kosteudesta riippumattomat tekijät. Tästä syystä sisäilmaongelman ratkaisu edellyttää tyypillisesti hyvää kokonaisuuden hallintaa, jossa otetaan huomioon paitsi erilaisten kemiallisten ja mikrobiologisten altisteiden mahdollisuus, myös tilojen käyttöön, fysikaalisiin olosuhteisiin ja ilmanvaihtoon liittyvät tekijät. Päivitetyssä oppaassa on pyritty kuvaamaan tärkeimmät sisäilman laatua heikentävät tekijät ja niiden tutkimusmenetelmät. Sisäympäristön fysikaalisista olosuhteista tarkastellaan ainoastaan kosteutta ja lämpötilaa, jotka liittyvät kiinteästi rakennusten kosteus- ja lämpötekniiseen toimivuuteen ja koettuun sisäilman laatuun. Valaistuksen ja melun vaikutuksia ei sen sijaan tarkastella.

Kuntotutkimusoppaan ensimmäinen luku käsittelee kuntotutkimusten roolia sisäilmaongelmaisen rakennuksen korjausprosessissa, kuntotutkimuksen tilaamista ja mm. kuntotutkijan pätevyysvaatimuksia. Luvuissa 2–4 esitetään kuntotutkimuksen suunnittelun ja toteutuksen vaiheet ja sisältö sekä annetaan ohjeita hyvän kuntotutkimusraportin kirjoitukseen. Luvuissa 5–6 perehdytään eri rakennusosien rakennusfysikaalisen toiminnan perusteisiin, rakenteiden kosteustekniseen käyttäytymiseen, rakennusten mikrobiologiaan ja mikrobikasvun edellytyksiin. Luvussa 7 esitetään vaurioitumisen arviointiperusteet rakennuksen iän, rakennusratkaisujen pitkäaikaiskestävyydestä saatujen kokemusten ja laskennallisten analyysien perusteella. Oppaan liitteisiin on koottu täydentävää materiaalia.

Kuntotutkimusoppaan päivittämisen toteutti Vahanen-yhtiöt:

Projektin johto ja koordinointi:

Pekka Laamanen, DI

Miia Pitkäranta, FT, RTA (Rakennusterveysasiantuntija)

Tekstit:

Johanna Holmström, RI AMK, RTA

Jesse Kantola, DI

Eeva Kauriinvaha, DI

Ari-Veikko Kettunen, DI

Jarno Komulainen, FM

Pekka Laamanen, DI

Katariina Laine, DI, RTA

Harri Makkonen, LVI-työtekniikko

Sami Niemi, DI

Miia Pitkäranta, FT, RTA

Jarmo Saarinen, DI

Virpi Sandström, DI

Hanna Tuovinen, DI, RTA

Klaus Viljanen, DI

Piirroksat ja kaaviot: Kyösti Nieminen, suunnitteluassistentti

Oppaan päivitystyötä on ohjannut asiantuntijoista koostunut ohjausryhmä:

Pertti Heikkinen, rakenteiden kuntotutkija	Insinööritoimisto Savora Oy
Virpi Hienonen, yksikönpäällikkö	Suomen Kiinteistöliitto ry
Sari Hildén, kiinteistöpäällikkö	Helsingin kaupungin tilakeskus
Jenni Hupli, päälakimies	Suomen Kiinteistöliitto ry
Anne Hyvärinen, yksikönpäällikkö, johtava tutkija	Terveyden ja hyvinvoinnin laitos
Helmi Kokotti, johtava asiantuntija	Suomen Sisäilmakeskus Oy
Juha Krankka, koulutuspäällikkö	Rakennusteollisuuden Koulutuskeskus Rateko
Jukka-Pekka Kärki, toimitusjohtaja, RTA	Sisäilmatalo Kärki Oy
Hannu Kääriäinen, lehtori	Oulunseudun ammattikorkeakoulu Oy
Teppo Lehtinen, rakennusneuvos, yksikönpäällikkö	Ympäristöministeriö
Teija Meklin, tutkimusjohtaja	Mikrobioni Oy
Pertti Metiäinen, ylitarkastaja	Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira
Katja Outinen, yli-insinööri	Ympäristöministeriö
Vesa Pekkola, neuvotteleva virkamies	Sosiaali- ja terveysministeriö
Juhani Pirinen, toimialajohtaja, TkT	FCG Suunnittelu ja Tekniikka Oy
Jukka Riikonen, erityisasiantuntija, investoinnit	Senaatti-kiinteistöt
Peter Ström, johtaja	Talokeskus Yhtiöt Oy
Hannu Viitanen, FT, dosentti	Aalto-yliopisto

Päivityshankkeen käsikirjoituksesta lausuntonsa antoivat seuraavat tahot: A-Insinöörit Suunnittelu Oy, Allergia- ja Astmaliitto ry/Hengitysliitto ry, Asumisterveysliitto AsTe ry, Espoon kaupungin Tilakeskus-liikelaitos, FISE Oy, Granlund Oy, Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto, Insinööri Studio Oy, Insinööritoimisto Kärki-maa Oy, Rakennuspojat Lasanen Oy, Rakennustieto Oy, Ramboll Finland Oy, Suomen Sisäilmakeskus Oy, Suomen LVI-liitto SuLVI ry, Sweco Asiantuntijapalvelut Oy, Sweco Rakennetekniikka Oy, Sweco Talotekniikka Oy, Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, Työterveyslaitos/Kuopion aluetyöterveyslaitos ja Wise Group Finland Oy.

Ympäristöministeriö kiittää kaikkia, jotka ovat vaikuttaneet onnistuneeseen lopputulokseen. Ministeriö osoittaa erityiset kiitokset oppaan teksteistä vastanneille kirjoittajille haastavan päivitystyön toteuttamisesta.

Helsingissä kesäkuussa 2016

Katja Outinen, yli-insinööri
Ympäristöministeriö

SISÄLLYS

Esipuhe	3
I Sisäilmaongelman rakennuksen kuntotutkimuksesta onnistuneisiin korjauksiin	8
1.1 Lainsäädäntö.....	8
1.2 Kuntotutkimuksen tilaaminen.....	9
1.3 Kuntotutkimuksen tekijän pätevyysvaatimukset.....	12
1.4 Sisäilman laatua heikentävät tekijät	14
1.5 Kuntotutkimuksesta onnistuneisiin korjauksiin.....	16
2 Tutkimussuunnitelma	20
2.1 Yleistä	20
2.2 Kuntotutkimuksen vaiheet.....	21
2.3 Lähtötiedot	22
2.3.1 Asiakirjat	22
2.3.2 Asukas- ja käyttäjäkyselyt.....	23
2.3.3 Rakentajien ja suunnittelijoiden haastattelut.....	23
2.4 Alustava riskiarvio	24
2.4.1 Asiakirjatarkastelu	24
2.4.2 Kohdekäynti tutkimussuunnitelman laadintaa varten.....	25
2.5 Tutkimussuunnitelman laadinta erilaisissa lähtötilanteissa.....	25
2.5.1 Ennakoiva selvitys.....	25
2.5.2 Tunnettu äkillinen kosteusrasitus.....	26
2.5.3 Tiedossa oleva kosteus- tai mikrobivaurio.....	27
2.5.4 Sisäilmatutkimuksella havaittu poikkeava tilanne, yleinen epäily, haju tai tilan käyttäjien oireilu	27
2.5.5 Kemikaalivahingot	28
2.5.6 Tuleva peruskorjaus	29
2.6 Tutkimusmenetelmien valinta.....	29
2.6.1 Tutkimus- ja mittausmenetelmien valinnan perusteet	30
2.6.2 Tarkoitukseen soveltuvat mittaus- ja tutkimusmenetelmät	30
2.6.3 Mittausten ajankohta ja kesto	34
2.7 Mittalaitteiden valinta ja luotettavuus.....	37
3 Tutkimuksen toteutus	39
3.1 Rakenteiden toteutuksen tarkastus.....	39
3.1.1 Rakennetyyppien tarkastus ja kirjaus.....	39
3.1.2 Materiaalien tunnistaminen.....	39
3.1.3 Materiaaliominaisuuksien tunnistaminen.....	40
3.2 Rakenteiden kunnan arviointi	40
3.2.1 Rakennusosakohtaiset tarkistuslistat.....	40
3.2.2 Rakenneavaukset.....	45
3.2.3 Materiaalinäytteiden mikrobianalyysi.....	48
3.3 Pintakosteuskartoitus	53
3.4 Kosteusmittaukset.....	53
3.4.1 Tarkat rakenteen suhteellisen kosteuden mittaukset	54
3.4.2 Suuntaa antavat rakenteen suhteellisen kosteuden mittaukset	56
3.4.3 Tarkat materiaalin kosteuspitoisuuden mittaukset	57
3.4.4 Suuntaa antavat materiaalin kosteuspitoisuuden mittaukset	57
3.4.5 Kosteusmittausten dokumentointi ja tulosten luotettavuuden arviointi... 57	57

3.5	Rakenteiden tiiveyden ja epäpuhtauksien kulkeutumisen tutkiminen	58
3.5.1	Rakennuksen painesuhteiden mittaus	58
3.5.2	Lämpökuvaus	58
3.5.3	Merkitäinutkimukset	59
3.5.4	Merkitä- ja puhdassavututkimukset	60
3.5.5	Vesitiiveyskokeet	61
3.5.6	Rakennusvaipan tiiveyden ja ilmanvuotoluvun q50 määrittäminen	61
3.6	Sisäilmaolosuhteiden ja sisäilman epäpuhtauksien mittaukset	61
3.6.1	Sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila	61
3.6.2	Sisäilman hiilidioksidipitoisuus	62
3.6.3	Sisäilman mikrobit	63
3.6.4	Hiukkaset, pölyt ja kuidut	65
3.7	Kemiallisten epäpuhtauksien tutkimukset	67
3.7.1	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)	67
3.7.2	Muut kaasumaiset epäpuhtaudet	74
3.7.3	Haitta-aineet	76
3.7.4	Haitta-ainetutkimus osana kuntotutkimusta	78
3.8	Ilmanvaihtojärjestelmän tarkastus	82
3.8.1	Ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuden tarkastaminen	83
3.8.2	Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastaminen	83
3.8.3	Ilmamäärien mittaaminen	85
3.8.4	Painesuhteiden mittaaminen	86
3.9	Tutkijan työturvallisuus	88
4	Tutkimusraportti	91
4.1	Tutkimusraportin sisältö	91
4.2	Tutkimustulosten esittäminen, analysointi ja riskianalyysi	95
4.2.1	Tutkimustulosten esittäminen	95
4.2.2	Tutkimustulosten analysointi ja riskianalyysi	95
4.3	Korjaussuunnittelun käynnistäminen	99
4.4	Kuntotutkimuksen tulosten merkitys rakennuksen käyttötavan ja elinkaaren hallinnassa	100
5	Rakenteiden kosteustekninen käyttäytyminen	101
5.1	Veden olomuodot	101
5.2	Kosteus ilmassa	102
5.3	Veden sitoutuminen rakennusaineisiin	103
5.3.1	Hygroskooppinen tasapainokosteus	104
5.3.2	Kapillaarinen kosteustasapaino	105
5.3.3	Vesiaktiivisuus	106
5.4	Yleisimmät kosteuden lähteet	106
5.5	Kosteuden siirtyminen rakenteissa	111
5.5.1	Veden kapillaarinen ja painovoimainen siirtyminen	111
5.5.2	Kosteuden siirtyminen diffuusiolla	113
5.5.3	Kosteuden siirtyminen konvektiolla	115
5.5.4	Lämmönsiirtymisen vaikutus rakenteiden kosteustekniseen käyttäytymiseen	117
5.6	Rakennuksen painesuhteet ja ilmatiiveys	118
5.6.1	Rakennuksen painesuhteiden ja ilmatiiveyden merkitys rakenteiden toimintaan ja sisäilman laatuun	118
5.6.2	Tuuli	119
5.6.3	Savupiippuvaikutus	120
5.6.4	Ilmanvaihto	121
5.6.5	Tuulen, savupiippuvaikutuksen ja ilmanvaihdon yhteisvaikutus painesuhteisiin	122

5.7	Mikroilmasto	123
5.7.1	Mikroilmaston vaikutus rakenteiden toimintaan	123
5.7.2	Tuuli.....	123
5.7.3	Auringon säteily	124
6	Mikrobikasvu ja -vauriot rakenteissa	127
6.1	Rakennusten mikrobiologiaa	127
6.1.1	Rakennusten mikrobilajisto ja mikrobikasvu	127
6.2	Mikrobien kasvuvaatimukset	130
6.2.1	Kosteus ja lämpötila	130
6.2.2	Materiaalin merkitys	133
6.2.3	Mikrobikasvun kehittymisen arviointi ja mallinnus.....	137
6.3	Mikrobikasvun ja -vaurion tunnusmerkkejä	138
6.3.1	Näkyvä mikrobikasvusto sisäpinoilla tai rakenteissa	138
6.3.2	Sisäilman poikkeava mikrobipitoisuus ja -lajisto, homeenhaju, maakellarimainen, tunkkainen haju	139
6.3.3	Tilassa oleskelevien henkilöiden oireilu	140
6.4	Mikrobikasvun ja -vaurion toteaminen	141
6.5	Mikrobiperäisten epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan	141
6.6	Mikrobikasvuston haitallisuuteen vaikuttavia tekijöitä	142
6.7	Mikrobilöydösten raportointi	145
6.7.1	Materiaalinäytteet	145
6.7.2	Sisäilmanäytteet	145
7	Rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toimivuus ja vaurioitumisriskin arviointi	147
7.1	Rakenteiden kosteustasot	148
7.2	Rakenteiden vaurioituminen	152
7.2.1	Yleisimmät kosteusvauriot rakennuksissa	152
7.2.2	Rakennusmateriaalien vanheneminen.....	152
7.2.3	Sisäpinnat	154
7.2.4	Ulkoseinät.....	155
7.2.5	Vesikatto ja yläpohja	176
7.2.6	Maanvastaiset seinät, perustukset ja alapohja	183
7.2.7	Välipohjat.....	198
7.2.8	Väliseinät.....	202
	Liitteet	203
	Liite 1. Kyselylomakkeet	203
	Liite 2. Materiaalien tunnistaminen	206
	Liite 3. Tutkimussuunnitelman malli	217
	Liite 4. Raporttimalli ja esimerkkejä kuntotutkimuksista.....	220
	Liite 5. Termien selitykset	226
	Viitteet	228
	Kuvailulehti	232
	Presentationsblad	233
	Documentation page	234

1 Sisäilmaongelmaisen rakennuksen kuntotutkimuksesta onnistuneisiin korjauksiin

1.1

Lainsäädäntö

Rakennusten sekä asuin- ja työtilojen terveydellisistä oloista säädetään *maankäyttö- ja rakennuslaissa* (132/1999, MRL), *terveydensuojelulaissa* (763/1994, TsL) ja *työturvallisuuslaissa* (738/2002) sekä lakien nojalla annetuissa asetuksissa ja määräyksissä ja näitä selventävissä alemmissa ohjeissa.

Rakennusten yleisestä terveellisyydestä, turvallisuudesta ja käyttökelpoisuudesta on säädetty *maankäyttö- ja rakennuslain* (132/1999) 12 §:ssä (Rakentamisen ohjauksen tavoitteet), 117 §:ssä (Rakentamiselle asetettavat vaatimukset), 117 a–g §:ssä (Olennaiset tekniset vaatimukset), 125 §:ssä (Rakennuslupa), 131 §:ssä (Rakennuslupahakemus) ja 166 §:ssä (Rakennuksen kunnossapito). MRL 166 §:n mukaisesti rakennus ympäristöineen on pidettävä sellaisessa kunnossa että se täyttää terveellisyyden, turvallisuuden ja käyttökelpoisuuden vaatimukset. Jos rakennuksen kunnossapito laiminlyödään, kunnan rakennusvalvontaviranomainen voi määrätä rakennuksen korjattavaksi. Ennen korjauskehotuksen antamista rakennusvalvontaviranomainen voi määrätä, rakennusta koskevan terveellisyyden ja turvallisuuden johdosta ilmeisen välttämättömien korjaustoimenpiteiden selvittämiseksi, rakennuksen omistajan esittämään pätevän henkilön laatiman selvityksen rakennuksen kunnosta. Ympäristöministeriön *asetuksessa rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä* (YMa 216/2015) mukaan korjaus- tai muutostyön lähtötietona käytettäviin rakennuksen kunnosta laadittuihin selvityksiin on rakennushankkeen laatu ja laajuus huomioon ottaen riittävässä laajuudessa sisällyttävä tiedot seuraavista seikoista ja niihin mahdollisesti liittyvistä vaurioista: 1) ra-

kenteiden kantavuus ja rakennuksen vakaus; 2) rakennusosien kosteustasapaino ja muu rakennusfysikaalinen toimivuus; 3) rakennuksen sisäilmaston terveellisyys; 4) muut rakennuksen turvallisuuteen ja terveellisyyteen liittyvät seikat; 5) käytetyt selvitysmenetelmät ja selvityksen laatijan tiedot; 6) selostus rakennuksen ominaispiirteistä ja rakennushistoriallisesti merkittävistä seikoista; 7) tiedot aiemmin tehdyistä korjaus- ja muutostöistä. MRL 150 c §:n mukaisesti rakennusvalvontaviranomaisella on eräissä tapauksissa oikeus vaatia riippumattoman ja pätevän asiantuntijan lausunto siitä, täyttääkö suunniteltu ratkaisu tai rakentaminen sille säädetty vaatimukset.

Asuntojen ja muiden oleskelutilojen (mm. päivähoitotilat, koulut ja oppilaitokset, lastenkodit, vanhainkodit) terveydellisistä vaatimuksista on säädetty *terveydensuojelulain* (763/1994) 26 §:ssä (Asunnon ja muun oleskelutilan terveydelliset vaatimukset) ja 27 §:ssä (Asunnossa tai muussa oleskelutilassa esiintyvä terveyshaitta). Terveysuojelulain 26 ja 27 §:n mukaisesti näissä tiloissa sisäilman olosuhteiden tulee olla sellaiset, ettei niistä aiheudu tilassa oleskeleville terveyshaittaa. Jos melua, tärinää, hajua, valoa, mikrobeja, pölyä, savua, liiallista lämpöä tai kylmyyttä taikka kosteutta, säteilyä tai muuta niihin verrattavaa esiintyy siten, että siitä voi aiheutua terveyshaittaa asunnossa tai muussa tilassa oleskelevalle, on toimenpiteisiin haitan ja siihen johtaneiden tekijöiden selvittämiseksi, poistamiseksi tai rajoittamiseksi ryhdyttävä viipymättä.

Terveysuojelulain (763/1994) mukaan terveydensuojeluviranomainen voi tehdä tarkastuksia ja

teettää mittauksia, näytteenottoja ja muit a selvi-tyksiä terveyshaittaepäilyn selvittämiseksi sekä ke-hottaa tai määrätä kiinteistön omistajaa tekemään tarvittavat korjaukset terveyshaitan poistamiseksi. Terveystensuojelulain nojalla annetussa ns. *asumis-terveysasetuksessa*¹ (STMa 545/2015) ja sen *soveltamis-ohjeessa* (Sosiaali- ja terveysalan lupavirasto Valvira, 2016) säädetään tarkemmin terveydensuojeluviran-omaisten käyttämien ulkopuolisten asiantuntijoiden toiminnasta, tutkimusmenetelmistä, sovellettavista toimenpideraja-arvoista sekä ulkopuolisten asian-tuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksia on käsitelty tarkemmin jäljempänä kappaleessa 1.3.

Rakennuksen käyttökelpoisuudesta vastaava ta-ho on lähtökohtaisesti kiinteistön omistaja. Toisaalta tilan haltija (esimerkiksi osakas tai vuokralainen) on velvollinen käyttämään ja ylläpitämään tiloja asian-mukaisesti ja ilmoittamaan havaitsemistaan, kiin-teistönomistajan vastuulle kuuluvista epäkohdista. Haltija voi itse toiminnallaan aiheuttaa kor-jaustarpeen tai terveyshaitan, jolloin vastuu haitan poistamisesta, tai sen aiheuttamista kustannuksista, on tilan haltijalla.

Arvioitaessa rakennuksen terveydellisiä olosuhteita kuntotutkijan tehtäviin kuuluu tyypillisesti selvit-tää, mitä epäpuhtauslähteitä rakennuksessa on, voi-vatko rakennuksen käyttäjät altistua niille ja kuinka suuria pitoisuudet ovat. Kuntotutkija voi toteaman-sa rakennuksen kunnan ja olosuhteiden perusteella suositella jatkotoimenpiteitä haitan hallitsemiseksi tai esimerkiksi muutoksia tilojen käyttöön. Kuntotutkija ei kuitenkaan tee terveyshaittapäätelmiä. Päätöksen mahdollisen *terveydensuojelulain* mukaisen terveys-haitan olemassaolosta tekee kunnan terveydensuoje-luviranomainen kaikkien saatujen tutkimustulosten ja kokonaisharkinnan perusteella.

Työpaikkojen terveydellisistä vaatimuksista se-kä mm. työnantajan vastuusta ja työterveyshuol-lon roolista on säädetty *työterveyshuoltolaissa* (1383/2001) ja *työturvallisuuslaissa* (738/2002). Rakennusten terveellisyyteen liittyviä asioita on käsitelty suoraan tai välillisesti myös *asuntokaup-palaissa* (843/1994), *asunto-osakeyhtiölaissa* (1599/2009), *kuluttajansuojalaissa* (38/1978) ja *vahingonkorvauslaissa* (412/1974).

¹ *Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleske-lutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantunti-joiden pätevyysvaatimuksista (STMa 545/2015)*, säädetty TSL:n 32 §:n ja 49 d §:n nojalla, voimassa 15.5.2015 alkaen. Jäljempänä ”asumisterveysasetus”.

Ajantasaiset versiot Suomen lainsäädännös-tä ovat luettavissa sähköisessä Finlex-palvelussa (www.finlex.fi).

1.2

Kuntotutkimuksen tilaaminen

Alla on esitetty ohjeita tilaajalle sisäilmaselvityk-sen tai kuntotutkimuksen käynnistämiseen ja ti-laamiseen.

Tilaajalla on usein aktiivinen rooli kuntotutki-musten ja selvitysten aikana.

Kiinteistönomistaja on vastuussa rakennuksen turvallisuudesta ja käytettävyydestä, joten kun-totutkimuksen tilaa yleensä kiinteistönomistajan edustaja kuten isännöitsijä, tekninen isännöitsijä tai kiinteistöpäällikkö. Asunto-osakeyhtiössä ti-laajana on yleensä yhtiön hallitus tai isännöitsijä hallituksen valtuuttamana. Omakotitaloissa tut-kimuksen tilaaja on yleensä kiinteistön omistaja. Työpaikkakiinteistöissä työnantaja on vastuussa työympäristön terveellisyydestä ja turvallisuudes-ta, joten tutkimusten tilaajana ja koordinaattorina voi työpaikkarakennuksissa olla myös työnantajan edustaja. Tutkimusten tekemisestä ja käytännön järjestelyistä tulee kuitenkin aina sopia kiinteistön-omistajan kanssa.

Suuremmissa kohteissa tilaajan puolelta tulee ol-la nimettynä henkilö, joka toimii ensisijaisena yhteyshenkilönä vastuulliseen kuntotutkijaan päin. Ti-laajalla on myös oltava selvillä, kuka vastaa sisäil-makorjaushankkeen eri vaiheiden päätöksenteosta ja koordinoinnista, tutkimustulosten tiedotuksesta ja korjaustoimien käynnistämisestä ja seurannasta.

Kuntotutkijan näkökulmasta tilaajalla on sel-vityksissä erittäin tärkeä rooli tiedon välittäjänä. Ensivaiheessa tilaajan tulee osallistua tarvittavien taustatietojen hankkimiseen, ja välittää kiinteis-töä tuntevien henkilöiden kuten huoltoyhtiöiden yhteystiedot ja antaa näille lupa tiedonantoon. Oleellisten lähtötietojen saaminen heti tutkimus-ten alkuvaiheessa on kriittistä tutkimusten koh-dentamiseksi ja turhien tutkimusten välttämiseksi. Tutkimusten aikana tilaajan tulee informoida käyt-täjiä tutkimuksista ja niihin liittyvistä käytännön asioista, tai vaihtoehtoisesti siirtää selkeästi tiedo-tusvastuu näistä kuntotutkijalle.

Kuntotutkimushanketta vetää vastuullinen tutkija.

Tilaaajan tulee nimetä kosteus- ja sisäilmatekniseen selvitystyöhön vastuullinen kuntotutkija (myös ”selvityshankkeen vetäjä” tai ”selvitysvaihetta johtava asiantuntija”), jolla on työhön riittävä pätevyys (ks. kappale 1.3). Kuntotutkimuksen tekijää valittaessa ja kilpailutettaessa tulisi kiinnittää huomiota seuraaviin tekijöihin:

- sertifiointilla tai muulla menettelyllä todennetut pätevyudet
- kokemus ja referenssit
- malliraportit
- käytettävissä oleva tutkimuskalusto
- toimituskyky.

Selvitykseen nimetty vastuullinen tutkija osallistuu muiden mahdollisten asiantuntijoiden ja mittaajien hankkimiseen, koordinoi tutkimukset ja vetää yhteen ja tulkitsee mittaus- ja tutkimustulokset ja vastaa raportoinnista sisältäen toimenpideehdotukset. Vastuullinen tutkija myös osallistuu tutkimusten tekoon, vähintään alkuvaiheen kartoitukseen, ja vastaa tutkimussuunnitelman teosta. Pienkohteissa vastaava tutkija hoitaa käytännön tutkimukset ja mittaukset sekä raportoinnin yleensä yksin tai työparin kanssa.

Parhaaseen tulokseen yleensä päästään, kun sama tutkija vastaa sisäilmaongelmaisen kohteen selvityksistä alkuvaiheesta aina korjausten jälkeiseen seurantaan saakka. Koska korjaussuunnittelusta voi vastata eri taho tai henkilö, on erittäin tärkeää, että kuntotutkimuksen tulokset käydään läpi palaverissa korjaussuunnittelun käynnistysvaiheessa korjaussuunnittelijan kanssa ja tarvittaessa suunnittelun aikana. Vastuullisen kuntotutkijan käyttäminen myös korjausvaiheen laadunvarmistuksissa, takuuajaisessa seurannassa ja tarkastuksissa on yleensä hyödyllistä.

Laaja kuntotutkimus voidaan teettää kahdessa vaiheessa.

Suurissa rakennuskohteissa kuntotutkimus voidaan tilata kahdessa vaiheessa. Tämä on erityisen suositeltavaa vaikeissa moniongelmaisissa rakennuksissa, mikäli kohteessa on aiemmin tehty runsaasti selvityksiä ja/tai korjauksia, joista on saatavilla kirjallisia dokumentteja.

Ensimmäisessä vaiheessa kohde katselmoidaan lyhyesti ja perehdytään kohteen tausta-aineistoon, mukaan lukien rakennepiirustukset, aiemmat tutkimukset ja käyttäjäkyselyt. Lisäksi voidaan tehdä tilojen käyttäjille käyttäjäkysely, mikäli sellaista ei ole aiemmin tehty tai edellisestä kyselystä on useampi vuosi. Näiden pohjalta kirjoitetaan yhteenveito ja varsinainen yksilöity tutkimussuunnitelma. Toisessa vaiheessa tehdään suunnitelman mukainen kuntotutkimus. Menettelyllä vältetään turhaa samojen asioiden uudelleen tutkimista ja saadaan kokonaiskuva kohteen tilanteesta. Itse tutkimustyö voidaan myös kilpailuttaa helpommin tutkimussuunnitelman avulla. Toisinaan ongelmien todennäköiset syyt ja korjaustarpeet saatetaan tunnistaa ensivaiheen tarkastelun perusteella. Tällöin tarkempien tutkimusten sijaan voi olla järkevintä korjata ensin kuntoon tunnetut vauriot ja puutteet ja arvioida, paraneeko sisäilman laatu.

Joissain tapauksissa kuntotutkimusten kenttätöiden aikana saattaa ilmetä tekijöitä, jotka vaativat esimerkiksi suunniteltua laajempia rakenneavauksia tai tavanomaisista tutkimustavoista poikkeavaa vaativaa näytteenottoa. Tällöin tutkimuksen lisätyöt saattavat olla tarpeen. Lisätöistä ja niiden kustannusvaikutuksista tulee sopia tilaaajan kanssa ennen lisätöiden tekemistä. Yleensä lisätöille määritellään jo tarjousvaiheessa yksikköhinta.

Kuntotutkimuksen tilaamisen yhteydessä on tärkeää, että kaikki tieto ja tilaaajan tarpeet kuntotutkimukselle välittyvät työn tekijöille. Yleensä on suositeltavaa järjestää yhteinen tapaaminen, jossa esimerkiksi tarjousta tai tutkimussuunnitelmaa käydään yhdessä läpi ja tarkennetaan tarvittaessa. Tällöin varmistutaan siitä, että oleellinen tieto rakennukseen ja tilaaajan toiveisiin liittyen siirtyy ja huomioidaan tutkimusta tehtäessä.

Tilaaajalle suunnattuja ohjeita sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen on annettu mm. seuraavissa julkaisuissa:

- Ohje asunto-osakeyhtiöille (hallitus ja isännöitsijät): *Tilaaajan ohje sisäilmaongelmien ratkaisemiseen asunto-osakeyhtiössä. Kosteus- ja hometalkoot, 2015b.*

- Ohje työpaikoille (kiinteistönomistajat, isännöitsijät): *Tilaaajan ohje sisäilmasto-ongelman selvittämiseen*. Tähtinen K. ja Lappalainen S., 2016.
- Ohje kuntapäätäjille: *Päätäjän homeopas. Kohti terveitä taloja ja kannattavaa kiinteistön-pitoa*. Kosteus- ja hometalkoot, 2015a.

Sisäilmatyöryhmä koordinoi ja tiedottaa työpaikoilla.

Työpaikkojen laajoissa ja pitkittyneissä sisäilmas-to-ongelmatapauksissa kuntotutkimus on usein osa laajempaa sisäilmastonselvitysprosessia, jota varten on suositeltavaa koota sisäilmatyöryhmä. Työryhmään osallistuu työnantajan, työntekijöiden, työsuojelun, työterveyshuollon ja kiinteistönomistajan edustaja, sekä selvityksiä tekemään palkattu vastuullinen tutkija ja tarvittaessa muita asiantuntijoita. Mikäli kyseessä on esimerkiksi koulurakennus, tulee työryhmässä olla mukana myös kouluterveydenhuollon edustaja ja terveydensuojeluviranomainen sekä mahdollisesti vanhempien edustaja. Sisäilmasto-ongelmien ratkaisemisprosessia on kuvattu tarkemmin Työterveyslaitoksen ohjeessa *Tilaaajan ohje sisäilmasto-ongelman selvittä-miseen* (Tähtinen K. ja Lappalainen S., 2016). Ohjeita ja käytännön esimerkkejä viestinnän hoitamisesta löytyy Työterveyslaitoksen oppaasta *Selätä sisä-ilmastokiista – viesti viisaasti* (Lahtinen M., ym., 2010).

Tutkimusraportti luovutetaan ja esitellään työn tilaajalle.

Kuntotutkimuksen tulosten ja raportin valmistutua tehdyt tutkimukset ja saadut tulokset sekä toimenpidesuosituksien on suositeltavaa käydä läpi palaverissa tilaaajan ja vastaavan tutkijan kesken. Näin tutkimustulokset ja tulkinnat ja mm. niihin liittyvät epävarmuudet varmasti siirtyvät tilaajalle tiedoksi.

Kun tulokset on käyty läpi tilaaajan kanssa, ne käsitellään sisäilmatyöryhmässä, mikäli sellainen on toiminnassa (ks. edellä). Tämän jälkeen tuloksista tiedotetaan tilojen käyttäjiä. Kuten kaikessa konsultointityössä, myös kuntotutkimusten kohdalla työn tuotokset (tulokset ja raportti)

ovat työn tilaaajan omaisuutta. Kuntotutkijalla ei siten lähtökohtaisesti ole oikeutta luovuttaa tutkimustuloksia esimerkiksi suoraan tilojen käyttäjille vaan tiedotuksesta ja mm. raporttien mahdollisesta jakelusta sovitaan tilaaajan kanssa erikseen. Tämänhetkinen lainsäädäntö ei määrittele tilojen käyttäjien oikeutta saada nähtäväksi tilojen terveellisyyttä koskevia selvityksiä, pois lukien tietyt viranomaisraportit (esimerkiksi terveystarkastajien laatimat asunnontarkastusraportit), jotka ovat lain mukaan julkisia asiakirjoja. Myös julkisten toimijoiden kuten kuntien kiinteistöistään teettämien tutkimusten raportit ovat julkisia asiakirjoja. Terveysviranomaisilla (julkisia tiloja ja asuntoja koskevat selvitykset) sekä työsuojeluviranomaisilla (työpaikkoja koskevat selvitykset) on lain mukaan oikeus saada tietoonsa terveydensuojelun kannalta oleelliset asiakirjat ja selvitykset. Myös rikostutkintatilanteissa viranomaisilla on oikeus saada tietoonsa asiaan liittyvät asiakirjat ja selvitykset. Tilojen käyttäjien tiedonsaantioikeuksia pohdittaessa tulee muistaa, että kiinteistön omistajalla on lain mukaan velvollisuus pitää omistamansa kiinteistö terveellisyys- ja turvallisuuden osalta kunnossa, mikä edellyttää että kiinteistönomistaja ryhtyy tarvittaviin toimiin kuntotutkimuksessa havaittujen vaurioiden ja puutteiden korjaamiseksi, tai tarvittaessa rajoittaa tilojen käyttöä mikäli korjauksiin ei syystä tai toisesta voida ryhtyä riittävän nopealla aikataululla.

Yleensä on tarkoituksenmukaista, että kuntotutkija esittelee tutkimuksen tulokset ja johtopäätökset keskitetysti tilojen käyttäjille erillisessä tiedotustilaisuudessa. Samassa tilaisuudessa kiinteistönomistajan edustaja yleensä kertoo jatkotoimenpiteistä ja niiden aikatauluista. Mikäli kyseessä on työympäristö, paikalla on suositeltavaa olla myös työterveyshuollon edustaja vastaamassa käyttäjien terveysasioihin liittyviin kysymyksiin. Koska tiedotustilaisuudessa on käytännössä mahdotonta käydä tutkimuksia kovin yksityiskohtaisesti läpi, on erittäin suositeltavaa, että tilojen käyttäjät saavat tutustua tutkimusraporttiin etukäteen. Näin epäselvät asiat saadaan käsiteltyä tiedotustilaisuudessa. Tapauksesta riippuen voidaan järjestää useampi tiedotustilaisuus, esimerkiksi päiväkotitai koulukohteessa erikseen kiinteistöä vastaaville henkilöille sekä henkilökunnalle ja lasten vanhemmille.

Kuntotutkimuksen tekijän pätevyysvaatimukset

Kosteus- ja sisäilmateknisen kuntotutkimuksen teko edellyttää monipuolista osaamista ja kokemusta.

Kosteus- ja sisäilmateknisten selvitysten tekeminen edellyttää erikoisosaamista. Vaurioiden ja sisäilmaa heikentävien puutteiden tunnistaminen edellyttää, että tutkija tuntee eri aikakausien tyypilliset rakenneratkaisut ja rakennetyypit, LVI-tekniset ratkaisut, rakennusmateriaalit ja riskirakenteet. Vaurioiden syiden selvittäminen edellyttää, että kuntotutkija ymmärtää rakennuksen ja sen osien rakennusfysikaaliset lämmön- ja kosteudensiirtymisilmiöt ja mm. miten eri siirtymisilmiöt voivat aiheuttaa todetun kosteusvaurion. Tutkijan tulee tuntea normaalin ja poikkeavan sisäympäristön ominaisuudet ja tyypilliset epäpuhtaudet sekä niiden tutkimus- ja mittausten menetelmät. Hänen on osattava suhteuttaa sisäilmamittausten tulokset sekä havainnot rakenteiden kunnosta ja mm. haitta-aineista, mikrobiologisista ja kemiallisista epäpuhtauslähteistä kohteen rakennusteknisiin tietoihin ja havaintoihin. Epäpuhtauksien kulkeutumisen ja sisäilmavaikutusten ymmärtämiseksi tutkijan tulee ymmärtää rakennusten eri ilmanvaihtojärjestelmien toimintaa, ja rakennuksen painesuhteiden ja vuotoilmareittien merkitystä sisäilman laadulle. Hankalissa ja moniongelmaisissa rakennuksissa eri toimijoiden yhteistyön ja viestinnän merkitys kasvaa, ja kuntotutkijalla on usein hankkeessa keskeinen, koordinoiva rooli. Tällöin hyvät viestintätaidot, mukaan lukien riskiviestintä ovat tärkeitä. Koska toimintakenttä on erittäin monipuolinen ja laaja, käytännön kokemuksella on merkittävä rooli pätevyyden kerryttämisessä.

Asiantuntijoiden pätevydet voidaan todentaa riippumattoman tahon tekemällä pätevyystestaus- tai henkilösertifiointimenettelyllä.

Kosteus- ja sisäilmateknisiä kuntotutkimuksia tekevien henkilöiden koulutustausta ja osaaminen

vaihtelevat tällä hetkellä paljon. Viime vuosina tutkijoiden osaamistasoa ja mahdollisuuksia pätevyyden osoittamisen sertifiointijärjestelmiä on kehitetty ja yhtenäistetty. Kosteus- ja hometalkoiden kehittämishankkeissa on määritelty erilaisia kuntotutkimustöitä tekevien asiantuntijoiden peruskoulutus- ja työkokemusvaatimuksia sekä tarvittavien osaamisvaatimusten sisältöjä.

Terveydensuojelulaissa (763/1994) on määritelty viranomaisten käyttämien ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimukset ja tehtävät.

Terveydensuojeluviranomaiset voivat käyttää oman valvontansa tukena ulkopuolisia asiantuntijoita tutkimusten ja selvitysten teossa. Ulkopuolisella asiantuntijalla tulee olla tarvittava pätevyys terveyshaittaa aiheuttavien tekijöiden selvittämiseksi. Lisäksi mittaukset, tutkimukset ja selvitykset on tehtävä sekä näytteet otettava luotettavasti ja tarkoituksenmukaisin menetelmin. Kun kuntotutkija tekee tutkimuksia ja selvityksiä terveydensuojeluviranomaiselle ns. ulkopuolisena asiantuntijana, sovelletaan kuntotutkijaan rikosoikeudellista virkavastuuta koskevia säännöksiä. Tällöin kuntotutkijan on oltava toimissaan puolueeton, taloudellisesti ja toiminnallisesti riippumaton ja asiantuntijan menettelytapoihin sovelletaan lakia viranomaisten toiminnan julkisuudesta (621/1999, ”julkisuuslaki”), jolloin tutkimusraportit viranomaiselle toimitettaessa tulevat julkisiksi asiakirjoiksi lukuun ottamatta erikseen salaisiksi säädettyjä asioita. Tämä tulee huomioida muun muassa tutkimusraporttia laadittaessa. Vaikka virkavastuukysymykset koskevat kuntotutkijaa vain, kun kuntotutkija toimii terveydensuojeluviranomaisen ulkopuolisena asiantuntijana, ovat toiminnan puolueettomuus ja muut hyvän hallinnon periaatteet laadukkaan toiminnan tunnusmerkkejä myös muutoin.

Terveydensuojelulain (763/1994) nojalla säädetyn ns. *asumisterveysasetuksen* (STMa 545/2015) liitteessä 3 on määritelty pätevyysvaatimukset terveystervanomaisten käyttämille ulkopuolisille asiantuntijoille. Koulutus- ja työkokemusvaatimukset on esitetty erikseen:

1. rakennusterveysasiantuntijoille (RTA),
2. sisäilma-asiantuntijoille ja
3. kosteusvaurion kuntotutkijoille.

Näistä laajimmat osaamisvaatimukset on rakennusterveysasiantuntijoilla, joiden työ painottuu sekä rakenteista että muista tekijöistä aiheutuvien sisäympäristöongelmien tutkimiseen ja ratkaisemiseen. Kaikkien asumisterveysasetuksen (STMa 545/2015) liitteessä 3 mainittujen asiantuntijoiden tulee tuntea tärkeimmät sisäympäristötekijät ja niiden lähteet, mittaus- ja näytteenottomenetelmät sekä epäpuhtauksien toimenpiderajat. Rakennusterveysasiantuntijan tulee osata johtaa sisäilma-ongelman selvitysprosessia ja hyödyntää erityisasiantuntijoiden palveluja. Hänen tulee pystyä tulkitsemaan mittaustuloksia ja tekemään yhteenveto rakennuksen sisäympäristö- ja kuntotutkimuksista saaduista tuloksista sekä osata raportoida kirjallisesti ja suullisesti sekä tiedottaa tuloksista. Sisäilma-asiantuntijan pätevyys painottuu sisäympäristön epäpuhtauksien tutkimiseen ja kosteusvaurion kuntotutkijan pätevyys rakennuksen tekniseen tutkimiseen. Viimeksi mainitut pätevydet omaavat henkilöt voivat yhdessä (selvitettävä monialainen ongelmakohteen kunto) tai erikseen (joko sisäilma-selvitys tai rakennustekninen kuntotutkimus) toimia ulkopuolisina asiantuntijoina. Sisäilma-asiantuntijan tulee pystyä tulkitsemaan mittaustuloksia ja pystyä tekemään yhteenveto rakennuksen sisäympäristötutkimuksista saaduista tuloksista sekä osata raportoida kirjallisesti ja suullisesti sekä tiedottaa niistä. Kuntotutkijan tulee pystyä tulkitsemaan sisäympäristötutkimuksista saatuja tuloksia kuntotutkimustulosten yhteydessä sekä osata raportoida kirjallisesti ja suullisesti sekä tiedottaa niistä. Kosteusvaurion kuntotutkijalta edellytetään rakentamisen (talonrakennus) alalla suoritettua tutkintoa. Rakennusterveysasiantuntija, jolla on talonrakennusalan tutkinto, voisi toimia myös kosteusvaurion kuntotutkijana, jonka tulee osata laatia alustavat korjaussuunnitelmat ja tuntea sisäympäristöongelman korjaustyöhön liittyvät erityistoimet.

Edellä mainitut vaatimukset koskevat terveys- ja suojeluviranomaisten ulkopuolisilla asiantuntijoilla teettämiä selvityksiä asunnoissa ja muissa oleskelutiloissa, jotka on tarkoitettu muiden kuin pelkästään työntekijöiden oleskeluun (mm. päivähoitotilat, koulut ja oppilaitokset, lastenkodit, vanhainkodit). Ko. pätevyysvaatimukset soveltuvat kuitenkin valintakriteereiksi vastuullista kuntotutkijaa valittaessa myös tutkimuksissa, joissa ei ole viranomaistahoa mukana. Kosteusteknisten kuntotutkijoiden ei-säädöksiin perustuvat (a-luokka) pätevydet todentaa tällä hetkellä FISE Oy, joka

todentaa myös kosteusvaurion kuntotutkijoiden pätevydet. Rakennusterveysasiantuntijoiden ja uusina pätevyysinä myös sisäilma-asiantuntijoiden henkilösertifikaatit myöntää VTT Expert Services Oy.

Kosteus- ja sisäilmateknisissä selvityksissä hyödynnetään tarvittaessa eri alojen asiantuntijoita.

Edellä mainittujen asiantuntijoiden lisäksi kuntotutkimuksissa ja toimenpide-ehdotusten laadinnassa hyödynnetään tarvittaessa erityisasiantuntijoita (mm. terveydenhuolto, rakennusfysikaalinen suunnittelija, LVI-tekniikan suunnittelija, mikrobiologi, kemisti) ja muita eri osa-alueiden asiantuntijoita. Suuremmissa rakennuskohteissa on usein tarpeen tehdä kattava ilmanvaihtojärjestelmien kuntotutkimus, jonka tekeminen edellyttää LVI-alan erikoisosaamista. Mittaajia ja asiantuntijoita, joiden ammatillinen pätevyys on tällä hetkellä osoitettavissa riippumattoman tahon tekemällä arvioinnilla ovat mm:

- lämmitys-, vesi-, ja viemärijärjestelmien (LVV) kuntotutkijat,
- IV-mittaajat,
- kuntotutkijat (betonirakenteet, muuratut rakenteet),
- asbesti- ja haitta-aineasiantuntijat (AHA),
- rakennusten lämpökuvaajat,
- rakennusten tiiveyden mittaajat,
- rakenteiden kosteudenmittaajat (PKM) ja ympäristönäytteenottajat.

Betonirakenteiden ja muurattujen rakenteiden kuntotutkijoiden sekä lämmitys-, vesi- ja viemärijärjestelmien (LVV) kuntotutkijoiden pätevydet todentaa FISE Oy, IV-mittaajien pätevydet Suomen LVI-liitto SuLVI ry. Haitta-aineasiantuntijoiden, lämpökuvaajien sekä tiiveyden- ja kosteudenmittaajien pätevydet todentaa henkilösertifioinnilla VTT Expert Services Oy. Ympäristönäytteenottajien pätevyden todentaminen tapahtuu Suomen ympäristökeskus SYKEN sertifioinnilla.

Tässä oppaassa on käytetty tutkimuksia tekevästä henkilöstä pääsääntöisesti yleisnimeä "kuntotutkija". Kuntotutkijan pätevyysvaatimus riippuu kulloisenkin tehtävän luonteesta ja laajuudesta. Kuntotutkijan roolista on kerrottu edellä kappaleessa 1.2.

Työkokemus on tärkeä osa pätevyymistä.

Käytännön työkokemuksen kerryttäminen on pätevyyden hankkimisessa tärkeää. Työkokemusta tulee kerryttää tekemällä kuntotutkimusprojekteja yhteistyössä kokeneen tutkijan kanssa. Kokenut tutkija toimii alkuvaiheessa projekteissa vastuullisena tutkijana ja myöhemmin tutkimussuunnitelmien ja tutkimusselostuksien tarkastajana. Erityisesti alkuvaiheessa sekä myöhemminkin työn laajuuden sen mahdollistaessa, on erittäin suositeltavaa tehdä kenttätutkimuksia työpareina, jolloin osaaminen eri aihealueista siirtyy tehokkaasti aloittelevalle tutkijalle. Kosteusvaurioiden korjaussuunnittelijana hankittu työkokemus on eduksi kuntotutkijana toimimisessa varsinkin toimenpide-ehtotusten laadinnassa. Terveysturvallisuuden varmistamisen ulkopuolisten asiantuntijoiden (RTA, sisäilma-asiantuntija, kosteusvaurioiden kuntotutkija) työkokemusta vaaditaan on vähintään kolme vuotta rakennusten kuntoon ja terveyshaittoihin liittyviä tutkimustehtäviä.

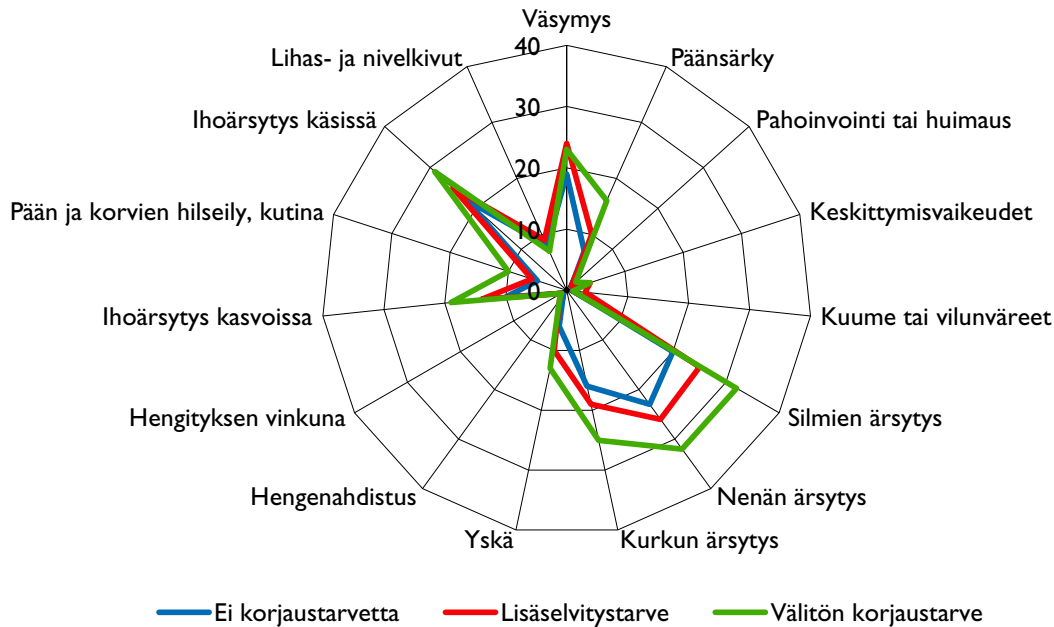
1.4

Sisäilman laatua heikentävät tekijät

Rakennuksen koettuun sisäilman laatuun vaikuttavat useat tekijät. Suomalaisessa rakennuskannassa esiintyy melko yleisesti kosteus- ja mikrobivaurioita ja niiden arvioidaan olevan merkittävä sisäilmaongelmia aiheuttava tekijä. Sisäilmaongelmia aiheuttavat kuitenkin myös muut, rakenteiden kosteus- ja mikrobivaurioista riippumattomat tekijät. Tällaisia ovat esimerkiksi lämpö- ja kosteusolosuhteet, mm. liian lämmin ja kuiva huoneilma tai vetoisuus, ilmanvaihtojärjestelmän puutteet, erilaiset kemialliset ja hiukkasmaiset materiaali päästöt ja pölyisyys. Usein sisäilmaongelmille löytyy useita selittäviä tekijöitä, jotka yhdessä aiheuttavat koetut haitat. Esimerkiksi koneellisen ilmanvaihdon tuottamat paine-erot ja niiden aiheuttamat vuotoilmavirtaukset saattavat kriittisellä tavalla voimistaa epäpuhtauksien kulkeutumista vanhoista rakenteista sisäilmaan. Yleisesti liian vähäinen ilmanvaihto taas voimistaa muiden tekijöiden aiheuttamia haittoja. Yleisimmät sisäilman laatua heikentävät tekijät on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1.1. Yleisimmät sisäilman laatua heikentävät tekijät ja niiden aiheuttamat haitat ja oireet.
Lähde: Pitkäranta ja Puhka, 2013, muokattu.

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, sisustustuotteet, 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, oireiluherkkyden kasvu
Lämpötila, liian matala tai korkea, vetoisuus	LVI-järjestelmän puutteet ja säätövirheet, pintasäteily, ilmavuodot	Epämukavuus, sairastavuuden lisääntyminen
Mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet	Kosteus- ja mikrobivauriot, ilmavuodot rakenteista, IV-kanaviston epäpuhtaudet kosteissa järjestelmänosissa	Hengitystieärsytys, astma, allergiset sairaudet, hengitystieinfektioiden lisääntyminen, yleisoireet
Otsoni	Ilmanpuhdistimet, kopiokoneet	Hengitysteiden ärsytysoireet. Voimistaa allergeenien vaikutusta
PAH-yhdisteet	Vanhat kosteuseristeet, kivihiilipiki, polttotapahtumat	Hajuhaitat, syöpäriskin kasvu
PCB	Rakennusmateriaalit, mm. elementti-saumaussmassat ja maalit, lämmönsiirtonesteet	Syöpäriskin kasvu
Pienhiukkaset	Ulkoilma (teollisuus, liikenne), tupakan savu, kopiokoneet, kosteusvauriot, pienpoltto, kynttilät ja tulisijat	Viihtyvyyshaitat, sydän- ja hengityselinsairaudet, astma
Radon	Maaperä, rakennuksen alustäyttö	Kuuhkosyöpäriskin kasvu
Teolliset mineraalivillakuidut	Lämmön- ja ääneneristysmateriaalit rakenteissa ja IV-järjestelmässä	Silmien ja hengitysteiden 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



Kuva 1.1. Sairaalatyöntekijöiden (n = 3 200) sisäilmaan liittämät oireet suhteessa heidän työtilojensa kuntoon. Niissä sairaalan tiloissa, joissa asiantuntijat löysivät välittömän korjaustarpeen, työntekijät raportoivat yleisemmin sisäilmaan liittyvistä oireista verrattuna tiloihin, joissa ei ollut korjattavaa. Kuvan lähde: Hellgren U., ym., 2008.

Rakennuksissa koetut haitat liittyvät usein ikään-tyneisiin ja/tai puutteellisesti toteutettuihin / huollettuihin / korjattuihin rakenteisiin ja taloteknisiin järjestelmiin. Rakennuksen kunnan ja korjaustarpeen yhteyttä käyttäjien hyvinvointiin havainnollistavat suomalaisessa sairaalarakennuksissa tehdyn tutkimuksen tulokset; välittömiä korjauksia vaativissa tiloissa työskentelevillä todettiin selvästi enemmän rakennukseen liitettyjä oireita hyväkuntoisissa tiloissa työskenteleviin henkilöihin verrattuna (kuva 1.1).

Oireiden ilmeneminen tai paheneminen rakennuksessa ja oireiden poistuminen tai helpottaminen sieltä poissa ollessa tukee vahvasti rakennuksen sisäilmaongelman todennäköisyyttä oireiden aiheuttajana.

1.5

Kuntotutkimuksesta onnistuneisiin korjauksiin

Kuntoarvio vai kuntotutkimus?

Kuntoarviolla tarkoitetaan menettelyä, jossa rakenteita rikkomattomin, pääosin aistinvaraisin menetelmin selvitetään kiinteistön tilojen, rakennusosien, taloteknisten järjestelmien ja ulkoalueiden kunto aistinvaraisesti, arvioidaan kiinteistön korjaustarvetta ja laaditaan pitkän tähtäimen kunnossapitosuunnitelma. Kuntoarviossa tarkastellaan myös sisäolosuhteita ja energiataloutta. Kuntoarvio päivitetään tai uusitaan viiden vuoden välein.

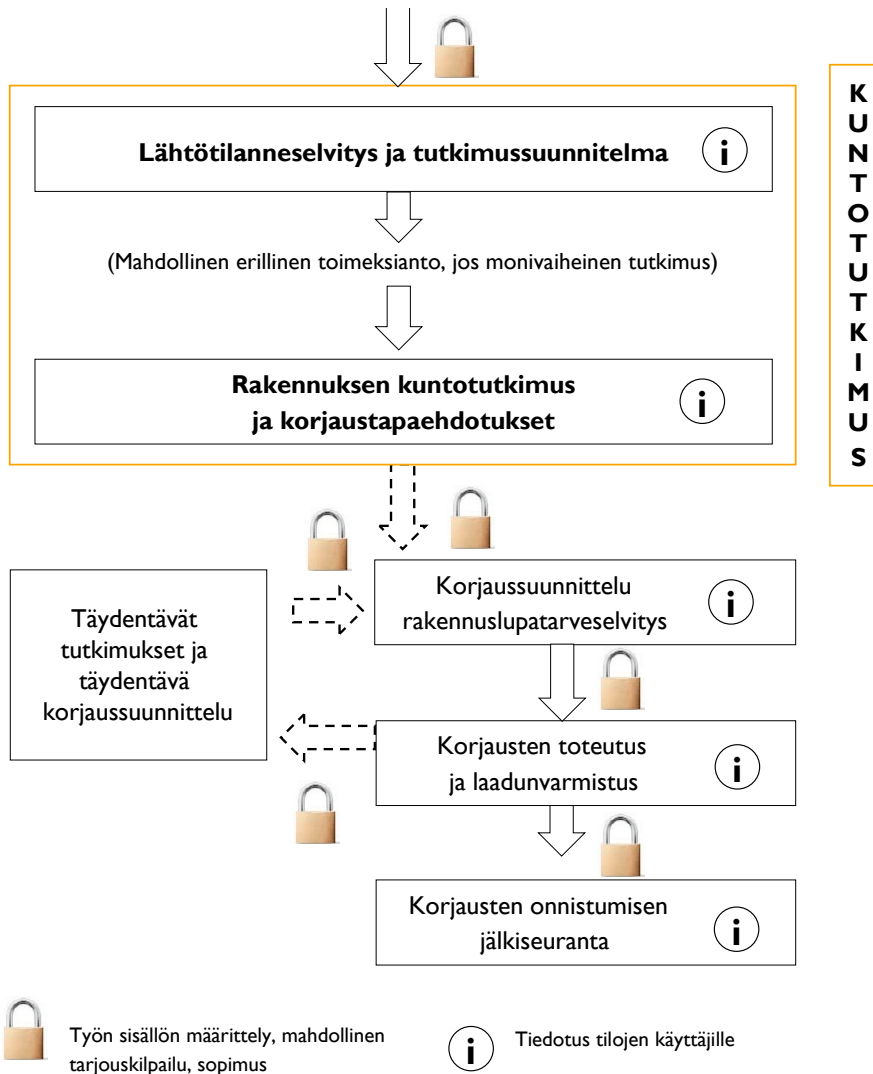
Kuntoarviosta poiketen kuntotutkimus tehdään siinä tarkkuudessa kuin rakenteiden todellisen kunnan, korjaustarpeiden ja -menetelmien määrittäminen edellyttää. Kuntotutkimuksessa

rakenteita rikkovien menetelmien käyttö on tyyppillisesti tarpeen. Sisäilmateknisessä kuntotutkimuksessa tutkitaan tarkasti kosteusvaurioituneet tai sellaisiksi epäilty rakenteet sekä muut sisäilman laatuun mahdollisesti vaikuttavat rakennesosat ja talotekniset tekijät. Myös irtaimiston rooli mahdollisena sisäilmaongelmien aiheuttajana huomioidaan.

Kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus- ja korjaushanke käynnistyy usein käyttäjien raportoimista sisäilmaongelmista tai vuoto- tai vauriohavainnoista ja sen tavoitteena on palauttaa rakennus

teknisesti ja terveydellisesti käyttötarkoitusta palvelemaan kuntoon. Paitsi jo todetussa ongelmatilanteessa, rakennuksen sisäilmahaittojen riskitekijöiden kartoittaminen on todettu tarpeelliseksi myös mm. rakennusten peruskorjauksen hanke- suunnitteluvaiheessa, sillä peruskorjauksissa tyyppillisesti toteutettavat muutokset mm. ilmanvaihdossa ja tilojen käyttötavoissa saattavat muuttaa aiemmin moitteettomasti toimineita rakennenosia sisäilman kannalta riskirakenteiksi.

Sisäilmaongelmaisen rakennuksen korjaushankkeen kulku on esitetty kuvassa 1.2.



Kuva 1.2. Sisäilmaongelmaisen rakennuksen korjaushankkeen kulku. Toimeksiantovaiheissa erityistä huolta tulee kiinnittää toimeksiantannon (työn sisällön) määrittelyyn. Tiedotus, erityisesti tilojen käyttäjien informointi tutkimuksista ja korjauksista, on tärkeä osa hankkeen kulkua. Korjaussuunnitteluvaiheessa tulee huomioida, että korjaus- ja muutostyöt, joilla ilmeisesti voi olla vaikutusta rakennuksen käyttäjien turvallisuuteen tai terveydellisiin oloihin, edellyttävät rakennuslupaa (MRL 125 §).

Kuntotutkimuksen laajuus ja sisältö vaihtelevat lähtötilanteesta riippuen.

Kuntotutkimuksen laajuus ja eteneminen vaihtelevat lähtökohdasta riippuen. Jos lähtötilanteessa on tiedossa esimerkiksi korjaamattomia kosteus- ja homevaurioita, tai jos on tapahtunut äkillinen vesivahinko, tutkimukset voidaan yleensä helposti kohdistaa oikeisiin rakenteisiin jo kuntotutkimuksen alkuvaiheessa. Mikäli ongelman aiheuttaja on ilmeinen, vaurio tai vika on yksinkertainen ja selväräinen ja laajuus voidaan luotettavasti todeta jo ensimmäisellä kohdekäynnillä, voidaan vaurioiden korjaus toisinaan aloittaa ilman mittauksia ja erityistä korjaussuunnittelua kuntotutkimusraportin korjaustapa- tai huolto-ohjeistuksen perusteella. Tilaajan tulee kuitenkin huolehtia, että tehdyistä korjauksista jää riittävä dokumentaatio esimerkiksi rakennuksen huoltokirjaan. Ennen korjausten aloitusta tulee kuitenkin selvittää mahdollisen rakennusluvan tarve.

Yleensä vaurion sijainti, aiheuttaja ja laajuus sekä mm. ilmanvaihdon toimivuus joudutaan selvittämään asiakirjaselvityksen, riskiarvion ja paikan päällä tehtävien tutkimusten ja mittausten avulla. Tapaukset, joissa esimerkiksi käyttäjien oireilu tai tiloissa esiintyvät poikkeavat hajut viittaavat sisäilmaongelmaan mutta kosteus- ja homevaurioita tai muita todennäköisiä ongelman aiheuttajia ei ole tiedossa, saattavat vaatia laajoja tutkimuksia ennen kuin mahdollinen haittatekijä voidaan osoittaa ja paikallistaa.

Kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus on usein perusteltua yhdistää esimerkiksi perusteelliseen LVV-/LVI-järjestelmien, vesikattojen tai julkisivujen kuntotutkimuksiin. Myös haitta-ainetutkimukset ovat tyypillisesti tarpeen.

Kuntotutkimukset toimivat rakennuksen elinkaaren hallinnan työkaluina.

Myös muita kuin kosteusvaurioiden tai sisäilmaongelmien edellyttämiä korjauksia suunniteltaessa on tärkeää tutkia rakennuksen kunto riittävän perusteellisesti. Esimerkiksi peruskorjaushankkeiden suunnittelun lähtötiedoksi on suositeltavaa tutkia rakennus mahdollisten sisäilmariskejä muodostavien vaurioiden ja puutteiden varalta, jotta nämä saadaan poistettua peruskorjauksen yhteydessä.

Maanrakennuslain mukaisesti myös viranomaisen voi rakennushankkeiden lupavaiheessa edellyttää rakennuksen kuntoa koskevaa selvitystä (MRL 131 §). Kuntotutkimusten tulokset kirjataan osaksi rakennuksen huoltokirjaa, joka on tärkein rakennuksen elinkaaren hallinnan työkalu.

Kuntotutkimus toimii korjaussuunnittelun pohjana.

Kuntotutkimus toimii pohjatietona korjaussuunnittelulle. Tutkimusselostuksen perusteella laaditaan erilliset, riittävän yksityiskohtaiset korjaussuunnitelmat, joissa kuvataan korjattavat, purettavat ja uusittavat rakenteet, mahdolliset muutokset uusien rakenteiden toteutuksessa sekä korjausmenetelmät ja materiaalit. Tyypillisesti korjaustapaehdotuksissa annetaan muutamia vaihtoehtoisia korjaustapoja ja esitetään lyhyesti näihin liittyvät edut ja riskit. Lisäksi suunnitelmassa tyypillisesti ohjeistetaan korjausten käytännön toteutusta ja järjestelyjä. Myös korjaustyömaan kosteuden- ja pölynhallintaan ja korjaustyön laadunvarmistusmenettelyihin voidaan ottaa kantaa tässä vaiheessa. Korjaussuunnitteluvaiheessa tulee huomioida, että korjaus- ja muutostyöt, joilla ilmeisesti voi olla vaikutusta rakennuksen käyttäjien turvallisuuteen tai terveydellisiin oloihin, edellyttävät rakennuslupaa (MRL 125 §).

Korjausten tavoitteena on tehdä rakennuksesta terveellinen ja teknisesti toimiva.

Sisäilmaongelmaisen rakennuksen korjauksen tavoitteena on palauttaa rakennus teknisesti ja terveellisesti käyttötarkoitusta palvelevaan kuntoon. Tarkoitus ei ole kuitenkaan tehdä vanhasta rakennuksesta uutta rakennusta. Toisinaan rakennuksen käyttötarkoitusta joudutaan korjauksista huolimatta muuttamaan tai käyttöä rajoittamaan, mikäli rakennusta ei voida esimerkiksi suojelumääräysten takia korjata riittävän perusteellisesti. Korjattaessa poistetaan vaurioituneet materiaalit ja muut epäpuhtauslähteet, ja rakenteet ja talotekniset järjestelmät korjataan siten, etteivät vauriot uusiudu. Uusien rakenneratkaisujen huolellinen suunnittelu on erityisen tärkeää kosteusteknisesti haastavien rakenteiden korjauksessa.

Joustavuus ja mahdollisuus muuttaa tai laajentaa korjaussuunnitelmaa ovat usein tarpeen korjausvaiheessa.

Erityisesti laajoissa, rakennus- ja korjaushistorialtaan monimuotoisten kohteiden korjauksissa tulee korjaustöiden edetessä usein vastaan yllätyksiä ja tilanteita, jotka edellyttävät lisätutkimuksia ja korjaussuunnitelmien muuttamista tai täydentämistä. Tähän tulisi varautua jo korjausten suunnitteluvaiheessa riittävän väljällä aikataululla ja budjetilla. Kuntotutkijan tulee mahdollisuuksien mukaan ilmoittaa raportissaan esimerkiksi vaurioiden laajuuteen liittyvät epävarmuudet, jotta tarkempiin tutkimuksiin osataan varautua.

Korjausten onnistumisen seuranta voidaan tehdä useilla eri tavoilla.

Mikäli kosteus- ja mikrobivauriot ja muut sisäilman laatua heikentävät tekijät on kartoitettu luotettavasti, voidaan näiden ongelmakohtien oikein tehdyn korjauksen olettaa ratkaisevan rakennuksen sisäilmaongelmat. Teknisestä näkökulmasta korjausten onnistumisen seuranta perustuu purku- ja korjaustyön huolelliseen suunnitteluun ja töiden suunnitelmienmukaiseen toteutukseen ja toteutuksen valvontaan. Purku- ja korjaustyöt katselmoidaan ja dokumentoidaan vaiheittain. Toteutuksen onnistumisen arvioinnissa käytetään soveltuvia laadunvarmistusmenettelyjä.

Korjausten onnistumisen työkaluna voidaan käyttää myös käyttäjien sisäilmasto- ja oirekyseilyä, joka toteutetaan tutkimusten alkuvaiheessa ja uudelleen korjausten päätyttyä. Sisäilmamittauksia voidaan käyttää suuntaa-antavana työkaluna sisäilman laadun paranemisen todentamisessa. On kuitenkin huomioitava, että mittauksen tulokset eivät luotettavasti todenna tai poissulje sisäilmahaittojen olemassaoloa. Niin mittaukset kuin kyselytkin on pääsääntöisesti suositeltavaa toteuttaa vertailukelpoisuuden vuoksi samana vuodenaikana kuin korjausta edeltäneet selvitykset.

2 Tutkimussuunnitelma

2.1

Yleistä

Kuntotutkimus käynnistyy tutkimuksen tilaajan yhteydenotolla. Yhteydenotto johtaa usein ensimmäiseen kohdekäyntiin, jonka perusteella voidaan alustavasti arvioida kohdetta ja kuntotutkimuksen laajuutta.

Toisinaan sisäilmaongelman aiheuttaja on niin yksinkertainen ja ilmeinen, että ongelma saadaan kartoitetuksi luotettavasti jo esimerkiksi puhelin-keskustelulla selvitettyjen oleellisten lähtötietojen ja yhdellä kohdekäynnillä tehtyjen perustutkimusten havaintojen perusteella. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi kun kohteena on pientalo, jonka rakenteet ovat rakentamisajankohdalle tyypilliset. Tarkemmat rakenne- ja muut taustatiedot käydään yleensä kohteessa läpi esimerkiksi pientalon omistajan tai isännöitsijän kanssa. Tällöin tarkempaa tutkimussuunnitelmaa ei välttämättä tarvita, joskin kohdekäynnillä saattaa ilmetä lisätutkimustarpeita, esimerkiksi tarve tehdä rakenneavauksia, kosteusmittauksia tai näytteenottoja.

Laajemman kohteen, esimerkiksi ikääntyneen koulurakennuksen kuntotutkimus aloitetaan yleensä lähtötilanneselvityksellä, kohdekäynnillä ja alustavalla riskiarviolla. Näiden perusteella laaditaan tyypillisesti tutkimussuunnitelma, joka toimii kuntotutkimussopimuksen tai -tilauksen lähtötietona, ja jonka perusteella arvioidaan kuntotutkimuksen kustannukset. Koska työmenekki on näissä tapauksissa huomattavasti pienkohteita laajempi, osapuolten on suositeltavaa sopia tutkimussuunnitelmasta ja siihen liittyvistä katselmointikäynneistä kustannuksineen kirjallisesti ennen esivalmisteluihin ryhtymistä. Mikäli tilaaja haluaa

teettää tarkan tutkimussuunnitelman ja hyödyntää suunnitelmaa kuntotutkimuksen tekijöiden kilpailutuksessa, tulee asia saattaa myös suunnitelman tekvän kuntotutkijan tietoon heti ensimmäisessä yhteydenotossa.

Tutkimussuunnitelman laatimiseen tarvittava työaika vaihtelee huomattavasti. Tavanomaisesti aikaa on varattava pienemmässä selvityksessä noin 1/2–2 työpäivän verran esimerkiksi tilanteissa, joissa tutkimus on rajattu tiettyyn tilaan tai rakenneosaan. Tavanomaisen keskikokoisen koulu- tai toimistorakennuksen tutkimussuunnitelman laatimiseen menee aikaa tyypillisesti useita työpäiviä. Suunnitelman laatimiseen varattu aika sisältää kohteen katselmointiin matkoineen käytetyn työajan sekä alustavan riskiarvion tekoon ja kirjallisen suunnitelman laatimiseen käytetyn työajan. Tarvittava aika kuitenkin vaihtelee suuresti riippuen suunnitelman tarkkuudesta ja esitystavasta sekä kohteen erityispiirteistä. Esimerkiksi vanhojen, useissa vaiheissa peruskorjattujen ja/ tai laajennettujen rakennusten tutkimussuunnitelmien laatimiseen voi kulua huomattavasti edellä esitettyä enemmän aikaa, erityisesti jos tutkimussuunnitteluvaiheessa perehdytään laajoihin lähtötietoaineistoihin.

Toisinaan tutkimukset voidaan esimerkiksi kustannussyistä suunnitella toteutettavaksi vaiheittain siten, että ensin tutkitaan riskiarvion perusteella havaitut todennäköisimmät ongelmakohdat. Näiden perusteella arvioidaan tehtyjen havaintojen merkitystä sisäilman laadun kannalta. Mikäli todetaan, ettei ongelman syytä pystytty tarpeeksi kattavasti selvittämään, tarkennetaan tutkimuksia esimerkiksi muihin rakenneseisiin tai tehdään tarvittaessa seurantamittauksia tai näytteenottoja. *Vaiheittain toteutetussa kuntotutkimuksessa seu-*

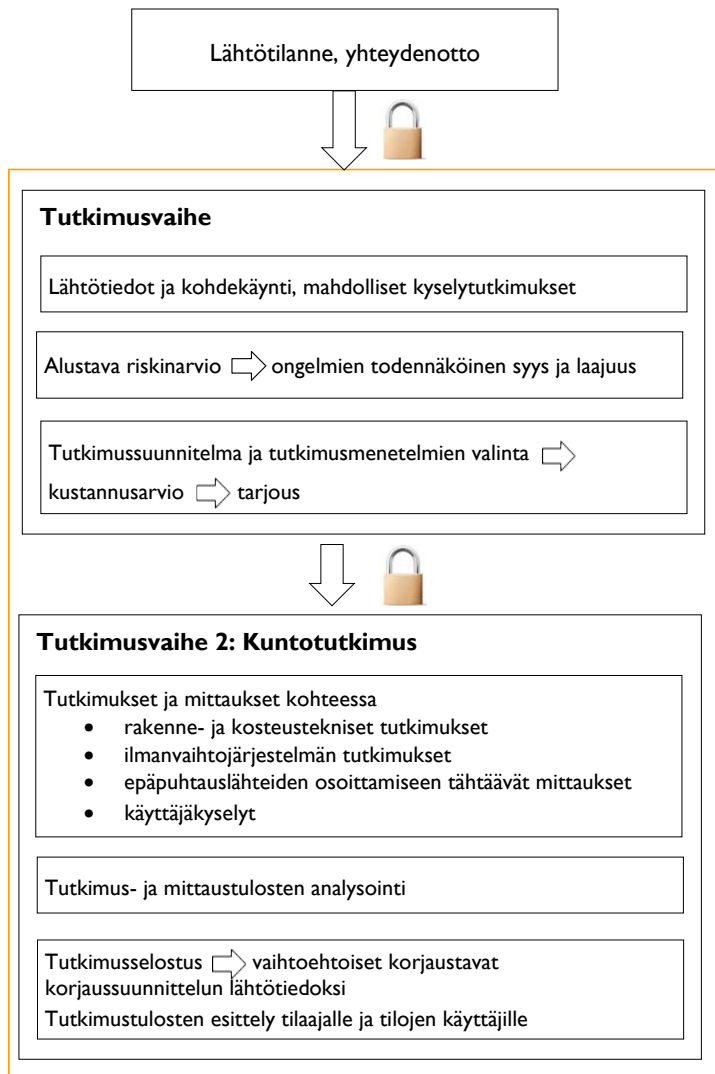
raavan vaiheen jatkotutkimukset perustuvat siten aina edellisen vaiheen tuloksiin.

Tutkimussuunnitelman tulee sisältää kaikki kosteus- ja homevaurion syyn ja laajuuden selvittämisen kannalta oleelliset toimenpiteet ja tutkimusmenetelmät. Lisäksi hyvässä tutkimussuunnitelmassa esitetään myös kohteen perustiedot, tutkimusten taustatiedot, sekä listataan käytettävissä olleet lähtötiedot. Tutkimussuunnitelman yleinen malli on esitetty liitteessä 3. Mallia hyödynnettäessä tulee kuitenkin huomioida erilaiset lähtötilanteet ja tilaajan tarpeet.

2.2

Kuntotutkimuksen vaiheet

Kuntotutkimuksen vaiheet ja eteneminen on esitetty kuvassa 2.1. Kuntotutkimus on oleellinen osa rakennuksen korjaushanketta. Koko korjaushankkeen kulku on esitetty edellä kappaleessa 1.5.



Työn sisällön määrittely, mahdollinen tarjouskilpailu, sopimus

Kuva 2.1. Sisäilmaongelmaisen rakennuksen kuntotutkimuksen vaiheet ja eteneminen.

Lähtötiedot

Lähtötietoja ovat kaikki ne tiedot, jotka ovat kosteus- ja mikrobivaurioiden syyn ja laajuuden sekä muiden mahdollisten sisäilmaongelmien arvioinnin ja selvittämisen kannalta oleellisia. Lähtötietoja kootaan tarvittavassa laajuudessa ja kirjataan tutkimusselostukseen. Tärkeimpiin tietoihin pyritään perehtymään tutkimussuunnitelmaa tehtäessä, ja tarkemmin tiedot käydään läpi itse tutkimusten alkuvaiheessa. Huolellinen lähtötietoihin perehtyminen tutkimusprojektin alkuvaiheessa on erittäin tärkeää. Sekä tilaajan että kuntotutkijan tulee varata siihen riittävästi aikaa. Yleensä tämä säästää kuluja varsinaisessa kenttätutkimusvaiheessa, kun tutkimukset osataan kohdistaa todennäköisimpiin ongelmakohtiin.

Suurten kiinteistökohteiden hankalissa ja pitkityneissä sisäilmaongelmatapauksissa on toisinaan tarpeen käydä läpi perusteellisesti aiemmin tehdyt selvitykset ja muut lähtötiedot ja kirjoittaa yhteenvedo niiden päätelmistä tutkimussuunnitelman tueksi. Tämä helpottaa tilaajaa ja muita raportin lukijoita hahmottamaan erityisesti pitkällisiä ja vaihteittaisia selvityksiä, joihin on osallistunut useita eri tahoja. Mikäli aiemmat selvitykset ovat laajoja, tulee tilaajan kanssa sopia erikseen kirjallisen yhteenvedon tekemisestä ja työn laskutettavuudesta.

Seuraavissa kohdissa on kuvattu tärkeimpiä lähtötietotyyppejä.

2.3.1

Asiakirjat

Kuntotutkimuksen lähtötiedoiksi tarvitaan kohteen asiakirjat. Yleensä nämä toimittaa työn tilaaja, tai niiden hankkimisesta sovitaan tilaajan kanssa erikseen. Jos tutkittavasta kohteesta tarvitaan viranomaisilta hankittavia asiakirjoja, on yleensä tarkoituksenmukaista, että asiakirjat hankkii tutkimuksen tekijä. Tällöin voidaan välttyä mm. tutkimuksen kannalta tarpeettomien piirustusten hankkimiselta ja säästetään kopiointikustannuksissa. Lähtötietoina olleet asiakirjat tulee luetteloida tutkimussuunnitelmassa ja arkistoida mahdollisia jatkoselvityksiä varten. Lähtötietoasiakirjoja ovat esimerkiksi:

Alkuperäiset suunnitelmat ja täydennykset

- pääpiirustukset
- rakennuspiirustukset (arkkitehtipiirustukset)
- rakennepiirustukset
- LVI-piirustukset
- työselostukset
- tilaluettelot
- pohjatutkimustulokset

Aiemmat tutkimukset ja selvitykset

- huoltokirja-aineisto
- aiemmin laaditut korjaussuunnitelmat
- aiemmin tehdyt korjaukset ja tilamuutokset
- aiemmin tehdyt kuntoarviot ja kuntotutkimukset
- aiemmin tehdyt rakennushistoriaselvitykset
- aiemmin tehdyt asbestikartoitukset, haitta-ainekartoitukset ja haitta-ainetutkimukset
- aiemmin tehdyt ympäristötekniiset selvitykset
- aiemmin tehdyt käyttäjäkyselyt ja haastattelut
- terveydensuojelun asiakirjat
- isännöitsijätodistukset ja muut kiinteistönpidon aikana tuotetut asiakirjat

Rakentamisaikaiset ja korjauksiin liittyvät työmaa-asiakirjat ja muut dokumentit

- työmaavaiheen dokumentointi
- työmaapäiväkirja ja tarkastusasiakirja
- valvontamuistiot
- työmaakokousmuistiot
- rakennuslupa-asiakirjat ja viranomaistarkastukset

Uudiskohteissa tärkeitä lähtötietoasiakirjoja ovat usein myös työmaasuunnitelmat, kuten kosteudenhallintasuunnitelma sekä siihen liittyvät valvontamuistiot ja materiaalien rahtikirjat. Rakennusaikaiset dokumentit, kuten työmaasuunnitelmat ovat yleensä saatavilla kohteen rakennuttajan arkistoista.

Korjauskohteissa puolestaan tärkeitä lähtötietoja ovat rakennusvaiheen rakennus- ja rakennesuunnitelmat, mutta myös aiempiin korjauksiin liittyvät suunnitelmat. Vanhoissa kohteissa rakennusvaiheen suunnitelmien saaminen on yleensä vaikeaa, eikä niitä välttämättä ole tilaajalla suoraan käytävissä. Tällöin suunnitelmia voi etsiä esimerkiksi rakennusvalvonnan arkistoista.

Lähtötiedoissa esitettyjen rakenteiden paikkansapitävyys tarkistetaan aina mahdollisuuksien mukaan.

Asukas- ja käyttäjäkyselyt

Alustavaa riskiarviota varten kootaan asukkaiden, käyttäjien ja huoltohenkilökunnan havainnot rakennuksen ongelmista. Tietojen avulla muodostetaan yleiskuva tilanteesta. Suppeimmillaan kysely on tilan käyttäjien ja teknisen henkilökunnan nopea haastattelu. Suuremmissa kohteissa on tarkoituksenmukaista tehdä kirjallinen kysely paperisena tai sähköisenä. Kyselyitä on kahden tyyppisiä, käyttäjäkyselyt sekä sisäilmasto- ja oirekyselyt.

1. Käyttäjä- ja huoltohenkilökunnan kyselyt

Suppean kyselyn, joka painottuu käyttäjien ja huoltohenkilökunnan rakennuksesta tekemiin teknisiin havaintoihin, voi kuntotutkija tehdä itse. Kyselyssä ei pyydetä tietoa käyttäjien kokemista oireista, mutta siinä voidaan yleisellä tasolla pyytää tietoa ongelmallisiksi koetuista tiloista. Tieto- ja yksityisyysdensuojasta tulee kuitenkin huolehtia erityisesti, mikäli käyttäjät tai huoltohenkilökunta ilmoittavat kyselyssä henkilökohtaisia terveyteen liittyviä asioita. Lähtökohtaisesti kyselyyn vastataan anonymisti. Käyttäjäkyselyissä voidaan käyttää esimerkiksi liitteessä 1 esitettyjä lomakemalleja soveltuvien osien. Liitteessä 1 on myös kyselykaavake isännöitsijälle tai huoltomiehelle. Hyväksi havaittu toimintatapa on liittää kyselyyn rakennuksen pohjapiirustus, johon käyttäjät paikantavat havaintonsa. Pohjapiirroksen jokainen tila numeroidaan/nimetään selkeästi ja yksiselitteisesti. Vastaaja voi joko merkitä havaintonsa suoraan tulostettuun kuvaan, joka skannataan vastauksen liitteeksi, tai lisätä lomakkeeseen antamiinsa vastauksiinsa paikkatiedon kuvan numeroinnin mukaan.

Kyselyllä selvitetään mm. seuraavaa:

- tapahtuneet vesivahingot ja niiden ajankohdat
- poikkeuksellisten sääolosuhteiden aikana tehdyt havainnot
- näkyvät kosteusvauriot ja poikkeavat hajut
- havainnot sisäilman laadultaan tai olosuhteiltaan muutoin puutteellisista tiloista
- käyttötottumukset
- rakennuksen huoltotoimenpiteet
- toteutetut korjaukset
- toteutetut peruskorjaukset

2. Sisäilmasto- ja oirekysely

Sisäilmasto- ja oirekysely painottuu käyttäjien kokemaan sisäilman laatuun, käyttäjien sairastavuuteen ja rakennukseen liitettyihin oireisiin. Oirekyselyitä suositellaan tehtäväksi vain 20 hengen tai suuremmille käyttäjämäärille. Yleisimmin oirekyselyitä tehdään työpaikoilla työntekijöille (mm. Työterveyslaitoksen sisäilmastokyselyt) tai kouluissa lapsille (mm. Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitoksen oirekyselyt). Kaikki sisäilmastokyselyt, joilla kartoitetaan myös käyttäjien sairastavuutta ja rakennukseen liitettyjä oireita, tulee teettää organisaatiolla, jossa tulokset käsittelee terveydenhuollon alan ammattilainen, yleensä työ- tai kouluterveyshuolto. Terveystieteiden alan ammattilaisen tehtävänä on myös arvioida mihin oleskelupaikkaan ilmoitetut oireet kohdentuvat, esimerkiksi koti, työ, harrastepaikat. Kaikki annetut tiedot käsitellään täysin luottamuksellisina. Useimmat sisäilmastokyselyt pohjautuvat ns. Örebro-kyselyyn. Kyselyn tuloksena saatavien sisäilmasto-ongelma- ja oireprofiilien perusteella voidaan saada tietoa ongelmien mahdollisesta aiheuttajasta ja sijainnista, ja siten kohdistaa tutkimuksia esim. tiettyyn rakennusosaan. Ennen ja jälkeen korjaustoimien tehdyillä kyselyillä voidaan arvioida korjausten ja muiden toimenpiteiden vaikutusta käyttäjien kokemaan sisäilman laatuun.

Asukas- ja käyttäjäkyselyllä saadut, sisäilmasto-ongelman kannalta oleelliset tiedot kirjataan tutkimusraporttiin. Sisäilmasto- ja oirekyselyn tuloksista esitetään yleensä yhteenvedo tutkimusraportissa.

2.3.3

Rakentajien ja suunnittelijoiden haastattelut

Rakentajien ja suunnittelijoiden haastatteluilla selvitetään muun muassa kosteus- ja homevaurioriskien kannalta tärkeisiin rakenteisiin rakennus- tai korjaustöiden aikana tehtyjä muutoksia. Muutokset voivat olla päivittämättä piirustuksiin tai työselostuksiin. Sen sijaan työmaapäiväkirjoista tai työmaakokousmuistioista voi löytyä mainintoja suunnitelmien muutoksista. Työmaan aikaisella suunnitelmien muuttamisella on usein tavoiteltu rakennuskustannuksiltaan edullisempaa tai työteknisesti helpompaa ratkaisua. Muutokset ovat voineet johtaa vaurioiden syntymiseen.

Jos käytettävissä on asianmukaisesti täytetty työmaapäiväkirja ja valvontamuistiot, rakentajien haastattelulla voidaan saada selville myös rakentamisajankohdan poikkeuksellisten sääolosuhteiden ja sääsuojauksen mahdollisten puutteiden aiheuttamat kosteus- ja homevaurioriskit. Nämä ovat voineet johtaa jo rakennusaikana kosteus- ja homevaurion syntymiseen.

2.4

Alustava riskiarvio

Alustavalla riskiarviolla selvitetään rakenteiden todennäköiset vaurioitumisriskit, vaurioiden syyt sekä sellaiset rakenteet, joihin kuntotutkimuksessa on kiinnitettävä erityistä huomiota. Riskiarvio perustuu **lähtötietoihin** (asiakirjatarkastelu ja haastattelut sekä mahdollisesti käyttäjäkyselyt) sekä **tutkittavan kohteen katselmuskäyntiin**. Tarvittaessa riskiarvion perusteella hankitaan lisää asiakirjoja sekä haastatellaan uudelleen rakennuksen käyttäjiä, huoltohenkilökuntaa, suunnittelijoita, rakentajia ja/tai omistajia. Hyvällä riskiarviolla muodostuu käsitys tehtävän kuntotutkimuksen laajuudesta, jolloin vältytään myös turhilta mittauksilta sekä tutkimuksilta.

2.4.1

Asiakirjatarkastelu

Asiakirjatarkastelu tehdään yleensä eri suunnittelualojen suunnitelmista. Suunnitelmat sisältävät suunnittelualan erilaiset piirustukset, luettelot, laskelmat sekä kirjalliset asiakirjat kuten työselostukset ja selvitykset. Suunnitelmien perusteella arvioidaan, ovatko rakenteet toimivia vai onko rakennuksessa yksityiskohtia, joihin liittyy selvä kosteus- ja homevaurioriski. Rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa ja kosteus- ja homevaurioriskiä voidaan arvioida rakennuksen tai rakenteiden iän, eri rakenneratkaisujen pitkäaikaiskestävyydestä saatujen kokemusten tai laskennallisten analyysien perusteella. Vaikeimmissa tapauksissa rakennusfysikaaliset laskenta-analyysit voivat olla ainoa mahdollisuus selvittää kosteus- ja homevaurion syyt ja varmistua oikeista korjausmenetelmistä. Laskenta-analyysijä on monentasoisia: yksinkertaisia ja monipuolisia laskentamalleja.

Kun kyseessä on tunnettu, äkillinen vesivahinko, esimerkiksi tulipalon sammutusvesi tai putkivuoto, piirustuksista arvioidaan rakenteiden

alttius kosteus- ja homevaurioille. Lisäksi selvitetään tarvittavassa laajuudessa veden leviämismahdollisuudet rakenteissa sekä pysty- että vaakasuunnassa. Tiedot mahdollisesti jo tehdyistä kuivatustoimenpiteistä ja korjauksista kirjataan ja huomioidaan.

Rakennus- ja rakennesuunnitelmissa esitetyt rakenteet arvioidaan kriittisesti niiden rakennusfysikaalisen toiminnan perusteella. Erityisesti seuraaviin seikkoihin kiinnitetään huomiota:

- Ovatko piirustukset (kaikilta osin) olemassa? Ovatko kosteuden- ja vedeneristykset esitetty piirustuksissa tai työselostuksissa?
- Onko detaljipiirustuksia laadittu?
- Onko rakenne altis liialliselle maakosteudelle?
- Onko rakenteessa ilmapuotoriskejä?
- Kerääkö rakenne sade- tai muita vesiä?
- Onko salaojitusta, tiedot voi löytää myös LVI-suunnitelmista?
- Onko rakenne työteknisesti niin vaikeasti toteutettavissa, että on aihetta epäillä, että toteutus on epäonnistunut?
- Onko rakenteessa materiaaleja, jotka ikänsä perusteella muodostavat vaurioriskin, ja onko nämä materiaalit jo uusittu?
- Edellyttääkö rakenne huolto- tai kunnossapitotoimenpiteitä, ja onko nämä toimenpiteet tehty?

LVI-suunnitelmista tarkistetaan mm. seuraavat asiat:

- vesijohtojen, viemäreiden ja lämmitysputkien sijainti rakenteissa
- vesijohtojen, viemäreiden ja lämmitysputkien ikä
- putkien ja kanavien lämmöneristeet
- salaojitus, tiedot voi löytää myös rakennesuunnitelmista
- eri tilojen ilmanvaihtuvuus
- ilmanvaihdon säädöt (säätöpöytäkirjoista)
- ilmanvaihdon käyttöasennot ja niiden todennäköinen merkitys rakennuksen painesuhteisiin
- ilman hallitut ja hallitsemattomat kulkureitit rakenteissa ja rakennuksessa.

Suunnitelmien tarkastuksessa voidaan soveltuvilta osin käyttää apuna myös rakennusosakohtaisia tarkastuslistoja, ks. kohta 3.2.1.

Kohdekäynti tutkimussuunnitelman laadintaa varten

Tutkimuksen lähtökohdasta riippumatta tutkimussuunnitelman laadintaa varten on aina pyrittävä tekemään erillinen kohdekäynti, jossa tarkastetaan pintapuolisesti kohteen tilat tilaajan kanssa sovittuun laajuudessa. Suuremmissa tai tutkimuspohjaltaan epäselvissä kohteissa kohdekäynti antaa yleiskuvan kohteen kunnosta, materiaaleista ja rakenneratkaisuista ja näin ollen täsmentää lähtötietoja tutkimussuunnitelman laadinnassa. Kohdekäynnin yhteydessä voidaan haastatella myös kohteen käyttäjiä, omistajaa tai huoltohenkilökuntaa. Ennen kohdekäyntiä on suositeltavaa tutustua kohteesta käytössä oleviin suunnitelmiin.

Kohdekäynnin yhteydessä asiantuntijoiden tulee arvioida rakennusta myös laajempina kokonaisuutena. Jos rakennuksesta ei ole tehty kuntoarviota, voi rakennuksen omistajalla olla täysin väärä käsitys rakennuksen kunnosta. Kuntotutkijan tulee ehdottaa tarpeellisiksi katsomiaan selvityksiä rakennuksen omistajalle, jos hän havaitsee rakennuksessa muita kuin sisäilmaongelmiin liittyviä rakennusteknisiä puutteita. Kohdekäynnin perusteella saadaan myös lisätietoa siitä, tarvitseeko kohteessa käyttää eri alojen asiantuntijoita (ks. kappale 1.3).

Tutkimussuunnitelman laadinta erilaisissa lähtötilanteissa

Kuntotutkimuksen lähtökohdat vaihtelevat akuutin vesivahingon aiheuttamien vaurioiden kartoituksesta suurten kiinteistöjen monitahoisten sisäilmaongelmien selvitykseen. Yleisimmät lähtökohdat on esitetty alla kuvassa 2.2.

Kohdissa 2.5.1–2.5.6 on ohjeistettu tutkimussuunnitelman laadinta eri tyyppisissä lähtötilanteissa. Esitettyjen tutkimusten ja mittausten järjestys voi vaihdella vauriotapauksesta riippuen.

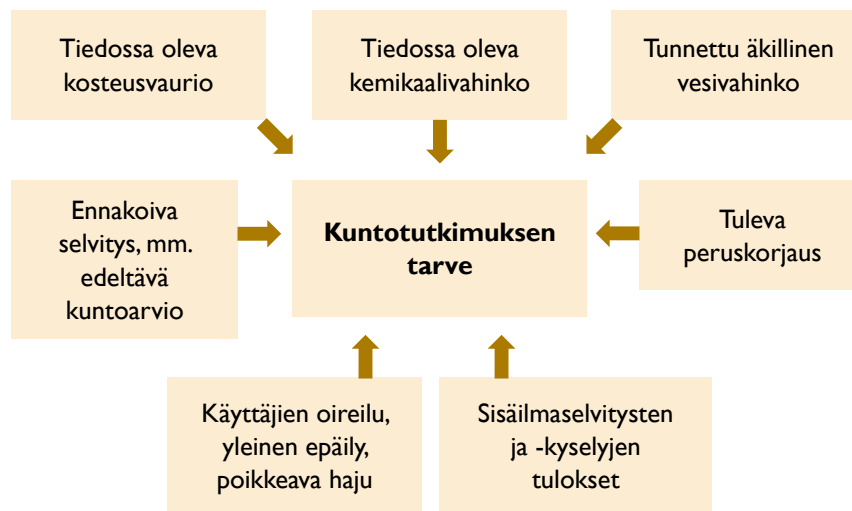
2.5.1

Ennakoiva selvitys

Kosteus- ja sisäilmateknisen kuntotutkimuksen tarve todetaan usein aiemmin tehdyn ennakoivan selvityksen havaintojen perusteella.

Ennakoiva selvitys voi olla:

- ohjekortin KH 90-00535. *Asuinkiinteistön kuntoarvio. Kuntoarvioijan ohje* (Rakennustietosäätiö RTS, 2013) mukaan toteutettu rakennuksen peruskuntoarvio
- ohjekortin KH 90-00501. *Liike- ja palveluikiinteistön kuntoarvio. Kuntoarvioijan ohje* (Rakennustietosäätiö, 2012a) mukaan toteutettu rakennuksen peruskuntoarvio



Kuva 2.2. Sisäilmaongelmaisen rakennuksen kuntotutkimuksen lähtökohdat.

- ohjekortin KH 90-00394. Kuntotarkastus asuntokaupan yhteydessä. Suoritusohje (Rakennustietosäätiö RTS, 2007) mukaan toteutettu tarkastus
- kiinteistön käyttäjien ja huoltohenkilökunnan aktiivinen rakennuksen kunnon seuranta
- kiinteistö- tai huoltoyhtiön ennakoiva, määrävälein tehtävä kiinteistön kuntotarkastus
- alustava riskiarvio, jossa on kartoitettu rakennuksen kosteustekniset riskit piirustusten, asukas- ja käyttäjäkyselyn sekä aistinvaraisen tarkastuksen avulla
- kiinteistönhallinnan sähköisestä järjestelmästä saatava yhteenvetoraportti.

Jos ennakoivassa selvityksessä on ilmennyt selviä kosteus- tai homevaurioita tai rakenteiden sisällä olevia kosteus- ja homevaurioriskejä, edetään kuten tiedossa olevan kosteus- tai homevaurion tapauksessa (kohta 2.5.3). Jos ennakoivan selvityksen perusteella on jäänyt epäily sisäilmaongelmasta esimerkiksi hajun tai rakennuksen käyttäjien oireilun perusteella, edetään kohdan 2.5.4 mukaisesti.

2.5.2

Tunnettu äkillinen kosteusrasitus

Tunnettu äkillinen kosteusrasitus voi olla esimerkiksi putkivuoto, tulva tai sammutusvesi. Kuntotutkimuksessa selvitetään kosteusvaurion laajuus sekä määritetään välittömät korjaustoimenpiteet. Näitä ovat mm. rakenteiden purku- ja kuivaustyöt, joilla estetään rakennusmateriaalien homehtuminen. Kosteusvaurion laajuus selvitetään aistinvaraisesti ja kosteusmittauksin mahdollisimman pian vuototapahtuman jälkeen. Rakenteita avataan tarvittavin osin. Korjausvaihtoehtojen yhteydessä esitetään mahdolliset parannukset rakenteisiin tai järjestelmiin, jotta tapahtunut vahinko, esimerkiksi putkivuoto, ei enää toistu.

Rakennusmateriaalien homehtuminen voidaan yleensä ehkäistä äkillisen vesivahingon yhteydessä tekemällä tarvittavat kuivumista edistävät purkutyöt ja aloittamalla tehokkaat kuivatustoimet riittävän nopeasti. Mikrobikasvustojen kehittymiseen kuluva aika riippuu kosteudesta, lämpötilasta ja materiaalista (ks. luku 6). Viemäriverisvuototapauksissa saattaa olla tarpeen selvittää ulostepepäisten mikrobien analyysillä, onko esimerkiksi alapohjarakenteesta todettu vesi viemäriverettä vai maaperän kosteutta.

Tutkimussuunnitelman sisältö ja käytettävät mittausten menetelmät

Tavoitteiden määrittely

- kosteusvaurion laajuuden selvittäminen

Lähtötiedot

- tapahtunut kosteus- tai vesivahinko ja sen ilmeneminen
- vahingon tapahtumisajankohta ja pitkäaikaisuus
- tarvittavat piirustukset ja muut asiakirjat

Alustava riskiarvio

- Selvitetään rakenteet (materiaalit ja toteutus) kastuneella tai mahdollisesti kastuneella alueella.
- Arvioidaan suunnitelmista ja paikan päällä veden mahdolliset kulkureitit rakenteiden sisällä.
- Arvioidaan kastuneiden ja mahdollisesti kastumaan päässeiden rakenteiden homehtumisriskit ja muut kosteusvaurioriskit.

Mahdolliset tutkimusmenetelmät

- aistinvaraiset havainnot rakenteita rikkomatta
- kosteus- ja lämpötilamittaukset
 - rakenteiden pinnoilta
 - rakenteiden sisältä
- rakenteiden avaukset, aistinvarainen tarkastelu rakenteista ja tarvittaessa materiaalinäytteiden mikrobianalyysit

Akuutin vuototapahtuman jälkeen kastuneen alueen laajuus tulee kartoittaa kosteusmittauksin nopeasti ja tarkasti ennen kuin rakenteet ovat ehtineet merkittävästi kuivua. Mikäli tutkimuksiin ryhdytään vasta viikkojen tai kuukausien kuluttua vuototapahtumasta, jolloin rakenteet ovat ainakin osin kuivuneet, on mahdollisesti kastuneiden ja vaurioituneiden rakenneosien kartoittaminen huomattavasti hankalampaa ja edellyttää usein lukuisia rakenneavauksia.

Vaurion laajuus ja rakenteiden kuivatustarve selvitetään tutkimus- ja mittaustulosten analysoinnin yhteydessä. Tulosten perusteella esitetään rakenteiden vaihtoehtoisia purku-, kuivatus- ja korjaustapoja. Kaikki vaurion laajuuden selvittämisen kannalta oleelliset tutkimustulokset esitetään tutkimusselostuksessa. Tutkimusten jälkeen on tärkeää aloittaa kuivaus- ja purkutyöt viipymättä.

2.5.3

Tiedossa oleva kosteus- tai mikrobivaurio

Tiedossa olevan kosteus- tai mikrobivaurion tapaus voi olla tilanne, jossa kosteus- ja/tai mikrobivaurio on tiedossa, mutta sen syytä ja laajuutta ei tiedetä, tai kosteus- ja mikrobivaurion aiheuttajasta on syntynyt erimielisyyksiä ja tarvitaan kuntotutkimus riita-asian ratkaisemiseksi.

Tutkimus kohdistetaan aluksi tiedossa oleviin vaurioituneisiin rakennusosiin. Jos tutkimustulosten perusteella on ilmeistä, että vaurio on arvioitua laajempi tai että vaurioita on myös muissa rakennusosissa, tutkimusta laajennetaan vastaavasti. Mikrobivaurioiden laajuutta selvitetään tarvittaessa materiaalinäytteistä laboratoriossa tehtävillä mikrobi tutkimuksilla.

Tutkimussuunnitelman sisältö ja käytettävät mittausmenetelmät

Tavoitteiden määrittely

- kosteus- ja homevaurion syiden selvittäminen
- kosteus- ja homevaurion laajuuden selvittäminen

Lähtötiedot

- käyttö- ja huolto-ohje (huoltokirja) ja muut kiinteistönpidon aikana tuotetut tiedot
- tarvittavat suunnitelmat ja muut rakentamiseen liittyvät asiakirjat
- asukkaiden, käyttäjien ja huoltohenkilökunnan tiedot rakennuksen kosteus- ja homevaurioihin viittaavista ongelmista

Mahdolliset tutkimusmenetelmät

- aistinvaraiset havainnot rakenteita rikkomatta
- asukas- ja käyttäjäkyselyt
- rakenteiden avaus tarvittavin osin
- kosteus- ja lämpötilamittaukset esimerkiksi
 - sisäilmasta
 - ulkoilmasta
 - rakenteiden pinnoilta
 - rakenteiden sisältä
 - ryömintätilasta
 - yläpohjan tuuletustilasta
- rakennuksen vaipan ilmanvuotokohtien toteaminen
- paine-eromittaukset tutkittavan rakenteen yli
- ilmanvaihtuvuus
- näytteenotto ja mikrobiologiset määritykset laboratoriossa

Kosteus- ja homevaurion syy ja laajuus sekä rakenteiden kuivatustarve selvitetään tutkimus- ja mittaustulosten analysoinnin yhteydessä. Tulosten perusteella esitetään rakenteiden vaihtoehtoiset purku-, kuivatus- ja korjaustavat. Kaikki vaurion syyn ja laajuuden selvittämisen kannalta oleelliset tutkimustulokset esitetään tutkimus selostuksessa.

2.5.4

Sisäilmatutkimuksella havaittu poikkeava tilanne, yleinen epäily, haju tai tilan käyttäjien oireilu

Kun rakennuksen käyttäjillä on todettu sisäilmaongelmaan viittaavaa oireilua, rakennuksessa esiintyy poikkeavia hajuja, tai kun sisäilmamittauksissa on todettu poikkeamia, kuntotutkimuksella selvitetään ongelmien syyt ja laajuus. Yleinen epäily voi tulla kyseeseen myös silloin, jos tiedossa ollut kosteus- tai homevaurio on korjattu, mutta rakennuksen käyttäjät oireilevat edelleen. Oireiden ja poikkeavien hajujen syyksi epäillään useimmiten mikrobivaurioita, mutta syynä saattavat olla myös esimerkiksi kalusteiden tai rakennusmateriaalien kemialliset päästöt, vanhojen rakennusmateriaalien sisältämien, tai rakenteisiin muutoin päätyneiden haitallisten aineiden päästöt, tai ympäröivistä tiloista kulkeutuvat hajut. Taustalla on usein myös puutteellinen ilmanvaihto sekä esimerkiksi korkea huoneilman lämpötila.

Yleiset sisäilmaongelmatapaukset saattavat vaatia laajoja tutkimuksia ennen kuin ongelman aiheuttaja voidaan osoittaa ja paikallistaa. Kohdekäynnin ja alustavan riskiarvion perusteella arvioidaan, millaisia mahdollisia riskejä rakenneratkaisuihin, materiaaleihin ja ilmanvaihtojärjestelmään liittyy. Näiden tietojen perusteella laaditaan tutkimussuunnitelma ja valitaan sopivat tutkimusmenetelmät. Ongelman aiheuttajan/aiheuttajien tunnistaminen vaatii lähes poikkeuksetta rakennusteknisiä mittauksia, rakenneavauksia, ilmanvaihtuvuuden mittauksia ja/tai mikrobi tutkimuksia. Sisäilman epäpuhtauksien mittaaminen saattaa olla perusteltua oireilevien tilan käyttäjien altistumisen arvioinnin tueksi.

Tutkimussuunnitelman sisältö ja käytettävät mittausmenetelmät

Tavoitteiden määrittely

- mahdollisen kosteus- ja mikrobivaurion tai -vaurioiden paikallistaminen ja laajuuden, syiden ja sisäilmavaikutusten selvittäminen
- kemikaalipäästöjä aiheuttavien materiaalien selvittäminen
- poikkeavien pölyjen ja kuitujen esiintymisen ja lähteiden selvittäminen
- ilmanvaihdon puhtauden ja toimivuuden selvittäminen

Lähtötiedot

- terveysviranomaisten tai muun sisäilman epäpuhtauslähteitä selvittäviä tutkimuksia tehneen toimijan raportit, mittauksien tulokset ja toimenpide-ehdotukset
- tarvittavat suunnitelmat ja muut rakennusasiakirjat
- asukkaiden, käyttäjien ja huoltohenkilökunnan tiedot rakennuksen kosteus- ja homevaurioihin viittaavista ongelmista ja havainnoista

Alustava riskiarvio

- Suunnitelmien, kohdekäynnin ja asukas- ja käyttäjäkyselyiden perusteella arvioidaan todennäköisimmät ongelmalähteet, jotta tutkimukset voidaan kohdistaa oikeisiin asioihin.
- Ns. riskirakenteiden tunnistaminen on oleellista, kun näkyviä vaurioita ei ole.
- Tarvittaessa käytetään laskennallista analyysiä kriittisten rakenneratkaisujen löytämiseksi tai määritetään laskennallisen analyysin tarve tulosten tulkinnan tueksi.
- Ilmanvaihtojärjestelmään liittyvät riskit arvioidaan järjestelmän iän, huolto- ja korjaushistorian ja tilan käyttäjien havaintojen perusteella.

Mahdolliset tutkimusmenetelmät

- asukas- ja käyttäjäkyselyt
- aistinvaraiset havainnot rakenteita rikkomatta
- rakennuksen ulkovaipan vesitiiveyspuutteiden tunnistaminen
 - tärkeää mm. sisäpuolisten rakenneselementtien kohdistamiseksi
- rakenteiden avaus tarvittavin osin
 - riskikohdat

- päärakennetyyppien tarkastus siten, että saadaan yleiskuva kunkin rakenneselementin toteutuksesta ja kunnosta
- kosteus- ja lämpötilamittaukset
 - sisäilmasta
 - ulkoilmasta
 - rakenteiden pinnoilta
 - rakenteiden sisältä
 - ryömintätilasta
 - yläpohjan tuuletustilasta
- rakennuksen ulkovaipan sisäkuoren ilma- vuotokohtien toteaminen
- paine-eromittaukset mahdollisesti epäpuhtauksia sisältävän rakenteen yli
- ilmanvaihtuvuuden määrittäminen
- ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden ja toimivuuden tutkiminen
- materiaalinäytteiden mikrobi- tutkimukset
- sisäilman epäpuhtausmittaukset, pintojen ja materiaalien emissiotutkimukset
- sisäilman ja materiaalien haitta- ainetutkimukset

Tulosten perusteella esitetään tarvittavat toimenpiteet sekä rakenteiden vaihtoehtoiset purku-, kuivatus- ja korjaustavat. Kaikki vaurion syyn ja laajuuden selvittämisen kannalta oleelliset tulokset esitetään tutkimusraportissa.

2.5.5

Kemikaalivahingot

Yleisimmät kemikaalivahinkojen syyt ovat viat tai toimintahäiriöt teknisissä järjestelmissä sekä tilojen käyttöluonteesta johtuvat onnettomuudet. Vahingon sattuessa selvitetään ensimmäiseksi mitä tuotteita/ kemikaaleja rakenteisiin on päässyt. *Kemikaalikohtaisesta käyttöturvallisuustiedotteesta* (KTT tai MSDS = Material safety data sheet) tai Turvallisuus- ja kemikaaliviraston ylläpitämästä kemikaalituoterekisteristä (www.ketu.fi/) saa tietoa kemikaaleista ja niiden sisältämistä yhdisteistä.

Käyttöturvallisuustiedotteesta ja kemikaalituoterekisteristä saatujen tietojen perusteella on tehtävä alustava riskiarvio siitä, onko kemikaalilla vaikutusta tilojen käyttöturvallisuuteen, ja voiko kemikaali vaurioittaa rakenteita. Epäselvissä tapauksissa lisätietojen saamiseksi on suositeltavaa ottaa yhteyttä tuotteen/ kemikaalin valmistajaan tai maahantuojaan.

Jos kemikaalin sisältämien yhdisteiden epäillään aiheuttavan riskejä, joudutaan kontaminoituneet rakenteet yleensä purkamaan, tai kapseloimaan mikäli purkaminen ei ole mahdollista. Kemikaalien pitoisuudet rakenteissa voidaan useimmiten selvittää materiaalinäytteiden analysoinnilla. Materiaalinäytteenottoon on suositeltavaa käyttää haitta-ainetutkimuksiin erikoistunutta näytteenottajaa. Analyysilaboratoriot tarvitsevat analyysimenetelmän valitsemiseen tai kehittämiseen käyttöönsä käyttöturvallisuustiedotteen ja tiedon siitä, kuinka tarkka analyysimenetelmän määrittäminen tulee olla. Analyysin luotettavuuden parantamiseksi on analyysilaboratorioon mahdollisuuksien mukaan lähetettävä myös näyte vahingon aiheuttanutta kemikaalia. Useilla materiaalivalmistajilla on myös valmius tutkia omien tuotteidensa pitoisuuksia materiaalinäytteistä.

2.5.6

Tuleva peruskorjaus

Peruskorjauksen tavoitteena on rakennuksen käyttöä merkittävä pidentäminen. Tämä tehdään uusimalla tai korjaamalla teknisen käyttöikänsä lopussa olevat rakennusosat ja talotekniset järjestelmät. Samalla tehdään yleensä tilamuutoksia, tilojen käyttötarkoituksen muutoksia ja uusitaan laajasti pintamateriaaleja. Korjaustarpeet, laajuudet ja menetelmät selvitetään peruskorjauksen hankesuunnitteluvaiheessa mm. kuntotutkimusmenettelyin. Tässä vaiheessa määritellään myös korjaukset, jotka ovat tarpeen hyvän sisäilman laadun takaamiseksi korjatussa rakennuksessa. Kustannusvaikutuksiltaan merkittäviä, sisäilman laatuun liittyviä korjauksia ovat mm.

- vesikaton ja julkisivujen laajan peruskorjauksen yhteydessä tehtävät ulkovaipan lämmöneristeiden ja mahdollisten höyrynsulkujen uusimiset sekä vaipan tiivistys, jotka saattavat olla tarpeen mikäli eristeissä on laaja-alaisia mikrobivaurioita tai likaantumista
- kellarin maanvastaisten seinien ikääntyneiden kosteus- ja lämmöneristeiden uusimiset ja rakenteiden muuttaminen rakennusfysikaalisesti toimiviksi
- kiinteistön energiakorjaukset.

Hankesuunnitteluvaiheessa tulee myös huomioida, että peruskorjauksessa tehtävät muutokset raken-

teisiin ja erityisesti ilmanvaihtojärjestelmään saatavat muuttaa aiemmin moitteettomasti toimineita rakenteita sisäilman kannalta riskirakenteiksi. Tyypillinen esimerkki tällaisesta ovat vanhat muottilaudoituksia tai erilaisia eriste- ja täytemateriaaleja sisältävät välipohjat, joissa olevat epäpuhtaudet saattavat aiheuttaa sisäilmaongelmia peruskorjauksen jälkeen vaikka ongelmia ei olisi ennen korjausta esiintynyt. Yleensä ongelmien syntyyn vaikuttavat muutokset rakenteen tiiveydessä ja rakenteen yli vaikuttavissa painesuhteissa.

Peruskorjauksen lähtötiedoksi tehtävässä kosteus- ja sisäilmateknisessä kuntotutkimuksessa selvitetään rakenneavauksin, mittauksin ja näytteenotoin mahdollisesti jätettäväksi aiottujen rakenteiden toteutus, rakennusfysikaalinen toiminta ja kunto. Rakennusvalvonta voi luvanhakuvaiheessa edellyttää selvitystä rakennuksen kunnosta näiltä osin (MRL 132/1999, 131 § ja ympäristöministeriön *asetus rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä*, annettu 12.3.2015, 10 §, sekä vastaava ohje, YM3/601/2015, kappale 3.2). Peruskorjauksen hankesuunnitteluvaiheessa tehdään yleensä kattava haitta-ainetutkimus. Suunnitteluvaiheessa on suositeltavaa määritellä pääpiirteittäin myös rakennusaikaiset työmaan puhtauden- ja kosteudenhallintatoimet.

2.6

Tutkimusmenetelmien valinta

Tutkimusmenetelmät valitaan lähtötilanteen (kappale 2.5) ja alustavan riskiarvion (kappale 2.3) perusteella. Tietojen perusteella valitaan tarkemmin tutkittavat rakenteet ja tutkimuskohdat, tutkimusmenetelmät, tutkimuksen ajankohdat ja mm. mittausjaksojen pituudet. Tapauskohtaisesti tutkimusmenetelmästä riippuen tehdään myös tarpeellisia vertailututkimuksia oletetuilta vaurioitumattomilta alueilta. Ainetta rikkomattomat tarkastelut tehdään aina ensin ja tarpeen mukaan löydökset varmennetaan esim. rakennekosteusmittauksin tai rakenneavauksin. Menetelmien valintaan vaikuttavat oleellisesti rakennuksen käytön ja rakenteiden asettamat rajoitukset, joihin voidaan osittain vaikuttaa mittausajankohdan valinnalla suhteessa korjausten alkamiseen. Mittausjärjestely ei saa muuttaa rakenteiden rakennusfysikaalista käyttäytymistä.

Kuntotutkijan tulee tuntea menetelmät eri riskitekijöiden mittaamiseksi ja selvittämiseksi. Yksittäinen kuntotutkimuksia tarjoava yritys ei välttämättä

pysty tarjoamaan kaikkia tutkimussuunnitelmassa esitettyjä tutkimuksia ja mittauksia itse, jolloin ne voidaan tilata muilta palveluntarjoajilta. Tutkimussuunnitelman mukaisessa tarjouksessa on eriteltävä, mitä kokonaisvaltaisen tutkimukseen osakokonaisuuksista tilataan ulkopuolisena palveluna. Ulkopuolisena palveluna voivat olla esimerkiksi ilmanvaihdon toiminnan tarkastus, merkkiainekokeet, rakennekosteusmittaukset tai lämpökamerakuvaukset. Kuntotutkijan tulee tehdä ja teettää vain sellaisia mittauksia, joiden tuloksia hän pystyy analysoimaan tai – jos tutkimus on teetetty kolmannella osapuolella – tulkitsemaan osana tutkimuskokonaisuutta.

Asuintilojen terveellisyyteen liittyviä tutkimuksia tehtäessä on suositeltavaa käyttää viranomaisten hyväksymiä menetelmiä ja toimintatapoja, jotka on esitetty *asumisterveysasetuksessa* (STMa 545/2015) ja *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa* (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016). Siltä osin kuin asetuksessa ja soveltamisohjeessa ei jostain tekijästä ole mainittu, voidaan soveltaa myös *Asumisterveysohjetta* (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2003) ja *Asumisterveysopasta* (Aurola, R. ja Välikylä, T., 2009). Lisäksi valmisteilla on laboratoriokäsikirja asumisterveysasetuksessa mainituille mittaus- ja näytteenottomenetelmille. Asetus ja ohjeet ovat velvoittavia terveydensuojeluviranomaisille ja viranomaisten käyttämille ulkopuolisille asiantuntijoille (ks. kappale 1.3).

Toimistotyyppisten tilojen arviointiin soveltuvia menetelmiä on esitetty mm. Työterveyslaitoksen julkaisuissa: *Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen* (Työterveyslaitos, 2016) ja *Kooste toimistoympäristöjen epäpuhtaus- ja olosuhdetasoista (rakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto), joiden ylittyminen voi viitata sisäilmasto-ongelmiin* (Työterveyslaitos, 2016c).

2.6.1

Tutkimus- ja mittausmenetelmien valinnan perusteet

Fysikaalisten olosuhteiden ja sisäilman epäpuhtauksien mittausmenetelmien tai materiaalien emissio- tai haitta-ainetutkimusten menetelmien tulee olla validoituja ja/tai ko. tutkimustarkoitukseen yleisesti hyväksytyjä. Tutkimus- ja mittaus tulosten tulkinnan tueksi pitää olla saatavilla yleisesti hyväksytyt ohjeet ja/tai soveltuvat viitearvot. Mittauskohtien lukumäärä valitaan tapauskohtai-

sesti. Kustannussyistä mittausten laajuus on usein rajoitettu. Liian pienen mittaus- tai näytemäärän aiheuttama epävarmuus tuloksessa tulee tiedostaa.

Käytettävän mittauskaluston on oltava kunnossa ja asianmukaisesti kalibroitu. Tutkimussuunnitelmassa esitetään tarkoitukseen soveltuvat tutkimus- ja mittausmenetelmät seuraaville kokonaisuuksille:

- rakenne- ja kosteusteknisille tutkimuksille
- ilmanvaihtojärjestelmän tutkimuksille
- epäpuhtauslähteitä selvittäville tutkimuksille sekä sisäilman laadun mittauksille.

2.6.2

Tarkoitukseen soveltuvat mittaus- ja tutkimusmenetelmät

Tyypillisiä rakenne- ja kosteusteknisiä tutkimuksia ovat mm.:

- kaikkien tutkittavien tilojen aistinvarainen tarkastelu ja pintakosteuskartoitus, sisältäen myös käyttötilojen ulkopuoliset tilat
- rakennuksen ulkopuolinen tarkastus
- rakenteiden toteutuksen ja kunnan tarkastamien rakenneavauksista, sisältää myös tarvittavat rakennusmateriaalinäytteiden analyysit
- rakenteiden sisältä tehtävät mittaukset
- ilma- ja lämpövuotojen mittaukset
- tuuletetuista rakennusosista tehtävät mittaukset
- maaperän ominaisuuksien mittaukset
- salaojaverkoston ja sadevesijärjestelmän toiminnan varmistaminen
- muut erityiskohdat.

Alla olevissa kappaleissa on selvitetty tarkemmin tärkeimpien tutkimusmenetelmien käyttötilanteita. Tutkimusten toteutus ja menetelmät on kuvattu tarkemmin luvussa 3.

Aistinvarainen tarkastelu ja pintakosteuskartoitus

Kuntotutkimuksessa tehdään aina poikkeuksetta tilojen aistinvarainen tarkastelu, jonka apuvälineenä käytetään pintamittauksia ja tarpeen mukaan myös merkkisavua ja paine-eromittaria. Tarkastelussa kiinnitetään huomiota mm. seuraaviin seikkoihin:

- pintamateriaalit, niiden kunto ja ikä
- näkyvät kosteus- ja mikrobikasvustot, homevauriot, mahdolliset lahovauriot
- homeen haju ja muut hajut

- riskialttiit rakenneratkaisut
- ilmavuodot
- ilmanvaihtuvuus
- ilmanvaihtoventtiilien sijainti ja toiminta
- hormien, kuilujen, putkikanaalien, ontelo-tilojen jne. olemassaolo ja sijainti
- suunnitelmien muutokset
- väärät käyttötottumukset
- huollon ja kunnossapidon puutteet
- rakennusmateriaalien tai säilytettävän tavaran emissiot
- pintalämpötilat.

Pintakosteuskartoitus tehdään aina vähintään ulkovaipan riskialueille (mm. maanvaraiset alapohjat, ulkoseinien alaosat, perustuksiin ulottuvien väliseinien alaosat ja välipohjista ulkoseinien vierustat soveltuvien osin) ja vesipisteiden läheisyyteen.

Myös käyttötilojen ulkopuoliset osat rakennuksen sisällä, kuten yläpohjat, ryömintätilat, portaiden alustatilat sekä putkikanaalit ja -käytävät tulisi aina tarkistaa laajempaa kuntotutkimusta tehdessä.

Rakennuksen ulkopuoliset tarkastelut

Aistinvarainen tarkastelu on ensisijaisen tärkeää tehdä myös rakennuksen ulkopuolella. Vesikaton ja julkisivujen vesitiiveyspuutteet sekä puutteet sade- ja pintavesien ohjauksessa ovat tyypillisiä ongelmien aiheuttajia ja nämä tulee tunnistaa.

Salaojaverkoston toimintaa tutkimalla ja mahdollisilla tarkistusmittauksilla voidaan arvioida maasta perustusrakenteisiin kohdistuvaa kosteusrasitusta. Salaojaverkoston toimivuutta voidaan arvioida alkuperäisten suunnitelmien oikeellisuuden ja verkoston kunnon perusteella. Salaoja- ja sadevesijärjestelmän olemassaolo ja kunto on suositeltavaa tarkastaa vähintäänkin periaatetasolla. Jos alustavassa riskiarviossa tai kohteessa tehtävien havaintojen yhteydessä havaitaan merkittäviä puutteita, jotka voivat liittyä toimimattomaan salaoja- ja sadevesijärjestelmään, tulee järjestelmän kunto tarkastaa perusteellisesti esimerkiksi verkostojen kuvauksella.

Rakenneavaukset ja materiaalinäytteiden otto

Käytössä olevat menetelmät:

- rakenteen poraus, sahaus, piikkaus; levytysten, pellitysten ym. irrotus

- rakenteen sisäosien aistinvarainen tarkastelu, materiaalien tunnistus, rakennetyyppien ja detaljien dokumentointi
- tarpeen mukaan materiaalinäytteiden otto avatuista rakenteista
 - mikrobianalyysi
 - haitta-aineanalyysit: asbesti, PAH, PCB, öljyhiilivedyt, kloorifenolit, raskasmetallit
 - haihtuvien orgaanisten yhdisteiden eli VOC-yhdisteiden emissioiden määrittäminen materiaalista
 - muiden yhdisteiden emissioiden määrittäminen materiaalinäytteistä (mm. ammoniakki, formaldehydi)

Miksi ja milloin toteutetaan?

- Kun sisäpuolisessa tarkastuksessa havaitaan poikkeamia, jotka viittaavat rakenteen sisäisiin vaurioihin.
- Jos on epäily rakenteen virheellisestä toteutuksesta, riskirakenteista (esim. valesokkelit) tai tiedossa oleva vesivuoto.
- Etenkin vanhemmissa rakennuksissa kaikkien päärakennetyyppien suunnitelmien mukaisuus on suositeltavaa tarkastaa vähintään läpiporaamalla ja endoskoopilla tarkastellen.
- Materiaalin vaurioituneisuus voidaan usein todeta aistinvaraisesti, mutta epäselvissä tapauksissa laboratorioanalyysit ovat usein tarpeen.

Rakennekosteusmittaukset

Käytössä olevat menetelmät:

- porareikämittaus
- näytelepalamittaus
- viiltomittaus
- materiaalin kuivatus-punnitusmenetelmä
- lyhytkestoinen kosteusmittaus rakenteen sisältä, yleensä eristetilasta
- materiaalin kosteuspitoisuuden mittaus ns. piikkimittarilla

Miksi ja milloin toteutetaan?

- Kun on epäily että tiettyyn rakenneosaan saattaa kohdistua poikkeavaa kosteusrasitusta. Mitattavaksi valitaan riskialueet, joissa on mahdollisesti korkeita kosteuspitoisuuksia, sekä vertailualueelle, jossa oletettavasti on normaalitilanne.

- Kun halutaan selvittää rakenteen kosteusteknistä toimintaa.
- Mittauspaikat valikoidaan aistinvaraisten tarkastelujen, pintakosteuskartoituksen sekä rakennetyyppien tarkastelujen perusteella.
- Kosteusmittaukset voidaan toteuttaa suunta-antavina silloin, kun menetelmän mitta-asepätkä tarkkuus tiedostetaan ja se sallitaan.
- Pintakosteuskartoituksessa havaitut poikkeamat tarkastetaan rakennekosteusmittauksin.

Tiiveyden ja epäpuhtauksien kulkeutumisen tutkiminen

Käytössä olevat menetelmät:

- painesuhteiden mittaaminen
- lämpökuvaus
- merkkiainetutkimukset
- merkki- ja puhdassavututkimukset
- vesitiiveyskokeet
- rakennusvaipan tiiveyden ja ilmapuotoluvun q50 määrittäminen

Miksi ja milloin toteutetaan?

- Kun epäillään, että rakenteiden sisällä olevia epäpuhtauksia kulkeutuu rakenteiden epätiivyyden ja/tai alipaineen takia sisäilmaan.
- Kun halutaan paikantaa ilmapuotojen ja kosteuskonvektion riskikohtia.
- Epäpuhtauksien kulkeutumisen arviointi edellyttää aina rakenteen yli vallitsevien painesuhteiden mittaamista, koska ne vaikuttavat ilmapuotomääriin. Pitkäaikaismittaus 1–2 vk ajanjaksolla on suositeltavaa.
- Koko rakennuksen ilmapuotoriskien arvioimiseksi paine-eroja tulee mitata ilmanvaihtojärjestelmän eri palvelualueilta sekä eri ilmansuunnista ja kerroksista, koska paineerojen suuruuteen vaikuttaa ilmanvaihdon lisäksi tuuli, lämpötilaerot sekä luonnollinen savupiippuvaikutus.
- Lämpökuvausta käytetään lämpö- ja ilmapuotojen havaitsemiseksi silloin, kun lämpötilaerot sisä- ja ulkotilan välillä ovat riittävän suuret sekä ulkoilman olosuhteet ovat mittaukselle suotuisat, yleensä talviaikaan. Erityisesti lämpökuvausta käytetään ennakoivassa tutkimuksessa, kun halutaan arvioida rakenteiden kunnossapitotarvetta tai parantaa talotekniikkaa. Kosteusvaurioita lämpökuvauksella voidaan havaita

vain erityisissä tilanteissa, joissa olosuhteet on sopivat.

- Lämpökameraa voidaan käyttää hyödyksi myös muiden tutkimusten yhteydessä, esimerkiksi lämmityskaapeleiden havaitsemiseksi sekä työmaa-aikaisena laadunvarmistuksena.
- Merkkiainetutkimuksia on tarkoituksenmukaista käyttää silloin, kun arvioidaan rakenteiden tarkkoja ilmapuotopaikkoja ja ilmapuotojen voimakkuutta. Lisäksi merkkiainetutkimuksia voidaan hyödyntää työmaa-aikaisena laadunvarmistusmenetelmänä.
- Merkkisavua käytetään tavanomaisesti aistinvaraisten havaintojen tukena ilmapuotojen suuntien ja voimakkuuksien arvioimiseksi.
- Puhdassavua voidaan käyttää suurten tilojen ilmatiiveyden tutkimiseen, esim. laskeamalla alapohjaan savua, ja tarkastelemalla havaitaanko vuotokohtia esimerkiksi rakenteen liittymistä. Myös tilan ilmanjaon toimivuutta ja ilman liikkeitä voidaan tutkia puhdassavun avulla.
- Vesitiiveyskokeita toteutetaan tyypillisesti vesitiiveyttä vaativien rakennusosien (uimaaltaat, vesikatot, terassit) tarkastelemiseksi.
- Ilmapuotoluvun eli q50-luvun määrittäminen tehdään tyypillisesti uudisrakennuksen energiatodistuksen laadintaa varten. Tiiveysmittauksien yhteydessä voidaan paikallistaa tarkempia ilmapuotokohtia esimerkiksi lämpökameralla.

Sisäilmanolosuhteiden ja sisäilman epäpuhtauksien mittaukset

Käytössä olevat menetelmät:

- suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaaminen
- hiilidioksidipitoisuuden mittaaminen
- hiilimonoksidipitoisuuden mittaaminen
- typen oksidien (NO₂) mittaaminen
- hiukkaspitoisuuksien (kokonaisleijuma eli TSP, PM₁₀ ja PM_{2,5}) mittaaminen
- sisäilman mikrobiinäytteet
- pölyjen ja kuitujen mittaaminen
- haihtuvien orgaanisten yhdisteiden eli VOC-yhdisteiden määrittäminen sisäilmasta
- muiden kaasumaisten epäpuhtauksien määrittäminen sisäilmasta
 - ammoniakki, formaldehydi, radon
- haitta-aineiden määrittäminen sisäilmasta (tai pölystä)

- asbesti, PAH, PCB, öljyhiilivedyt, kloorifenolit, metallit

Miksi ja milloin toteutetaan?

- Sisäilman olosuhdemittaukset (lämpötila ja suhteellinen kosteus) ovat kuntotutkimuksen perusmittauksia, joita toteutetaan myös muiden mittauksen yhteydessä, esimerkiksi rakennekosteusmittauksien yhteydessä. Kattavammat olosuhdemittaukset edellyttävät pitkäaikaisia seurantamittauksia, joiden perusteella voidaan arvioida mm. sisätilojen kosteuslisän määrää, sisätilojen lämpöolosuhteita ja talotekniikan toimivuutta. Ennen seurantamittauksiin tai näytteenottoihin ryhtymistä on aina suositeltavaa tarkastaa ilman virtaus ilmanvaihdon pääte-elimillä karkeasti esimerkiksi merkkisavun avulla, sekä rakennuksen ulkovaipan yli vallitsevat painesuhteet lyhytkestoisella paine-eromittauksella.
- Hiilidioksidipitoisuutta mitataan tyypillisesti tilanteissa, joissa halutaan tarkastella tilan käytön aikaista ilmanvaihdon riittävyttä. Mittauksen määrää ja mittaushetkiä valittaessa tulee huomioida mm. tilojen käyttö ja kuormitus sekä ilmanvaihdon kapasiteetti. Tilan käyttö on voinut esimerkiksi muuttua tilan alkuperäisestä käytöstä. Hiilidioksidipitoisuus kuvaa hyvin tilan tunkkaisuutta sekä muiden ihmisperäisten päästöjen määrää ja käyttäjien sisäilmaa tuottamaa kosteuslisää. Mittaukset on suositeltavaa toteuttaa vähintään useita vuorokausia kestäväinä pitkäaikaisseurantana.
- Hiilimonoksidiä ja/tai typen oksideja mitataan kun epäillään polttoprosesseista (lämmitys, autot, muut polttomoottorikäyttöiset koneet) peräisin olevien palo- tai pakokaasujen pääsyä sisäilmaan. Hiilimonoksidiä saattaa kertyä myös huonosti tuuletettujen puupelletivarastojen ilmaan ja kulkeutua rakenteiden kautta viereisiin tiloihin.
- Sisäilman hiukkaspitoisuuksien mittaus saattaa olla tarpeen kun:
 - tilassa epäillään olevan merkittäviä hiukkaslähteitä
 - tilaan epäillään kulkeutuvan merkittävästi hiukkasia ulkoa tuloilman riittämättömän suodatuksen takia tai muusta syystä.
- Sisäilman mikrobinäytteet eivät ole ensisijainen tutkimusmenetelmä ja niiden tarkoituksena on tukea muita tutkimusmenetelmiä. Näytteillä voidaan tietyin reunaehdoin arvioida näytteenottoajankohdan sisäilman mikrobiologista laatua. Mittauksen perusteella saadaan tietoa mahdollisesti poikkeavasta sisäilman laadusta ja se voi auttaa paikallistamaan mikrobilähteen tiettyyn rakennusosaan.
- Pöly- ja kuitumittauksia käytetään, kun:
 - rakenteissa tai ilmanvaihtojärjestelmässä epäillään poikkeavia pöly- ja kuitulähteitä käyttäjien oireilun perusteella
 - halutaan selvittää havaittujen pölyjen koostumusta ja alkuperää
 - halutaan määrittää, onko rakennuksen siivoustaso pölyyntymisnopeuteen nähden riittävä
 - halutaan määrittää, onko korjausten aikainen pölynhallinta ollut riittävää.
- Sisäilman VOC-yhdisteiden pitoisuuksia mitataan, jos esim. sisäilmassa havaitun poikkeavan hajun ja/tai koettujen oireiden perusteella on syytä epäillä määrältään tai laadultaan poikkeavien yhdisteiden haihtuvan tai kulkeutuvan rakennusmateriaaleista sisäilmaan. On huomiotava, että VOC-tutkimus ei kata kaikkia mahdollisia kaasumaisia epäpuhtauksia, eikä se yleensä ole yksinään riittävä tutkimusmenetelmä sisäilmahaitan tai vaurion todentamiseen.
- Muita kaasumaisia epäpuhtauksia mitataan tarpeen mukaan tyypillisesti vain silloin kun lähtötietojen perusteella on syytä epäillä niiden olemassaoloa. Esimerkiksi sisäilman radonpitoisuutta mitataan radonriskialueilla tai kun epäillään rakennusmateriaaleista peräisin olevaa radonlähdettä. Radonalueilla huoneilmassa todettu radon indikoi alapohjarakenteen epätiiveyttä, johon saattaa liittyä myös muiden maaperän epäpuhtauksien kulkeutumista sisäilmaan.
- Haitta-aineiden mittaukset sisäilmasta ja/tai pölystä saattavat olla tarpeen, kun:
 - rakentamisajankohdan tai muun lähtötiedon perusteella on syytä epäillä, että rakennusmateriaalit sisältävät haitalliseksi luokiteltavia aineita, joilla saattaa olla käytön aikaisia sisäilmavaikutuksia, esimerkiksi rikkoutuneet asbestia sisäl-

täneet putkieristeet tai levyrakenteet sisätiloissa sekä vanhoista vedeneristeistä haihtuvat PAH-yhdisteet

- on syytä epäillä, että haitta-ainepitoisten materiaalien purkutyoissa on levinnyt haitta-ainepitoisia pölyjä purkualueen ulkopuolelle
- rakennuksen historian aikana tiedetään tai epäillään tapahtuneen kemikaalivahinkoja, esimerkiksi öljysäiliöiden vuotoja.

Ilmanvaihtojärjestelmän tarkastus

Käytössä olevat menetelmät:

- järjestelmän toimivuuden, kunnon ja puhtauden tarkastaminen
 - ilmanvaihtokoneet, kanavat, päätelaitteet ja muut järjestelmän osat
 - suunnitelmienmukaisuus
- ilmamäärien mittaaminen (erityisesti ulkoilmavirran riittävyuden varmistaminen)
- käyttöasetusten ja toiminta-aikojen tarkastus
- teollisten mineraalivillakuitulähteiden kartoitus
- painesuhteiden mittaaminen
- sisäilman hiilidioksidipitoisuuden mittaaminen

Miksi ja milloin toteutetaan?

- Erityisesti vanhemmissa rakennuksissa on suositeltavaa tehdä ilmanvaihtojärjestelmän perustutkimus aina kosteus- ja sisäilmateknisen kuntotutkimuksen yhteydessä, koska puutteellinen ilmanvaihto tyypillisesti pahentaa muista tekijöistä aiheutuvia sisäilmaongelmia.
- Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastus tulee tehdä, jos rakennuksessa oleskelevat ihmiset oireilevat sisäilmaongelmiin viittaavalla tavalla, tai rakenteet ovat likaantuneet ilmanvaihtoventtiilien läheisyydessä tai kun uusittu tai korjattu järjestelmä otetaan käyttöön.
- Ilmamäärien mittaaminen on tarpeen tutkia silloin, kun tilan käyttö on muuttunut alkupe- räisestä, tilan sisäilma koetaan tunkkaiseksi tai silloin kun tilassa on mitattu korkeita hiilidioksidipitoisuuksia.
- Ilmanvaihtotutkimusten yhteydessä tehtävillä paine-eromittauksilla voidaan selvittää toimiiko ilmanvaihtojärjestelmä suunnitellusti ja käyttötarkoituksen mukaisesti, eikä

esimerkiksi ylipaineista rakennusta (pl. ylipaineiseksi suunnitellut rakennukset kuten jäähallit), tai alipaineista rakennusta liikaa. Kattavimman kuvan paine-eroista saa pitkäaikaisten seurantamittauksilla.

- Hiilidioksidimittauksia tehdään ilmanvaihtotutkimusten yhteydessä, mikäli niitä ei ole tehty sisäilmamittausten yhteydessä (ks. sisäilmaolosuhteiden ja sisäilman epäpuhtauksien mittaukset).

2.6.3

Mittausten ajankohta ja kesto

Mittausten ajankohta ja kesto vaikuttavat mittaus- tulosten analysoinnin luotettavuuteen. Mitä lyhyempi mittausjakso on, sitä tarkemmin mittauksen ajankohta on valittava ja sitä enemmän tulosten analysointi vaatii sisäympäristön ja rakenteiden rakennusfysikaalisen toiminnan tuntemista, jotta varmistutaan siitä, että mittaus on edustava ja rakennemittausten osalta kuvaa rakenteen todellista, kosteusvaurio- ja muiden riskien kannalta kriittisintä käyttäytymistä.

Rakennuksen käyttö, vuorokauden ajankohta ja vuodenaika vaikuttavat mittaus- tuloksiin. Näiden tekijöiden vaikutus eri rakenteisiin, kosteudensiirtymismuotoihin ja epäpuhtauslähteisiin on siis tunnettava, jotta mittaus- tuloksia osataan analysoida oikein. Tarkoituksenmukaiset fysikaalisten tekijöiden mittaus- jaksoiden pituudet voidaan ohjeellisesti jakaa seuraavasti:

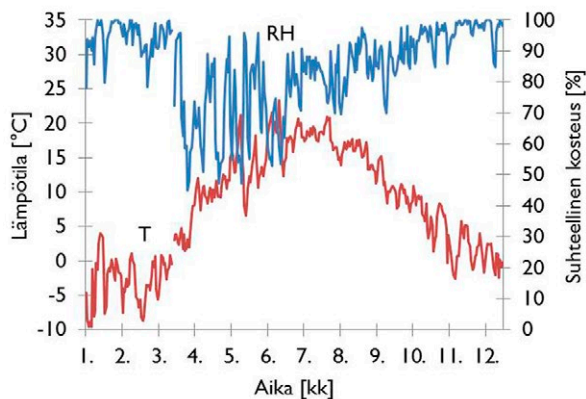
- mittauslaitteen asettamat vaatimukset: lyhin mittaus- jaksoiden pituus on mittaus- laitteen vaatima tasaantumisaika mittaus- tilanteessa (mm. kosteus- mittaukset)
- vuorokaudenajan asettamat vaatimukset: lyhin mittaus- jaksoiden pituus on yksi vuorokausi (mm. sisäilman hiilidioksidipitoisuuden, sisäilmaolosuhte- ja paine- ero- seurannat)
- rakennuksen normaalin käytön asettamat vaatimukset: mittaus- jaksoiden pituus rakennuksen käyttötarkoituksesta ja koneellisen ilmanvaihdon käyntiajoista riippuen 1...7 vuorokautta (mm. paine- ero- seurannat)
- vuodenaikojen asettamat vaatimukset: useita mittaus- jaksoiden eri vuodenaikoina, ottaen huomioon vaurion tai ongelman ilmenemisen (mm. kosteus- ja olosuhte- mittaukset).

Sovellettaessa ohjeellisia mittaajaksien pituuksia voidaan mittaustulosten perusteella arvioida tarvittava mittaajaksien pituus, jotta varmistetaan oikeasta vauriomekanismista.

Ajankohta

Fysikaaliset tekijät

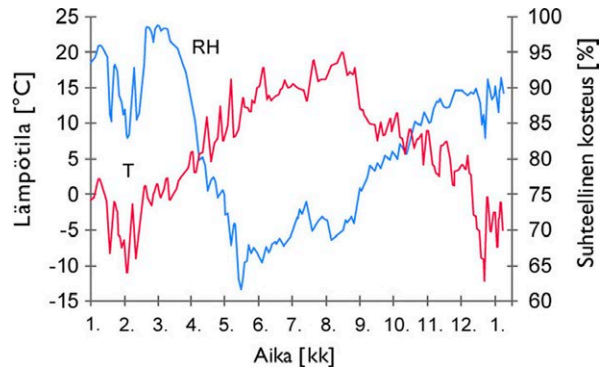
Rakenteiden kosteusteknisen käyttäytymisen reunaehtoina on ulko- ja sisäolosuhteet, kuten lämpötila, suhteellinen kosteus, tuuli ja auringon säteily. Esimerkiksi ulkolämpötilan ja suhteellisen kosteuden taso, muutokset ja muutosnopeus ovat erilaiset eri vuodenaikoina. Kuvassa 2.3 on esimerkki ulkolämpötilan ja suhteellisen kosteuden muutoksesta. Talvella lämpötila on alhainen ja suhteellinen kosteus on korkea. Samalla muutokset ja muutosnopeudet ovat yleensä pieniä. Keväällä ja kesällä muutokset ja muutosnopeudet ovat yleensä suuria. Ulkoilmaolosuhteiden vaihtelua on kuvattu tarkemmin kappaleessa 5.3.



Kuva 2.3. Esimerkki ulkoilman olosuhteiden vaihtelusta vuoden aikana pääkaupunkiseudulla meren läheisyydessä sijaitsevassa mittaustaikassa. Kuva: Vahanen Oy.

Ulko-olosuhteiden pienen vaihtelun ja alhaisen lämpötilan takia talvi on luotettavampaa aikaa mitata rakennuksen ja rakenteiden kosteusteknistä käyttäytymistä. Talviaikaan tehtyjen mittausten tulosten analysointi on tyypillisesti helpompaa. Kesällä auringon säteily aiheuttaa tyypillisesti voimakasta vuorokaudensisäistä vaihtelua sekä ulkoilman että säteilyn lämmittämien pintojen takana olevien rakenteiden olosuhteisiin. Suurten olosuhtevaihteluiden aikana tehtyjen mittausten analysointi vaatii yleensä kehittyneempiä ja vaativampien

analysointimenetelmien käyttöä. Kuvassa 2.4 on esimerkki alapohjarakenteen ja perusmuurin liitoskohdan lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittaustuloksista vuoden mittaajaksolla.



Kuva 2.4. Perusmuurin ja alapohjarakenteen liitoskohdan lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden mittaajaksolla. TKK, Talonrakennustekniikan laboratorio. Kuva: Ympäristöministeriö 1997a.

Kuvan 2.4 esimerkki osoittaa, kuinka suuret erot rakenteen olosuhteissa voi olla eri vuodenaikoina. Esimerkkitapauksessa suhteellinen kosteus vaihtelee kesän 62 %:sta talven 98 %:iin, mikä tulee ottaa huomioon lyhytaikaisten mittaustulosten analysoinnissa. Lisäksi on huomioitava myös muut mittaustulokseen vaikuttavat tekijät, esim. ilmanvaihtolaitteisto voi aiheuttaa painesuhteen muutoksen, joka voi muuttaa nopeasti alapohjarakenteen suhteellista kosteutta.

Vuodenajan vaikutus rakenteeseen riippuu rakennatuksesta, rakenteen sijainnista rakennuksessa ja rakenteen lämpö- ja kosteustekniseen käyttäytymiseen vaikuttavista ominaisuuksista. Vuodenajan merkitys mittaajaksikon valintaan riippuu kosteus- ja homevaurion todennäköisestä syystä seuraavasti:

- jos vaurion syy on diffuusiolla siirtyvä kosteus tai kosteuskonvektio, suositeltava mittaajaksikonkohta on yleensä kylmä kausi
- jos vaurion syy on kapillaarisesti rakennuspohjasta siirtyvä vesi, suositeltava mittaajaksikonkohta on silloin, kun pohjavedenpinta on korkeimmillaan; ko. ajankohta riippuu sade- ja kuivan ajanjakson ajoittumisesta
- jos vaurion syy on painovoimalla siirtyvä vesi, suositeltava mittaajaksikonkohta on lämmin vuodenaika ja sadejakso sekä perustusta ja kellarirakenteiden osalta maan sulamisvaihe

- jos vaurion syy on äkillinen vesivahinko, vuodenaajalla ei ole merkitystä.

Jos useampi em. tekijöistä vaikuttaa rakenteen vaurioitumiseen, ja jos mittaukset tehdään samanaikaisesti, joudutaan vuodenaajan valinnassa tekemään jonkin kosteudensiirtymisilmiön osalta kompromissi. Tämä voidaan osittain ottaa huomioon laskennallisilla analyysillä.

Sisäilman epäpuhtaudet

Sisäilman epäpuhtauksia mitataan lähtökohtaisesti tilanteessa, joka vastaa tilan normaalia käyttöä. Tällöin mittausulos kuvastaa tilassa oleskelijoiden altistumistasoa. Tilassa liikkuminen vaikuttaa mm. laskeutuneen pölyn sekoittumiseen ja yleensä nostaa esimerkiksi hiukasmaisten epäpuhtauksien pitoisuuksia. Arvioitaessa rakenteista peräisin olevia epäpuhtauksia ilmeiset tulosten tulkintaa hankaloittavat virhelähteet poistetaan. Tällaisia ovat esimerkiksi multaiset tai homeiset elintarvikkeet mikrobimittauksissa, tai hajusteet, ilmanraikastimet ja puhdistuskemikaalit VOC-mittauksissa.

Sisäilman epäpuhtauksien mittauksissa tulee ottaa huomioon myös seuraavat tekijät:

- Rakennuksen ja ilmanvaihtojärjestelmän erilainen käyttö eri vuorokaudenaikoina ja eri viikonpäivinä vaikuttaa sisäilman epäpuhtauspitoisuuksiin. Näytteenotto tulisi tehdä tavanomaisissa käyttöolosuhteissa.
- Kasvukaudella (kevät, kesä ja etenkin syksy) ulkoilman mikrobi-itiöpitoisuudet ovat hyvin korkeat, mikä vaikeuttaa päätelmien tekoa ja saattaa estää sisäilman poikkeavien mikrobien havaitsemisen.
- Materiaalien kemialliset emissiot ovat ilman kosteudesta ja lämpötilasta riippuvaisia, ja esimerkiksi sisäilman VOC-pitoisuudet ovat talviaikana matalampia.

Kesto

Rakennusfysikaalisten mittausten mittausajan keston vaikuttavat mm.

- voidaanko mittaukset tehdä kosteudensiirtymisilmiön suhteen optimaalisena vuodenaikana
- rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen hitaus
- todennäköinen vauriomekanismi.

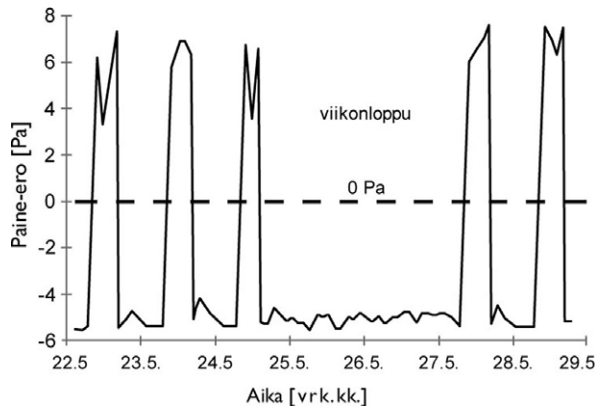
Jos mittaukset ajoittuvat kosteudensiirtymisilmiön suhteen optimaaliseen vuodenaikaan, voidaan yleensä valita lyhyet mittausjaksot. Muussa tapauksessa mittausjakson tulee olla niin pitkä, että tulokset voidaan analysoida luotettavasti. Tulosten tarkastelun apuna voidaan tarpeen mukaan tehdä laskennallista analyysiä, jonka lähtötietona ovat tehtyjen mittausten tulokset.

Massiivisissa rakenteissa, esimerkiksi betoni- ja tiilirakenteissa, lämpötilan ja kosteuden muutokset ovat hitaita, jolloin voidaan käyttää lyhyitä mittausjaksoja. Kevyissä rakenteissa, esimerkiksi puurakenteissa, mittausjakson tulee olla riittävän pitkä.

Vauriomekanismeista kosteuskonvektio ja veden painovoimainen liike aiheuttavat nopeita lämpötila- ja kosteusmuutoksia rakenteissa, mikä pidentää vaadittavaa mittausjaksoa. Toisaalta, koska rakennuksen painesuhteet vaikuttavat merkittävästi kosteuskonvektioon, mittausjakson pidentämisellä ei voida kokonaan kompensoida optimaalisen vuodenaajan, tässä talvikausi, merkitystä mittausten luotettavuuteen.

Seurantamittausjakson pituus on yleensä 1...7 vuorokautta ja tapauskohtaisesti myös tätä pidempää. Hetkellisiä mittauksia käytetään harkitusti ja niiden luotettavuus arvioidaan tulosten tarkastelussa. Esimerkiksi koneellisen ilmanvaihtolaitteiston aiheuttama paine-ero rakenteen yli on käytännössä riippumaton vuodenaajasta, mutta saattaa vuorokausitasolla vaihdella merkittävästi. Tästä aiheutuneet rakenteiden yli vallitsevat paine-erot voivat vaihdella jopa kymmeniä Pascaleita. Kuvassa 2.5 on esitetty tulokset huonetilan ja ryömintätilan välisistä paine-eromittauksista viikon mittausjaksolla. Huonetila on ylipaineinen, kun paine-ero on positiivinen. Työpäivän aikana huonetila on ylipaineinen ryömintätilaan verrattuna ja muina aikoina alipaineinen. Kuvan 2.5 mittaus tuloksessa näkyy myös viikonloppu 25.–26.5., jolloin huonetila on alipaineinen.

Huomioitavaa on, että esimerkkitapauksessa päätelmät rakennuksen rakennusfysikaalisesta toiminnasta olisivat virheelliset, jos paine-ero mitattaisiin hetkellisesti vain työpäivän tai yhden vuorokauden aikana.



Kuva 2.5. Huonetilan ja ryömintätilan välinen paine-ero viikon aikana. Huonetila on ylipaineinen ryömintätilaan nähden, kun paine-ero on positiivinen.

Sisäilman epäpuhtauksien mittausaikaa valittaessa pitkä keräysaika olisi suositeltava epäpuhtauksien ilmapitoisuuksien vaihtelun tasaamiseksi. Keräysaikaa rajoittavat kuitenkin useat tekijät. Tyypillisenä tekijänä ovat keräyslaitteen ominaisuudet. Esimerkiksi sisäilman mikrobimittauksissa käytetyn Andersen-6-vaihekeräimen keräysteho laskee 10–15 minuutin keräysajan jälkeen kasvatusmaljojen pinnan kuivumisen takia. Näytteenottoaikaa rajoittavat myös käytännön järjestelyt tutkimuskohteessa sekä kustannussyyt; usean tunnin keräysaika lisää kustannuksia esimerkiksi rinnakkaisten keräyslaitteiden tarpeen takia. Koska keräyslaitteita ei useinkaan voida jättää valvomatta kohteeseen, myös tutkimushenkilön läsnäolosta ja ”odotusajasta” tulee kustannuksia näytteenottoon. Yksittäiset sisäilmamittaukset kertovat vain mittaushetken tilanteen, eikä niiden perusteella voi tehdä luotettavia päätelmiä sisäilmaston tilasta.

Pitkäkestoiset seurantamittaukset

Kuntotutkimusten yhteydessä tehtävät rakennusfysikaaliset mittaukset voivat olla lyhytkestoisia, suuntaa-antavia kertamittauksia, tai pitkäkestoisia tallentavia mittauksia eli ns. dataloggerointeja. Pitkäaikaisseurantana mitataan tyypillisesti mm. ilman lämpötilaa ja suhteellista ilmakesteyttä, sisäilman hiilidioksidipitoisuutta, radonpitoisuutta (suuntaa-antava mittaustulos) ja paine-eroja.

Seurantamittauslaitteissa on tutkittavaa suuretta mittaava anturi ja tietojen tallennin (ns. dataloggeri). Nykyisin markkinoilla on myös useita langattomia seurantajärjestelmiä ja tietojen tallentimia.

Mittaustulokset kerätään sähköisessä muodossa ja siirretään tietokoneelle. Mittaustuloksia voidaan käsitellä esim. taulukkolaskentaohjelmilla. Mittausjakson enimmäispituus riippuu tallennusvälistä ja tallentimen muistikapasiteetista.

2.7

Mittalaitteiden valinta ja luotettavuus

Tutkimusta suunniteltaessa pyritään valitsemaan vaurioitumissyyn selvittämisen kannalta riittävän luotettavat mittausten menetelmät, jolloin voidaan parhaiten ottaa huomioon myös taloudelliset tekijät. Tutkijalla pitää olla monipuolinen ja riittävän laaja kalusto, jotta tarkoituksenmukaisia mittauksia voi toteuttaa riittävällä otannalla. Jos kuntotutkijalla ei ole käytettävissä sopivaa mittauslaitteistoa, mittaukset toteutetaan ulkopuolisina palveluina. Milloinkaan ei pidä tehdä tarpeettomia tai vääriä mittauksia vain siksi, että jokin mittalaitte on käytettävissä. Mittalaitteen ja mittaustavan valinta sekä mittaustulosten valintaperusteet pitää myös kuvata raportissa.

Tarvittavaan mittaustarkkuuteen vaikuttavat selvittävän ilmiön monimuotoisuus ja mittaustuloksen merkittävyys. Huomionarvoista on, että tarkimmillakaan mittalaitteilla ei saada riittävän tarkkoja tuloksia, jos mittauksen suoritus on virheellinen. Toisaalta joskus hyvinkin karkealla mittauksella saadaan riittävä tieto. Mittalaitteen valinnassa huomioidaan myös tarkasteltavan suureen mahdollinen muutosnopeus, jolloin valitaan tarkoituksenmukaisesti joko kertamittaus, muutama ajanhetken toistettava mittaustulos tai jatkuva toimiva mittaustulos.

Mittaustulokseen liittyy lähes aina jonkin verran epävarmuutta. Tämä tarkoittaa, että mittaustulos saattaa mittaustuloksen tai -menetelmän, näytteenottotapahtuman tai näytteiden analysoinnin aiheuttaman mittaustuloksen virheen takia erota mitattun suureen todellisesta pitoisuudesta tai tasosta. Jotta mittaustulos olisi mahdollisimman tarkka, mittaukset ja näytteenotot pitää tehdä ohjeiden mukaan. Mittauksen tarkkuutta ja luotettavuutta voidaan parantaa rinnakkaisilla mittauksilla (tämä vähentää mittausvälineistä ja mittaustapahtumasta aiheutuvaa satunnaista mittaustuloksen virhettä) ja toistamalla mittaustulos eri kohdista tai eri ajankohtana tämä vähentää mitattavan suureen paikallisesta ja

ajallisesta vaihtelusta aiheutuvaa epätarkkuutta). Mittauksia toistamallaakaan ei kuitenkaan voida vähentää systemaattista, esimerkiksi kalibroimattomasta mittalaitteesta tai säännönmukaisesti väärin tehdystä mittauksesta aiheutuvaa virhettä.

Kuntotutkijan tulee tuntea käyttämänsä mittauslaitteen mittausperiaate ja siihen liittyvät epävarmuustekijät, jotta tulokset osataan analysoida oikein (ks. myös kohta 4.2.2). Mittaajan tulee pystyä arvioimaan mittauksen oikeellisuus mittauksen aikana. Esimerkiksi paine-eromittauksen suunnan oikeellisuus tarkastetaan tarpeen mukaan merkisavulla. Mittaustulosta verrataan aina mittauksen aikana todettuihin reunaehtoihin tai esimerkiksi eri syvyyksiltä saatuja kosteusmittaustuloksia verrataan keskenään.

Mittauslaitteet tulee huoltaa ja kalibroida valmistajan ohjeiden mukaisesti. Laittevalmistajat ilmoittavat tuotetiedoissa tarvittavat kalibrointimenettelyt. Mittalaitteiden kalibrointi teetetään yleensä ulkopuolisella toimijalla, ellei mittauksia tekevällä toimijalla ole omaa asianmukaista kalibrointilaitteistoa, jotta saavutetaan riittävä tarkkuus. Kalibrointitodistuksen perusteella mittalaitteen toimivuus ja tarkkuus on osoitettavissa. Mittaajan tulee kalibrointien välillä arvioida laitteiston näyttämien pysyvyyttä esimerkiksi sijoittamalla säännöllisesti kosteusmittapääät samaan kosteuteen ja vertaamalla mittapäiden näyttämiä toisiinsa. Poikkeavasti toimivat laitteet tulee poistaa käytöstä ja toimittaa kalibrointiin tai huoltoon.

3 Tutkimuksen toteutus

Asuintilojen terveellisyteen liittyviä tutkimuksia tehtäessä on suositeltavaa käyttää viranomaisten hyväksymiä menetelmiä ja toimintatapoja, jotka on esitetty *asumisterveysasetuksessa* (STMa 545/2015) ja *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa* (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016). Siltä osin kuin asetuksessa ja soveltamisohjeessa ei jostain tekijästä ole mainittu, voidaan soveltaa myös *Asumisterveysohjetta* (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2003) ja *Asumisterveysopasta* (Aurola, R. ja Välikylä, T., 2009). Lisäksi valmisteilla on laboratoriodokumenteja asumisterveysasetuksessa mainituille mittaus- ja näytteenottomenetelmille. Asetus ja ohjeet ovat velvoittavia terveydensuojeluviranomaisille ja viranomaisten käyttämille ulkopuolisille asiantuntijoille (ks. kappale 1.3).

Toimistotyyppisten tilojen arviointiin soveltuvia menetelmiä on esitetty mm. Työterveyslaitoksen julkaisuissa: *Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen* (Työterveyslaitos, 2016) ja *Kooste toimistoympäristöjen epäpuhtaus- ja olosuhdetasoista (rakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto), joiden ylittyminen voi viitata sisäilmasto-ongelmiin* (Työterveyslaitos, 2016c).

3.1

Rakenteiden toteutuksen tarkastus

3.1.1

Rakennetyyppien tarkastus ja kirjaus

Ennen kohteessa tehtäviä tutkimuksia tutkittavat rakennekerrokset selvitetään mahdollisimman kattavasti lähtötietoina olleista suunnitelmista. Huomioitavaa on, että kaikki rakennetyypit eivät

välttämättä selviä uusimmista suunnitelmista, jolloin on tärkeää, että käytettävissä olisi myös alkuperäiset suunnitelmat. Mikäli suunnitelmia ei ole saatavilla, tulee rakennetyypit tarkastaa kohteessa rakenneavauksista. Suunnitelmissa esitettyjen rakennetyyppien paikkansapitävyys tarkistetaan tarpeen mukaan myös rakennuksen sisä- ja ulkopuolelta tehdyillä havainnoilla sekä rakenneavauksilla rakenteiden fysikaalisen toiminnan sekä materiaalien vaurioitumisasteen arvioimiseksi.

Rakennetyyppien materiaalit sekä kerrospaksuudet kirjataan omana kappaleenaan tutkimusselostukseen. Lisäksi tutkimusselostuksessa on mainittava mistä tiloista ja mistä kohtaa mahdolliset tarkastukset on toteutettu, sekä mitkä ovat rakenneavauksesta tehdyt havainnot ja poikkeavuudet suunnitelmista.

3.1.2

Materiaalien tunnistaminen

Rakennusmateriaalien tunnistaminen kuntotutkimuksen yhteydessä on tärkeää rakenteen lämpö- ja kosteusteknisen toimivuuden, vaurioherkkyyden, mahdollisten materiaaliominaisuuksien ja haitta-ainesten sekä rakenneosan korjattavuuden ja korjaustavan arvioimiseksi. Materiaalin tunnistaminen perustuu yleensä rakentamisajankohtaan, materiaalin ulkonäköön, käyttötarkoitukseen, kuntotutkijan kokemukseen sekä lähdeaineisiin.

Liitteessä 2 on esitelty materiaalien tunnistamisen tueksi kuvauksia menneinä vuosikymmeninä käytetyistä harvinaisemmista rakennusmateriaaleista. Liitteen lopussa on listattu lähdeaineita harvinaisempien materiaalien ja vanhojen rakenteiden tutkimisen tueksi. Uudempia rakennusmateriaaleja on esitelty kattavasti julkaisun

RIL 255-1-2014. *Rakennusfysiikka I. Rakennusfysiikallinen suunnittelu ja tutkimukset* luvussa 5 (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2014).

Haitta-ainepitoisten materiaalien tunnistaminen on oleellinen osa korjaus- ja purkutyön suunnittelussa. Haitta-ainepitoisten rakennusmateriaalien kirjo on erittäin laaja ja materiaalien tunnistaminen ja analysoiminen voi olla erittäin haastavaa, joten laajemmissa korjaushankkeissa on syytä teettää haitta-ainetutkimus hankesuunnitteluvaiheessa ammattitaitoisella asiantuntijalla. Ammattitaitoisen haitta-ainetutkimuksen perusteella voidaan suunnitella oikeat haihtuvien ja pölyävien haitta-aineiden hallintaratkaisut, tarkennetaan työturvallisuuteen liittyviä asioita ja pystytään ohjeistamaan syntyneen purkujätteen lajittelu ja loppusijoitus. RT-kortissa RT 20-11160. *Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet – Tutkijan ohje* (Rakennustietosäätiö RTS, 2014) on esitetty laaja listaus haitta-ainepitoisista rakennusmateriaaleista tuoteniminen ja analyysitilausohjeeseen.

3.1.3

Materiaaliominaisuuksien tunnistaminen

Kuntotutkimuksessa materiaalin yleisten ominaisuuksien tunteminen on tärkeää, koska materiaaliominaisuuksien perusteella arvioidaan rakenteen rakennusfysiikallista toimivuutta. Materiaalien yleisiä ominaisuuksia ovat mm. lämmönjohtavuus, vesihöyrynvastus, ilmanläpäisevyys, materiaalin tasapainokosteus ja kapillaarisuus sekä kestävyys mikrobeja vastaan. Lisätietoa materiaaliominaisuuksien arviointiin löytyy mm. julkaisuista RIL 255-1-2014. *Rakennusfysiikka I. Rakennusfysiikallinen suunnittelu ja tutkimukset* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2014), RIL 250-2011. *Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011b), *Rakennusmateriaalien rakennusfysiikalliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona* (Vinha J., ym., 2005), sekä julkaisuista *Kosteusvirtatutkimus* (Lindberg R., ym., 2002) ja *Fukthandbok* (Nevander L., ja Elmarsson B., 2011) että materiaalitointimittajien mittaustuloksista.

Materiaaliominaisuuksia mitataan lähinnä kantavien rakenneosien ja julkisivututkimusten yhteydessä. Kosteusteknisessä kuntotutkimuksessa selvitetään lähinnä täyttömaan kapillaarisuutta ja rakeisuutta. Salaojakerroksen paksuuden, kapillaaristen ominaisuuksien ja rakeisuuden avulla voidaan arvioida veden kapillaarisen nousun vai-

kutusta rakenteen kosteustekniseen toimivuuteen ja kosteusvaurioitumiseen. Nousukorkeuden määrittäminen on rakeisuuden määrittämistä luotettavampi tapa arvioida salaojasoran kapillaarisuutta.

Täyttömaan ominaisuuksien tarkka mittaaminen on vain harvoin tarpeen, koska vanhemmassa rakennuksessa tarkempien rakennekosteusmittausten (ks. kappale 3.5) perusteella saadaan hyvä kuva maaperästä rakenteeseen kohdistuvasta kosteusrasituksesta.

Täyttömaan rakeisuuden määräyksestä on lisätietoa julkaisuissa RIL 126-2009. *Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivaus* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2009) ja RIL 107-2012. *Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012).

3.2

Rakenteiden kunnon arviointi

Rakenteet käydään läpi järjestelmällisesti alla esitettyjen tarkastuslistojen avulla. Tarkastuslistojen avulla määritellään rakenteiden vaurioitumisriskiä ja kohdennetaan tarvittavia rakenneavauksia rakenteiden mahdollisten vaurioiden ja niiden laajuuden määrittelemiseksi. Lisäksi riskikohdiksi arvioidut rakenteet tulee tarkastaa tarvittaessa avaamalla rakenteita riittävässä laajuudessa. Usein vauriot ja vaurion syy kyetään määrittämään aistinvaraisesti, erityisesti, jos tutkijalla on runsaasti kokemusta eri rakenteista ja niiden vaurioitumismekanismeista. Materiaaleista voidaan ottaa materiaalinäytteitä, tai tehdä pintaemissiomittauksia vaurioituneisuuden arvioimiseksi.

Kunkin rakennusosan arviointi on ohjeistettu seuraavissa kappaleissa tarkastuslistojen avulla. Eri rakenneosien toiminnan rakennusfysiikallisia periaatteita on kuvattu tarkemmin luvussa 5, ja rakenteiden vaurioitumisriskin arviointia havaintojen ja mittausten pohjalta luvussa 7.

3.2.1

Rakennusosakohtaiset tarkistuslistat

Ohjeelliset tarkastuslistat on esitetty eri rakennusosille ja tiloille. Tarkastusten laajuus päätetään tapauskohtaisesti. Tarkastuslista ei takaa, että kaikki tarvittavat seikat tulevat huomioitua. Tutkimuksen tekijä päättää tapauskohtaisesti lähtötietojen ja kohteessa tehtyjen havaintojen perusteella tarvittavasta tarkastuslaajuudesta.

Perustusrakenteet, maanvastaiset alapohjat ja seinärakenteet sekä ryömintätilat

Maanvastaisen rakenteen tyypistä riippumattomat tarkastukset

- Mikä on lattiapinnan korkeusasema ympäröivään maanpintaan ja pohjavedenpintaan nähden?
- Onko rakennuksessa salaojitusta? Onko salaojaverkosto suunniteltu oikein ja tehty suunnitelmien mukaisesti? Toimiiko salaojitus?
- Mitkä ovat perustusten ja alapohjan rakennetyypit?
- Mikä on perusmaan ja täyttömaan laatu?
- Onko maanvastaisissa rakenteissa kapillaarikatkerros, kuten tarkoitukseen sopiva sepeletäyttö ja/tai solumuovinen lämmöneriste?
- Minkälainen kosteusrasitus rakenteeseen kohdistuu?
- Ovatko rakenteiden liitoskohdat ympäröiviin rakenteisiin (ulkoseinät ja mahdollisesti väliseinät) toteutettu ilmatiiviisti? Ovatko läpiviennit (esim. alapohjalaatan läpi asennetut vesi- ja viemäriputket, sähköasennukset) toteutettu ilmatiiviisti? Onko puurakenteisessa alapohjassa mahdollisesti oleva höyrynsulku oikeassa paikassa?

Maanvastaiset alapohjarakenteet

- Onko alapohjarakenteen pintamateriaalina kosteusrasitusta kestävä lattiapäällyste tai pinnoite? Mikä on lattiapäällysteeseen kohdistuva todellinen kosteusrasitus?
- Onko lattiapäällysteessä havaittavissa kosteusrasitusta, kuten pinnoitteiden kupruilua tai irtoamista alusrakenteesta?
- Onko maanvastaisen betonialapohjan päälle koolattu puinen lattiarakenne (esim. 1960–70-lukujen pientaloissa tyypillinen alapohjarakenne, liikuntasalit, akustoidut lattiarakenteet)? Mikä on puiseen lattiarakenteeseen kohdistuva kosteusrasitus? Selvitetään rakennekosteusmittauksilla. Onko pintarakenne kosteus- tai mikrobivaurioitunut?
- Onko rakenteessa kapillaarikatkona ja höyrynsulkuna toimiva muovi tai bitumisively? Bitumisively voi olla kahden betonilaatan välissä.
- Onko alapohjan betonilaatan alla lämmöneriste? Vanhemmassa rakennuskannassa

lämmöneriste voi olla asennettu vain laatan reuna-alueille tai lämmöneristettä ei ole.

- Onko alapohjarakenne kerroksellinen, ns. kaksoislaattarakenne, jolloin esim. pintabetonilaatan alla on kerros esimerkiksi sementtilastuvillalevyä, kevytbetonia, koksikuonaa, kevytsoraa tai kevytsorabetonia? Onko kerrokseen asennettu vesi- tai viemäriputkia ja tiedetäänkö niiden kunto? Onko kerrokseen päässyt vuotovesiä? Onko täyttömateriaali kosteus- ja/tai mikrobivaurioitunut?
- Onko alapohjarakenteeseen asennettu lattialämmitys?
- Onko alapohjarakenteessa tai rakenteiden liitoskohdissa ilmapuotokehtia? Onko alapohjan betonilaatassa halkeamia? Miten alapohjalaatan liitoskohta ympäröiviin rakenteisiin on toteutettu?
- Onko alapohjarakenteissa putkikanaaleja tai onko rakennuksessa muita kanaali- tai kuilurakenteita? Tapahtuuko näiden kautta hallitsemattomia ilmavirtauksia tai onko niissä muottilautoja, rakennusjätettä, haitallisia aineita tai kosteus- ja mikrobivaurioita?

Ryömintätilalliset alapohjat

- Mitkä ovat alapohjan ja ryömintätilan rakennetyypit?
- Ovatko alapohjarakenteen liitoskohdat mm. ulkoseinärakenteisiin ilmatiiviit? Ovatko alapohjan läpivientikohdat ilmatiiviit?
- Mikä on paine-ero ja ilman virtaussuunta ryömintätilan ja huonetilojen välillä: onko ilmavirtauksen suunta ryömintätilasta huonetiloihin päin (huonetilat alipaineisia ryömintätilaan nähden) vai onko ilmavirtauksen suunta huonetiloista ryömintätilaan päin (huonetilat ylipaineisia ryömintätilaan nähden)? Ryömintätilan tulisi pääsääntöisesti olla alipaineinen muihin tiloihin nähden.
- Mikä on ryömintätilan korkeus? Onko tilassa tuulettumattomia nurkkia tai muita katvealueita? Onko koko ryömintätila tarkastettavissa?
- Millainen on ryömintätilan pohjarakenne? Onko pohjana kapillaarisen nousun katkaiseva rakennekerros, kuten karkea sepele vai onko ryömintätilassa maapohja soraa, hiekkaa tai savea?
- Valuuko ryömintätilaan pintavesiä tai onko ryömintätilassa lammikoitunutta vettä? Onko veden lammikoituminen mahdollista?

- Onko ryömintätilassa orgaanista ainesta, esimerkiksi muottilautoja tai rakennusjätettä? Onko niissä näkyvää mikrobi- tai sienikasvustoa? Onko ryömintätilassa olevissa puurakenteissa lahoa?
- Onko ryömintätila tuuletettu? Toimiiko tuuletus ja onko se riittävä?
- Onko ryömintätilan maanpinnassa tai muilla pinnoilla mikrobikasvua? Onko ryömintätilassa mikrobiperäistä tai muuta, voimakasta hajua?
- Onko ryömintätilassa talotekniikkaa, kuten putkilinjoja, viemäreitä tai lauhdutinyksiköitä? Mikä on taloteknisten asennusten kunto? Miten asennukset on tehty? Onko viemärit kannakoitu tukevasti ja riittävän luotettavasti alapohjan alapintaan ja onko asennuksissa käytetty ruostumatonta terästä?
- Mikä on ryömintätilan ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila? Onko ryömintätilan ilmassa suuri kosteuslisä ulkoilmaan verrattuna? Tiivistyykö ryömintätilan kattopintaan tai seinäpintoihin vesihelmiä?

Maanvastaiset seinärakenteet

- Miten maanvastaisten seinärakenteiden ja perustusten edellyttämä ulkopuolinen vedeneristys ja kapillaarikatko on toteutettu? Toimiiko vedeneristys?
- Onko sisäpinnoissa havaittavissa kosteusrasitusta, kuten pinnoitteiden kupruilua, suolakiteytyksiä, mikrobikasvua tai siihen viittaavaa hajua?
- Mitkä ovat maanvastaisten seinärakenteiden pintarakenteet? Onko sisäpuolella kosteusvaurioituvia materiaaleja, kuten puukoolaus, sementtilastuvillalevyä tai mineraalivillaa? Vai ovatko pintamateriaalit kosteusrasitusta kestäviä ja vesihöyryä hyvin läpäiseviä?
- Onko seinärakenteessa verhomuurauksen (ns. rivinteeraus) tai betonirakenteiden välissä eristekerros esimerkiksi sementtilastuvillalevyä tai korkkia? Mikä on eristeiden kunto?
- Onko maanvastaisessa seinärakenteessa sisätilojen puolella veden- tai kosteudeneristys? Vanhemmassa rakennuskannassa on yleisesti käytetty bitumisivelyä, joka saattaa sisältää asbestia tai haitallisia määriä PAH-yhdisteitä. Onko tiloissa kreosoottiin viittaavaa hajua?
- Toimiiko maanvastainen seinärakenne lämpö- ja kosteusteknisesti oikein?

Ulkoseinät

- Onko julkisivuverhouksen takana alhaalta ylös, ulkoilmaan avoimet jatkuvat tuuletusvälit? Huom! Vanhemmassa rakennuskannassa on tavanomaista, että ulkoverhous on kiinni lämmöneristekerroksessa ilman tuuletusväliä. Se ei välttämättä merkitse, että rakenteessa olisi vaurioita.
- Ohjautuuko tiiliverhouksen taakse viistosateella menevä vesi seinän alaosassa hallitusti pois rakenteista, vai pääseekö vesi kastelemaan esim. puurungon alaosia tai kulkeutumaan rakennuksen sisälle?
- Kohdistuuko kantavan puurunkoisen ulkotai väliseinän alajuoksuun kosteusrasitusta?
- Ovatko ikkunapellitysten kallistukset riittävät ja onko ikkunapellitykset liitetty ympäröiviin rakenneseisiin (ikkunarakenteet ja julkisivuverhous) tiiviisti esimerkiksi elastisella tiivistysmassalla?
- Onko julkisivuissa esim. katolta valuvan veden jättämiä jälkiä tai vaurioita?
- Ovatko elementtien ulkokuoren saumaukset tiiviit?
- Ovatko elementtien sisäkuoren saumaukset tiiviit?
- Onko rakennuksen seinän yläosassa räystäspellityksen alla vastapelti eli ns. myrskypelti?
- Muodostavatko runkorakenteet kylmäsiltoja?
- Toimiiko ulkoseinärakenne lämpö- ja kosteusteknisesti oikein?
- Onko rakenteessa höyry- ja ilmansulku? Onko se asennettu oikein? Miten höyry- ja ilmansulun liitoskohdat ympäröiviin rakenteisiin on toteutettu?
- Onko ulkoseinärakenteiden sisäpinnoissa tummumia tai nokimuodostumia merkinä ilmavuodoista tai kylmäsiltoista?
- Onko ulkoseinärakenteiden sisäpinnoissa merkkejä kosteusrasituksesta (maalipinta kupruilee, pintakosteusilmaisen lukeumat koholla) tai aistinvaraisesti havaittavaa mikrobikasvua?
- Onko ikkunalasin pintaan tiivistynyt kosteutta? Tiivistyykö kosteus
 1. uloimman lasin ulkopintaan (lämpösäteilyn aiheuttama kondensoituminen etenkin hyvin lämpöä eristävissä ikkunoissa sopivissa sääolosuhteissa)

2. uloimman lasin sisäpintaan (sisäilman kosteus kulkeutuu vuotokohtien kautta ikkunarakenteen sisälle ja tiivistyy kylmään pintaan, huonetila on ylipaineinen)
3. sisemmän lasin ulkopintaan (jäähdytetyissä sisätiloissa ulkoilmasta ikkunarakenteen sisälle vuotokohtien kautta kulkeutuva kosteus voi tiivistyä lasi pintaan)
4. sisemmän lasin sisäpintaan (sisätiloissa on poikkeuksellisen kosteaa, ilmanvaihto ei toimi suunnitellusti tai ikkunan lämmöneristävyys on huono)
5. eristyslaselementin sisälle (mahdollisesti asennusvirhe tai valmistusvirhe)?

Huom! Kosteuden tiivistyminen ulkolasin ulkopintaan ei aiheuta haittaa ikkunarakenteelle, sillä ikkuna kestää kosteuden tiivistymisen ulkopintaan samalla tavalla kuin sateenkin. Kosteuden tiivistyminen ikkunan ulkopintaan kertoo hyvästä lämmöneristävydestä ja poikkeuksellisista sääolosuhteista.

Yläpohja- ja vesikattorakenteet

Katemateriaalista riippumattomat tarkastukset

- Mitä materiaalia vesikate on, milloin se on tehty, voiko jäljellä olevaa käyttöikää arvioida? Onko vesikate ehjä?
- Onko vesikate vedenpitävä, onko vesikate kattokaltevuudelle sopiva?
- Onko vesikaton läpiviennit toteutettu vedenpitävästi? Onko vesikatteen ylösnostot ja liitoskohdat ympäröiviin rakennusosiin toteutettu vedenpitävästi? Lammikoituuko katolle vettä?
- Onko vesikatto- ja yläpohjarakenteella riittävästi kuivumiskykyä? Miten yläpohjan tuuletus on toteutettu? Toimiiko tuuletus suunnitellulla tavalla?
- Onko vesikaton kantavien rakenteiden pinnoilla kosteusvaurioita tai puurakenteissa lahoa?
- Onko yläpohjarakenteen lämmöneristävyys riittävä, mitä lämmöneristemateriaali on, onko se kuivaa ja onko lämmöneristeiden päällä ulkoilmasta kulkeutunutta pölyä ja likaa? Miten lämmöneristeet on asennettu yläpohjaan? Lämmöneristävyttä arvioidaan kosteusteknisen toimivuuden ja rakentamisen aikaisten määräysten suhteen.

- Onko yläpohjassa eristämättömiä ilmanvaihtokanavia tai muita metallipintoja, joihin ilman kosteuspitoisuus voisi kondensoitua?
- Onko ilmanvaihtojärjestelmän kanavat ja viemäreiden tuuletusputket johdettu vesikatteen yläpuolelle?
- Onko yläpohjatilassa puiden lehtiä ym. tuulen kuljettamaa roskaa? Tämä on yleensä merkki siitä, että tuulen mukana yläpohjatilaa pääsee myös lunta ja vettä.
- Onko yläpohjarakenne ja sen liitoskohdat ympäröiviin rakenteisiin ilmatiiviit? Onko yläpohjarakenteessa erillinen höyrynsulkukerros, esimerkiksi muovikalvo? Miten sen liitoskohdat on toteutettu? Onko yläpohjan sisäkuori ilmatiivis? Ovatko läpiviennit ilmatiiviitä?
- Onko sisätiloissa katto- tai seinäpinnoilla näkyviä kosteusvaurioita tai mikrobikasvustoa?
- Onko vesikaton sadevesien poisto toteutettu hallitusti esimerkiksi syöksytorvilla, joista vesi ohjautuu rännikaivoihin?

Jyrkät katot, epäjatkuvat vesikatteet: esim. peltikatot, tiilikatot, kuitusementtilevykatot, bitumikattolaatat ja profiililevykatot

- Onko katemateriaali ehjä? Onko tiilien, bitumilaattojen tai kuitusementtilevyjen limitys riittävä? Onko peltikate ehjä, onko peltikatteen pinnoite ehjä ja ovatko saumat tiiviit?
- Ovatko vesikatteen kiinnikkeiden (vanhoissa naulat ja uudemmissa ruuvit) reiät vesitiiviit?
- Ovatko vesikatteen (mm. peltikatteen) ylösnostot julkisivuun ja liitoskohdat läpivientien kohdalla vedenpitävät?
- Mikä on aluskatemateriaali? Miten aluskatteen limitys on toteutettu? Onko aluskate liitetty vedenpitävästi vesikaton läpivienteihin? Ulottuuko aluskate räystäällä ulkoseinärakenteen ulkopuolelle? Onko aluskate asennettu oikein kattokannattajien väliin; ei liian tiukalla eikä liian löysällä? Onko aluskatteen ja vesikatteen välissä tuuletusväli?
- Onko yläpohjan ontelotilassa aluskatteen ja lämmöneristeen välissä toimiva tuuletus?

Loivat katot, jatkuvat vesikatteet: bitumikermikatot ja PVC-katteet

- Ovatko bitumikermien saumat tiiviit? Onko bitumikermeissä merkkejä haurastumisesta tai selviä repeytymiä tai onko päällimmäisin bitumikermi halkeillut? Onko bitumiker-

missä uria tai kohoumia, joissa vedeneriste on irronnut alustastaan?

- Onko katolla riittävä ja toimiva singelikerros, jos on käytetty pinnoittamatonta bitumikermiä?
- Onko vesikatton sadevesien poisto toteutettu hallitusti esim. toimivilla kattokaivoilla? Ovatko vesikatton kallistukset riittävät siten, että vedet ohjautuvat hallitusti kattokaivoihin tai syöksytorviin vai lammikoituuko katolle vettä? Onko bitumikermien liitokset kattokaivoihin tehty vedenpitävästi? Onko kattokaivoja riittävästi? Ja onko niiden poistoputket tuettu oikein?
- Pääseekö vesi valumaan räystäiden yli julkisivulle? Onko räystääs riittävän korkea? Pääseekö vesi räystäällä vedeneristeen yli seinärakenteen sisään?
- Ovatko vesikatteen ylönostot kattoon liittyviin seiniin, kattoikkunoihin, savunpoistoluukkuihin yms. riittävät ja vesitiiviit?

Pihantasaus, sade- ja pintavesien ohjaus

- Onko vesikatton sadevesien poisto toteutettu hallitusti esimerkiksi syöksytorvilla, joista vesi ohjautuu rännikaivoihin? Ovatko rännikaivot tukossa esimerkiksi lehtiroskasta?
- Kasteleeko syöksytorvista tuleva sadevesi sokkeleita? Näkyykö sokkeleissa tästä aiheutuneita kosteusjälkiä?
- Onko maan pinta rakennuksen kaikilla sivuilla muotoiltu viettämään rakennuksesta pois päin? Lammikoituuko sadevesi lähelle rakennusta?

Välipohjat

- Mikä on välipohjan rakennetyyppi? Vanhasa rakennuskannassa on täyttökerroksellisia välipohjarakenteita, kuten alalaattapalkistoja ja kappaholveja.
- Onko välipohjissa kerroksellinen rakenne, jossa kahden betonilaatan välissä on äänen- ja/tai lämmöneristeenä esimerkiksi sementtilastuvillalevyä, kevytsoraa tai hiekkaa? Tällaisia on usein mm. väestönsuojan kattoina. Myös 1950–60-lukujen koulurakennuksissa on usein yleisesti tällainen välipohjarakenne.
- Mikä on täyttömateriaalin kunto?

- Ovatko välipohjarakenteen liitoskohdat ulko- ja väliseiniin ilmatiiviit, vai voiko täyttökerroksesta kulkeutua epäpuhtauksia huoneilmaan?
- Ovatko välipohjan läpiviennit tiiviit (sähkö- ja putkiläpiviennit, iv-kanavat ja muut rakenteen läpäisevät pystykuilut)?
- Onko täyttökerroksessa vesi- ja viemäriputki-asennuksia ja mikä on niiden kunto? Onko tietoa täyttökerrosta mahdollisesti kastelleista vesivahingoista tai putkivuodoista? Onko vanhat vesi- ja viemäriputket tulpatu mahdollisten uusimistöiden yhteydessä (vanhat tulppaamattomat putket kuljettavat tehokkaasti epäpuhtauksia eri tilojen ja rakenteiden välillä)?
- Jos välipohjan kantavat rakenteet ovat puuta, mikä on niiden kunto? Vanhassa rakennuskannassa puiset välipohjapalkit voivat tukeutua ulkoseinälinjoilla massiivitiili-seinän sisään, jolloin kantavien rakenteiden päissä voi olla lahoa.
- Mikä on välipohjien lattiapäällyste ja siihen kohdistuva kosteusrasitus?
- Onko puurakenteisissa välipohjissa painumia?

Märkätilat ja muut tilat, joissa käytetään vettä

- Onko märkätiloissa vedeneristys tai kosteudeneristys? Onko vedeneristeen tekninen käyttöikä ylitetty? Mikä on vedeneristemateriaali: nestemäisenä levitettävä vedeneriste keraamisen laatoituksen takana, märkätilan muovimatto, bitumikermi tai bitumisively, tai toimiiko vedeneristykseenä pinnoite? Lattian vedeneriste on nähtävissä joskus lattiakaivoista, kynnyksen kohdalla ja seinien vedeneriste tai kosteussulkukäsittely oven peitelistan takana.
- Onko lattiassa vedeneriste (yleensä bitumikermi) pintabetonilaatan alla? Tällöin rakenteelle on tavanomaista, että pintalaatta on käytännössä aina märkä.
- Onko keraamisessa laatoituksessa vaurioita, kuten halkeilua tai laattojen irtoamista alustasta? Huom! Laattojen irtoaminen viittaa yleisemmin alustan kuivumiskutistumiseen kuin kosteusvaurioon.
- Ovatko keraamisen laatoituksen laastisauumat sekä lattioiden ja seinien nurkissa silikonisaumaukset ehjät? Onko laasti- tai silikonisaumauksissa likaa ja/tai home-

pillkkuja? Huom! Silikonisaumaus ei riitä vedeneristeeksi esim. lattian ja seinän liittymässä. Varsinaisen vedeneristeen tulee olla pintarakenteiden takana.

- Ovatko märkätilan muovimaton ja -tapedin saumojen hitsaukset vesitiiviit? Ovatko muovimatto- tai tapetti kiinni alustassa? Onko läpiviennit toteutettu vedenpitävästi? Ovatko muovimaton ylösnostot vedenpitäviä myös nurkkakohdissa?
- Lävistävätkö putket, niiden kannakkeet tai muut pinta-asennukset seinän pintamateriaalin ja vedeneristeen suihkun vaikutusalueella? Onko läpiviennit ja kiinnikkeiden reiät tiivistetty vedenpitäviksi?
- Onko vesijohdot toteutettu pinta-asennuksena vai onko putket asennettu rakenteiden sisälle? Ovatko pinta-asennetut vesijohdot ja lämmitysputket hyväkuntoisia vai onko niiden pinoite irronnut tai onko niissä ruostetta?
- Ovatko lattiakaivon mahdollisesti tulevat kuivakaivon viemärin ja pesukoneen poistoputken liitokset tiiviit? Ovatko lattiakaivon ja korokerenkaiden liitokset tiiviit? Onko vedeneriste liitetty vedenpitävästi lattiakaivon? Onko lattiakaivon rassitulppa paikoillaan?
- Ovatko lattian kallistukset riittävät? Ohjaavatko kallistukset vedet lattiakaivolle?
- Onko pesuhuoneen ilmanvaihto toimiva? Onko tuloilman saanti järjestetty esimerkiksi oviraon kautta ja poistoilmanvaihto esimer-

kiksi kattoventtiilillä? Onko poistoilmaventtiili oikein sijoitettu?

- Onko pintakosteusilmaisimella todettavissa kohonneita lukemia esimerkiksi suihkun välittömän vaikutusalueen ulkopuolella? Keraamisen laatoituksen takana oleva kosteus voi olla laatan ja vedeneristeen välissä, eikä pintakosteusilmaisimen kohonnut lukema suihkun vaikutusalueella siten välttämättä ole merkki vauriosta.
- Onko suihkutilan seinän vastakkaisella puolella kuivassa tilassa havaittavissa kohonneita pintakosteudenosoittimen lukemia?
- Onko märkätilaan johtavan kynnyksen vedeneristysratkaisu toteutettu siten, että kynnyksen alle ei kulkeudu märkätilasta vettä?

3.2.2

Rakenneavaukset

Rakenneavausten tarkoituksena on tarkastaa rakenteen rakennetyyppi, arvioida aistinvaraisesti materiaalien kuntoa ja tehdä tarvittavia mittauksia ja näytteenottoja rakenteiden sisältä. Avatusta rakenteesta nähdään, onko rakenteet toteutettu ole-massa olevien suunnitelmien mukaisesti ja voidaan selvittää niiden rakenteiden toteutustapa, joista ei ole lähtötietoja. Avauskohdat, niiden koot ja riittävän määrän määrittää tutkija kohteessa tekemiensä havaintojen perusteella (kuva 3.1). Rakenneavauksia tehdään oletettuihin vaurio- ja riskipaikkoihin sisätiloissa, vesikatoilla tai julkisivulla.



Kuva 3.1. Rakenneavaukset valitaan havaittujen tai oletettujen riskien perusteella. Vasemman puoleisessa kuvassa näkyy julkisivun tiiliverhoukseen ikkunan alapuolelle kehittynyt kosteusvaurio. Oikean puoleisessa kuvassa näkyy sama kohta sisäpuolella rakenneavauksesta tarkasteltuna. Kuvat: M. Pitkäranta, Vahanen Oy.

Rakenneavausten tekeminen on pääasiallinen tapa, jolla kerroksellisten rakenteiden kunto saadaan selvitettyä.

Avatusta rakenteesta voidaan mitata rakenteiden kosteuspitoisuus esim. puurakenteista piikkimitarilla. Havainnot dokumentoidaan valokuvoin ja kirjallisesti. Rakennetyyppi rakennepaksuukseensa on hyvä dokumentoida lisäksi piirtämällä.

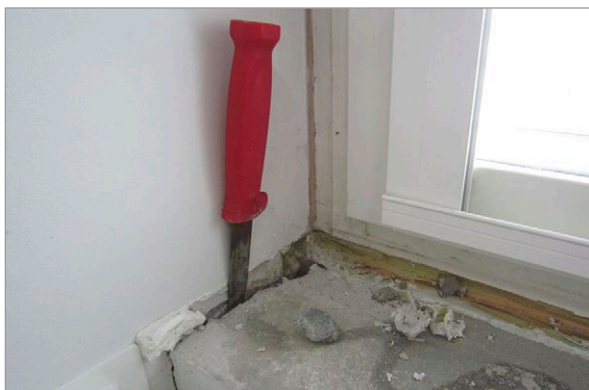
Rakenteista otetaan tarvittaessa materiaalinäytteitä mm. haitta-aineiden selvittämiseksi tai mikrobianalyysiä varten. Näytteen kontaminoitumista ja kuumentumista sekä jäätymistä on vältettävä. Esimerkiksi ulkoseinärakenteen lämmöneristeestä otetaan sisäkautta näyte siten, että rakenne avataan höyrynsulun sisäpintaan asti rikkomatta höyrynsulkua, minkä jälkeen näytteenotto tehdään desinfioiduin näytteenottovälinein höyrynsulun takaa.

Suunnitelluista rakenneavauksista, niiden laajuudesta ja sijainnista tulee tiedottaa tilaajaa ja tilojen käyttäjiä. Rakenteita rikkoville tutkimuksille tulee aina olla rakennuksen omistajan lupa. Rakenneavausten edellyttämistä mahdollisista suojaustoimista, sekä avauksen paikkaamisesta tulee sopia tilaajan kanssa. Käytössä olevassa rakennuksessa avauskohdat tulisi mahdollisuuksien mukaan valita siten, että ne eivät haittaa rakennuksen käyttöä. Maanvastaisiin seinä- ja alapohjarakenteisiin tehtävissä rakenneavauksissa on vältettävä, mikäli mahdollista, mahdollisen vedeneristeen rikkomista. Maanvastaisten rakenteiden tutkimuksia suunniteltaessa on erityisesti huomioitava vedenpaine-eristetyt rakenteet, joissa harkitsemattomilla rakenneavauksil-

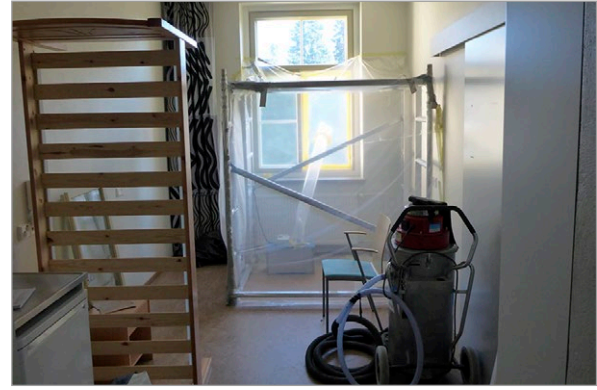
la voidaan tuottaa hyvinkin huomattavia äkillisiä tulvavahinkoja. Käytössä olevissa pesutiloissa ei ole myöskään suositeltavaa tehdä vedeneristysten rikkovia rakenneavauksia, elleivät ne ole ehdottoman tärkeitä tutkimuksen kannalta. Rakenteet pyritään avaamaan kuivan tilan puolelta, mikäli se on mahdollista. Ennen avauksia selvitetään sähkö- ja vesiputkien sijainti. Rakenteisiin tehdyt avaukset tulee peittää heti tarkastelun jälkeen vähintään rakennusmuovilla teippausta käyttäen ja rakenneavauksen varsinainen korjaus tulee tehdä nopeasti.

Rakenneavauksen tulee olla riittävän iso, jotta siitä voidaan tehdä luotettavia havaintoja (kuva 3.2). Sisätiloissa rakennusavausten yhteydessä käytetään aina vähintään hepa-suodattimella varustettua kohdepoistoa.

Ennen rakenteen porausta tai sahausta tulee harkita erityisesti, voiko materiaali sisältää asbestia tai muita haitta-aineita, jolloin näytteenottajan altistumisen ja tilan kontaminoitumisen estämiseksi tulee varautua tavanomaista tehokkaammilla suojaustoimilla. Osastointia ja alipaineistusta on suositeltavaa käyttää silloin, kun avattavissa rakenteissa epäillään olevan kosteus- tai mikrobivaurioita, haitta-aineita kuten asbestia ja PAH-yhdisteitä, tai jos tutkittavat tilat ovat käytössä rakenteita avattaessa (kuva 3.3). Osastoinnin teossa sovelletaan ohjekorttien *Ratu 82-0383. Kosteus- ja homevaurioituneiden rakenteiden purku* (Rakennustietosäätiö RTS ja Talonrakennusteollisuus ry, 2011c), *Ratu 82-0347. Asbestia sisältävien rakenteiden purku. Menetelmät* (Rakennustietosäätiö RTS, 2009a) tai *Ratu 82-0381. Kivihiilipikeä sisältävien rakenteiden purku. Osastointimenetelmä. Menetelmät* (Rakennustietosäätiö RTS ja Talonrakennusteollisuus ry, 2011a) ohjeistuksia.



Kuvat 3.2. Rakenneavauksista kannattaa tehdä riittävän isoja, jotta niistä voidaan tehdä mahdollisimman luotettavia tarkasteluja. Vasemmassa kuvassa ikkunalaudan irrottamisen jälkeen havaittiin rakenteiden liitoskohdissa merkittäviä ilmapuotokohtia. Oikealla kuvassa on ulkoseinän sisäkuoreen tehty rakenneavaus. Kuvat: K. Laine ja M. Koskivuori, Vahanan Oy.



Kuva 3.3. Esimerkkejä huoneen osan osastoinnista ja alipaineistuksesta rakenneavauksia ja korjauksia varten. Osastoinnin sisäpuoli on alipaineistettu kanavapuhaltimella ja ikkunan kautta ulos johdetulla, suodattimella varustetulla poistokanavalla. Kuvat: M. Pitkäranta, A. Hynninen, Vahnen Oy.

Betonisen alapohjarakenteen rakenneavaukseksi riittää tavanomaisesti $\varnothing 16 \dots 32$ mm porareikä, josta rakennetta voidaan tarkastella endoskooppia tai fiberoskooppia apuna käyttäen. Rakenteeseen poratut reiät ovat käypiä myös kivirakenteisten ulkoseinärakenteiden ja välipohjarakenteiden tarkasteluun. Kevytrakenteisten rakenteiden avaukseksi on suositeltavaa tehdä riittävän iso, noin 300×300 mm tarkasteluaukko. Joissakin tapauksessa $\varnothing 100$ mm rasiaporanterällä tehty aukko on riittävä. Höyrynsululla varustettuja rakenteita avattaessa on aina huomioitava, miten höyrynsulku paikataan tarkastelun jälkeen. Rakenneavauksia ovat myös erilaisten jalka- ja peitelistojen irrotukset, joiden kautta saadaan helposti tietoa mm. rakenneliittymien toteutuksesta ja tiiveydestä.

Julkisivulla ja vesikatolla tehtävät rakenneavaukset paikataan heti tarkastelun jälkeen. Bitumikermien paikkaajalla on oltava tarvittavat tulityöluvat. Joskus vesikatolla tehtävät rakenneavaukset on suositeltavaa tehdä sääsuojan alla. Julkisivuilla tehdään tyypillisesti mm. levytysten ja pellitysten aukaisuja ja julkisivuverhouksen tiilten ja laudoitusten irrotuksia (kuva 3.4).

Rakenneavauksen paikan valitseminen on kriittistä vaurioituneiden rakenteiden löytämiseksi. Kaikissa tapauksissa avattavien kohtien valitseminen ei kuitenkaan ole yksiselitteistä mm. koska kosteus voi siirtyä rakenteissa. Vaurioiden paikallistaminen on haastavaa mm. kerroksellisten rakenteiden vanhojen, jo kuivuneiden vaurioiden kohdalla (kuva 3.5). Usein vanhat vauriot on korjattu pinnallisesti, mikä usein vaikeuttaa paikantamista merkittävästi.



Kuva 3.4. Vasemmalla on bitumikermikatolle tehty rakenneavaus yläpohjarakenteiden tarkastelemiseksi. Rakenneavaus paikattiin välittömästi tutkimusten jälkeen. Oikeanpuoleisessa kuvassa on irrotettu julkisivun tiilimuurauksesta tiili ulkoseinärakenteen toimivuuden tarkastamiseksi. Kuvat: K. Laine ja V. Sandström, Vahnen Oy.



Kuva 3.5. Vasemman puoleisessa kuvassa näkyy putkivuotoepäilyn takia seinä-lattialiittymään tehty rakenneavaus, josta tarkasteltuna rakenteesta todettiin vain hyvin lieviä kosteusjälkiä. Oikean puoleisessa kuvassa näkyy sama kohta lattiarakenne purettuna. Noin metrin päässä aiemmasta rakenneavauksesta seinän alaohjauspuu on täysin laho. Vaurio on kehittynyt tiettyyn kohtaan alapohjarakenteen epätasaisuuden aiheuttaman vuotoveden lammikoitumisen takia. Kuvat: A. Hynninen, Vahanen Oy.

3.2.3

Materiaalinäytteiden mikrobianalyysi

Materiaalien mikrobikasvua ja vaurioituneisuutta arvioidaan aistinvaraisesti ja tarvittaessa materiaaleista otettujen näytteiden mikrobianalyysillä. Aistinvaraisessa tarkastelussa on suositeltavaa havainnoida ensisijaisesti materiaalin ulkonäköä. Mahdollisesti vaurioituneiden materiaalien pitkäaikaista ja toistuvaa haistelua tulee välttää, joskin mikrobikasvustolle tunnusomainen homeen- tai maakellarinhaju on selvä viite kasvusta.

Mikrobikasvusto voidaan usein todeta aistinvaraisesti. Epäselvissä tapauksissa materiaalinäytteiden laboratorioanalyysi on tarpeen.

Mikäli materiaalissa on selvää näkyvää homekasvustoa tai se on laho, ei materiaalinäytteiden mikrobianalyysi ole tarpeen vaurion osoittamiseksi. Tällöin vaurio tulee kuitenkin aina valokuvata huolella ja liittää havainnollistavat valokuvat raporttiin. Ilmeisissäkin tapauksissa laboratorioanalyysi saattaa kuitenkin olla tarpeen, mikäli tarvitaan tietoa näytteen mikrobityypeistä (mikrobiryhmät, suvut ja lajit) muiden altistumisen arvioimiseksi tehtävien tutkimusten tai esimerkiksi ammattitaitutkimuksen tueksi. Koska mikrobikasvusto ei aina ole silmännähtävää, suositellaan epäselvissä tapauksissa materiaalinäytteiden ottoa. Lahovaurioiden osalta tulisi selvittää lattiasienen esiintymi-

nen, koska sen aiheuttaman vaurion korjaus pitää tehdä muita lahovaurioita laaja-alaisemmin.

Laboratoriossa tehtävällä mikrobianalyysillä määritetään materiaalissa esiintyvien mikrobien määrää ja lajistoa. Materiaalin suuri mikrobipitoisuus johtuu yleensä mikrobien kasvusta materiaalissa, eli materiaali on "homehtunut". Tämä puolestaan osoittaa, että tutkittu rakenneosaa on ollut riittävän pitkään mikrobikasvulle suotuisissa kosteusolosuhteissa. Mikrobikasvusta ja sen edellyttämistä olosuhteista on kerrottu enemmän luvussa 6.

Näytteenottokohdan valitseminen

Materiaalinäytteiden mikrobianalyysit tukevat rakennusteknistä tarkastelua.

Mikrobinäytteitä otetaan aina muun rakennusteknisen tarkastelun ohessa, ei irrallisena toimenpiteenä. Materiaalinäytettä otettaessa tulee olla selvillä, mitä näyte edustaa. Tutkijalla pitää olla tieto vaurioituneeksi epäillyn kohdan rakenteesta ja materiaaleista ja niiden mahdollisista vauriomekanismeista. Näytteenottokohdat riippuvat tutkimuksen tavoitteista:

- **Epäillyn mikrobikasvun selvittäminen tietystä rakenneosassa:** Rakenne tutkitaan kohdasta, jossa vaurioituminen on todennäköisintä. Kohta valitaan pinnan vauriojälkien tai mitatun taikka muutoin tiedetyn kosteus-

rasituksen perusteella. Esimerkiksi vuotovahingon aiheuttamien mikrobivaurioiden todentamiseksi tutkitaan rakenne ja otetaan tarvittaessa näytteitä vuotoalueelta. Valesokelirakenteen vaurioituneisuus taas tutkitaan alaohjauspuusta kohdasta, jossa lattiapinta on lähimpänä maanpintaa tai ulkopuolinen kosteusrasitus on muutoin suurinta esim. sadevedenohjauksen puutteiden takia. Maanpäinrakenteiden vaurioituneisuus tutkitaan kohdasta, jossa kosteusrasitus on maanpinnan muotojen tms. syyn, tai kosteusmittauksen perusteella suurin, tai jossa on näkyviä muutoksia pintamateriaalien ulkonäössä.

- **Korjauslaajuuden määrittäminen:** Purku- tai korjausalueen määrittämiseksi näytteitä otetaan tarvittaessa arvioidun purku-/korjausalueen reunoilta. Kerroksellisissa rakenteissa otetaan tarvittaessa näytteitä eri rakennekerroksista korjaustarpeessa olevien materiaalikerrosten määrittämiseksi.
- **Tietyn rakenteen yleisen mikrobiologisen kunnan määrittäminen:** Määrittäessä jonkin rakenteen yleistä mikrobiologista kuntoa esimerkiksi peruskorjaustarpeen määrittämiseksi on suositeltavaa ottaa näytteitä riskikohdista ja satunnaisesti muista kohdista riittävällä otoskoolalla, jotta rakenteen kunnosta saadaan mahdollisimman luotettava kuva. Esimerkiksi ulkoseinärakenteita tutkittaessa tulee huomioida, että julkisivujen kunto vaihtelee usein voimakkaasti ilman suunnan ja kerroksen mukaan, jolloin saatetaan olla perusteltua tutkia kaikki julkisivut useilta eri korkeuksilta.

Vertailunäytteet

Tutkittaessa ikääntyneitä tai ulkoilmayhteydessä olevia rakenteita on suositeltavaa ottaa vertailunäytteitä saman rakenteen vaurioitumattomiksi tiedetyistä osista. Vanhoissa rakenteissa, erityisesti mikäli ne ovat maaperä- tai ulkoilmayhteydessä, saattaa olla melko suuriakin mikrobipitoisuuksia.

Vanhojen rakenteiden mikrobipitoisuudet saattavat olla suuria. Vaurioitumattomiksi tiedetyistä rakenteista otetut vertailunäytteet helpottavat tulosten tulkintaa.

Näytteenotto

Materiaalinäyte otetaan irrottamalla tutkittavan materiaalin pintakerrosta n. 5 mm syvyydeltä, vähintään noin tulitikkulaatikon kokoinen kappale. Näytteenotossa käytetään materiaalista riippuen yleensä esim. terävää puukkoa, mattoveistä tai talttaa. Eristetiloista näyte voidaan ottaa ø16...32 mm porareian kautta ns. "pirunkouralla", pitkävartisilla pihdeillä tai hieman isommista rei'istä "kairamalla" teroitettulla metalliputkella tmv. välineellä. Näytettä ei saa kuumentaa. Näyte otetaan puhtailla välineillä ja näytteenotossa käytetään suoja-hansikkaita. Välineet desinfioidaan joka näytteen välissä 70–80 % etanolilla tai isopropanolilla suihkuttamalla, pyyhkimällä tai upottamalla, minkä jälkeen välineet kuivataan. Näyte pakataan puhtaaseen uudelleensuljettavaan muovipussiin. Kontaminaation estämiseksi vertailunäytteet pyritään ottamaan ennen vauriokohtien näytteitä. Kerroksellisia rakenteita avattaessa tulisi kerrosten välissä imuroida huolella pois sisempien kerroksien jämmät ennen näytteenottoa, jotta ne eivät kontaminoi ulompien kerrosten näytteitä. Yhteen näytteeseen/näytepussiin tulee ottaa vain yhtä materiaalia.

Näytteenotossa puhtaiden välineiden käyttö ja ympäristön suojaus ovat tärkeitä. Tilan suojaaminen osastoinnilla ja alipaineistuksella saattaa olla tarpeen.

Näytteenotossa tulee käyttää kohdepoistona hepasuodattimella varustettua imuria materiaali- ja mikrobiperäisten pölyjen hallitsemiseksi. Tarvittaessa tila tai sen osa osastoidaan ja alipaineistetaan ohjekortin *Ratu 82-0383. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purku* mukaisesti (Rakennustietosäätiö RTS ja Talonrakennusteollisuus ry, 2011c). Osastointi ja alipaineistus ovat erityisen tärkeitä, mikäli:

- rakenneavaus on muutamia satoja neliösenttimetrejä laajempi
- rakenteiden voidaan olettaa olevan voimakkaasti homehtuneita
- rakenneavaus tehdään sairaala- tms. ympäristössä, jossa oleskelee immuunipuolustuseltaan heikentyneitä henkilöitä, joille kosteusvauriomikroobeille altistuminen saattaa muodostaa infektioriskin.

Näytteiden tiedot kirjataan kenttämuistiinpanoihin ja näytteenottolomakkeelle. Tutkittu kohta merkitään raportointia varten pohjapiirroksen. Kustakin näytteestä kirjataan myös materiaali, tutkittu rakenneos, sijainti tilassa, tila ja tutkimuskohteen nimi. Samassa yhteydessä tutkittu kohta valokuvataan ja kirjataan tiedot rakenteen toteutuksesta ja aistinvaraisesti arvioidusta kunnosta. Näytteet kuljetetaan tai lähetetään viipymättä laboratorioon. Näytteiden pakkaus- ja kuljetusohjeet varmistetaan analysoivasta laboratoriosta. Materiaalinäytteenotto ja käsittely on kuvattu tarkemmin *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa* (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016).

Analyysimenetelmät

Asumisterveysasetuksen (STMa 545/2015) mukaisesti mikrobikasvuston esiintyminen materiaalissa todetaan ensisijaisesti materiaalinäytteen laimennossarja- tai suoraviljelymenetelmällä ja mikroskoipoimalla tehdyllä analyysillä.

Edellä mainittujen menetelmien tulkintaohjeet on esitetty tarkemmin *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa* (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016). Laimennossarjamenetelmä on pitkään käytetty ja sen antamista tuloksista on kertynyt runsaasti käytännön kokemusta eri materiaaleilta ja rakenteista. Materiaalinäytteen suoraviljely on jonkin verran laimennossarjaviljelyä edullisempi menetelmä, jolla saadaan semikvantitatiivinen tulos mikrobimääristä, sekä tieto mikrobilajistosta.

Asetusterveysasetuksen (STMa 545/2015) ja *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen* (Sosiaali- ja valvontavirasto Valvira, 2016) sekä *Asumisterveysohjeen* (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2003) ja *Asumisterveysoppaan* (Aurola ja Välikylä, 2009) ohjeistukset koskevat lähtökohtaisesti terveydensuojeluviranomaisten toimintaa, mutta niiden noudattaminen on perusteltua myös yleisemmin sisäympäristön terveellisyyteen liittyviä tekijöitä selvittäessä. Kansainvälisen ISO-standardin mukaiset analyysimenetelmät rakennusmateriaalinäytteiden homekasvuston määrittämiseksi on esitetty standardissa *ISO 16000-21:2013* (International Organization for Standardization, 2013).

Materiaalien mikrobipitoisuuden määrittämiseen käytettävien laboratorioanalyysien tulee olla validoituja ja tulosten tulkinnan tulee perustua riittävän suureen vertailuaineistoon.

Myös muita kuin asumisterveysasetuksessa määriteltyjä menetelmiä voidaan käyttää rakennuksen mikrobikasvun arviointiin, jos menetelmän luotavuus on osoitettu asetuksessa esitetyn mukaisesti. Mahdollisia menetelmiä ovat mm. kvantitatiivinen PCR (qPCR) ja sienibiomassan määrittäminen Mycometer-testillä. Näille menetelmille ei ole tarjolla yksiselitteisiä viitearvoja tulkinnan tueksi, vaan tulosten tulkinnan tulee perustua käytetyllä menetelmällä kerättyyn riittävän suureen vertailuaineistoon, jolloin tiedetään, millaisia tuloksia voidaan pitää osoituksena mikrobikasvusta ja mitä tuloksia tavanomaisina pitoisuuksina. Useimmilla menetelmillä runsaan kasvuston ja aivan puhtaan materiaalin tunnistaminen on luotettavaa, mutta rajanveto likaantuneen/kontaminoituneen/lievästi vaurioituneen materiaalin välillä on hankalaa. Kuntotutkijan tulee aina tulkita tutkimustulokset, tarvittaessa rakennusmikrobiologiaan perehtyneen asiantuntijan avustuksella.

Viljelymenetelmät

Viljelymenetelmillä näytteestä määritetään elinkykyisten home- ja hiivasienten sekä bakteerien pitoisuudet. Homesienet tunnistetaan pääosin sukutasolle. Bakteerien joukosta lasketaan erikseen aktinomykeettien eli sädesienten määrä, mutta muuten bakteereita ei erotella. Menetelmällä ei voida todeta kuolleita mikrobisoluja, ja siksi mm. vanhat kasvustot saattavat jäädä huomaamatta. Vauriomikrobiston muuttuminen viljelykelvottomaksi kestää kuitenkin kokemusperäisesti arvioiden vähintään kuukausia tai vuosia. Aika riippuu suuresti vallitsevista lämpö- ja kosteusolosuhteista. Mikäli näytteistä ei kasva pesäkkeitä tai niitä kasvaa vain hyvin vähän, tulee laboratorion mikroskopoida näytteet vanhan kuivuneen kasvuston tarkistamiseksi (kts. materiaalinäytteen suoramikroskopointi).

Laimennossarjaviljely tehdään kahdella sienikasvatusalustalla (MEA- ja DG18-agar) ja yhdellä bakteerialustalla (THG-agar). DG18-kserofiialustan käyttö homesienille parantaa menetelmän herk-

kyyttä kuivassa viihtyvien homeiden tunnistuksessa ja joissakin tapauksissa mikrobikasvu on voitu todeta yksinomaan DG18-alustalta. Homealustojen tuloksen tulkinnassa käytetään pesäkemääristä suurempaa. Homesienten viljely kestää 7 vuorokautta ja sädesienten viljely 7–14 vuorokautta.

Tulosten tulkintaohjeet on esitetty *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa* (Sosiaali- ja terveystalouden valvontavirasto Valvira, 2016). Rakennusmateriaalilla katsotaan esiintyvän mikrobikasvua, mikäli näytteen elinkykyisten home- ja hiivasienten määrä on $> 10\,000$ pmy/g² (pesäkettä muodostavaa yksikköä grammassa materiaalia) tai bakteerien määrä on $> 100\,000$ pmy/g tai sädesienten määrä on $> 3\,000$ pmy/g (Sosiaali- ja terveystalouden valvontavirasto Valvira, 2016). Ns. kosteusvaurioindikaattorimikrobien esiintyminen saattaa viitata mikrobikasvustoon pienemmissäkin pitoisuuksissa erityisesti, jos kyseessä on lähellä sisäpintaa sijaitseva, normaalisti kuivana pysyvä rakenneos.

Menetelmä on esitetty standardissa *ISO 16000-21:2013* (International Organization for Standardization, 2013). Suomessa käytetään yleisesti *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa* (Sosiaali- ja terveystalouden valvontavirasto Valvira, 2016) kuvattuja sovelluksia standardin mukaisesta menetelmästä.

Suoraviljelymenetelmä eroaa laimennossarjaviljelystä laboratoriossa tapahtuvan näytteenkäsittelyn ja kasvatustaloiden tulkinnan osalta. Tulokset ilmoitetaan semikvantitatiivisella asteikolla esimerkiksi +/-/++/+++/++++, jossa + ja ++ vastaavat tavanomaisia mikrobipitoisuuksia ja +++/++++ kasvustoon viittaavia pitoisuuksia (home- ja hiivasienet sekä sädesienet). Mikäli mikrobilajistossa on mukana ns. kosteusvaurioindikaattorilajeja, katsotaan myös +/-/++ -pitoisuuden voivan viitata mikrobikasvuun materiaalilla.

Yleisesti ottaen mikrobipitoisuuden ja -lajiston perusteella tehdään tulkintoja kasvuston olemassaolosta ja rakenneosan korjaustarpeesta. Mikrobikasvusta materiaaleilla on kerrottu tarkemmin luvussa 6.

Viemäri-vesikontaminaatiota voidaan arvioida jonkin aikaa vuodon jälkeen tutkimalla materiaalinäytteistä viljelymenetelmällä ulosteperäisten ns. hygieniaindikaattorimikrobien pitoisuus. Ulosteperäisten bakteerien esiintyminen rakenteissa ei ole tavanomaista. Mikäli rakenteista löytyy ulosteperäisiä mikrobeja, voidaan tästä päätellä viemäri-

veden päässeen ko. rakenneosaan. Hygieniamikrobien määritykset ovat tavanomaisista asumisterveysalan mikrobianalyysistä poikkeavia määrityksiä, joista tulee erikseen sopia analysoivan laboratorion kanssa. Tällä hetkellä hygieniaindikaattorien tutkimusta rakennusmateriaaleista ei ole validoitu eikä tuloksille ole olemassa viitearvoja. Tulokset ovat suuntaa-antavia ja ensisijaisesti kvalitatiivisia. Koska hygieniamikrobien elinkykyisinä säilymis-aikaa rakenteissa ei tunneta, tulkinnan kannalta on tärkeää ottaa vertailunäyte viemäri-veden varmasti kontaminoimasta materiaalista. Tällöin mahdollisesti saatavien negatiivisten ("puhtaiden") tulosten luotettavuutta voidaan arvioida.

Materiaalinäytteen suoramikroskopiointi

Materiaalinäytteen suoramikroskopiointilla voidaan tutkia joko materiaalin pintaa suoraan, tai pintaan painetulla kirkkaalla teipillä otettua ns. teippinäytettä. Suoramikroskopiointi soveltuu hyvin koville materiaalin pinnoille, kun taas huokoisia eristemateriaaleja kuten mineraalivillaa ei yleensä voida luotettavasti tutkia suoramikroskopiointilla. Suoramikroskopiointilla on mahdollista varmentaa erityisesti mikrobikasvu, joka näkyy myös silmin havaittavana vauriona materiaalin pinnalla ja erottaa se mahdollisesta muusta materiaalin pinnan tummumasta tai poikkeamasta. Menetelmä on nopea ja tulos on semikvantitatiivinen.

Voimakas homekasvu voidaan todentaa stereo-, valo- tai pyyhkäisy-elektronimikroskopiolla (SEM). Vähäisen kasvuston toteamiseen tai kasvuston poissulkemiseen tulee käyttää valo- tai SEM-mikroskopiointia riittävällä, esimerkiksi 100–400 x suurennoksella. Näytteestä määritetään homeitiöiden ja homesienirihmastoon esiintyminen. Rihmastoon esiintyminen osoittaa homekasvun materiaalissa. Homeitiöiden runsas esiintyminen viittaa kasvuun tai itiöiden kulkeutumiseen muualta tutkittavalle pinnalle.

Materiaalinäytteen suoramikroskopiointin havaintojen tulkinnassa voidaan käyttää esimerkiksi *VTT-homeriskimallin* (Viitanen H., 2004) mukaista homekasvuston määrän luokittelua (taulukko 3.1).

Teippinäytettä tutkittaessa voidaan menetellä seuraavasti: noin 60–100 x suurennoksella tarkasteltu valomikroskopiinäkymä jaetaan 10 x 10 ruudukkoon, ja lasketaan ne ruudut, joiden alueella rihmasto tai rihmastokappaleita esiintyy. Näytteestä tulee tarkastella useita alueita, jotta

2 Käytössä myös samaa tarkoittavat yksiköt cfu/g ja kpl/g. Kpl viittaa tässä yhteydessä pesäkkeen muodostavaan yksikköön.

tulos on edustava. Rihmasto sisältävien ruutujen keskiarvon ylittäessä 10 % näytteessä katsotaan esiintyvän toimenpiteitä edellyttävä määrä kasvustoa.

Suoramikroskopointi edellyttää kokemusta ja ammattitaitoa, joten se tulee suorittaa rakennusmateriaalinäytteiden mikrobianalyysiin perehtyneen, asumisterveysstudkimuksia tekevän laboratorion toimesta. Menetelmä on esitetty standardissa *ISO 16000-21:2013* (International Organization for Standardization, 2013). Suoramikroskopoinnin tarkemmat suoritus- ja tulkintaohjeet tullaan esittämään laboratorioskirjassa, joka käsittelee asumisterveysasetuksessa mainittuja mittaus- ja näytteenottomenetelmiä.

Kvantitatiivinen PCR (qPCR)

Kvantitatiivinen PCR on nopea menetelmä, joka osoittaa sekä elävien että kuolleiden mikrobien määrän näytteessä. Menetelmän soveltuvuutta käytännön kuntotutkimuksiin selvitetään parhaillaan.

Kvantitatiiviseen polymeerasiketjureaktioon (qPCR) perustuvalla analyysillä voidaan tutkia rakennusmateriaalinäytteessä olevien mikrobien määrä. Menetelmä perustuu mikrobien perimäaineksen eli DNA:n määrittämiseen. Menetelmä osoittaa sekä elävät että kuolleet/viljelykelvottomat mikrobisolut. Määrittäminen kohdistetaan haluttuihin, ennalta valittuihin mikrobilajeihin tai -ryhmiin. Menetelmän etuna on sen nopeus.

Menetelmä on suhteellisen uusi ja sitä kehitetään jatkuvasti, mistä syystä yhtenäistä, standardoitua analyysi- ja tulkintaprotokollaa ei ole. Tällä hetkel-

lä qPCR:illä tutkitaan yleensä bakteerien ja sienten kokonaismäärät sekä määritetään muutamien mikrobisukujen tai -ryhmien pitoisuudet. Kunkin mikrobiryhmän määrittäminen tulee validoida laboratoriokohtaisesti. Tulosten tulkinnan tulee perustua riittävän suuren, ko. laboratoriokohtaisella menetelmällä ja *asumisterveysasetuksen* (STMa 545/2015) ja *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen* (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016) mukaisella menetelmällä kerätyn parittaisen viiteaineistoon vertailuun. Yleisiä numeerisia viitearvoja ei menetelmälle voida tällä hetkellä antaa.

Kvantitatiivinen PCR on nykytiedon valossa käyttökelpoinen menetelmä tutkittaessa mikrobikasvupäilyä erityisesti rakennuksen sisäpuolisissa materiaaleissa, joissa ei ole luonnostaan merkittävää mikrobikontaminaatiota. Lyhyt analyysi-aika saattaa olla merkittävä etu esimerkiksi työmaa-aikaisessa purkulaaajuuden riittävyyden arvioinnissa. Koska menetelmä osoittaa myös kuolleet mikrobisolut, sitä tulisi käyttää toistaiseksi varauksella sellaisten materiaalien tutkimiseen, joissa saattaa olla muusta syystä kuin rakennuksen elinkaaren aikaisesta mikrobikasvusta johtuvia suuria mikrobipitoisuuksia. Tällaisia ovat esimerkiksi maaperä- ja ulkoilmayhteydessä olevat ulkovaipparakenteet sekä vanhat luonnonmateriaalit kuten sammal-, turve- ja pellavaeristeet. Tällaisia materiaaleja analysoitaessa tulee aina ottaa vertailunäyte vaurioittomaksi tiedetystä osasta samaa rakennetta.

Vauriottomasta kohdasta kerättyjen vertailunäytteiden ottaminen ja näytteiden analysointi rinnakkain myös viljelymenetelmällä (ainakin osa kunkin kohteen tutkittavista näytteistä) lisäävät tuloksista tehtyjen tulkintojen luotettavuutta. Kvantitatiivista PCR-menetelmää ei ole esitetty standardissa *ISO 16000-21:2013* (International Organization for Standardization, 2013).

Taulukko 3.1. VTT-homeriskimallin mukainen materiaalin homeindeksiluokitus. Lähde: Viitanen H., 2004.

M ¹⁾	Havainto mikroskoopilla	Tulkinta
0	Pinta puhdas	Ei kasvustoa
1	Paikoin alkavaa kasvua, muutama rihma	Kasvua (lievä)
2	Homerihmasto peittää 10 % tutkittavasta alasta	Kasvua (kohtalainen)
3	Homerihmasto peittää 10-50 % tutkittavasta alasta	Kasvua (selvä)
4	Homerihmasto peittää yli 50 % tutkittavasta alasta	Kasvua (runsas)
5	Homerihmasto peittää yli 50 % tutkittavasta alasta (myös silmin havaittuna)	Kasvua (runsas)
6	Lähes 100 % peitto, tiivis kasvusto	Kasvua (erittäin runsas)

1) Homeindeksi

Mycometer-testi

Mycometer-testi on hyvin nopea menetelmä home- ja hiivasienten kokonaismäärän mittaamiseen. Menetelmän soveltuvuutta käytännön kuntotutkimuksiin selvitetään parhaillaan.

Mycometer-testillä voidaan määrittää rakennusmateriaalinäytteessä olevien homesienten biomassaa. Määrittäminen perustuu homesienten NAHA-entsyymin määritykseen. Testi on kehitetty ensisijaisesti homesienten määritykseen pintasivelynäytteistä. Menetelmä osoittaa sekä elävät että kuolleet solut, joskin vanhassa/kuollessa kasvustossa entsyymiaktiivisuus laskee. Menetelmä on hyvin nopea ja analyysilaitteisto sopii kenttäkäyttöön. Tällä hetkellä menetelmälle ei ole saatavilla muita viitearvoja kuin laitevalmistajan antama tulkintaohje pintasivelynäytteille sekä huokoisille eristemateriaaleille ja sementtipohjaisille materiaaleille. Testi ei osoita sädesieniä eikä muita bakteereita. Menetelmää ei ole esitetty standardissa *ISO 16000-21:2013* (International Organization for Standardization, 2013). Menetelmän soveltuvuutta kenttätutkimuksiin selvitetään parhaillaan (Salmela A., 2014).

3.3

Pintakosteuskartoitus

Pintakosteuskartoitukset ovat ainetta rikkomattomia vertailututkimuksia, joissa samasta rakenteesta eri kohdista havaittuja arvoja verrataan keskenään. Näin saadaan kartoitettua arvoiltaan poikkeavat alueet. Epäilyt poikkeavasta kosteudesta tarkistetaan rakennekosteusmittauksin.

Pintakosteuskartoitus on suuntaa-antava menetelmä. Havaitut poikkeamat tulee aina varmentaa rakennekosteusmittauksin.

Pintakosteudenilmaisimien kohdistetaan suoraan mitattavaan rakenteeseen ja arvot luetaan pintakosteudenilmaisimen näytöstä. Tutkimuselostuksessa ilmoitetaan käytetty pintakosteusilmaisimien ja käytetty tarkasteluasteikko.

Pintakosteusilmaisimien ei mittaa materiaalin absoluuttista tai suhteellista kosteutta vaan ilmaisimen

toiminta perustuu materiaalien sähkönjohtavuuteen, johon kosteuden lisäksi vaikuttavat useat tekijät, mm. rakenteiden sisässä olevat vesijohtoputket, teräkset, lämmityskaapelit sekä mitattavan materiaalin koostumus ja rakenteiden pintaosien vaihtelut. Mitä paremmin materiaali johtaa sähköä, sitä suurempia lukemia laite näyttää. Esimerkiksi suolakertymät nostavat lukemaa, ja alustasta irti oleva materiaali (esim. laminaatti ja alusmatto tai pinnoitteen irtoaminen ”kopolle” alustasta) madaltaa lukemaa. Pintakosteudenilmaisimien ilmaisee sähkönjohtavuuden koko mittaamaltaan syvyydeltä, eikä sen tulosten perusteella voi erotella kosteuspitoisuutta rakenteen eri syvyyksillä.

Edellä mainituista syistä pintakosteudenilmaisimen lukemille ei voida etukäteen määrittää yleisiä raja-arvoja vaan lukemat ovat suuntaa-antavia. Helppokäyttöisyydestään huolimatta pintakosteudenosoittimen käyttö vaatii kokemusta virhetulokintojen välttämiseksi.

3.4

Kosteusmittaukset

Kosteusmittausten avulla selvitetään rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa. Rakennekosteusmittauksilla saadaan selville rakenteen kosteuspitoisuus ja -jakauma ja kosteuden siirtymisen suunta. Lisäksi voidaan selvittää pintarakenteisiin kohdistuva todellinen kosteusrasitus. Kosteusmittausten tulosten analysoijan tulee tuntea eri rakenteiden rakennusfysikaalisen toiminnan periaatteet ja tavanomaiset kosteustasot (ks. luku 5).

Kosteusmittausmenetelmät perustuvat kosteuden muutoksen aiheuttamiin tilavuuden, pitempään tai materiaalien sähköisten ominaisuuksien muutoksiin kosteusmitta-anturin materiaalissa. Valtaosa kosteusantureista on kapasitiivisia, ja mittaus edellyttää kosteuserkän materiaalin tasaantumista vallitseviin olosuhteisiin.

Kosteusmittausmenetelmät voidaan jakaa tarkkoihin ja suuntaa-antaviin mittauksiin. Tarkkoja kosteusmittausmenetelmiä ovat näytepala-, porareikä- ja viiltomittausmenetelmä sekä materiaalin kosteuspitoisuuden määrittäminen kuivaus-punnitusmenetelmällä. Kuntotutkimuksissa voidaan käyttää myös suuntaa-antavia kosteusmittausmenetelmiä. Eri menetelmiä on kuvattu tarkemmin alla olevissa kohdissa. Sisäilman kosteuden ja lämpötilan mittausta on käsitelty tarkemmin kohdassa 3.7.1.

Tarkat rakenteen suhteellisen kosteuden mittaukset

Rakenteen suhteellisen kosteuspitoisuuden mittaamenetelmillä saadaan määritettyä rakennehuokosten ilmatilan suhteellinen kosteus, joka määräytyy huokosten ilmatilassa olevan vesihöyrymäärän ja lämpötilan perusteella. Kiviaineisten rakenteiden näytepala- ja porareikäkosteusmittausmenetelmien toteutus ja ohjeistus, tulosten raportointi, mittausvirheen arviointi ja tulosten tulkinta on esitetty yksityiskohtaisesti RT-kortissa *RT 14-10984. Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen* (Rakennustietosäätiö RTS, 2010). Viiltomittauksen toteutus on esitetty kuvasarjana ohjeessa *Hyvät tutkimusmenetelmät muovilattiapäällysteiden vaurioitumisen arvioinnissa* (Keinänen H., 2013).

Näytepalamittausmenetelmä

Näytepalakosteusmittausmenetelmä on tarkin ja nopein käytössä oleva rakenteen suhteellisen kosteuspitoisuuden mittaamenetelmä. Menetelmään voidaan käyttää tutkittavan rakenteen lämpötilan ollessa $-20 - +80$ °C. Menetelmässä irrotetaan piikkaamalla tutkittavasta rakenteesta betonimurusia valituilta mittaussyvyyksiltä. Piikkauksessa tulee varoa vesiputkia ja sähköjohtoja. Näytepalat suljetaan välittömästi lasiseen, puhdistettuun koeputkeen. Koeputkeen asennetaan välittömästi suhteellisen kosteuden mittapää ja mittapään johdon ja koeputken suuaukon väli tiivistetään huolellisesti vesihöyrytiivillä elastisella massalla (kuva 3.6). Paras mahdollinen mittaustarkkuus

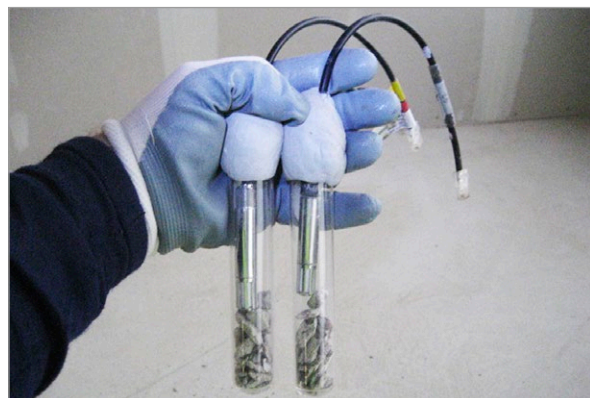


saavutetaan, kun näytteitä otetaan jokaiselta mittaussyvyydeltä vähintään kaksi rinnakkaisnäytettä. Koeputket siirretään vakioämpötilaan (yleensä $+20$ °C) ja niiden tasaantumisaika on mitta-anturin ominaisuuksista riippuen yleensä 5...12 tuntia.

Näytepalamittausmenetelmää käytetään pääasiassa arvioitaessa betonialustan riittävää kuivuutta ennen lattiapäällysteen asennusta. Näytepalamittausmenetelmä on rakennetta rikkova ja melko työläs menetelmä, joten kuntotutkimuksissa on yleensä tarkoituksenmukaisempaa käyttää kevyempiä porareikäkosteusmittaus- ja viiltomittausmenetelmiä rakenteen kosteusprofiilin määrittämiseen ja kosteusteknisen toimivuuden arviointiin. Lisäksi porareikä- ja viiltomittausmenetelmillä saadaan selvitettyä myös rakenteen todellinen lämpötila, jolloin voidaan arvioida myös rakenteen lämpöteknistä toimivuutta.

Porareikämittausmenetelmä

Porareikämittausmenetelmällä voidaan selvittää tutkittavan rakenteen kosteusprofiili. Menetelmä on tarkimmillaan rakenteen lämpötilan ollessa $+15 - +25$ °C. Rakenteeseen porataan valituille syvyyksille mittausräiät, jotka putkitetaan, puhdistetaan imuroimalla ja tiivistetään huolellisesti vesihöyrytiivistä elastista massaa käyttäen. Porauksessa tulee varoa vesiputkia ja sähköjohtoja. Porareikämittauspisteet tasaantuvat riittävän pitkän ajan tutkittavan materiaalin ominaisuuksista riippuen, tyypillisesti noin 2...3 vuorokautta, jonka jälkeen mittapisteesiin asennetaan mittapää huolellisesti tiivistäen ne mittaasputkiin. Mittapäi-



Kuva 3.6 Näytepalamittaus. Vasen kuva: betonimuruset irrotetaan valitulta mittaussyvyydeltä. Oikea kuva: irrotetut betonimuruset on suljettu kosteusmittapään kanssa koeputkeen tasaantumaan. Kuvat: K. Laine ja J. Komonen, Vahanen Oy.

den lukemat luetaan, kun mittapää on tasaantunut riittävän kauan ja saavuttanut kosteustasapainon ympäristönsä kanssa (kuva 3.7). Tasaantumisaika on mittapäästä riippuen vähintään yksi tunti. Mittaussyvyydet ja mittapisteyden määrä valitaan tapauskohtaisesti riippuen mittauksen tavoitteista. Oletetulle kuivalle ja hyväkuntoiselle alueelle tehdään referenssimittaus ja oletetusti kosteammille alueille riittävän monta kosteusmittausta.

Porareikämittauksia tarvitaan tyypillisesti tilanteissa, joissa on epäselvää mistä mahdollinen liiallinen kosteus rakenteeseen siirtyy ja mikä on koko rakenteen sisältämän kosteuden määrä. Rakenteen kosteusprofiilin tarkastelu toimii myös korjaussuunnittelun lähtötietona arvioitaessa rakenteen kuivatustarvetta ja uusien päällystemateriaalien soveltuvuutta kyseiseen rakenneratkaisuun ja siinä olevaan kosteusrasitustasoon. Porareikämittaukset

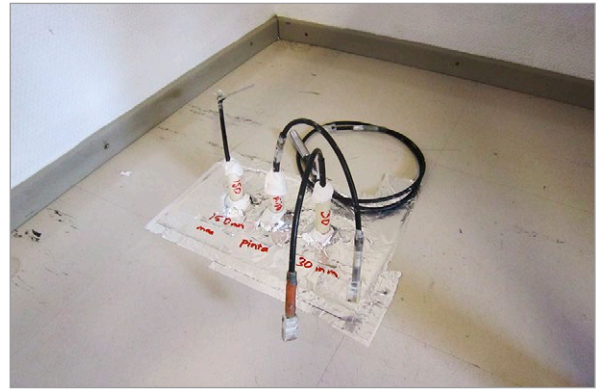
ovat kätevä tutkimusmenetelmä ja mittauspisteet on mahdollista paikata tutkimusten jälkeen lähes huomaamattomiksi. Porareikämittauskohtia valitessa tulee huomioida, että vedeneristeitä (märkätilat, maanpainesinät) ei rikota. Lisäksi on varottava rikkomasta lattiaan mahdollisesti asennettuja lattialämmityskaapeleita tai muita putkiasennuksia.

Viiltomittausmenetelmä

Viiltomittauksella voidaan selvittää liimattavan lattiapäällysteen, kuten muovi- ja linoleumimaton alapintaan ja liimakerrokseen kohdistuva todellinen kosteusrasitus. Viiltomittauksessa tehdään viilto lattiapäällysteeseen tutkittavalle kohdalle. Viiltoon asennetaan heti viillon teon jälkeen kosteusmittausanturi ja viiltokohta tiivistetään huolellisesti vesihöyrytiiviksi (kuva 3.8). Käytettäessä



Kuva 3.7. Rakennekosteusmittaus betonirakenteesta. Eri syvyyksille asennetut mittapäät tasaantuvat välipohjarakenteen kosteusjakouman selvittämiseksi tehdystä porareikämittauspisteessä. Kuvat: K. Laine, Vahanen Oy.



Kuva 3.8. Viiltomittaus muovimaton alle mattoliimaan kohdistuvan todellisen kosteusrasituksen selvittämiseksi. Oikeanpuoleisessa kuvassa toinen mittapää mittaa samanaikaisesti mittauskohdan sisäilman olosuhteita. Kuvat: K. Laine ja H. Tuovinen, Vahanen Oy.

nopeasti tasaantuvia mittapäitä anturin tasaantumis aika on 15...20 minuuttia. Viiltomittaus on tarkimmillaan + 20 °C lämpötilassa. Viillosta voidaan mittauksen jälkeen tehdä havaintoja päällysteen tartunnasta alustaan, liiman koostumuksesta ja väristä sekä päällysteen alapuolisista hajuista.

Viiltomittauksen kohdistus tehdään pintakosteuskartoituksen tuloksia ja rakennetyyppitietoja hyödyntäen. Oletetulle kuivalle ja hyväkuntoiselle alueelle tehdään vähintään referenssimittaus ja oletetusti kosteammille alueille riittävän monta kosteusmittausta. Viiltomittauksia tehdään siinä laajuudessa, että saadaan riittävän kattavasti määriteltyä alueet, joilla kosteuspitoisuus on kohollaan. Viiltomittauksen lukumäärä määräytyy kohdekohtaisesti. Viiltomittaukset soveltuvat hyvin kuntotutkimuksen mittausmenetelmäksi, sillä niitä on helppo tehdä nopeasti ja mittauskohdat pystyy paikkaamaan lähes huomaamattomiksi.

3.4.2

Suuntaa antavat rakenteen suhteellisen kosteuden mittaukset

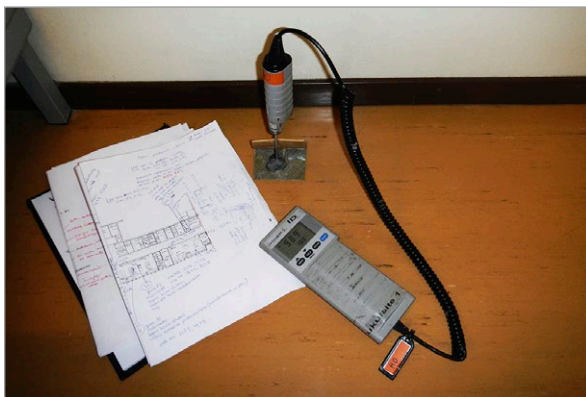
Kohdassa 3.5.1 on esitetty menettelytavat hyvän mittauksen saavuttamiseksi. Joskus ei ole tarpeellista, eikä aina edes mahdollista päästä hyvään mittauksen tarkkuuteen. Tällöin voidaan tehdä ns. suuntaa antavia mittauksia, joiden mittauksen tarkkuus voi olla aivan riittävä, kunhan niiden epä-tarkkuus tiedostetaan. Suuntaa-antavia suhteelli-

sen kosteuden mittausmenetelmiä ovat seuraavat menetelmät:

- rakenteiden sisältä tehdyt hetkelliset kosteusmittaukset
- mittaukset putkittamattomasta porareistä
- porareikämittaus toistuvasti samasta mittausreiästä
- porareikämittaus suosituslämpötila-alueen ulkopuolella
- porareikämittaus pian poraamisen jälkeen
- näytepalamittaus asentamatta mittapäätä välittömästi mittausputkeen
- näytepalamittaus normaalia pienemmällä näytemäärällä tai epätarkalla syvyydellä.

Rakenteen hetkellinen kosteusmittaus

Rakenteen hetkellisellä kosteusmittauksella tarkoitetaan suuntaa antavaa kosteusmittausmenetelmää, jota voidaan käyttää rakenteiden kosteuspitoisuuden selvittämiseen esimerkiksi sisätiloissa asentamalla mittapäätä tutkittavan kerroksellisen rakenteen sisälle rakenteeseen poratun reiän kautta (kuva 3.9). Menetelmällä mitataan materiaalihuokosten ilmatilan suhteellista kosteuspitoisuutta. Mittapäätä tiivistetään vesihöyrytiiviillä elastisella massalla porausreiäkään. Kosteusmittaus tehdään putkittamattomasta reiästä. Käytettävän mittapään tasaantumis aika on tyypillisesti lyhyt, noin 15...45 minuuttia.



Kuva 3.9. Rakenteessa olevan eristetilan ilman suhteellisen kosteuden tutkiminen lyhytkestoisella mittauksella. Vasemman puoleisessa kuvassa alapohjalaatan alaisen löyhän hiekkatäytön kosteusmittaus laatan ja täytön rajapinnasta. Oikean puoleisessa kuvassa rankarakenteisen, tiiliverhoillun ulkoseinän eristetilan kosteuden mittaus seinän alaosasta. Ulkoseinän mittaus tehtiin lämpimänä vuodenaikana, jolloin sisäilman ja rakenteen välisen lämpötilaeron vaikutus mittaukseen oli vähäinen. Kuvat: M. Pitkäranta, Vahanen Oy.

Rakenteen hetkellisillä kosteusmittauksilla sisätiloissa tasalämpöisissä rakenneosissa voidaan riittävän luotettavasti selvittää, onko rakenneosan kosteuspitoisuus poikkeavan korkea. Menetelmällä voidaan selvittää esimerkiksi väliseinärakenteen, kerroksellisen välipohjarakenteen täyttökerroksen, puukoolatun lattiarakenteen tai ulkoseinärakenteen lämmöneristekerroksen kosteuspitoisuutta. Ulkovaipparakenteen sisältä tehtävissä hetkellisissä kosteusmittauksissa tulee huomioida että mitattavan rakenteen ja sisäilman välinen lämpötilaero voi aiheuttaa tulokseen huomattavan mittavirheen (vrt. kohta 5.4.4).

3.4.3

Tarkat materiaalin kosteuspitoisuuden mittaukset

Materiaalin kosteuspitoisuuden määrittäminen painoprosentteina kuivatuspunnitusmenetelmällä

Kuivatus-punnitusmenetelmää käytetään, kun halutaan selvittää materiaalin kosteuspitoisuus painoprosentteina esimerkiksi betonista tai punatiilestä. Menetelmä on kuvattu standardissa *SFS-EN 1097-5* (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2008).

Menetelmällä voidaan materiaalin tasapainokosteuskäyrän avulla arvioida, onko rakenne kapillaarisella alueella. Menetelmää käytetään lähinnä laboratoriotutkimuksissa, sillä kuntotutkimuksissa on tarkoituksenmukaisempaa käyttää edellä esitettyjä, suhteellisen kosteuden mittaamenetelmiä (viilto-, porareikä- ja näytepalakosteusmittausmenetelmät), jotka soveltuvat hyvin kenttäkäyttöön. Materiaalin kosteuspitoisuus painoprosentteina voidaan määrittää kuivatus-punnitusmenetelmällä seuraavasti:

- otetaan näyte tutkittavasta materiaalista
- näyte säilytetään tiiviissä astiassa tai muovipussissa punnitukseen asti
- näyte punnitaan kosteana, m_{kostea}
- näyte kuivataan, + 105 °C:ssa vähintään vuorokauden ajan. Kidevedellisten materiaalien, esimerkiksi kipsin, kuivauslämpötila on usein + 40 °C. Kuivauslämpötila tulee valita materiaalikohtaisesti.
- näyte punnitaan kuivana, m_{kuiva}
- näytteen kosteuspitoisuus painoprosentteina, W , lasketaan kaavalla 3.1:

$$W = \frac{m_{\text{kostea}} - m_{\text{kuiva}}}{m_{\text{kuiva}}} \times 100 \text{ paino-\%} \quad [3.1]$$

Pienillä näytteillä säilytysastian vapaan ilmatilan tulee olla mahdollisimman pieni, jotta näytteen kosteuspitoisuus ei muutu kuljetuksen aikana. Yhden vuorokauden kuivausaika ei ole riittävä kaikille materiaaleille, esimerkiksi mineraalivilla kuivuu hitaasti. Riittävä kuivuminen voidaan varmistaa punnitsemalla näyte toistuvasti, kunnes painonmuutosta ei enää tapahdu.

3.4.4

Suuntaa antavat materiaalin kosteuspitoisuuden mittaukset

Materiaalin kosteuspitoisuuden määrittäminen painoprosentteina piikkimittarilla

Puun kosteuspitoisuutta voidaan mitata ns. piikkimittarilla, joka antaa mittaustuloksen painoprosentteina. Laitteen mittausalue valitaan mitattavan materiaalin tai puulajin mukaan. Kosteusmittarin toiminta perustuu kahden puuhun painettavan metallielektrodin välisen konduktanssin mittaamiseen (kuva 3.10). Kosteutta syvemmillä puumateriaalissa voidaan mitata ns. junta-anturilla, jonka elektrodien varret on eristetty ja mittaus tapahtuu haluttuun syvyyteen lyötyjen piikkien kärjistä. Mittauksessa on huomioitava, että tulos voi vaihdella riippuen siitä, onko metallielektrodit asennettu puun syiden suuntaisesti samaan syhyyn vai puun syiden vastaisesti. Myös mahdolliset kyllästysaineet tai puun suolapitoisuus vaikuttavat mittaustulokseen.

3.4.5

Kosteusmittausten dokumentointi ja tulosten luotettavuuden arviointi

Mittausten menetelmistä johtuen mittauskohtien määrä on rajallinen. Mittauskohtien valintaan vaikuttaa se, mitä mittauksella halutaan selvittää. Mittauspisteiden valinta tehdään perustellusti siten, että mukana on aina myös referenssimittaus oletetusta kuivasta kohdasta. Edellä mainittujen seikkojen huomioiminen on tärkeää arvioitaessa kuinka hyvin tehdyt mittaukset edustavat tilannetta koko rakenteessa ja minkälaisia johtopäätöksiä mittausten perusteella voidaan tehdä.



Kuva 3.10. Puun kosteusmittaus painoprosenteina voidaan tehdä helposti ns. piikkimittarilla. Vasemmalla olevassa kuvassa ikkunan karmipuun kosteuspitoisuus on mittarin mukaan alle 7 painoprosenttia, eli puu on kuivaa. Oikealla ulkoseinärakenteen koolauksen kosteuspitoisuus on noin 26 painoprosenttia, joten puu on selvästi märkää. Kuvat: M. Pitkäranta ja J. Sievola, Vahanen Oy.

Mittauksista laaditaan aina mittauspöytäkirja, jossa kuvataan käytetty mittausmenetelmä ja esitetään käytettyjen mittapäiden numerot, mittauspisteiden sijainnit, mittausvyvydet, mittauspisteiden teon ajankohta ja tasaantumisaika. Raportissa esitetään myös perustelut mittauskohtien valitsemiselle. Mittaustulosten luotettavuuden arvioimiseksi on tärkeää mitata jokaisen mittapisteen kohdalta huoneilman lämpötila ja suhteellinen kosteuspitoisuus ja tarvittaessa myös ulkolämpötila.

Suhteellisen kosteuden mittaus tulee tehdä siihen tarkoitetuilla mittalaitteilla. Mittalaitteiden kalibrointi tehdään säännöllisesti vähintään kerran vuodessa ja tarvittaessa useammin. Mittalaitteiden kalibrointi- ja tarkastusväli tulee suunnitella halutun mittaustarkkuuden ja mittapäiden käytön ja rasitusasteen mukaisesti.

Mittaustulosten analysoinnissa esitetään arvio mittausvirhettä aiheuttaneista tekijöistä ja mittavirheen suuruudesta. Mittausvirhettä suhteellisen kosteuden mittauksissa voivat aiheuttaa mittapäätyyppi, aika edellisestä kalibroinnista, mittauksen toteutustapa, mittausreiän puutteellinen puhdistus, mittausreiän putkitus, mittausputken tiivistys, mittapään tasaantumisaikan pituus, mittauspisteiden tasaantumisaika porauksesta, oikea mittausvyvyys, rakenteen poikkeava lämpötila sekä rakenteen ja yläpuolisen ilman välinen lämpötilaero. Siten rakenteiden kosteuden mittaajalta edellytetään perehtyneisyyttä rakennustekniikkaan ja mittausmenetelmien ja niihin liittyvien epävarmuustekijöiden tiedostamista ja huomioimista tulosten arvioinnissa. Täydennyskouluttautuneet kosteusmittaajat voivat osoittaa pätevyytensä VTT Expert Services Oy:n myöntämällä sertifikaatilla.

3.5

Rakenteiden tiiveyden ja epäpuhtauksien kulkeutumisen tutkiminen

Rakenteiden ilmatiiveyttä tutkitaan, koska rakenteissa ja maaperässä on epäpuhtauksia ja hajuja, jotka ilmavirtojen mukana huonetiloihin kulkeutuessaan voivat heikentää sisäilman laatua. Ilman virtausta rakennuksessa voidaan tutkia merkkisavulla, merkkiainetekniikalla, pintalämpötilan muutosmittauksilla sekä virtausnopeus- ja paine-eromittauksilla. Ilmavuotopaikkojen sijainnin arvioinnissa voidaan käyttää aistinvaraisen arvioinnin ja rakeneavauksista tehtävien havaintojen lisäksi merkkisavua, merkkiainetekniikkaa sekä lämpökameraa.

3.5.1

Rakennuksen painesuhteiden mittaus

Rakennuksen painesuhteiden mittaus on kuvattu ilmanvaihtojärjestelmän tutkimusten yhteydessä kappaleessa 5.5.

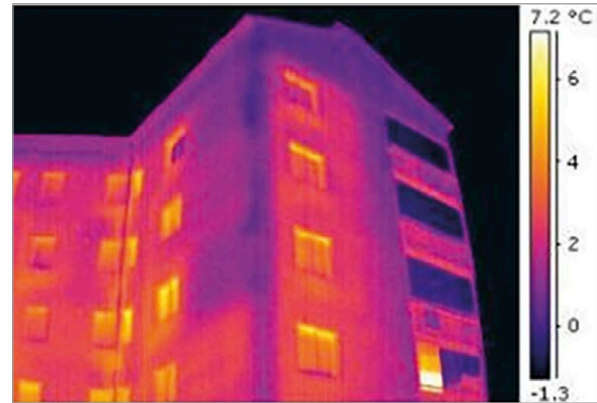
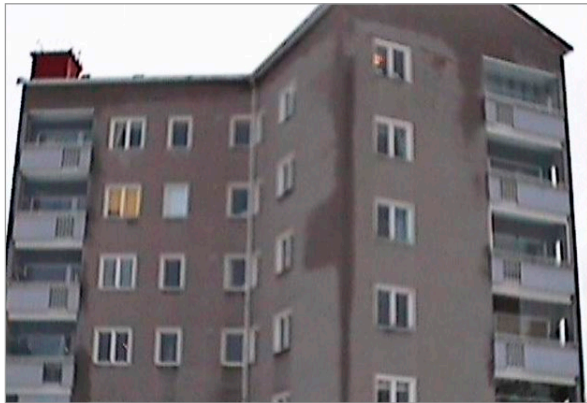
3.5.2

Lämpökuvaus

Lämpökuvausta voidaan käyttää kuntotutkimuksessa muiden tutkimusmenetelmien tukena ilmavuotokohtien paikannukseen (kuva 3.11). Tarkimmin ilmavuodot saadaan esiin ns. kaksivaiheisella lämpökuvauksella, jossa ensimmäinen kuvaus tehdään rakennuksen oltua useita tunteja



Kuva 3.11. Rakenteissa olevia ilmavuotokohtia voidaan paikantaa lämpökuvauksella. Ikkunarakenteen ja ulkoseinän vuotokohta havaittiin rakennuksen normaaleissa käyttöolosuhteissa, kuntotutkimuksen tukena lämpökameralla tehdyssä tarkastelussa. Lämpökuvauksista voidaan käyttää myös rakennuksen ulkopuolella, esimerkiksi lämmöneristyspuutteiden ja kosteuden toteamiseen (kuva 3.12). K. Laine, Vahanen Oy.



Kuva 3.12. Viistosateen aiheuttamaa lämpötila- ja kosteusvaihtelua rakennuksen julkisivulla. Lämpökuvissa näkyy havainnollisesti kuinka nurkka-alueet ja päädyt ovat muuta julkisivua kylmempiä alueita. Lisäksi yhden asunnon kohdalla on tehty lisälämmöneristys sisäpuolelta. Seinä ei kuivu enää yhtä nopeasti kuin eristämätön seinä. Kuvat: P. Räisänen, Vahanen Oy.

mahdollisimman tasapaineisena, ja toinen kuvaus rakennuksen ollessa voimakkaasti alipaineistettuna. Alipaineistuksen jälkeen ilmavuotokohdat tulevat esille laajenevina kylmempinä kohtina, ja erottuvat ensimmäisessä vaiheessa nähtävistä lämmöneristepuutteista ja kylmäsilloista. Yhdellä, rakennuksen normaaleissa käyttöolosuhteissa tehdyllä lämpökuvauksella ei yleensä voida tarkasti selvittää, onko kyse lämmöneristeiden puutteista vai ilmavuotokohdista. Kylmänä ajanjaksona tehtävässä mittauksessa lämpökameralla kuvataan rakennusta sisäpuolelta.

Lämpökuvauksen suoritus on esitetty ohjekortissa KH 24-00368. *Rakennuksen lämpökuvauks.* *Rakenteiden lämpötekniinen toimivuus, raportointi ja tilaaminen* (Rakennustietosäätiö RTS, 2005). Lämpökuvauksen

tekeminen edellyttää koulutusta ja ymmärrystä rakenteiden toiminnasta virhetulkintojen välttämiseksi. Täydennyskouluttautuneet lämpökamerakuvaajat voivat osoittaa pätevyytensä VTT Expert Services Oy:n myöntämällä sertifikaatilla.

3.5.3

Merkkiainetutkimukset

Merkkiainetekniikka mahdollistaa ilmavuotokohtien sijainnin tarkan määrittämisen, koska menetelmällä voidaan tutkia jatkuvana mittauksena merkkiaineen liikkumista ilmavirtausten mukana rakenteissa ja/tai eri tilojen välillä. Merkkiainekoeksessa lasketaan tarkasteltavan rakenteen sisälle merkkiainekaasua, josta kaasu pyrkii ilmavirtaus-



Kuva 3.13. Ilmavuotokohtien paikallistaminen merkkiainetekniikalla. Ulkoseinärakenteen sisälle on laskettu rakenteeseen poratusta reiästä merkkiainekaasua. Analysaattorilla kartoitetaan mahdolliset ilmavuotokohtat. Kuva: K. Laine, Vahanen Oy.

ten mukana alipaineisen huonetilan suuntaan. Huonetilassa merkkiainekaasu havaitaan ja vuotokohdat paikallistetaan merkkiaineanalysaattorilla. Tarkasteltavan huonetilan tulee olla tarkasteluhetkellä vähintään -5 Pa alipaineinen rakenteeseen nähden, jotta ilmavirtauksen ja merkkikaasun virtaussuunta on luotettavasti huonetilaan päin. Menetelmä on ohjeistettu tarkemmin RT-kortissa RT 14-11197. *Rakennusten ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein* (Rakennustietosäätiö RTS, 2015).

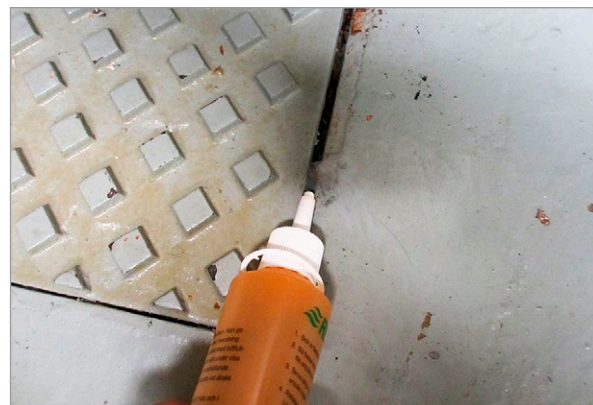
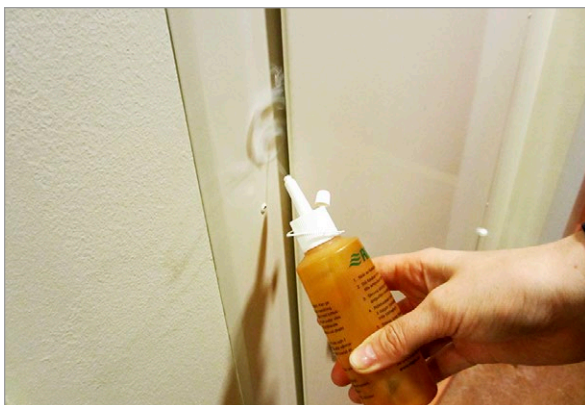
3.5.4

Merkki- ja puhdassavututkimukset

Merkkisavu on paksua valkoista savua, jonka avulla voidaan aistinvaraisen arvioinnin tukena määrittää ilmavuotokohtia ja tutkia ilmavirtauksen voimakkuutta ja suuntaa hetkellisesti. Kuvassa

3.14 on esimerkki pienen merkkisavun (savupullo tai -kynä) käytöstä ilmavirtauksen suunnan selvittämisessä. Merkkisavun virtaussuunnan perusteella kuvan huonetila on rakenteeseen verrattuna ylipaineinen, koska savu tunkeutuu rakenteeseen. Merkkisavu on yleensä rikkihappoa, joka muodostaa sisäilman kosteuden vaikutuksesta näkyvää "savua", jota käytetään pienialaisissa tutkimuksissa. Savu on voimakkaasti ihoa ja limakalvoja ärsyttävää mutta haitatonta ympäröivään ilmaan sekoituttuaan.

Ns. puhdassavua voidaan käyttää myös suurten tilojen ilmatiiveyden tutkimiseen. Esimerkiksi alapohja- tai välipohjarakenteen tiiveyttä voidaan tutkia savukokeen avulla, jossa tutkittavaan rakenteeseen lasketaan paksua, tiivistä savua savukoneen avulla. Tutkittava huonetila alipaineistetaan tarvittaessa ennen savun laskemista, jolloin savu



Kuva 3.14. Ilmavirtauksen suunnan ja voimakkuuden selvittäminen merkkisavulla. Kuvat: H. Tuovinen, Vahanen Oy.

pyrkii huonetilaan ilmavuotokohtien kautta. Tutkimus perustuu aistinvaraisesti tehtäviin havaintoihin. Jos ilmavuotokohdat ovat suuria, täyttyy tutkittava huoneterila nopeasti savusta, mikä haittaa tarkastelua. Jos ilmavuotopaikat ovat pieniä, ei savun kulkeutumista huonetilaan välttämättä nähdä. Puhdassavu on yleensä glykolipohjaista haitatonta "discosavua". Savukokeilla voidaan myös tutkia ilmanvaihdon toimivuutta, esimerkiksi tuloilman leviämistä huonetilaan. Tällöin savu syötetään tuoilmanakanavaan.

Savukokeiden aikana tulee kytkeä rakennuksen savuntunnistus- ja palohälytysjärjestelmä pois päältä, mikäli savua käytetään sellaisessa paikassa tai sellaisia määriä, että hälytyksen laukeaminen on mahdollista.

3.5.5

Vesitiiveyskokeet

Uima-altaiden vedenpitävyyttä testataan vesitiiveyskokeella, jossa allas lasketaan ääriään myöten täyteen vettä. Altaan pinta peitetään, jotta veden haihtuminen kokeen aikana on mahdollisimman vähäistä. Vesitiiveyskokeen kesto on kaksi viikkoa. Vuotokohdat paikallistetaan aistinvaraisesti, mikäli mahdollista. Vuotojen määrää arvioidaan myös altaassa kokeen lopussa olevan vesimäärän perusteella.

Vesikatolla ja terasseilla voidaan tarkastella kattokaivojen vedenpitävyyttä kokeella, jossa kattokaivoon lasketaan vettä ja vuotokohtia pyritään paikallistamaan sisätiloissa. Samalla menetelmällä voidaan pyrkiä havaitsemaan vuotokohtia myös vesi- ja viemäriputkiverkostossa. Vaurioherkkien tai heikosti kuivuvien rakenteiden kastelemista tulee luonnollisesti välttää.

3.5.6

Rakennusvaipan tiiveyden ja ilmanvuotoluvun q50 määrittäminen

Rakennusvaipan ilmanpitävyyttä voidaan arvioida erilaisten mittausten avulla. Energiatodistuksen laadintaa varten määritetään ilmanvuotoluku eli q50-luku. Mittaus tehdään 50 pascalin paine-erolla standardin *STS-EN 13829* (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2000), mukaan. Ilmanvuotoluku määritetään yleensä rakennuksen energiataodistuksen laadintaa varten. Tiiveysmittauksen yhteydessä voidaan tehdä lämpökuvaus

ilmavuotokohtien paikantamiseksi. Rakennusvaipan ilmatiiveydestä ei voida tehdä suoria johtopäätöksiä sisäilman laadusta tai rakennuksen terveydellisistä oloista.

3.6

Sisäilmaolosuhteiden ja sisäilman epäpuhtauksien mittaukset

Sisäilmatutkimuksia käytetään tarvittaessa kuntotutkimuksen apuvälineinä. Olosuhdemittauksilla ja sisäilmassa tai tilan pinnoilla esiintyvien epäpuhtauksien mittauksilla pyritään tunnistamaan sisäilman laatua heikentäviä tekijöitä. Pelkät sisäilmamittaukset (esimerkiksi sisäilman mikrobi- tai VOC-mittaukset) eivät yleensä riitä haittaa aiheuttavien olosuhteiden osoittamiseen tai poissulkemiseen. Tässä ja seuraavassa kappaleessa on kuvattu sisäilman fysikaalisten olosuhteiden, sekä erilaisten mikrobiologisten, hiukkasmaisten ja kemiallisten epäpuhtauksien mittausten menetelmiä.

Mittausten lisäksi tutkimuksissa kirjataan aistinvaraiset havainnot tilojen ilmanlaadusta, mm. selvät mikrobiperäiset ja muut poikkeavat hajut. Hajuhavainnot tehdään heti tilaan tullessa, sillä ihmisen hajuaisti turtuu yleensä nopeasti poikkeaviin hajuihin.

3.6.1

Sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila

Sisäilman kosteus ja lämpötila vaikuttavat sekä sisäympäristön koettuun viihtyisyyteen että rakenteiden fysikaaliseen toimintaan ja vaurioitumisriskiin. Sisäilmaolosuhteiden merkitystä rakenteiden toiminnan kannalta on tarkasteltu luvussa 5.

Sisäilman suhteellinen kosteus

Sisäilman suhteellinen kosteus (RH, relative humidity) määräytyy suurelta osin ulkoilman kosteuden mukaan, kun rakennuksessa ei ole kostutusta tai ilmastointia/jäähdytystä. Sisäilman kosteuteen vaikuttavat myös sisällä olevat kosteuslähteet kuten ihmiset ja erilaiset vedenkäyttöön liittyvät toiminnot. Asuinrakennuksissa kosteuslisä on merkittävästi suurempaa kuin toimistorakennuksissa. *Asumisterveysohjeen* (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2003) mukaan asunnon sisäilman kosteuden tulisi

olla 20–60 %, joskin talviaikana ilmankosteus on usein alle 20 % ulkoilman vähäisen kosteussisällön takia. Tällöin huoneilman kosteus saattaa laskea alle 10 %:in. Korkea lämpötila lisää tunnetta ilman kuivuudesta. Kuiva huoneilma saattaa itsessään aiheuttaa tiloissa oleskeleville ihon ja limakalvojen ärsytysoireita. Kuiva huoneilma myös herkistää muiden sisäilman epäpuhtauksien vaikutuksille. Korkea ilman suhteellinen kosteus aiheuttaa sinänsä harvoin terveystahaitta, mutta saattaa johtaa kosteuden tiivistymiseen pinnoille ja rakenteisiin, mistä puolestaan voi seurata mikrobivaurioita ja niiden aiheuttamia haittoja.

Sisäilman lämpötila

Lämpötila on tärkeä sisäilman viihtyvyys- ja terveellisyystekijä. Lämpövihtyvyydessä on yksilöllisiä eroja, mutta tyytyväisten osuuden on todettu olevan suurin kun lämpötila on noin + 21 °C. Sisäilman korkea lämpötila aiheuttaa tunkkaisen ilman ja ilmamäärän riittämättömyyden tunnetta. Koneellisessa tuloilmanvaihtojärjestelmässä liian korkea tuloilman lämpötila heikentää tuloilman sekoittumista ja jakautumista huonetilaan, mikä osaltaan antaa vaikutelman ilmamäärän riittämättömyydestä. Liian matala lämpötila ja vetoisuus aiheuttavat viihtyvyyshaittaa. Kylmän huoneilman tuntemukseen vaikuttavat myös kylmät pinnat ja vetoisuus (ilman liike).

Mittaukset

Rakennuksen lämpötilan ja ilmankosteuden mittaaminen on kuvattu standardissa *SFS-EN 12599* (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2015). Lisätietoa asuntojen lämpötila- ja kosteusmittauksen ohjeistoista ja mittauksesta on esitetty *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa* (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016).

Kuntotutkimusten yhteydessä on aina suositeltavaa mitata sisäilman lämpötila ja ilmankosteus. Mittaus tehdään oleskeluvyöhykkeeltä. Tarvittaessa valitaan lisäksi muita mittaushetkiä siten, että saadaan selville tarkasteltavaan rakenteeseen kohdistuva rasitus. Esimerkiksi, jos mitataan yläpohjaan kohdistuvia kosteusrasituksia, sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus mitataan rakennuksen ylimmän kerroksen huonetilan yläosasta.

Mittaus tehdään mieluiten noin 1–2 viikon pitkäaikaisseurantana. Samalla mitataan ulkoilman

lämpötila ja ilmankosteus mittaajajaksolla. Lisäksi tulosten tarkastelun tueksi voidaan käyttää seuranta-asetelmilta saatuja ulkoilman säätietoja, mikäli niitä ei ole tutkimuksen yhteydessä erikseen mitattu.

Tulosten tulkinta

Asuntojen lämpöolosuhteiden toimenpiderajat on esitetty *asumisterveysasetuksessa* (STMa 545/2015). Lämmityskaudella toimenpiderajat ovat + 18 ja + 26 °C ja lämmityskauden ulkopuolella + 18 ja + 32 °C. Toimistotyyppisten työympäristöjen lämpöolosuhteiden arvioinnissa voidaan käyttää *Sisäilmastoluokitus 2008* tavoitearvoja (Työterveyslaitos, 2014).

Suhteellisen kosteuden ja lämpötilan perusteella lasketaan ilman kosteussisältö (g/m^3). Sisä- ja ulkoilman kosteussisältöjen erotuksena saadaan sisäilman kosteuslisä. Kosteuslisä on tyypillisesti asuinhuoneistoissa n. 1–3 g/m^3 ja toimistohuoneissa n. < 2 g/m^3 . Suunnittelun mitoitusarvona asuin- ja toimistorakennuksissa käytetään kosteuslisää 5 g/m^3 , jolla saadaan mitoituslaskelmaan varmuutta.

Kosteusmittauksen perusteella voidaan arvioida ilmanvaihdon riittävyttä rakenteiden toiminnan kannalta tiloissa, joissa kosteustuotto on suurta, esim. märkätilat ja ryömintätilat, sekä ilmankosteuden aiheuttamia riskejä rakenteille. Lämpötilamittauksen tuloksen perusteella voidaan arvioida lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän toimivuutta ja täyttävätkö lämpöolosuhteet tilalle asetetut vaatimukset.

3.6.2

Sisäilman hiilidioksidipitoisuus

Sisäilman hiilidioksidipitoisuus (CO_2) kuvaa tilan käytön aikaista ilmanvaihdon riittävyttä. Sisäilman hiilidioksidi on peräisin ulkoilmasta ja tilan käyttäjistä. Sisäilman hiilidioksidipitoisuus vaihtelee voimakkaasti tilan käyttöasteen mukaan. Luonnossa ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on noin 400 ppm, kaupunkialueilla jonkin verran korkeampi.

Mittaukset

Hiilidioksidimittaus voidaan tehdä lyhytaikaisena mittauksena edustavassa tilanteessa (esimerkiksi luokkatilassa tavanomaisessa käyttötilanteessa käyttöjakson loppupuolella, jolloin pitoisuudet ovat todennäköisimmin korkeimmillaan) tai pit-

käaikaisena seurantamittauksena, jolla saadaan luotettavampi tieto pitoisuuksien vaihtelusta ja kokonaiskuva ilmanvaihdon riittävydestä. Asunnoissa hiilidioksidipitoisuus kohoaa yleensä korkeimmilleen makuuhuoneessa yön aikana, joten seurantamittaus on suositeltavin mittaustapa.

Hiilidioksidimittari tulee sijoittaa oleskeluvyöhykkeelle sellaiseen paikkaan, ettei se ole suoraan uloshengitysilmän tai tuloilmapuhalluksen vaikutusalueella.

Tulosten tulkinta

Kohonnut hiilidioksidipitoisuus kuvaa riittämätöntä ilmanvaihtoa. Asuntojen hiilidioksidipitoisuuden toimenpideraja on esitetty *asumisterveysasetuksessa* (STMa 545/2015). Toimenpideraja ylittyy jos pitoisuus on 1 150 ppm suurempi kuin ulkoilman pitoisuus, eli esimerkiksi > 1 500 ppm ulkoilmapitoisuuden ollessa 450 ppm. *Sisäilmastoluokitus 2008:n* mukaiset enimmäisarvot hiilidioksidille ovat S1 750 ppm, S2 900 ppm ja S3 1 200 ppm. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 (RakMK D2-2012) mukainen suunnittelun ohjearvo on < 1 200 ppm. Korkea hiilidioksidipitoisuus voi aiheuttaa huoneilman tunkkaisuutta ja ääritapauksissa väsymystä tai päänsärkyä. Riittämätön ilmanvaihto saattaa aiheuttaa paitsi hiilidioksidin, myös muiden, mahdollisesti haitallisten epäpuhtauksien kertymistä sisäilmaan. Korkea hiilidioksidipitoisuus korreloi hyvin myös muiden ihmisperäisten päästöjen määrän ja käyttäjien sisäilmaan tuottaman kosteuslisän kanssa.

3.6.3

Sisäilman mikrobit

Käyttö

Sisäilman mikrobipitoisuudet vaihtelevat usein voimakkaasti ja virhelähteitä on paljon. Yksinomaan sisäilmanäytteiden perusteella ei voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä mikrobivaurioiden esiintymisestä tai rakennuksen terveydellisistä olosuhteista.

Sisäilman mikrobinäytteiden avulla voidaan joissain tapauksissa todeta rakennuksessa mahdollisesti esiintyvä epätavanomainen mikrobilähde ja

auttaa paikantamaan se tiettyyn rakennusosaan. Menetelmä ei kuitenkaan ole kovin luotettava, sillä se kuvaa vain ilman hetkellistä mikrobipitoisuutta näytteenkeräysaikana, ja pitoisuuksien tiedetään vaihtelevan voimakkaasti. Rakenteissa oleva mikrobivaurio ei aina tule esiin ilmanäytteiden tuloksissa. Siksi yksinomaan ilmanäytteiden perusteella ei voida tehdä johtopäätöksiä mikrobivaurioiden esiintymisestä tai rakennuksen terveydellisistä olosuhteista. *Asumisterveysasetuksen* (STMa 454/2015) 20 §:n mukaan mikrobihaitta voidaan todeta 6-vaiheimpaktorilla otetun ilmanäytteen analyysillä, mutta tällöin tarvitaan myös muuta näyttöä toimenpiderajan ylittymisestä, ts. sisäilmayhteydessä olevien mikrobikasvustojen olemassaolosta.

Ilmanäytteenottoa voidaan käyttää, jos rakennus- ja ilmanvaihtoteknisten selvitysten avulla ei pystytä paikallistamaan sisäilmaan liittyviä ongelmia ja mahdollisen mikrobivaurion olemassaolosta halutaan lisänäyttöä. Ilmanäytteillä voidaan toisinaan myös todentaa muista tiloista, esim. kellarista tai ryömintätilasta, oleskelutiloihin kulkeutuvaa mikrobikontaminaatiota tai määrittää rakennuksessa esiintyvää mikrobilajistoa.

Ilmanäytteenottoa on mahdollista käyttää myös korjausten vaikutuksen seurannassa. Sisäilmanäytteet eivät ole tähän ensisijainen menetelmä, vaan niitä käytetään vain tarvittaessa, muiden tarkastelujen tukena. Tämä edellyttää rakennuksen kokoon nähden riittävää näyttemäärää ja näytteenoton toistoa vastaavana ajankohtana ja käyttötilanteessa ennen korjauksia ja korjausten jälkeen. Virheellisten tulosten välttämiseksi korjausten jälkeen tulee tehdä huolellinen siivous ns. homepölysiivouksen periaattein. Siivouksen jälkeen tulee odottaa vähintään 1–2 kuukautta ennen kuin mittaukset tehdään. Korjausten jälkeen virheellisen tuloksen saattaa aiheuttaa purkutyössä sisäilmaan ja pinnoille kertyneen mikrobipitoisen pölyn puutteellinen siivous (väärä positiivinen tulos) tai mittaus liian pian huolellisen siivouksen jälkeen, jolloin mahdollisesti rakenteisiin jääneet vauriot eivät vielä ole ehtineet vaikuttaa sisäilmaan (väärä negatiivinen tulos). Homepölysiivousohjeet on esitetty julkaisussa *Ohje siivoukseen ja irtaimiston puhdistukseen kosteus- ja homevauriokorjausten jälkeen* (Työterveyslaitos, 2016b).

Sisäilman mikrobinäytteet suositellaan otettavaksi talviaikana, jolloin ulkoilman sieni-itiö- ja sädesienipitoisuudet ovat pienimmillään ja niiden

vaikutus sisäilmaan on vähäisin. Mikäli näytteitä joudutaan ottamaan talvikauden ulkopuolella, tai sää on näytteenottoaikana leuto (lämpötila - 2 ... 0 °C tai enemmän), tulee poikkeuksetta ottaa vähintään yksi ulkoilman vertailunäyte. Mikäli sisäilmanäytteitä otetaan useina päivinä, tulee myös ulkoilmanäyte ottaa jokaisena näytteenottopäivänä.

Menetelmät

Sisäilman mikrobinäytteiden ottoon suositellaan 6-vaiheimpaktoria eli ns. Andersen-keräintä. Keräimen käyttäjällä tulee olla koulutus välineistön oikeaan käyttöön ja ylläpitoon. Näytteet otetaan tilojen ollessa normaalissa käytössä.

Toimistoympäristöissä mikrobipitoisuuksia voidaan arvioida myös kahden viikon laskeutuneen pölyn mikrobiviljelyllä. Terveysturvallisuuden varmistamiseksi käyttöön suositellut mikrobiologiset näytteenottomenetelmät kuvattu tarkemmin *asumisterveysasetuksessa* (STMa 545/2015) ja *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa* (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016).

Tulosten tulkinta

Sisäilman mikrobipitoisuudet vaihtelevat suuresti sekä ajallisesti että paikallisesti niin kosteusvaurio- kuin vertailurakennuksissakin. Tavanomaisen pitoisuuden ja lajiston erottaminen poikkeavasta ei aina ole mahdollista. Tulosten tulkitseminen edellyttää hyvää menetelmien tuntemusta ja perehtyneisyyttä näytteenottoon ja tuloksiin vaikuttaviin ulkoisiin tekijöihin. Tulkinta perustuu sekä pitoisuustason että näytteissä esiintyvän lajiston tarkasteluun. Sisäilman mikrobipitoisuudet saattavat olla pieniä, vaikka rakennuksessa on jopa näkyvää

mikrobikasvustoa, joten pieni sisäilman mikrobipitoisuus ei sulje pois mikrobilähteen olemassaoloa.

Asunnoille, kouluille ja toimistoille on erilliset ohjeet sisäilman mikrobien tutkimiseksi ja viitearvot tulosten tulkintaan.

Talviaikana mitattuja sisäilman mikrobipitoisuuksia verrataan asuntojen ja koulujen osalta *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa* (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016) esitettyihin viitearvoihin, sekä toimistotilojen osalta Työterveyslaitoksen julkaisussa *Toimiston sisäilman tutkiminen* (Salonen H. ym., 2011) esitettyihin viitearvoihin. Viitearvot ovat menetelmäkohtaisia, eli ne pätevät vain sille näytteenotto- ja analyysimenetelmälle, jolle ne on asetettu. Kuntotutkijan tulee perehtyä huolellisesti em. ohjeisiin ennen sisäilmanäytteiden ottoa. Yhteenveto ohjeiden viitearvoista on esitetty taulukossa 3.2. Näytteenottoa ns. sulan maan aikana eli kun maa ei ole jäässä tai lumipeitteessä ei suositella. Sulanmaan aikana otettujen näytteiden tulkintaa on kuvattu tarkemmin edellä mainituissa julkaisuissa.

Ohjeet koulurakennusten sisäilman mikrobinäytteiden tulkintaan koskevat kivirakenteisia kouluja. Puurakenteisten koulujen tutkimuksissa ei suositella käytettävän sisäilmanäytteitä, sillä niissä sisäilman mikrobipitoisuudet voivat olla tavanomaisessakin tilanteessa suuria taustatekijöistä (esim. luonnonmateriaalit eristeinä) johtuen eikä mikrobiongelmaisista kouluista voida siten välttämättä erottaa vauriottomista koulurakennuksista. Suositeltavaa on tutkia keskikokoisessa koulussa noin 10–12 kpl näytemäärä. Tällöin vaurioihin

Taulukko 3.2. Sisäilman tavanomaisten mikrobipitoisuuksien viitearvot 6-vaihekeräimellä talvikaudella otetuille näytteille.

Rakennustyyppi	Mikrobiryhmä		
	Home- ja hiivasienet pmy/m ³	Sädesienet pmy/m ³	Mesofiiliset bakteerit pmy/m ³
Asunnot ¹⁾	100 / 500 ²⁾	10	4 500 ³⁾
Kivirakenteiset koulut ⁴⁾	50	10	4 500 ⁵⁾
Toimistot	50	5	600

1) Vain taajamissa sijaitsevat asunnot, 2) viitearvo 100 pmy/m³ mikäli lajistossa on poikkeavia pitoisuuksia kosteusvaurioindikaattorimikrobeja, muutoin 500 pmy/m³, 3) viitearvon ylittävä pitoisuus viittaa riittämättömään ilmanvaihtoon tai kosteusvaurioihin, 4) kouluja tutkittaessa suositellaan myös näytteiden ja niiden mediaanipitoisuuksien tarkastelua kokonaisuutena, 5) viitearvon ylittävä pitoisuus viittaa yleensä riittämättömään ilmanvaihtoon.

viittaa useissa näytteissä todettu kohonnut, yli 50 pmy/m³ sieni-itiöpitoisuus, mediaanipitoisuus yli 20 pmy/m³ ja puhtaiden, "nollatuloksen" antavien näytteiden puuttuminen. Koulurakennusten sisäilman mikrobiutkimuksia on ohjeistettu tarkemmin Kansanterveyslaitoksen (nyk. THL) julkaisussa *Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot – Opas ongelmien selvittämiseen* (Meklin T., ym., 2007).

Kaikissa rakennustyypeissä sisäilman mikrobinäytteen tulkinnaissa tarkastellaan pitoisuuden lisäksi näytteiden lajistoa. Ns. kosteusvaurioindikaattorimikrobien esiintyminen yksittäispesäkkeitä suurempina määrinä, tai saman kosteusvaurioindikaattorimikrobin esiintyminen yksittäispesäkkeinä toistuvasti useissa näytteissä tai useina peräkkäisinä mittauskertoina viittaavat poikkeavaan mikrobilähteeseen niin kouluissa, kodeissa kuin toimistorakennuksissa. Indikaattorimikrobien esiintyminen tietyssä tilassa voi antaa myös viitteitä vaurion sijainnista. Asunnoille ja kouluille sovellettava indikaattorimikrobilista on esitetty *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa* (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016). Työterveyslaitos on julkaissut toimistoympäristöille tarkoitetun indikaattorimikrobilistan (Reiman M., ym., 2005).

Tulosten tulkinnaissa pitää ottaa huomioon normaalien mikrobilähteiden, mm. ulkoilman, elintarvikkeiden ja tilan irtaimiston ja yleisen siisteystason ja toiminnan vaikutus sisäilman mikrobitasoihin ja -suvustoon. Mm. yksittäisten kosteusvaurioon viittaavien mikrobien esiintyminen pieninä pitoisuuksina on normaalia. Kokemusperäisesti on havaittu, että esimerkiksi koulujen käytäviltä otetuissa mikrobinäytteissä todetaan useammin kohonneita sieni-itiöpitoisuuksia ja kosteusvaurioindikaattorimikrobilöydöksiä kuin luokkatiloista otetuissa näytteissä. Tähän on syynä oppilaiden toistuva liikkuminen ulkoa sisälle ja ulkovaatteiden säilytys käytävillä. Kokenut näytteenottaja valitsee tutkittavat tilat ja kontrolloi ns. normaalilähteiden vaikutuksen ennen näytteenottoa niin, että ne eivät vaikuta tuloksiin.

Sisäilman mikrobeille on paljon erilaisia lähteitä rakennuksen sisällä ja ulkona. Sisäilmanäytteessä todetun poikkeavan löydöksen syy saattaa siis olla muukin kuin rakenteen mikrobivaurio.

Poikkeava mikrobilöydös edellyttää jatkotutkimuksia mikrobilähteen paikallistamiseksi. Käytetyt viitearvot eivät ole terveysperusteisia, eikä pelkän sisäilman mikrobianalyysin perusteella yleensä voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä rakennuksessa esiintyvistä mikrobivauriosta tai poissulkea haitallisen mikrobiperäisen altistumisen mahdollisuutta. Riskinarvioinnissa ja johtopäätöksissä arvioidaan tilanne kokonaisvaltaisesti: rakennus- ja talotekniset tulokset sekä muut sisäilmastaselvitysten tulokset (ml. epäpuhtauksille altistumisen määrä ja todennäköisyys), sekä mahdollisesti käyttäjien kokemukset ja toimintatavat sisäilmastoasioihin liittyen.

3.6.4

Hiukkaset, pölyt ja kuidut

Sisäilmassa saattaa esiintyä haitallisia määriä eräitä hiukkasia, pölyjä ja kuituja. Tällaisia ovat esimerkiksi rakennusmateriaaleista peräsin oleva sementti-/betonipöly, kipsipöly, ja lämmön- ja ääneneneristeistä peräsin olevat teolliset mineraalivillakuidut sekä ulkoilmasta kulkeutunut katupöly. Edellä mainitut esiintyvät pääosin karkeassa ja ns. hengitettävässä hiukkaskokoluokassa (PM₁₀). Lisäksi hengitysilmassa on ns. pienhiukkasia (PM_{2,5}), joiden tärkeimmät lähteet ovat rakennusten ulkopuolisia (liikenne, energiantuotanto, paikallisesti puun pienpoltto).

Betonipöly on hyvin alkalista ja limakalvoja ärsyttävää. Pölyä saattaa levitä tiloihin korjaus- ja rakennustöistä, tai pinnoittamattomilta, rasitetuilta betonipinnoilta. Betonipöly sisältää kvartsipölyä, joka pitkäaikaisessa altistuksessa lisää keuhkosairauksien riskiä. Mineraalivillakuidut voivat olla peräsin lasi-, vuori- tai jätelasivillamateriaaleista. Lähteitä ovat mm. ilmanvaihtojärjestelmän äänenvaimentimet (koneet, kanavat, pääte-elimet) ja ilmansuodattimet, pinnoittamattomat tai rikkoutuneet akustointilevyt, ja rakenteissa äänen-, palo- ja lämmöneristeenä käytetty mineraalivilla. Kuituja irtoaa materiaaleista erityisesti niiden ikääntyessä ja haurastuessa, ja mekaanisen rasituksen, ilmavirtauksen tai värinän irrottamina. Kuidut ovat halkaisijaltaan alle 3 µm:stä noin 8 µm:iin. Mineraalivillakuidut aiheuttavat ihon, silmien ja limakalvojen ärsytysoireita. Kuitujen ärsyttämät limakalvot saattavat myös olla alttiimpia erilaisille virus- ja bakteeri-infektioille.

Myös puupöly ja muut orgaaniset materiaalipölyt (esimerkiksi sellu- eli puukuituvilla) saattavat runsaana esiintyessään aiheuttaa ärsytysoireita.

Katupölyä kulkeutuu sisätiloihin vilkasliikenteillä alueilla mm. ikkunatuuletuksen seurauksena, epätiivien ikkunoiden ja ilmanvaihtolaitteiston ohivuotojen kautta sekä kengissä ja vaatteissa. Rakennuksen lähellä olevat rakennus- ja maansiirto-työmaat voivat olla merkittäviä ohimeneviä pölyn lähteitä.

Erilaisia pölyjä ja hiukkasia voidaan tutkia selvittämällä laskeutuneen pölyn koostumus elektronimikroskooppisesti ja alkuaineanalyyysillä. Mineraalivillakuitujen määrä voidaan tutkia ilmasta suodatinnäytteellä tai pölylaskeumanäytteestä ns. geeliteippinäytteellä. Hiukkaspitoisuuksia tutkitaan hiukkaskeräimillä tai -mittareilla.

Laskeutuneen pölyn koostumuksen määrittäminen

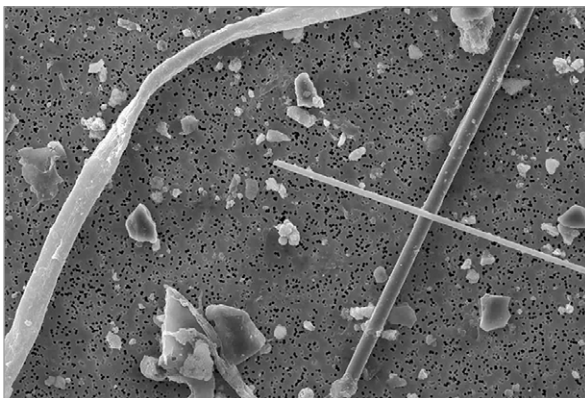
Pinnoille laskeutuneen pölyn koostumus voidaan analysoida semikvantitatiivisesti pinnoilta kerätystä pölynäytteestä. Näyte kerätään säännöllisesti siivotuilta pinnoilta. Vaikeasti tavoitettavia pintoja, joissa pöly saattaa olla vuosia vanhaa, tulee välttää. Tutkittavaa pintaa pyyhitään nurinpäin käännetyllä uudelleensuljettavalla muovipussilla (Minigrip tms.), jolloin muovin sähköisyys kerää pölyhiukkaset talteen. Pussi käännetään oikeinpäin ja suljetaan huolellisesti. Pussin sisältämä pöly analysoidaan erikoistuneessa analyysilaboratoriossa elektronimikroskooppilla ja siihen kytketyllä alkuaineanalyyssattorilla (SEM/EDS). Menetelmällä voidaan erottaa tavanomaisen huonepölyn

komponenteista, kuten hilseestä, paperi- ja tekstiilipölystä poikkeavat kuidut ja hiukkaset, mm. asbestikuidut, lasi- ja vuorivillakuidut, erilaiset rakennusmateriaalipölyt sekä homeitiöt (kuva 3.15). Tulos on semikvantitatiivinen, ja tulkinta perustuu eri tiloista kerättyjen näytteiden vertailuun ja poikkeavien hiukkasten toteamiseen. Poikkeavien hiukkasten lähteen toteamiseksi on suositeltavaa ottaa näytteet sekä tilan tasopinnoilta että saman tilan tuloilmakanavasta.

Tutkiva laboratorio raportoi näytteen hiukkaskoostumuksen hiukkastyypeittäin. Hiukkasista raportoidaan semikvantitatiivisesti vähintään mineraalivillakuidut, homeitiöt, rakennusmateriaaliperäiset hiukkaset sekä muu mahdollinen poikkeavuus ja tavanomainen huonepöly. Asbestikuidut raportoidaan laadullisesti (löytyy / ei löydy).

Pölyn määrä

Pinnoille kerääntyneen pölyn määrä voidaan mitata standardin *INSTA 800:2010* (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2012) mukaisesti (standardi *INSTA 800:2010* on julkaistu suomeksi tunnuksella *SFS 5994*). Standardin mukainen mittaus tehdään tutkimalla pinnalle painettavaan ns. geeliteippiin tarttuneen pölyn määrä optisella lukulaitteella. Tulosten tulkinnessa voidaan soveltaa *Sisäilmastoluokitus 2008:n* (Sisäilmayhdistys ry, 2008) rakennustöiden puhtausluokituksen luokan P1 vaatimuksia pintojen sallituista pölykertymistä ja standardin *INSTA 800:2010* (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2012) ohjeistusta laatutasoittain luokitelluista pölykertymisen määristä.



Kuva 3.15. Vasen kuva: huonepölyä elektronimikroskooppilla tarkasteltuna. Oikeanpuoleisessa kuvassa silmännähtävää pölykertymää alakattotilan pinnoilla. Kuvat: J. Sääntti ja M. Pitkäranta, Vahanen Oy.

Sisäilman hiukkaspitoisuuksien mittaus

Sisäilman hiukkaspitoisuutta arvioidaan mittaamalla hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) ja/tai pienhiukkasten (PM_{2,5}) pitoisuutta. Hiukkasten pitoisuus voidaan määrittää *Asumisterveysohjeen* (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2003) mukaisesti joko massana tai lukumääränä ilmatilavuutta kohden, joskin esimerkiksi asuintiloille sovellettavat viitearvot on annettu hiukkasten massapitoisuudelle.

Asumisterveysohjeen (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2003) mukaisesti PM₁₀-pitoisuus mitataan standardin *SFS-EN 12341* (Suomen Standardisointiliitto SFS ry, 2014a) mukaisella tai vastaavalla keräimellä. Massapitoisuutena analysoitu hiukkasmittaus tulos ilmoitetaan yksikössä µg/m³. *Asumisterveysasetuksen* (STMa 454/2015) ja *Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2* (RakMK D2-2012) mukainen enimmäispitoisuus PM₁₀-hiukkasille on 50 µg/m³ ja PM_{2,5}-hiukkasille 25 µg/m³ (24 tunnin mittaus).

Teollisten mineraalivillakuitujen määrittäminen pinnoilta

Sisäympäristössä esiintyvien mineraalivillakuitujen määrä voidaan arvioida ns. geeliteippimenetelmällä, jossa tutkittavaan tilaan jätetään vaakapinnalle puhdas petrimaljan pohjaosa, joka pidetään paikallaan koskemattomana kahden viikon ajan. Kahden viikon kuluttua maljalle painetaan tiiviisti kiinni ns. geeliteippi tartuntapinta alaspäin, malja suljetaan ja lähetetään analyysiin. Menetelmä on kuvattu RT-kortissa *RT 20-11160. Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet* (Rakennustietosäätiö RTS, 2014b). Tulosten tulokinnassa voidaan soveltaa *Sisäilmastoluokitus 2008:n* (Sisäilmayhdistys ry, 2008) rakennustöiden puhtausluokituksen luokan P1 vaatimuksia pintojen sallituista pölykertymistä ja standardin *INSTA 800:2010* (Suomen Standardisointiliitto SFS ry, 2012) ohjeistusta laatutasoittain luokitelluista pölykertymisen määristä.

Vaihtoehtoisesti tasopinnalta rajataan n. 100 cm² alue, joka puhdistetaan liasta ja pölystä. Pölyn annetaan laskeutua tasolle häiriöttä kahden viikon ajan, jonka jälkeen pinnalle laskeutunut hiukkassaines kerätään painamalla pintaan tiukasti kiinni geeliteippi. Teippi siirretään petrimaljalle tartuntapinta ylöspäin, malja suljetaan ja lähetetään analysoitavaksi laboratorioon. Laboratoriossa geeliteippinäytteistä lasketaan valomikroskoop-

piä käyttäen yli 20 mikrometrin pituiset teolliset mineraalikulidut.

Kuitulaskeuma-analyysin tulos ilmoitetaan yksikössä kpl kuitua/cm². Alin ilmoitettava pitoisuus on yleensä 0,1 kuitua/cm². *Asumisterveysasetuksen* (STMa 545/2015) mukainen toimenpideraja kahden viikon kuitulaskeumalle on 0,2 kuitua/cm². Työterveyslaitoksen käyttämä toimenpideraja kahden viikon kuitulaskeumalle toimistoympäristöissä on niin ikään 0,2 kuitua/cm² (Työterveyslaitos, 2014). Ohjearvot ylittävissä pitoisuuksissa tulee selvittää kuitulähteet ja mahdollisuudet niiden vähentämiseen. Tuloilmajärjestelmän toimimista kuitulähteenä voidaan arvioida ottamalla näytteitä tuloilmakanavan pinnalta tai suodatinnäytteellä tuloilmasta (Kovanen K. ym., 2006, Työterveyslaitos, 2016c).

3.7

Kemiallisten epäpuhtauksien tutkimukset

Sisäilmaongelmaisessa rakennuksessa kemiallisia epäpuhtauksia mitataan mm. poikkeavien materiaaliipäästöjen tunnistamiseksi. Sisäilmahaittoja voivat aiheuttaa haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC), sekä eräät muut haihtuvat tai puolihaihtuvat yhdisteet tai perinteisesti ns. haitta-aineina tunnetut kaasut ja hiukkasmaiset yhdisteet ja materiaalit.

3.7.1

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli VOC-yhdisteet (volatile organic compounds) käsittävät ne haihtuvat orgaaniset yhdisteet, joiden kiehumispiste on alueella 50–260 °C ja joiden höyrynpaine lämpötilassa 20 °C on 0,01 kPa tai enemmän. TVOC (total VOC) tarkoittaa VOC-yhdisteiden yhteispitoisuutta. Erittäin haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli VVOC-yhdisteet (very volatile organic compounds) käsittävät ne haihtuvat orgaaniset yhdisteet, joiden kiehumispiste on välillä 0–50 °C ja höyrynpaine lämpötilassa 20 °C on yli 15 kPa. Puolihaihtuvat orgaaniset yhdisteet eli SVOC-yhdisteet (semi volatile organic compounds) käsittävät ne puolihaihtuvat orgaaniset yhdisteet, joiden kiehumispiste on välillä 240–400 °C ja höyrynpaine on yli 10⁻²...10⁻⁸ kPa.

VOC-yhdisteiden lähteitä ovat mm. rakennusmateriaalit, kalusteet, puhdistusaineet ja kosmetiikka.

VOC-yhdisteet ovat yleensä osa normaalia elinym-
päristöä. Niitä haihtuu sisäilmaan tyypillisesti mm.
rakennusmateriaaleista, rakennuksen toiminnasta,
kalusteista ja muusta irtaimistosta sekä tilojen käyt-
täjistä. Vaurioitumattomista materiaaleista haihtuu
sisäilmaan normaalitilanteessa emissioita, ns. pri-
määriemissioita, jotka voivat olla joskus suuriakin,
erityisesti uusista materiaaleista. Käytön aikana tai
vauriotapauksissa materiaalit saattavat myös hajo-
ta kemiallisesti, jolloin niistä vapautuvia emissioita
kutsutaan sekundääriemissioiksi. VOC-yhdisteitä
saattaa emittoitua myös haitta-ainepitoisista ma-
teriaaleista. Tällaisia ovat mm. valuasfaltit sekä
öljyillä pilaantuneet rakennusmateriaalit.

**Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden sisäilma-
näytteitä kerätään, jos tutkimuskohteessa on
syytä epäillä tavanomaisesta poikkeavia VOC-
yhdistemääriä haihtuvan tai kulkeutuvan sisä-
ilmaan.**

Mikrobien tuottamia haihtuvia orgaanisia yhdis-
teitä kutsutaan MVOC:eiksi (microbial volatile
organic compounds). MVOC:ien käyttöä mikro-
bivaurioiden indikaattoreina on tutkittu paljon.
Tällä hetkellä MVOC:ien mittauksella ei katsota
saatavan luotettavaa tietoa mikrobivaurioiden
olemassaolosta. Syynä on mm. useiden MVOC-
yhdisteiden emittoituminen vaurioitumattomista
materiaaleista sekä mikrobien tuottamien yhdistei-
den pienet pitoisuudet sisäilmassa. (Korpi A. 2001,
Korpi A. ym., 2006, Schleibinger H. ym., 2008)

**Mikrobi-VOC-mittauksia (MVOC) ei voida
tämänhetkisen tiedon valossa käyttää mikro-
biongelmiä tunnistamisessa.**

Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä voidaan tutkia il-
masta, materiaalin pintaemissioina (tai materiaalin
läpi diffundoituvina) tai materiaaleista irrotetuista
näytepalloista (ns. bulk-näytteet). Poikkeavien ha-

jujen lähteiden paikantamisessa ja poikkeavien ma-
teriaaliemissioiden toteamisessa ensisijaisia mene-
telmiä ovat tutkittavien tilojen sisäilman ja materi-
aalien aistinvarainen arviointi sekä kosteustekniset
tutkimukset. Näiden tukena tehdään tarvittaessa
sisäilman VOC-näytteenottoja ja/tai muita sisäil-
mamittauksia. Pintojen ja materiaalinäytepallojen
emissiomittauksia tehdään tarvittaessa poikke-
vien emissioiden vahvistamiseksi tai poissulkemi-
seksi. Ennen tutkimusten ja selvitysten aloittamista
on tärkeä miettiä, mitä on tarkoitus tutkia, jotta voi-
daan valita oikeat mittaus- ja analyysimenetelmät.
Mittausmenetelmää ei ole perusteltua valita halvan
hinnan ja/tai menetelmän helpon suorittamisen
perusteella, vaan valinnassa on aina tärkeintä se,
että saadaan käyttökelpoista tietoa ja tulkittavissa
olevia mittaustuloksia. Mittausten määrä on ra-
jallinen ja laaditun tutkimussuunnitelman avulla
pitää aina pystyä perustelemaan mitä aluetta tulos
edustaa ja miksi näytteet otetaan. Tarkemmat mit-
tausmenetelmäkohtaiset näytteenotto-ohjeet tulee
pyytää analysoivasta laboratorion ennen näyttei-
den ottamista. Näytteenottoa suunniteltaessa on
huomioitava, että analyysitulokset kuvaavat ilman laatua
tai emissioiden määrää vain näytteenkeräysaikana
ja sen hetkissä olosuhteissa.

VOC-mittausten tarpeellisuuteen, näytemää-
riin ja näytteenottoaikojen valintaan vaikutta-
vat mahdolliset ongelmaepäilyt, tilan käyttäjien
kokemat oireet, rakenteista tehtävät havainnot,
kosteusmittaustulokset sekä aistinvaraiset havain-
not. Jos rakenteissa tai kosteuspitoisuuksissa ei
todeta käytännössä mitään vaihtelua, tulee VOC-
mittauskohdat valita kosteusvaihteluun parhaan
tiedon mukaan vaikuttavien tekijöiden (esim. ra-
kennusaikaiset olosuhteet ja mahdolliset vesivuodot),
tiloissa aistittavien hajujen tai oirekuvausten
perusteella. Näytteiden edustavuus on mietittävä
ennen niiden ottamista. Summittaisesti toteutettu-
jen VOC-mittausten perusteella ei yleensä voida
tehdä mitään todellista tilanteen arviointia.

**VOC-näytteitä otettaessa tulee tuntea eri
menetelmien rajoitukset ja tulkintamahdolli-
suudet.**

Mittauksen tekijällä on oltava riittävät tiedot muun
muassa tutkimuskohteesta, käytetyistä materiaa-
leista, rakenteista ja rakennusfysiikasta. Näytteet

analysoinut laboratorio ei pysty tekemään tulosten tulkintaa tai toimenpidesuosituksia näytteenottajan puolesta. Analyysilaboratorioilla on kuitenkin runsaasti vertailuaineistoa esimerkiksi eri yhdisteiden mahdollisista lähteistä, joten tulosten tulkinta voidaan tehdä yhteistyössä näytteenottajan ja analyysilaboratorion kesken.

Näytteenotossa on noudatettava menetelmäkohtaisia näytteidenotto-ohjeita, jotta tulokset ovat vertailukelpoisia.

Näytteidenotossa on huomioitava, että erityisesti korkeat lämpötilat ja kosteus suurentavat tyypillisesti VOC-emissioiden määrää. VOC-yhdisteiden sisäilmapitoisuuksiin vaikuttavat myös mm. seuraavat tekijät:

- auringon säteily ja muu lämpösäteily materiaalipintaan
- ilmanvaihdon toiminta
- rakennuksen painesuhteet (rakenteiden sisäiset päästöt) ja ilmanpaineen vaihtelu
- mittauspaikka ja ilman liikkeitä tilassa
- vuodenaika
- tilan käyttö (muuttuvat VOC-lähteet).



Kuva 3.16. Sisäilman VOC-näytteen keräys pumppuun kytketyllä adsorbenttikeräimellä. Oikeanpuoleisessa kuvassa päistä suljettu Tenax-TA -adsorbenttiputki. Kuvat: Mikrobioni Oy.

Sisäilmaolosuhteet ja muut tuloksiin mahdollisesti vaikuttavat tekijät tulee huomioida ja raportoida kohteessa tehtävien VOC-mittausten yhteydessä. Vertailunäytteen ottaminen vertailutilasta tai oletetulta vaurioitumattomalta alueelta on yleensä perusteltua. Vertailunäytteet ovat monissa tapauksissa oleellisemmat apuvälineet tulosten tulkinassa kuin käytettävissä olevat viitearvot. Lisäksi mittausepä-tarkkuus tulee aina huomioida mittaustavan valinnassa ja tulosten tarkastelussa. VOC-mittausten näytteenoton ja analyysin tuloksiin muodostama virhe on noin $\pm 30\%$. Kenttämittauksissa mittausvirhettä kasvattaa vielä mittaajasta ja mittaustilanteesta johtuva vaihtelu.

Sisäilman VOC-yhdisteet

Mittaus- ja analyysimenetelmä

Sisäilman VOC-näyte voidaan kerätä ilmasta joko aktiivisesti pumppun avulla tai passiivisesti difuusiokeräimeen. *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen* (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016) mukaisesti VOC-yhdisteet kerätään pumppun avulla Tenax-TA -adsorbenttiin (kuva 3.16). Menetelmä on standardin ISO 16000-6:2001 (International Organization for Standardization, 2011) mukainen. Tälle menetelmälle on saatavilla parhaiten vertailuaineistoja tulkintojen tueksi. VOC-alueen ulkopuolisia yhdisteitä (VVOC ja SVOC) saadaan kerättyä tehokkaammin käyttämällä muita adsorbentteja tai ns. yhdistelmäkeräintä. Näitä sekä passiivista näytteenottomenetelmää käytetään yleensä vain poikkeustapauksissa.



Ennen mittausta tilojen tuuletusta tulee välttää 12 tuntia. Ilmanvaihdon tulee olla normaali-toiminnassa ja korvausilmaventtiilit auki. Näytteenottopiste ei saa sijaita ilmanvaihdon tulo- tai poistoilmavirran kohdalla. Pintarakenteita ei saa purkaa ennen mittausta tai mittauksen aikana. Näytteenottaja ei saa käyttää hajusteita, syödä purukumia/makeisia, polttaa tupakkaa tai tehdä muuta näytteisiin vaikuttavaa ennen näytteenottoa eikä näytteenoton aikana. Suositeltavaa on kerätä rinnakkaiset näytteet ja ns. kenttänolla tulosten luotettavuuden parantamiseksi. Kaikki havaitut poikkeamat on huomioitava tulosten tarkastelussa.

Keräysnopeus on 50–200 ml/min ja suositeltava kerättävä näytetilavuus on 8–12 l. Jos sisäilmassa tiedetään olevan erittäin korkeita VOC-yhdistepitoisuuksia, on kerättävän näytteen tilavuudesta hyvä sopia analysoivan laboratorion kanssa etukäteen ennen näytteen keräämistä. Näytteet analysoidaan termodesorptio-kaasukromatografi-massaspektrometrimenetelmällä (TD-GC-MS).

Sisäilman VOC-analyysien tulokset ilmoitetaan yksikössä $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mikrogrammaa VOC-yhdistettä kuutiometrissä ilmaa) standardeissa *SFS-EN ISO 16000-5* (International Organization for Standardization, 2007a), *ISO 16000-6* (International Organization for Standardization, 2011), *SFS-EN ISO 16017-1* (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2001) ja *SFS-EN ISO 16017-2* (Suomen Standardisomisliitto SFS ry, 2003). On tärkeää, että analyysitulokset on ilmoitettu yleisesti käytössä olevassa yksikössä, jolloin tulosten tulkinnassa ei tapahdu virheitä. Tuloksissa ilmoitetaan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC) tolueniekvivalenttina. Standardin *ISO 16000-6:2011* (International Organization for Standardization, 2011) mukaan TVOC määritetään n-heksaanin ja n-heksadekaanin väliseltä alueelta, nämä yhdisteet mukaan lukien. TVOC-alueesta tulee mahdollisuuksien mukaan tunnistaa ja kvantitoida vähintään 2/3.

Tuloksen tulkinta

VOC-näytteiden tulkintaohjeet ovat menetelmäkohtaisia; saatuja tuloksia voidaan verrata saatavilla oleviin viitearvoihin vain, mikäli näytteenotto ja analyysi on tehty vastaavalla menetelmällä kuin viitearvojen pohjana oleva analyysi on tehty. Mm. *asumisterveysasetuksessa* (STMa 545/2015) esitetty viitearvot perustuvat edellä mainittujen

standardien mukaisin menetelmin kerättyihin aineistoihin. Mikäli käytetään erityyppistä keräintä / adsorbenttia kuin vertailuaineistojen keruussa on käytetty, ei vertailuaineiston pohjalta asetettuja viitearvoja voida suoraan soveltaa niille yhdisteille, joiden keräysteho eroaa keräintyyppien / adsorbenttien välillä. Keräintyyppi ja adsorbentti tulee aina ilmoittaa laboratorion analyysivastauksessa ja mittausraportissa.

Sisäilman VOC-näytteiden tulosten tulkinnassa voidaan yleensä pitää nyrkkisääntönä, että noin puolet asuntojen sisäilman VOC-yhdisteiden pitoisuuksista aiheutuu rakennusmateriaaleista ja puolet emittoituu muun muassa huonekaluista, tekstiileistä, puhdistusaineista, kosmetiikasta sekä asukkaista ja kotieläimistä (Metiäinen P., 2012).

Vain muutamille VOC-yhdisteille on saatavilla sisäilmapitoisuuden viitearvoja.

Asumisterveysasetuksessa (STMa 545/2015) on esitetty asuintiloja koskevat, toluenivasteella määritellyt toimenpiderajat VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuudelle (TVOC, $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sekä yksittäisten yhdisteiden osalta erikseen 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidiolodi-isobutyraatille (TXIB, $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 2-etyyli-1-heksanolille (2-EH, $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), naftaleenille ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, hajua ei saa esiintyä) ja styreenille ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa* (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016) on esitetty lisäksi, että uudempien muovimattojen kosteusvaurioitumiseen liittyvien C9-C10-alkoholien epäillään aiheuttavan oireilua ihmisille $> 10\text{--}50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sisäilmapitoisuudessa. Muiden yksittäisten yhdisteiden osalta toimenpideraja on $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, jonka ylityessä tulee selvittää yhdisteen mahdollinen haitallisuus mitatussa pitoisuudessa. *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen* (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016) mukaisesti toimivien laboratoriodien tulee raportoida *asumisterveysasetuksessa* (STMa 545/2015) mainittujen yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet toluenivasteella laskettuna, jolloin tulokset ovat suoraan verrattavissa toimenpideraja-arvoihin. Analyysilaboratoriot saattavat raportoida yksittäisten yhdisteiden pitoisuuksia myös niiden omilla vasteilla lasketuna. Tällöin tulosten tulkinnassa on suositeltavaa olla yhteydessä analysoivaan laboratorioon.

Toimistorakennuksissa VOC-pitoisuudet ovat useimmiten pienempiä kuin asuinrakennuksessa, johtuen mm. tehokkaammasta ilmanvaihdosta. Työterveyslaitos on esittänyt viitearvoja toimistoympäristöjen sisäilman VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuudelle (TVOC, 250 µg/m³) sekä yksittäisten yhdisteiden pitoisuuksille (1-15 µg/m³ yhdisteryhmästä riippuen). Viitearvot ovat taivannaista korkeamman pitoisuuden viitearvoja (ns. P90-arvot). (Työterveyslaitos, 2016c)

Tuotantotyyppisten työpaikkojen ilmanlaadun arvioinnin tukena voidaan käyttää *sosiaali- ja terveysministeriön asetusta haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista* (STMa 268/2014), jossa on taulukoitu työpaikan ilman epäpuhtauksien haitallisiksi tunnetut pitoisuudet ja vastaavat biologisten altistusindikaattorien raja-arvot. HTP-arvoja käytetään työpaikan ilman puhtautta, työntekijöiden altistumista ja mittaustulosten merkitystä arvioitaessa. HTP-arvoja koskeva säädösvalmistelu on jatkuva prosessi, jossa uusi asetusta annetaan noin kahden vuoden välein. HPT-arvot soveltuvat huonosti asuin- ja muiden oleskelutilojen terveyshaitan arviointiin. Myös *työturvallisuuslain* (TTL 738/2002) nojalla annetussa *valtioneuvoston asetuksessa kemiallisista tekijöistä työssä* (VNa 715/2001) käsitellään VOC-yhdisteiden raja-arvoja. Teollisten työympäristöjen yleisilmalle on ehdotettu TVOC-pitoisuuden tavoitetasoa 300 µg/m³ ja viitearvoa 3 000 µg/m³ (Tuomi T. ym., 2012).

Koska sisäilman VOC-yhdisteet ja niiden terveysvaikutukset ovat osittain tuntemattomia, ja mittaukseen liittyy lukuisia epävarmuustekijöitä, ei pelkkien mittausten perusteella voi yleensä tehdä luotettavia päätelmiä sisäilman terveydellisestä laadusta. Joka tapauksessa mittausepävarmuus tulee huomioida tulosten tulkinnassa.

Lisätietoa sisäilman VOC-yhdisteiden analyysituloksen tarkastelun tueksi on saatavilla mm. seuraavissa julkaisuissa:

- *Kosteus- ja homevauriot – Ratkaisuja työpaikoille* (Salonen H. ym., 2014)
- *Kooste toimistoympäristöjen epäpuhtaus- ja olosuhdetasoista (rakennuksissa, joissa on koineellinen ilmanvaihto), joiden ylittyminen voi viitata sisäilmasto-ongelmiin* (Työterveyslaitos, 2016c)
- *Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen* (Lappalainen S., Reijula K., Tähtinen K. ym., 2016)

- *Toimiston sisäilmaston tutkiminen* (Salonen H., 2011)
- *Asumisterveysohje* (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003) ja *Asumisterveysopas* (Aurola R. ja Välikylä T., 2009)
- *Reference values for building material emissions and indoor air quality in residential buildings* (Järnström H., 2007)
- *Muovimattopinnoitteen lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmaongelmatapauksissa* (Järnström H., 2005).

VTT:n kokoamat vertailuaineistot keskittyvät pääsääntöisesti asuinrakennuksiin ja Työterveyslaitoksen aineistot toimistorakennuksiin.

VOC-pintaemissiot

Mittaus- ja analyysimenetelmä

Rakenteen pintaemissiot mitataan yleisimmin FLEC-laitteistolla (Field and Laboratory Emission Cell). Näytteidenotossa on kiinnitettävä erityistä huomiota näytteenottopisteen valintaan, laitteen tiiveyteen (ulostulovirtauksen oltava vähintään 95 % sisääntulovirtauksesta) näytteenoton aikana, ilmavirtaukseen ja näytteenotonvirtaukseen sekä tasapainotusaikaan ennen näytteenottoa. Mittaus-tulos ilmoitetaan yksikössä µg/m²h (mikrogrammaa tutkittavaa yhdistettä haihtuu neliömetriltä tutkittavaa pintaa tunnissa).

FLEC-mittaus voidaan tehdä standardin *SFS-EN ISO 16000-10* (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2006b) mukaisella menetelmällä tai ohjeen *NT BUILD 484* (Nordtest, 1998) mukaisella menetelmällä (kuva 3.17). Menetelmät poikkeavat toisistaan menetelmän tarkkuuden ja kenttäkelpoisuuden osalta.

1. Standardin *SFS-EN ISO 16000-10* mukainen menetelmä:
 - tarkoitettu lähinnä laboratorio-olosuhteissa käytettäväksi
 - näytteenotossa FLEC-kammioon johdetaan ilmanohjausyksikön kautta synteettistä ilmaa, jonka lämpötilan tulee olla 23 °C ja suhteellinen kosteus 50 %
 - tulosten tulkinnan tueksi on käytettävissä vertailuaineistoa
 - Näytteenotossa huomioitavia asioita mm.:

- kenttämittauksen aikana mittauslämpötila on mitattavassa tilassa vallitseva lämpötila ja sitä säädetään tarpeen ja mahdollisuuden mukaan standardin mukaiseksi
 - standardia ei pystytä yleensä kenttämittauksissa tarkasti noudattamaan, johtuen sisäilman ja pinnan lämpötilaeroista.
2. Ohjeen *NT BUILD 484* mukainen menetelmä:
- tarkoitettu kenttäolosuhteissa käytettäväksi
 - näytteenotossa käytetään suodatettua huoneilmaa, joka johdetaan puhaltavalla pumpulla suoraan FLEC-kammioon siinä lämpötilassa ja suhteellisessa kosteudessa, joka kohteen sisäilmassa mittaushetkellä vallitsee
 - tarkkaa vertailuainesta ei ole käytettävissä tulosten tulkinnan tueksi, johtuen olosuhdevaihteluista
 - menetelmä sopii käytettäväksi esimerkiksi tilanteisiin, joissa vertaillaan kohteessa tehtävien mittauksin eri alueiden emissioiden eroja.

Tulosten vertailtavuuden kannalta on tärkeä ilmoittaa, kumman standardin mukaan näytteet on otettu ja missä olosuhteissa (sisäilman ja pintarakenteen lämpötila ja suhteellinen kosteus). Kevennetyn mittausmenetelmän (*NT BUILD 484*) mukaisessa mittauksessa tulosten tulkintaan tuovat haasteita mm. sisäilman suhteellisen kosteuspitoisuuden vaihtelut.

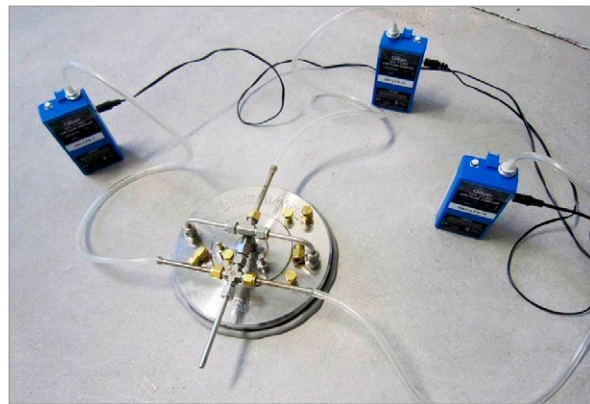
Ennen FLEC-näytteenottoa tehdään aistinvarainen arviointi tilan sisäilmasta. Tutkittavan rakenteen rakennetyyppi ja kosteuspitoisuus selvitetään. Emissiomittaus aloitetaan tyypillisesti tilasta /koh-

dasta, jossa oletetaan olevan pienimmät päästöt. Viimeisenä tutkitaan tila/kohta, jossa oletetaan olevan suurimmat päästöt.

FLEC-näytteenoton yhteydessä mitataan sisäilman olosuhteet (RH, T) sekä pintarakenteen lämpötila ja suhteellinen kosteuspitoisuus kaikissa mittapisteissä. Lisäksi tehdään aistinvarainen arviointi tutkitusta materiaalipinnasta. Liimattavien päällysteiden osalta näytteenottojen jälkeen mitataan päällysteen alapuolinen kosteus ns. viiltomittauksella, minkä jälkeen avataan päällystetty ja arvioidaan myös päällysteen alapinnan ja liimakerroksen kunto.

FLEC-mittaus voidaan tehdä myös päällysteen/pinnoitteen alapuolisesta rakennepinnasta, esimerkiksi paljaasta betonipinnasta lattianpäällysteen poistamisen jälkeen. Tällöin tarkoituksena on tyypillisesti saada selvyyttä rakenteeseen adsorboituneista VOC-yhdisteistä ja/tai halutaan varmistua korjausten yhteydessä tehtävästä normaalin tuuletusajan riittävydestä. Mittaus alustan pinnasta tehdään aikaisintaan kolmen vuorokauden kuluttua pintamateriaalin poistosta (Järnström H., 2005).

Materiaalien pintaemissioiden FLEC-analyysien tulokset ilmoitetaan yksikössä $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Tuloksissa ilmoitetaan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio (TVOC) tolueniekvivalenttina sekä yksittäisten yhdisteiden emissiopitoisuudet, vastaavasti kuin sisäilman VOC-analyysin osalta on esitetty edellä. Terveydensuojelulain (763/1999) mukaisissa viranomaistutkimuksissa tutkimuslaboratoriolla tulee olla Elintarviketurvallisuusviraston (Eviran) hyväksyntä käyttämälleen määrittämenetelmälle elintarvikelain, rehulain ja terveydensuojelulain nojalla tutkimuksia tekevis-



Kuva 3.17. Lattiapinnan emissiomittaus FLEC-menetelmällä. Vasemmassa kuvassa standardin *SFS-EN ISO 16000-10* mukainen menetelmä ja oikeassa kuvassa ohjeen *NT BUILD 484* mukainen menetelmä. Kuva: H. Tuovinen, Vahanen Oy

tä laboratorioista annetun valtioneuvoston asetuksen (VNa 152/2015) mukaisesti.

Tulosten tulkinta

VOC-yhdisteiden emissioiden tulosten tulkinnassa huomioidaan materiaalien ominaispäästöt eli primääriemissiot sekä mittaushetken olosuhteet. Tulosten tulkintaa helpottaa vertailunäytteidenotto vaurioitumattomaksi tiedetyltä alueelta erityisesti silloin, kun materiaalien primääriemissiot eivät ole tiedossa.

Rakenteen emissioihin vaikuttavat kaikki sen eri komponentit eli runkorakenne, tasoite, liima, lattiapäällyste ja pinnoite, sekä olosuhdevaihtelut. Kenttäolosuhteissa mitataan usein merkittävästi korkeampia VOC-emissioita kuin yksittäisistä materiaaleista laboratorio-olosuhteissa. Esimerkiksi lattianpäällysteen asennuksessa käytetyn liiman vaikutus on selvästi nähtävissä VOC-yhdisteitä läpäisevillä lattiapäällysteillä (Järnström H., 2007). Lisäksi tutkittavassa rakenteessa saattaa olla myös muita haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, kuten öljyhiilivetyjä tai PAH-yhdisteitä esimerkiksi vanhoista rakennusmateriaaleista tai öljyvahingoista johtuen.

FLEC-analyysin tulosta on suositeltavaa verrata samasta tilasta kerätyn sisäilman VOC-näytteen tulokseen sekä vaurioitumattomasta vertailukohdasta (tai ongelmattomasta tilasta) tehdyn FLEC-analyysin tulokseen. FLEC-näytteenotolla selvitetty emissionopeus voidaan muuntaa laskukaavan kautta huoneilman pitoisuudeksi, jos tiedossa on emittoiva pinta-ala, huoneen tilavuus ja ilmanvaihtokerroin.

Lisätietoa VOC-yhdisteiden FLEC-mittaus tulosten tarkastelun tueksi on saatavilla mm. seuraavissa julkaisuissa:

- *Hyvät tutkimustavat betonirakenteisten lattioiden muovipäällysteiden korjaustarpeen arviointiin* (Keinänen H., 2013)
- *Reference values for building material emissions and indoor air quality in residential buildings* (Järnström H., 2007)
- *Muovimattopinnoitteen lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmaongelmatapauksissa* (Järnström H., 2005).

VTT:n aineistot perustuvat standardin SFS-EN ISO 16000-10 (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2006b) mukaisella FLEC-mittausmenetelmällä

kerättyihin vertailuaineistoihin. Ohjeen NT BUILD 484 (Nordtest, 1998) mukaisen FLEC-mittausmenetelmän tuloksia voidaan arvioida VTT:n julkaisujen viitearvojen perusteella, mutta tulosten tulkinnassa tulee huomioida sisäilman lämpötilan ja kosteuden vaikutus mittaustulokseen. Esimerkiksi talviaikaan huoneilman suhteellinen kosteus on merkittävästi pienempi kuin standardin mukainen 50 %, mistä syystä talviaikaiset emissiot ovat yleensä kesäaikaisia pienempiä.

Materiaalinäytteen VOC-emissiot ("bulk-materiaalinäytteet")

Mittaus- ja analyysimenetelmä

Materiaaleista voidaan mitata VOC-emissioita kammiomenetelmällä laboratoriossa. Menetelmä ei sovellu pintaemissioiden mittaamiseen ja tulokset ovat kvalitatiivisia eikä niiden tulkitsemiseen voida käyttää FLEC-menetelmän vertailuaineistoja.

Tutkittavasta materiaalista irrotetaan näytepala, joka pakataan tiiviisti alumiinifolioon ja uudelleen suljettavaan pussiin ja toimitetaan analyysilaboratorioon. Laboratoriossa näytepala hienonnetaan, punnitaan ja emissio määritetään yleensä standardin SFS-EN ISO 16000-9 (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2006a) emissiokammiomenetelmän mukaisesti. Laboratoriossa materiaalinäytteiden analysointiin käytetään mm. mikrokammio-laitteistoa (Micro-Chamber/Thermal Extractor, μ -CTE). Tätä näytteenotto- ja analyysimenetelmää kutsutaan bulk-materiaalinäytteeksi.

Bulk-materiaalinäyte kuvaa tutkittavan rakenteen emissiopotentiaalia. Kohteesta irrotettuun materiaalinäytteeseen voi olla tutkittavan materiaalin lisäksi kiinnittynyt muitakin materiaaleja, kuten liimaa, tasoitetta, pohjustusainetta ja betonia, jotka vaikuttavat emissioihin. Mittauksessa mitään näytepalan pintaa ei peitetä, minkä vuoksi kyseinen analyysi kuvaa kaikilta näytteen pinnoilta vapautuvia yhdisteitä. Näytteeseen tulee myös runsaasti tuoretta leikkauspintaa, joka yleensä emittoi voimakkaasti. Materiaalinäyte ei siis kuvaa materiaalin todellista pintaemissiota huonetilaan päin. Todellinen emissio voidaan selvittää FLEC-mittauksella ehjän materiaalin päältä. Pääsääntöisesti sisäilmaongelmatapauksissa pintaemissioita tulisi tutkia ensisijaisesti ehjän materiaalin päältä paikan päällä tutkimuskohteessa tehtävällä FLEC-mittauksella.

Bulk-analyysien tulokset ilmoitetaan yksikössä $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$ (mikrogrammaa tutkittavaa yhdistettä haihtuu grammasta tutkittavaa materiaalia kuutiometriin ilmaa) tai $\mu\text{g}/\text{gh}$ (mikrogrammaa tutkittavaa yhdistettä haihtuu grammasta tutkittavaa materiaalia tunnissa). Tuloksissa ilmoitetaan kunkin tunnistetun yhdisteen yksittäinen emissio sekä kaikkien analysoitujen VOC-yhdisteiden yhteenlaskettu emissio tolueeniekvivalenttina (TVOC) sekä yksittäisten yhdisteiden emissiopitoisuudet, vastaavasti kuin sisäilman VOC-analyysin osalta on esitetty edellä.

Jo tehtyjä analyysijä jälkikäteen arvioitaessa on huomioitava, että osa analyysija tekevista laboratorioista on ilmoittanut materiaalinäyteanalyysit tehdyiksi FLEC-menetelmällä, vaikka kyseessä on standardin *SFS-EN ISO 16000-9* (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2006a) emissiokammio-menetelmän ("bulk-materiaalinäyteanalyysin") sovellus, jossa kammiona on käytetty FLEC-laitetta. Tulosten tulkinnan kannalta on erittäin tärkeä tiedostaa todellinen käytetty analyysimenetelmä.

Tulosten tulkinta

Bulk-materiaalinäyteanalyysien tuloksia on suositeltavaa verrata samasta tilasta kerättyjen sisäilman VOC-analyysien ja FLEC-analyysien tuloksiin. Bulk-materiaalinäyteanalyysiä voidaan käyttää muiden mittaustulosten varmistamiseen sekä karvoittavana menetelmänä silloin, kun emissioiden erot ovat selkeät vaurio- ja vertailualueilla. Lisäksi materiaalinäytteestä saadaan esiin päällysteen/pinnoitteen alapinnasta emittoituvia ja/tai materiaalin sisällä olevia hitaasti poistuvia yhdisteitä, jotka eivät aina näy sisäilma- tai pintaemissiomittauksissa.

Bulk-materiaalinäyteanalyysi ei ole toistettava mittausten menetelmä, koska näytteessä on aina eri määrä muitakin tutkittavaan materiaaliin kontaktissa olevia rakennusaineita, kuten liimaa, tasoitetta, pohjustusainetta ja betonia. Tuloksia ei voida verrata M1-materiaaliluokan testituloksiin. Kohteesta irrotetulla materiaalinäytteellä voidaan saada viitteitä mahdollisesta materiaalin kemiallisesta vaurioitumisesta, mutta pelkästään materiaalinäytteiden perusteella ei voida määrittää korjaustarvetta. Tuloksen tarkastelun tueksi tarvitaan aina vähintään rakenneteknisiä tarkasteluja.

Lisätietoa bulk-materiaalinäytteiden emissiomittaustulosten tarkastelun tueksi on saatavilla mm. seuraavista teoksista:

- *Bulk-emissioiden viitearvot eri materiaalityyppeille* (Työterveyslaitos, 2016a)
- *Vaurioitumattomien lattiapintamateriaalien referenssitiedon kartuttaminen bulk-emissiotutkimuksilla* (Härkönen K., 2012)
- *Hyoät tutkimustavat betonirakenteisten lattioiden muovipäällysteiden korjaustarpeen arviointiin* (Keinänen H., 2013).

3.7.2

Muut kaasumaiset epäpuhtaudet

Ammoniakki

Ammoniakki (CAS 7664-41-7) on väritön kaasu, jonka tunnistaa sille ominaisesta pistävästä hajusta. Ammoniakin lähteitä sisäilmassa ovat mm. tupakansavu, lemmikit, puhdistusaineet sekä eräiden tasoitteiden ja liimojen sisältämien orgaanisten aineiden kosteuden aiheuttamassa hajoamisessa syntyvät materiaalipäästöt. Ammoniakille raportoitu hajukynnys vaihtelee erittäin paljon. Kosteusvaurioiden yhteydessä ilmetessään ammoniakkia pidetään ns. indikaattoryhdisteenä, jonka kohonnut pitoisuus liittyy muiden, mahdollisesti jo pienemmissä pitoisuuksissa haitallisten yhdisteiden päästöihin. Sisäilman ammoniakinäyte kerätään pumpulla laimeaan rikkihappoliuokseen tai -adsorbenttiputkeen RT-kortin *RT 14-10775*. *Sisäilman ammoniakkipitoisuuden määrittäminen* (Rakennustietosäätiö RTS, 2003) mukaisesti.

Asumisterveysohjeen (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2003) mukaan asuintilojen sisäilmassa yli $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$:n ammoniakkipitoisuutta voidaan pitää kohonneena ja pitoisuus viittaa sisäilman epätavanomaisiin lähteisiin. *Sisäilmastoluokitus 2008:n* (Sisäilmayhdistys ry, 2008) mukaiset tavoitearvot ammoniakille ovat sisäilmastoluokassa S1 ja S2 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ja sisäilmastoluokassa S3 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. *Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2* (RakMK D2-2012) mukaan sisäilman ammoniakkipitoisuuden suunnittelun ohjearvo on $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tutkimusten mukaan ammoniakin normaalipitoisuus sisäilmassa on välillä $10\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja se aiheuttaa ihmiselle ärsytysoireita pitoisuuksien kohotessa yli $160\text{--}410 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuotantotyyppisten työpaikkojen ilmassa ammoniakin HTP-arvoksi 8 tunnin altistuksella on asetettu $14 \text{mg}/\text{m}^3$ ($14\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja 15 minuutin altistuksella $36 \text{mg}/\text{m}^3$ ($36\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (STMa 268/2014). Ammoniakkiemissio voidaan määrittää pinnasta FLEC-laitteella tai bulk-materiaalinäytteestä.

Kaseiini ja muut proteiinit

Kaseiinia (CAS 9000-71-9) ja muita eläinproteiineja on käytetty mm. tasoitteiden ja liimojen sideaineena. Kaseiinit ovat lehmänmaidon suurin proteiini-ryhmä ja merkittävä välittömän allergian aiheuttaja eli allergeeni. Maitoproteiineille voi herkistyä myös hengitettynä tai ihokosketuksen kautta. Suomalaisessa tutkimuksessa vuodelta 2001 (Mäkinen-Kiljunen S. ja Mussalo-Rauhamaa H., 2001) osoitettiin herkistyminen tasoiteaineille ja niiden sisältämälle kaseiinille. Kaseiini hajoaa kosteissa olosuhteissa, jolloin vapautuu ammoniakkaa ja muita yhdisteitä, jotka saattavat aiheuttaa sisäilmaongelman. Kaseiini voidaan määrittää rakennusmateriaaleista, mutta tällä hetkellä analytiikkaa on rajoitetusti tarjolla.

Formaldehydi

Formaldehydiä (CAS 50-00-0) on käytetty mm. lastulevyn, vuorivillan, liimojen, hartsien ja lakkojen valmistukseen. Formaldehydin haju on voimakas, hajukynnys on noin $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kohonneet sisäilmapitoisuudet voivat aiheuttaa hengitystie- ja silmäoireita. Formaldehydille voi myös herkistyä. Yksilöllinen herkkyys vaihtelee suuresti, ärsytysoireita voi esiintyä herkillä henkilöillä jo hyvin pienissä pitoisuuksissa ($5\text{--}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Sisäilman formaldehydipitoisuuden mittausten menetelmät on esitetty *Asumisterveysohjeessa* (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2003).

Asumisterveysasetuksessa (STMa 545/2015) on esitetty asuintiloja koskevat toimenpideraja-arvot formaldehydille. Formaldehydin vuosikeskiarvo ei saa ylittää $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja lyhytaikaisessa mittauksessa 30 minuutin keskiarvo ei saa ylittää $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. *Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2* (RakMK D2-2012) mukaan sisäilman formaldehydipitoisuuden suunnittelun ohjearvo on $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sisäilmassa yli $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$:n formaldehydipitoisuutta voidaan pitää kohonneena ja pitoisuus viittaa sisäilman epätavanomaisiin lähteisiin. Tuotantotyyppisten työpaikkojen ilmassa formaldehydin HTP-arvoksi 8 tunnin altistuksella on asetettu $370 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja 15 minuutin altistuksella $1\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Radon

Radon (CAS 10043-92-2) on rakennusten sisäilmasa esiintyvä näkymätön ja hajuton jalokaasu. Noin puolet suomalaisten saamasta säteilyannoksesta

on peräisin huoneilman radonista. Pitkäaikainen oleskelu suuressa radonpitoisuudessa lisää riskiä sairastua keuhkosityöpään. Asunnon huoneilman radonpitoisuuden keskiarvon määrittäminen tehdään voimakkaiden mm. vuodenajasta riippuvien pitoisuusvaihteluiden takia vähintään 2 kk kestoisena seurantana marraskuun alun ja huhtikuun lopun välisenä aikana (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2003).

Sosiaali- ja terveysministeriön asuntojen huoneilman radonpitoisuutta koskevan päätöksen (STMp 944/92) mukaan asunnon huoneilman radonpitoisuuden vuosikeskiarvon ei tulisi ylittää 400 becquereliä kuutiometrissä (Bq/m^3). *Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2* (RakMK D2-2012) mukaan sisäilman radonpitoisuuden suunnittelun ohjearvo on $200 \text{Bq}/\text{m}^3$. *Säteilyasetuksessa* (1512/1991, muutos 1143/1998) on asetettu raja-arvot työpaikkojen radonpitoisuudelle. Työpaikoilla radonpitoisuus ei saa säännöllisessä työssä (yli 600 tuntia vuodessa) ylittää vuosikeskiarvoa $400 \text{Bq}/\text{m}^3$. Tätä toimenpidearvoa sovelletaan myös kouluihin, päiväkoteihin ja muihin julkisiin tiloihin. Keskimääräinen radonpitoisuus suomalaisissa asunnoissa on noin $100 \text{Bq}/\text{m}^3$ (Säteilyturvakeskus, 2014). Vuonna 2014 julkaistun *turvallisuutta koskevien perusnormien vahvistamisesta annetun Euroopan neuvoston direktiivin* (2013/59/Euratom, Basic Safety Standards Directive, ns. BSS-direktiivi) mukaan huoneilman radonpitoisuuden kansallisen vertailutason tulee olla alle $300 \text{Bq}/\text{m}^3$. Direktiivi on pantava täytäntöön kansallisessa lainsäädännössä 6.2.2018 mennessä. Direktiivin täytäntöönpanon yhteydessä tehdään säteilylainsäädännön kokonaisuudistus. Radonista kerrotaan tarkemmin mm. RT-kortissa *RT 81-11099. Radonin torjunta* (Rakennustietosäätiö RTS, 2012b) ja Säteilyturvakeskuksen julkaisussa *Sisäilman radon* (Säteilyturvakeskus, 2014).

Kloorianisolit

Kloorianisolit (penta-, tetra- ja tri-CA) ovat kloorifenoleja (mm. PCP) sisältävien puunsuoja-aineiden (mm. sinistymisenestoaine Ky5) mikrobiologisessa hajoamisessa syntyviä yhdisteitä. PCP:n käyttö on ollut runsainta 1930–1980-luvuilla, mutta PCP:tä sisältäviä tuotteita on ollut markkinoilla vielä 1990-luvun alkupuolelle saakka. Rakennuksissa saattaa olla PCP:llä käsiteltyä sahatavaraa ja myös lämmöneristeenä käytetyssä kutterinlastussa saattaa olla PCP-jäänteitä.

Kloorianisoliin esiintyminen sisäilmassa aiheuttaa rakennukseen tunnusomaista ”vanhan talon”

tai ”mummonmökin” hajun. Useiden kloorianisoliin hajukynnys on hyvin matala (jopa alle 10 ng/m³). Hajua esiintyy eniten vanhoissa asuinrakennuksissa ja kesämökeissä. Matalan hajukynnyksen takia hajuun ei välttämättä liity merkittäviä rakenteiden mikrobivaurioita. Saatavilla olevan tutkimustiedon perusteella kloorianisolit eivät sisäilmassa tyypillisesti esiintyvissä pitoisuuksissa itsessään aiheuta oireita. Haju kuitenkin yleensä koetaan epämiellyttäväksi ja sinällään haittaa aiheuttavaksi. (Gunschera J. ym., 2004, Lorentzen J. ym., 2015)

Kloorianisoliin haju tarttuu herkästi rakennuksen puu- ja muihin rakennusmateriaaleihin sekä rakennuksessa oleviin vaatteisiin ja muuhun irtaimistoon. Hajun poistaminen on hankalaa, ja rakennuksia on jouduttu jopa purkamaan kloorianisoliin aiheuttamien hajuhaittojen takia. Terveystieteiden tutkimuksissa (763/1994) asuintiloissa esiintyvät häiritsevät hajut katsotaan mahdolliseksi terveyshaitan aiheuttajaksi.

Kloorianisoliin roolia sisäilmahaittojen aiheuttajana ei ole Suomessa juurikaan tutkittu, eikä sisäilman kloorianisoliinipitoisuudelle ole saatavilla virallisia ohjeita. Kloorianisoliin analysointimahdollisuuksia voi tiedustella mm. Työterveyslaitokselta.

3.7.3

Haitta-aineet

Mahdollisten haitta-aineiden esiintymiseen vaikuttavat oleellisesti rakennuksen rakentamis- ja korjausajankohdat sekä käyttöhistoria. Haitta-ainepitoisia materiaaleja on käytetty vaihtelevasti eri aika-

kausina. Taulukoihin 3.3 ja 3.4 on koottu tietoa eri haitta-aineiden esiintymisestä erilaisissa rakennusmateriaaleissa eri vuosikymmeninä. Laaja listaus rakennusmateriaaleissa käytetyistä haitta-aineista löytyy haitta-ainetutkijalle suunnatusta RT-kortista RT 20-11160. *Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet* (Rakennustietosäätiö RTS, 2014b).

Osa rakennusmateriaaleissa käytetyistä haitta-aineista pystyy imeytymään viereisiin rakennusmateriaaleihin. Erityisesti PAH-yhdisteiden, öljyhiilivetyjen ja PCB-yhdisteiden on todettu imeytyvän huokosiin rakennusmateriaaleihin, kuten puuhun, betoniin, tiileen, laastiin ja tasoitteeseen. Lisäksi rakennusmateriaaleissa on saatettu käyttää aineita, jotka väärissä olosuhteissa voivat reagoida muodostaen uusia kemiallisia yhdisteitä.

Haitta-aineilla pilaantuneet rakenteet tai maaperä saattavat aiheuttaa sisäilmaongelmia.

Osa rakennuksen haitta-aineista saattaa olla peräisin rakennuksen käyttöhistoriasta johtuvasta pilaantuneisuudesta. Vanhoissa teollisuusrakennuksissa ja rakennuksen teknisissä tiloissa on yleisesti laajoja öljyhiilivetyypilaantuneita alueita, joiden pilaantuneisuuden ovat tyypillisesti aiheuttaneet öljyvuodot rakennuksessa käytetyistä koneista ja laitteista (kuva 3.18). Vanhojen ilmanvaihtokonehuoneiden laitteistojen kondensaattoriöljyt ovat puolestaan sisältäneet PCB-yhdisteitä, joten niiden aiheuttamat pilaantuneisuudet vaikuttavat huomattavasti kyseisten tilojen korjaussuunnitteluun.

Taulukko 3.3. Haitta-aineet rakennusmateriaaleissa ja tarvikkeissa eri vuosikymmeninä.

	Asbesti	Mineraaliöljyt	PAH-yhdisteet (kreosootti)	PCB-yhdisteet	Metalliyhdisteet
...1900	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty
1900–1930	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty
1930–40	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty
1940–50	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty
1950–60	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty	käytetty
1960–70	käytetty	käytetty	mahdollisesti	käytetty	käytetty
1970–80	käytetty	käytetty	mahdollisesti	mahdollisesti	käytetty
1980–90	käytetty	käytetty	mahdollisesti	ei tiedossa ¹⁾	käytetty
1990–2000	mahdollisesti	käytetty	mahdollisesti	ei tiedossa ¹⁾	käytetty
2000–2010	ei tiedossa ¹⁾	käytetty	ei tiedossa ¹⁾	ei tiedossa ¹⁾	käytetty

1) Ei tunnettua käyttöä ko. vuosikymmenenä

Taulukko 3.4. Haitta-aineita voi esiintyä ainakin näissä materiaaleissa.

Haitta-aine	Materiaali tai rakenne ja aikakausi, jolloin käytetty
Asbesti	Ilmanvaihtokanavat (krysotiili, amosiitti, krokidoliitti, 1930–1970-luku) Asbestisementtiputket (krysotiili, amosiitti, krokidoliitti, antofylliitti, 1930–1980-luku) Asbestisementtilevyt (krysotiili, antofylliitti ja joskus krokidoliitti, v. 1910–1990) Lattia- ja seinätasoitteet (antofylliitti, 1950–1970-luku) Lattianpäällysteet (krysotiili, v. 1957–1988) Lattiapäällysteet märkätiloissa (antofylliitti, krysotiili, v. 1954–1975) Muovitapetit märkätiloissa (krysotiili, 1970-luku) Sisätilapäällysteiden bitumiliimat (antofylliitti tai krysotiili, 1950–1960-luku) Keraamisten laattojen kiinnityslaastit (antofylliitti, 1960–1970-luku) Julkisivumaalit (krysotiili, v. 1960–1988) Putkieristeet (krokidoliitti, krysotiili, amosiitti, antofylliitti, v. 1930–1977) Vedeneristeet/bitumiliuokset (krysotiili, v. 1927–1986) Palonsuoja- ja akustiikkalevyt (krokidoliitti, antofylliitti, krysotiili, 1950–1970-luku) Palonsuojaruiskutus (krokidoliitti, amosiitti, v. 1939–1977)
Mineraaliöljyt	Polttoaineet, leikkuunesteet, moottoriöljyt ja muut voiteluaineet (mineraaliöljyllä pilaantunut rakenne on tavallisesti ulkoisen lähteen pilaama) Asfaltit ja valuasfaltit
PAH-yhdisteet (kreosootti)	Puumateriaalin kyllästysaineet, bitumituotteet (joissakin tuotteissa vielä 1990-luvulla) Asfaltit ja valuasfaltit
PCB-yhdisteet	Saumausmassat (... 1989) Lämpölasit (v. 1960–1977) Korroosionestomaalit, kondensaattorit ja muuntajat
Metalliyhdisteet	Saumausmassat (... 1989) Korroosionestomaalit (lyijyä vielä 1990-luvulla) Väriaineet Lamput (edelleen käytössä, myös energiansäästölamput) Jäähdytys-, voitelu- ja kyllästysnesteet (ulkopuolinen lähde) Lämpömittarit



Kuva 3.18. Materiaalinäytteenotto öljyhiilivetykontaminoituneeksi epäillystä alapohjarakenteesta timanttipurauksella. Kuva: Vahanan Oy.

Vanhoissa rakennuksissa on myös saatettu käyttää nykyisin käyttökieltoon asetettuja torjunta-aineita.

Pientaloissa tyypillisiä huomioon otettavia rakenteita ja materiaaleja ovat asbestia sisältävät rakennuslevyt, putkieristeet ja laastit, metalliyhdisteitä, PAH-yhdisteitä ja PCB-yhdisteitä sisältävät maalit, PAH-yhdisteitä sisältävät rakennuspahvit, huovat ja bitumituotteet, sekä lämmitysöljysäiliöiden vuodoista aiheutuneet öljyhiilivety-pilaantuneet kivirakenteet ja maa-aines.

Osa rakennuksen rakenteista on saattanut pilaantua myös rakennuksen välittömän ympäristön haitta-ainepilaantuneisuudesta. Vanhojen, yleensä jo käytöstä poistuneiden, maahan haudattujen öljysäiliöiden aiheuttama maaperän öljyhiilivety-pilaantuneisuus voi vaikuttaa läheisiin rakennuksiin. Pilaantuneen maaperän yhdisteet voivat imeytyä huokosiin rakenteisiin, kuten betoniin ja tiileen, mutta ne voivat vaikuttaa myös suoraan sisäilman laatuun esimerkiksi alapohjan ilmavuotoreittien kautta. Pilaantuneeseen maaperään liittyvistä tutkimuksista ja maaperän kunnostuksesta on kerrottu enemmän julkaisuissa *Pilaanteuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä*

riskinhallinta (Ympäristöministeriö, 2014) ja *Pilaantuneen maa-alueen kunnostushankkeen tilaaminen* (Vepsäläinen M., ym., 2016).

3.7.4

Haitta-ainetutkimus osana kuntotutkimusta

Kiinteistössä on tehtävä haitta-ainetutkimus korjaustöiden suunnitteluvaiheessa ennen töiden aloittamista, mikäli on syytä epäillä, että korjattavat rakenteet saattavat sisältää haitallisia aineita. Vallitsevan asbestilainsäädännön (ns. *asbestilaki* 864/2015 ja VNa 798/2015) mukaisesti asbestikartoitus tulee tehdä ennen korjausten aloittamista kaikissa ennen vuotta 1994 valmistuneissa rakennuksissa. Rakennuttaja tai kiinteistön omistaja ovat vastuussa tutkimuksesta. Tutkimuksen perusteella tunnistetaan rakenteet, joiden materiaalit tai materiaaleihin käytön seurauksena imeytyneet kemikaalit saattavat aiheuttaa vaaraa kiinteistön käytön aikana tai rakenteiden purkuvaiheessa, tai jotka tulee määrittää jätteenkäsittelyä varten. Haitta-ainetutkimuksia tehdään myös mm. havaittujen hajuhaittojen selvittämiseksi, tai mikäli epäillään mahdollisesti asbestipitoisten materiaalien aiheuttavan riskejä rakennuksen käyttäjille.

Haitta-ainetutkimus on syytä toteuttaa jo hankesuunnitteluvaiheessa, jotta suunnitteluvaiheessa osataan valita oikeat korjausvaihtoehdot. Haitta-ainetutkimuksen perusteella saadaan myös luotettavampia kustannusarvioita haitta-ainepitoisten materiaalien purkamis- ja jätekustannuksista.

Haitta-ainetutkimusten teko vaatii erikoisosamista ja niitä tekevien kuntotutkijoiden kouluttautumista tai vähintään laajaa kokemusta ja syvälistä perehtymistä aiheeseen liittyviin ohjeisiin ja säädöksiin. Haitta-ainetutkimuksista on saatavilla tutkijoille ja tilaajalle suunnatut kattavat RT-kortit *RT 20-11159. Haitta-ainetutkimus. Tilaajan ohje* (Rakennustietosäätiö RTS, 2014a) ja *RT 20-11160. Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet* (Rakennustietosäätiö RTS, 2014b), joissa kuvataan kiinteistön omistajan velvollisuudet, opastetaan haitta-ainetutkijoita sekä kuvataan haitta-ainetutkimuksesta laadittavan raportin sisältö. Tilaajan ohjeessa annetaan ohjeita erilaisten haitta-ainetutkimusten tilaamisesta (Rakennustietosäätiö RTS, 2014a).

Materiaalinäytteiden haitta-aineiden analyysit

Haitta-ainetutkimuksessa kerätyjä näytteitä tulee aina käsitellä asianmukaisesti vaarallisina näytteinä, kunnes niiden vaarattomuus on analyttisesti voitu todistaa. Näytteenottajalla on myös velvollisuus varoittaa analyysilaboratoriota näytteiden kaikista mahdollisista haitta-aineista.

Tutkijoille suunnatussa RT-kortissa *RT 20-11160. Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet* (Rakennustietosäätiö RTS, 2014b) on esitetty rakennusmateriaalikohtaisesti niille vaadittavat haitta-aineanalyysit, näytteenottomenetelmät ja huomioitavat työturvallisuusnäkökohdat.

Asbestianalyysit

Asbesti on yleisnimi useille luonnosta saataville kuitumaisille silikaattimineraaleille. Asbestilajeja ovat krysotiili, krokidoliitti, antofylliitti, tremoliitti, aktinoliitti ja amosiitti eli grüneriitti.

Asbestianalyysit tehdään mikroskooppisesti. Osalle rakennusmateriaaleista asbestianalyysit voidaan tehdä polarisaatiomikroskopiolla ja osalle materiaaleista asbestianalyysit joudutaan tekemään pyyhkäisyelektronimikroskooppisesti (SEM). Asbestianalyysilaboratorio on ohjeistettava ilmoittamaan tuloksissaan myös havaittu asbestilaji.

PAH-yhdisteanalyysit

PAH-yhdisteet (polysykliset aromaattiset hiilivedyt) ovat aromaattisia hiilivetyrenkaita sisältäviä, usein voimakkaan hajuisia yhdisteitä, joista monet ovat terveydelle haitallisia. PAH-yhdisteitä analysoidaan materiaalinäytteistä mm. purkujätteen jäteluokan määrittämiseksi, rakennusmateriaalien sisäilmavaikutusten arvioimiseksi ja tilassa aistitun, PAH-yhdisteille tunnusomaisen ”ratapölkyn hajun” lähteen paikantamiseksi. Näytteestä analysoidaan Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluviranomaisen EPA:n (United States Environmental Protection Agency) suosituksen mukaiset 16 PAH-yhdistettä (ns. PAH(16)-yhdisteanalyysi). Analyysimenetelmä on kuvattu standardissa *SFS-ISO 18287* (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2007c). Yksittäisten yhdisteiden pitoisuuksien lisäksi analyysilaboratorion tulee ilmoittaa PAH(16)-summakonsentraatio, jonka perusteella tehdään tulkinnat mm. PAH-yhdisteitä sisältävien purkumateriaalien

jäteluokituksesta ja purkutöiden suojaustarpeesta (ks. ohjekortti *Ratu 82-0381. Kivihiilipikeä sisältävien rakenteiden purku. Osastointimenetelmä. Menetelmät.* Rakennustietosäätiö RTS ja Talonrakennusteollisuus ry, 2011a).

PCB-yhdisteanalyysit

PCB-yhdisteet (polyklooratut bifenyylit) ovat hajutomia, ympäristölle ja ihmiselle haitallisia aineita. PCB-yhdisteitä analysoidaan materiaalinäytteistä lähinnä purkujätteen jäteluokan määrittämiseksi. PCB-yhdisteiden määrittäminen ns. PCB(7)-yhdisteanalyysillä. Analyysimenetelmä on kuvattu standardissa *SFS-ISO 10382* (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2007a). Yksittäisten pitoisuuksien lisäksi analyysilaboratorion tulee ilmoittaa PCB(7)-summakonsentraatio, jonka perusteella tehdään tulokset mm. PCB-yhdisteitä sisältävien purkumateriaalien jäteluokituksesta ja purkutöiden suojaustarpeesta (ks. ohjekortti *Ratu 82-0382. PCB:tä ja lyijyä sisältävien saumausmassojen purku. Menetelmät.* Rakennustietosäätiö RTS ja Talonrakennusteollisuus ry, 2011b).

Öljihiilivetyanalyysit

Öljihiilivetyjen analyysimenetelmä on kuvattu standardeissa *SFS-EN 14039* (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2014b) ja *SFS-EN ISO 16703* (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2011c). Analyysilaboratorio on ohjeistettava analysoimaan bensiinijakeet C_5 – C_{10} , keskitisleet C_{10} – C_{21} , raskaat jakeet C_{22} – C_{40} , öljyhiilivedyt C10–C40 ja BTEX-yhdisteet (bentseeni, tolueni, etyylibentseeni ja ksyleenit).

Kloorifenolianalyysit

Kloorifenolit ovat myrkyllisiä, lähinnä puun suojaukseen käytettyjä yhdisteitä. Kloorifenolien analyysimenetelmä on kuvattu standardissa *SFS-ISO 14154* (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2007b). Analyysilaboratorion tulee analysoida kloorifenoleista 2,6-dikloorifenoli, 2,5-dikloorifenoli, 2,4-dikloorifenoli, 3,5-dikloorifenoli, 2,3-dikloorifenoli, 3,4-dikloorifenoli, 2,4,6-trikloorifenoli, 2,3,6-trikloorifenoli, 2,3,5-trikloorifenoli, 2,4,5-trikloorifenoli, 2,3,4-trikloorifenoli, 3,4,5-trikloorifenoli, 2,3,5,6-tetrakloorifenoli, 2,3,4,6-tetrakloorifenoli, 2,3,4,5-tetrakloorifenoli ja pentakloorifenoli.

Metallianalyysit

Metallianalyysit tehdään määritettävästä metallista riippuen joko AAS-laitteistolla tai ICP-laitteistolla. Yleisimmin määritettävät metallit ovat arseeni, kadmium, koboltti, kromi, kupari, nikkeli, lyijy, antimoni, sinkki ja elohopea.

Sisäilman ja pintojen haitta-aineiden analyysit

Asbesti

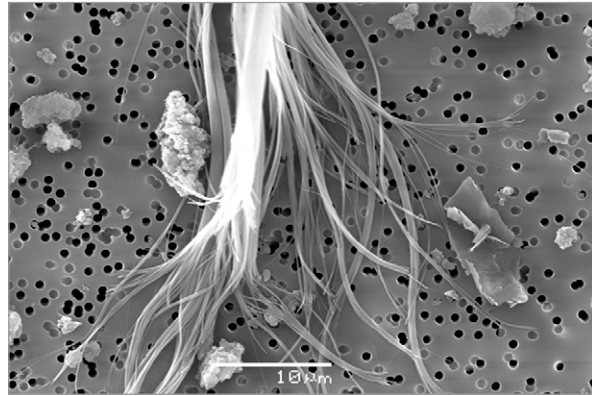
Asbestikuidut voidaan määrittää sekä ilmanäytteistä että laskeumanäytteinä pinnoilta. Ilmanäytteiden avulla myös arvioidaan asbestipurkutyöntekijöiden altistumista asbestikuiduille ja asbestipurun osastoinnin tiiveyttä sekä tehdään purkutyön jälkeinen laadunvarmistus.

Asbestikuidut ovat ilmaa raskaampia, joten ilmannäytteen keräys on tehtävä aggressiivisella näytteenottomenetelmällä eli näytteenoton alussa tutkittavan tilan pintoja harjataan esimerkiksi harjalla, jotta mahdolliset asbestikuidut saadaan liikkeelle. Näytteenotossa on varmistauduttava siitä, ettei harjasta aiheudu kontaminaatiota eri näytteenottoaikojen välillä (jokaisessa paikassa oma puhdas harja tai harjan suojaus kertakäyttöisellä pussilla) ja, että harjauksen tekijä on asianmukaisesti suojautunut.

Ilman asbestikuitupitoisuus määritetään keräämällä 90–120 minuutin (vastaa noin 180–240 litran ilmamäärää) ilmanäyte polykarbonaattisuodattimelle noin 2 l/min nopeudella. Ilmanäyte kerätään oleskeluvyöhykkeeltä hengityskorkeudelta eli noin 1,5 m:n korkeudelta. Asbestityöntekijän näyte kerätään hengityksensuojaimen sisältä käyttäen apuna injektioneulaa. Suodattimella olevat asbestikuidut lasketaan ja tunnistetaan laboratoriossa elektronimikroskoopilla ja siihen kytketyllä alkuaineanalyysointilaitteella. (Kuva 3.19)

Ilman asbestipitoisuusanalyysin tulos ilmoitetaan yksikössä kuitua/cm³ (asbestikuitujen lukumäärä kuutiokeskimetrisessä ilmassa). *Asbestityön turvallisuudesta annetun asetuksen* (VNa 798/2015) ja *asumisterveysasetuksen* (STMa 545/2015) mukaisesti sisäilman asbestikuitujen pitoisuus ei saa ylittää 0,01 kuitua/cm³.

Asbestikuitujen esiintymistä pinnoilla voidaan selvittää keräämällä pyyhintänäyte suljettavaan muovipussiin. Näytteenotto ja analysointi on kuvattu kohdassa 3.6.4. Analyysin tulos ilmoitetaan muodossa 'näyte sisältää/ei sisällä asbestia'.



Kuva 3.19. Vasemmalla ilmanäytteenotto asbestianalyysiä varten. Näyte otettiin rakennuksen käyttötilojen ulkopuolisesta tilasta, jonka rakenteissa oli käytetty asbestipitoisia kuitusementtilevyjä. Oikean puoleisessa kuvassa krysotiiliasbestikimppu elektronimikroskooppikuvassa. Kuvat: T. Poutiainen ja J. Säntti, Vahanen Oy

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016) mukaisesti sisätilojen pinnoilla ei saa esiintyä asbestikuituja. Mikäli sisäilman asbestipitoisuuden on todettu olevan alle 0,01 kuitua/cm³, pidetään yksittäisten kuitujen löytymistä pinnoilta kuitenkin hyväksyttävänä. Pyyhintänäytteet eivät ilmanäytteistä poiketen sovi altistumisen arviointiin eivätkä yksinään asbestipurkutyön laadunvarmistukseen.

PAH-yhdisteet

Sisäilman PAH-yhdisteiden pitoisuus on suositeltavaa selvittää sekä kaasumaisten että hiukkasmaisten PAH-yhdisteiden näytteillä. Mittaukset tehdään, jos on syytä epäillä PAH-yhdisteiden haihtumista



Kuva 3.20. Ilmanäytteenotto PAH-yhdisteanalyysiä varten. Kuvassa vasemmalla pumppuun liitetty hiukkaskeräin suodattimella ja oikealla pumppuun liitetty XAD-2-adsorbenttikeräinputki. Kuva: T. Poutiainen, Vahanen Oy

Sisäilman PAH-yhdistepitoisuus arvioidaan mittaamalla PAH-yhdisteet sisäilmasta ja pinnoilta.

ja kulkeutumista sisäilmaan. Analyyseillä voidaan myös arvioida haitta-ainepurkutyön osastoinnin tiiveyttä ja tehdä laadunvarmistusmittauksia haitta-ainepurun tai tiivistysten jälkeen.

Ilman kaasumaiset PAH-yhdisteet kerätään pumpun avulla, yleensä 3–100 l, nopeudella 0,2–1 l/min XAD-2 adsorbenttiin. Näyte otetaan tilan normaaleissa käyttöolosuhteissa. Osa PAH-yhdisteistä esiintyy ilmaa raskaampina ja ne ovat yleensä sitoutuneina pölyyn. Hiukkasiin sitoutuneet PAH-yhdisteet tutkitaan keräämällä pölynäyte pumpun avulla suodattimelle. Näytettä kerätään yleensä 10–1 000 l, nopeudella 1–20 l/min. (Kuva 3.20)

Ilmanäytteen keräys on tehtävä aggressiivisella näytteenottomenetelmällä eli näytteenoton alussa tutkittavan tilan pintoja harjataan esimerkiksi harjalla. Näytteenotossa on varmistauduttava siitä, ettei harjasta aiheudu kontaminaatiota eri näytteenottopaikkojen välillä (jokaisessa paikassa oma puhdas harja tai harjan suojaus kertakäyttöisellä pussilla). PAH-yhdisteiden määrittäminen ns. PAH(16)-yhdisteanalyysillä. Ilman PAH-yhdisteiden pitoisuudet ilmoitetaan yksikössä µg/m³ (mikrogrammaa tutkittavaa PAH-yhdistettä kuutiometrissä ilmaa). Tuloksissa ilmoitetaan PAH(16) kokonaispitoisuus ja kunkin tunnistetun PAH-yhdisteen yksittäinen pitoisuus.

Asumisterveysasetuksessa (STMa 545/2015) esitetty asuintiloja koskeva toimenpideraja naftaleenille on

10 µg/m³. Naftaleenin hajua ei saa esiintyä. Naftaleenin pitoisuus sisäilmassa arvioidaan adsorbentti-näytteen avulla. Osalle PAH-yhdisteistä on määritely teollisille työpaikoille tarkoitetut työpaikan ilman epäpuhtauksien haitallisiksi tunnetut pitoisuudet (STMa 268/2014).

PAH-yhdisteitä voidaan tutkia myös pinnoilta pyyhkimällä haluttu pinta, jonka pinta-ala tiedetään, etanoliin kostutetulla pumpulitupolla. Pyyhintä tehdään pyyhkimällä tunnettu pinta-ala ensin yhteen suuntaan ja sitten puhtaalla tupon osalla kohtisuorasti edellä pyyhittyyn suuntaan nähden. Pumpuli laitetaan suljettavaan astiaan ja PAH-yhdisteet uutetaan siitä liuottimella ja analysoidaan kaasukromatografi-massaspektrometrillä. Pyyhinta-ala on vähintään 10 cm x 10 cm ja erityisesti pienten pitoisuuksien ollessa kyseessä pinta-alan tulee olla suurempi, esimerkiksi 30 cm x 30 cm. Menetelmää voidaan käyttää myös laskeutuneen pölyn PAH-pitoisuuden määrittämisessä. Pintojen pyyhintänäytteiden ja laskeumanäytteiden PAH-yhdistepitoisuudet ilmoitetaan yksikössä µg/m².

PCB-yhdisteet

PCB-yhdisteiden pitoisuudet voidaan mitata ilmasta ja pinnoilta, kun on syytä epäillä PCB-yhdisteiden kulkeutumista sisäilmaan. Näytteillä voidaan myös arvioida haitta-ainepurun osastoinnin tiiveyttä sekä kun tehdään laadunvarmistusmittauksia haitta-ainepurun jälkeen.

Ilmassa höyrymäisinä esiintyvät PCB-yhdisteet voidaan kerätä pumpun avulla, yleensä 100–500 l nopeudella 0,2–5 l/min XAD-2 adsorbenttiin. Hiukkasiin sitoutuneet yhdisteet kerätään vähintään nopeudella 2 l/min lasikuitusuodattimelle. Höyrymäiset ja hiukkasiin sitoutuneet PCB-yhdisteet voidaan kerätä samanaikaisesti liittämällä XAD-2 adsorbentin eteen suodatin tai sitten käyttämällä kaupallisesti saatavaa yhdistelmäkeräintä OVS-XAD-2. Tällöin keräysnopeus on yleensä 0,8–2 l/min ja näytemäärä 100–500 l. PCB-yhdisteet ovat ilmaa raskaampia ja ne ovat usein sitoutuneina pölyyn, joten ilmanäytteen keräys on tehtävä aggressiivisella näytteenottomenetelmällä eli näytteenoton alussa tutkittavan tilan pintoja harjataan esimerkiksi harjalla. Näytteenotossa on varmistauduttava siitä, ettei harjasta aiheudu kontaminaatiota eri näytteenottoaikkojen välillä (jokaisessa paikassa oma puhdas harja tai harjan suojaus kertakäyttöisellä pussilla). Analyysilaboratoriossa PCB-yhdisteet uutetaan

liuottimeen ja analysoidaan yleensä kaasukromatografi-massaspektrometrisesti tai kaasukromatografiin liitetyn elektronin sieppausilmmaisimen avulla. Ilman PCB-analyysin tulokset ilmoitetaan yksikössä µg/m³ (mikrogrammaa tutkittavaa PCB-yhdistettä kuutiometrissä ilmaa). Tuloksissa ilmoitetaan kunkin tunnistetun PCB-yhdisteen yksittäinen pitoisuus sekä kokonais-PCB-yhdistepitoisuus kertomalla PCB-yhdisteiden 28, 52, 101, 138, 173 ja 180 summapitoisuus viidellä. Tuloksissa ilmoitetaan vähintään kokonais-PCB-yhdistepitoisuus. PCB-yhdisteille on määritely työpaikan ilman epäpuhtauksien haitallisiksi tunnetut pitoisuudet (STMa 268/2014).

Pinnoilta PCB-yhdisteet kerätään etanolilla kostutettuun pumpulituppoon, pyyhintäalan ollessa esimerkiksi 20 cm x 20 cm. Pinta pyyhitään ensin yhteen suuntaan ja sitten pumpulin puhtaalla osalla vielä kohtisuorasti edelliseen. Analyysi tehdään kuten edellä. Pintojen pyyhintänäytteiden ja laskeumanäytteiden PCB-yhdisteiden pitoisuudet ilmoitetaan yksikössä µg/m².

Metallit

Metallipitoisuudet voidaan mitata ilmasta ja pinnoilta, kun on syytä epäillä metallien kulkeutumista sisäilmaan. Näytteillä voidaan myös arvioida haitta-ainepurun osastoinnin tiiveyttä, kun tehdään laadunvarmistusmittauksia haitta-ainepurun jälkeen. Näytteistä määritettävät metallit on sovitettava etukäteen analyysilaboratorion kanssa.

Hengittävän jakeen ilmanäytteet kerätään pumpun avulla nopeudella noin 2 l/min IOM-keräimeen kalvosuodattimelle. Näytemäärä on yleensä 50–500 l. Alveoilijae kerätään suodattimelle IOM-keräimen ja vaahdon tai syklonin avulla. Keräysnopeus vaihtelee käytettävän keräimen mukaan. Metalliyhdisteet esiintyvät ilmaa raskaampina ja ne ovat usein sitoutuneina pölyyn, joten ilman metallipitoisuusnäytteen keräys on tehtävä aggressiivisella näytteenottomenetelmällä eli näytteenoton alussa tutkittavan tilan pintoja harjataan esimerkiksi harjalla. Näytteenotossa on varmistauduttava siitä, ettei harjasta aiheudu kontaminaatiota eri näytteenottoaikkojen välillä (jokaisessa paikassa oma puhdas harja tai harjan suojaus kertakäyttöisellä pussilla). Analyysilaboratoriossa metallit määritetään massaspektrometrisesti plasmaa (ICP) käyttäen tai atomiabsorptiospektrometrisesti (AAS). Tulokset ilmoitetaan yksikössä µg/m³ (mikrogrammaa tut-

kittavaa metallia kuutiometrissä ilmaa). Tuloksissa ilmoitetaan kunkin tunnistetun metallin yksittäinen pitoisuus. Osalle metalleista on määritelty työpaikan ilman epäpuhtauksien haitallisiksi tunnetut pitoisuudet (STMa 268/2014).

Pinnan pyyhintänäytteet metallianalyysiin voidaan kerätä siihen tarkoitukseen kehitetyn kaupallisesti saatavan kosteuspyyhkeen avulla. Pyyhintäpinta-ala on yleensä 30 cm x 30 cm, mutta jos pinta on pölyistä ja karkeaa, niin se voi olla pienempikin. Puhdasta pintaa voidaan pyyhkiä jopa 150 cm x 50 cm ala (pinta-ala on tunnettava). Pyyhe avataan ja pinta pyyhitään samansuuntaisin vedoin haluttu pinta-ala, pyyhe taitetaan kakinkerroin, likainen puoli sisäänpäin ja pinta pyyhitään edelliseen suuntaan nähden kohtisuoraan. Pyyhe taitetaan jälleen kahtia ja pyyhitään ala taas kohtisuoraan edelliseen pyyhintään nähden ja näin jatketaan kunnes liina on alkuperäisen kokoinen ja se siirretään puhtaaseen muovipussiin. Jos pinta on jäänyt likaiseksi, pyyhittävä pinta on ollut liian suuri. Analyysi suoritetaan kuten ilmanäytteillä. Pintanäyte voidaan ottaa myös muovipussin avulla kuten asbestinäyte. Kumpaakin menetelmää voidaan käyttää myös laskeutuneen pölyn metallipitoisuuden määrittämiseen. Pintojen pyyhintänäytteiden ja laskeumanäytteiden metallianalyyseiden tulokset ilmoitetaan yksikössä $\mu\text{g}/\text{m}^2$.

3.8

Ilmanvaihtojärjestelmän tarkastus

Ilmanvaihdon tehtävä on poistaa sisäilman epäpuhtauksia ja tuoda rakennukseen puhdasta tuloilmaa. Ilmanvaihdon merkitys sisäilman laadun kannalta liittyy yleensä seuraaviin tekijöihin: 1) Ilmamäärien riittävyys ja ilman jakautuminen 2) Ilmanvaihtojärjestelmän toimiminen itsessään epäpuhtauslähteenä ja 3) Ilmanvaihdon vaikutus rakennuksen painesuhteisiin ja epäpuhtauksia kuljettaviin ilmapuotuihin.

Ilmamäärien tulisi olla tilojen käyttäjämääriin ja tiloissa tapahtuvaan toimintaan nähden riittävät. Riittämätön ilmanvaihto voi johtaa ihmisistä, toiminnoista sekä vaurioituneista ja vaurioitumattomista materiaaleista ja irtaimistosta peräisin olevien epäpuhtauksien sekä kosteuden kertymiseen huoneilmaan. Tyypillisesti heikko ilmanvaihto

voimistaa erityyppisten epäpuhtauksien aiheuttamia terveys- ja viihtyvyyshaittoja. Toisaalta toimiva, riittävän tehokas ilmanvaihto vähentää tavanomaisten, esimerkiksi ihmisestä ja uusista materiaaleista peräisin olevien päästöjen, sekä rakenteissa ilmenevien pienehköjen puutteiden aiheuttamia haittoja.

Ilmanvaihtojärjestelmä itsessään saattaa toimia sisäilman epäpuhtauksien lähteenä. Tällaisia ovat tyypillisesti mineraalivillakuidut, rakentamisen aikaiset tai muut pölykertymät, sekä kostuneista suodatin- ja äänieristemateriaaleista ja likaantuneista kanavapinnoista irtoavat kemialliset ja mikrobiperäiset epäpuhtaudet. Lisäksi on huomioitava tehokkaaseen ilmanvaihtoon liittyvä huoneilman matala ilmankosteustaso talviaikana tiloissa, joissa kosteustuotto on vähäistä. Kuiva huoneilma saattaa aiheuttaa itsessään ärsytysoireita ja herkistää tilojen käyttäjät muiden epäpuhtauksien aiheuttamille oireille.

Ilmanvaihto saattaa vaikuttaa voimakkaasti rakennuksen painesuhteisiin. Vaikutus on sitä suurempi, mitä tiiviimpi rakennusvaippa on. Ilmanvaihdon vaikutusta rakennuksen painesuhteisiin on esitelty tarkemmin kappaleessa 5.5.

Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden, toimivuuden ja kunnon tarkastaminen muodostuu neljästä päävaiheesta:

1. Ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuden tarkastaminen
2. Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastaminen
3. Ilmamäärien mittaaminen
4. Painesuhteiden mittaaminen.

Ilmanvaihtojärjestelmien tarkemmat tarkastusohjeet on esitetty Suomen LVI-liitto SULVI ry:n ohjekoosteessa: *Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien ja laitteiden kuntotutkimusmenettely (IV-kuntotutkimus): ohjeet ja raporttimallit* (Suomen LVI-liitto SuLVI ry, 2016). Ohjeet ja raporttimallit ovat ladattavissa SuLVI ry:n internet-sivuilta.

Lämpö-, vesi- ja viemärijärjestelmien (LVV) kuntotutkimusohjeet puolestaan on esitetty julkaisussa *LVV-kuntotutkimusopas 2013 – Opas lämmitys-, vesi- ja viemäriverkostojen kuntotutkimuksiin* (Suomen LVI-liitto SuLVI ry, 2013).

Ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuden tarkastaminen

Ilmanvaihtojärjestelmän toimivuutta tarkasteltaessa selvitetään:

- ilmanvaihtojärjestelmän tyyppi
- ilmanvaihtokoneet palvelualueittain
- ilmanvaihtokoneiden ja erillispuhaltimien ohjaustapa
- laitteiden ikä ja kunto
- suodattimien edellinen vaihtoajankohta
- ilmanjakotapa ja ilmanjaon toimivuus huonetiloissa.

Ilmanvaihtokoneen, kanavistojen ja pääte-elinten lisäksi keskeinen tekijä rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmässä on rakennusautomaatio. Rakennuksessa voi olla esimerkiksi aikaohjelmia tai ulkolämpötilasta riippuvia ilmamäärien säätöjä. Nämä säädöt saattavat aiheuttaa epätasapainoa painesuhteisiin. Siksi myös ilmanvaihtojärjestelmän säätöautomaatiikkaan on perehdyttävä arvioitaessa ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa. Ongelmatapauksissa rakennusautomaatiojärjestelmässä saattaa olla ohjelmointivirheitä tai vääriä asetusarvoja, jolloin järjestelmä ei toimi oikein. Lisäksi rakennusautomaatiojärjestelmän toimintaan vaikuttaa anturien kunto. Viallinen anturi aiheuttaa häiriöitä järjestelmän toimintaan. Anturien elinikä on lyhyempi kuin ilmanvaihtokoneiden, joten vaikka ilmanvaihtokone muuten olisi hyvässä kunnossa, voi anturi olla jo teknisen elinkaarensa päässä. Siksi uusissakin järjestelmissä ainakin anturien kunto tulee tarkastaa.

Rakennuksen tilojen käyttötarkoitusta on saatettu vuosien varrella muuttaa, joten ilmanvaihtojärjestelmän toimivuutta arvioitaessa on kiinnitettävä huomiota siihen, vastaavatko ilmanjako ja ilmamäärät tilojen nykyistä käyttötarkoitusta. Muutuvilmavirtaisissa järjestelmissä on varmistettava, että järjestelmä toimii suunnitellusti ja tarkoituksen mukaisesti. Ilmanvaihdossa saattaa olla häiriöitä, esimerkiksi säätö- ja palopeltien virheasentoja, jotka vaikuttavat ilmavirtoihin.

Joissain ilmanvaihtojärjestelmissä ilmanvaihtokoneet palauttavat osan poistoilmasta palautusilmana tiloihin. Jos ilmanvaihtokoneessa on kyseinen toiminto, on mitattava ulkoilman ja palautusilman välinen suhde, jotta varmistetaan ulkoilman

riittävyys. Lisäksi ilmanvaihtokoneen suodatuksen osalta on tarkastettava onko suodatustaso ilmanvaihtokoneen palvelualueen käyttötarkoituksen mukainen ja onko suodatinjärjestelmä tiivis.

Mikäli ilmanvaihtokoneessa on pyörivä lämmönsiirrin eli lämmöntalteenottokiekko, saattaa järjestelmä palauttaa osan jäteilman kosteudesta tuloilmaan. Mahdollinen siirtyminen riippuu mm. kosteuskuormasta ja ulkoilmaolosuhteista sekä kiekon pintamateriaalista. Vesihöyryn lisäksi järjestelmä saattaa siirtää tuloilmaan muita jäteilman sisältämiä yhdisteitä.

Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastaminen

Kanavien puhtaus

Ilmanvaihtojärjestelmän kanaviston puhtauden voi tarkastaa visuaalisesti tai sormipyyhkäisyllä. Visuaalisessa puhtauden arvioinnissa käytetään puhtausasteikkoja, jotka on laadittu erikseen pyöreille kierresaumakanaville ja tasopinnoille. Visuaalisen asteikon raja-arvot perustuvat käytössä oleviin puhtausluokkiin P1 ja P2. P1-puhtausluokassa likakeritymän tulee olla alle 2,0 g/m² ja P2-puhtausluokassa alle 5,0 g/m² (Sisäilmayhdistys ry, 2008). Visuaaliset puhtausasteikot on laadittu ilmanvaihtokanavien sisäpinnoilta otettujen pölynäytteiden ja näytteenottokohdista otettujen valokuvien perusteella.

Sormipyyhkäisy on käyttökelpoinen apukeino määrittäessä ilmanvaihtojärjestelmän pölykertymää ja päätelaitteiden pölyisyyttä. Pölyiseen pintaan vedetään sormella 10 cm pitkä vana, jonka jälkeen pölyn kasautumisen ja pyyhkäisyjäljen perusteella arvioidaan pinnan pölyisyyttä. Pyöreissä kanavissa sormipyyhkäisyjälki tehdään niin, että se ulottuu kanavan seinämältä kanavan pohjalle kello kuuteen (kuva 3.21). Suorakaidekanavissa ja muilla tasopinnoilla sormipyyhkäisy tehdään kanavan pohjalle.

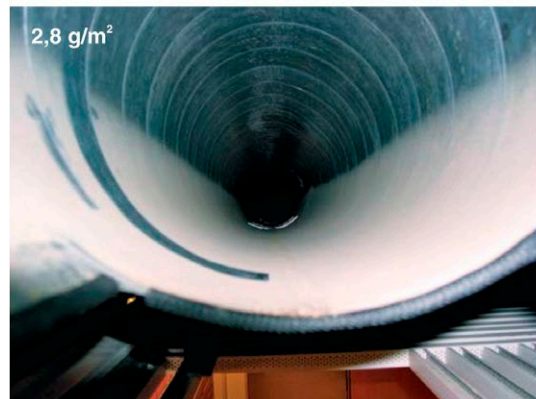
Sormipyyhkäisyn tarkoitus on selvittää:

- pinnalla olevan lian kiinnittymistä pinnalle
- lian pinttyneisyyttä ja tiheyttä
- likakerroksen paksuutta
- puhdistaa pinta, johon likaista pintaa on helpompi verrata.

Tarkastuspisteet tulee valokuvata ja liittää tarkastusraporttiin. Ilmanvaihtokanavisto voidaan

myös kuvata sisäpuolisesti videokameralla. Kuvauksen tulee kattaa vähintään runkokanaviston alku- ja loppupäät, mutta jos mahdollista, on ainakin runkokanavat hyvä kuvata koko matkalta. Erityisesti vanhat, mahdollisesti useammassa vaiheessa rakennetut tai muutetut järjestelmät on suositeltavaa kuvata kokonaisuudessaan. Jos

ilmanvaihtojärjestelmässä on käytetty rakennusaineisia kanavia, tulee myös näiden puhtaus tarkastaa. Ilmanvaihdon puhtauden tutkiminen on ohjeistettu ohjekortissa LVI 39-10409. *Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastus. Ilmanvaihdon parannus- ja korjausratkaisut* (Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto ry, 2007).



Kuva 3.21. Visuaalinen puhtauden arviointiasteikko kierresaumakanaville, pölykertymä alle 3 g/m². Kuvan lähde: LVI 39-10409. Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastus. Ilmanvaihdon parannus- ja korjausratkaisut. Lähde: Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto ry, 2007.

Ilmanvaihtojärjestelmän osat ja laitteistot

Kanaviston lisäksi on tarkastettava silmämääräisesti ilmastointijärjestelmään kuuluvien osien ja laitteistojen puhtaus. Erityistä huomiota tulee kiinnittää ulkoilmasäleikköjen ja -kammioiden, suodattimien, lämmönsiirtimien, puhaltimien, kondenssivesialtaiden ja kostutuslaitteiden puhtautteen, äänenvaimentimien pintojen kuntoon ja viemäroinnin toimintaan.

Suodattimien puhtauden voi tarkastaa koneen käydessä suodattimen yli vallitsevasta paine-erosta. Lisäksi suodattimen kunto tulee varmistaa irrottamalla suodatin ja tarkastamalla kunto visuaalisesti. Suodatinkehysten tiiveys tarkastetaan ohivirtausten varalta. Myös lämmitykseen tai jäähdytykseen käytettävien puhallinkonvektorien suodattimien puhtaus on tarkastettava. Puhallinkonvektorit kierrättävät tilan ilmaa lävitseen, mikä vuoksi suodattimet on vaihdettava tai puhdistettava säännöllisesti.

Äänenvaimentimien pinnan eheys tulee tarkistaa. Rikkoutuneesta äänenvaimentimesta saattaa irrota mineraalikulitua ilmanvaihtokanavistoon ja edelleen huoneilmaan. 1990-luvulla päätelaitteiden tasauslaatikoiden äänenvaimennuksessa käytettiin yleisesti mineraalivillapohjaista äänieristettä. Edellä mainituista syistä myös tuloilmapäätelaitteet ja huoneessa sijaitsevat pinnat voi tarkastaa mahdollisesti irronneiden mineraalikulitujen varalta. Lisäksi myös kanavistot ja koneet tulee kartoittaa sisäpuolelta mineraalivillakulitujen ja asbestin varalta.

Kosteudelle alttiimpia ilmanvaihtojärjestelmän osia ovat ulkoilmakammio, mahdollisen kostuttimen allas ja lämmöntalteenotto-osa. Näistä on tarkistettava esiintyykö kosteutta ja mahdollista mikrobikasvustoa, sekä onko kyseisten osien kondenssiviemärointi toteutettu asianmukaisella tavalla.

Ilmanvaihtokoneesta on tarkastettava, että koneen rakenneosien väliset tiivisteet ovat kunnossa, etteivät tulo- ja poistoilma pääse sekoittumaan keskenään ilmanvaihtokoneessa. Lisäksi on tarkastettava, että lämmöntalteenottokiekon harjatiivisteet ovat kunnossa, jotta kiekossa ei pääse tapahtumaan ohivirtausta.

3.8.3

Ilmamäärien mittaaminen

Ilmamäärät mitataan tulo- ja poistoilmapäätelaitteista (kuva 3.22). Myös ilmanvaihtokoneiden kokonaisilmamäärät tulee mitata, jotta saadaan selville ovatko kokonaisilmamäärät suunnitelmiin mukaisia. Lisäksi voidaan mitata ilmamäärät runkokanavista. Mitattuja ilmamääriä verrataan suunnitelmien mukaisiin ilmamääriin. Jos ilmanvaihtosuunnitelmia ei ole saatavilla, ilmamäärien oikeellisuutta voidaan arvioida rakentamismääräysten ohjearvojen perusteella. Kun verrataan mitattuja ilmamääriä ohjearvoihin, on otettava huomioon rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän ikä, sillä ilmamäärien ohjearvot ovat muuttuneet vuosien saatossa. Vertailukohtana käytetään rakentamisen-



Kuva 3.22. Ilmamäärän mittaaminen poistoilmapäätelaitteesta hupulla (vasen) ja paine-eromittauksella (oikea). Kuvat: J. Dahlström, Instakon Oy.

tai peruskorjauksen aikaisia ilmamääriä, tai mikäli tilojen käyttötarkoituksia on muutettu, muutostajankohdan aikaisia arvoja.

Yleisimpiä venttiilien ilmamäärien mittaamenetelmiä ovat venttiilin yli vallitsevaan paineeseen perustuva menetelmä, sekä kuumalankaanemometrillä suoritettava ilman virtausnopeuteen perustuva menetelmä. Kanavasta ilmamäärän voi mitata säätölaitteesta olevasta mittayhteestä, tai kanavaan voidaan tehdä mittauksen mahdollistavat reiät, jotka mittauksen jälkeen tukitaan. Lisäohjeita ilmamäärien mittaamiseen löytyy ilmanvaihtoventtiilien sekä mittalaitteiden valmistajien laatimista ohjekirjoista, sekä standardista SFS-EN 12599 (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2015).

Tilan ilmanvaihtuvuutta voidaan arvioida kaavalla 3.2 tilan poistoilmavirran ja tilavuuden avulla:

$$n = \frac{Q}{V} \quad [3.2]$$

missä n on ilmanvaihtokerroin [1/h], Q on eri poistoilmakanavaista mitattujen ilmavirtojen summa [m^3/h] ja V on tuuletettavan tilan tilavuus [m^3].

Ilmanvaihtokerroin kuvaa, kuinka monta kertaa tilan ilma vaihtuu tunnissa.

Riittämätön ilmanvaihto etenkin kosteissa tiloissa, kuten pesuhuoneissa, altistaa rakenteet kosteuskuormitukselle, kun ilmanvaihdon avulla ei siirretä riittävästi rakennuksen sisällä syntyvää kosteutta ulos. Ilmanvaihto saattaa olla riittämätön etenkin painovoimaisella ilmanvaihdolla varustetuissa rakennuksissa, sillä painovoimaisessa ilmanvaihdossa poistoilmamäärät ovat usein melko pieniä ja riippuvat hyvin paljon ulkona vallitsevasta lämpötilasta ja tuulesta.

Asumisterveysasetuksessa (STMa 545/2015) on määritetty ulkoilmavirran vähimmäismääräksi kaikissa asuinhuoneissa käytön aikana $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}$ henkilöä kohden. Vähäisempi ilmamäärä katsotaan riittäväksi, mikäli ilmanvaihtoa voidaan tehostaa esimerkiksi tuulettamalla, tai mikäli voidaan varmistua siitä, että vähäisestä ilmanvaihdosta ei aiheudu kohonneeseen lämpötilaan, ilmankosteuteen tai epäpuhtauspitoisuuksiin liittyviä terveyshaittoja. Muissa kuin asuintiloissa ilmamäärien riittävyttä verrataan rakentamisen tai peruskorjauksen aikana voimassa olleisiin määräyksiin (RakMK D2-2012). Ilmamäärien riittävyttä ja ilmanjaon toimivuutta kuvaa hyvin myös sisäilman hiilidioksidipitoisuus käytön aikana.

Koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä ja painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä on tarkastettava, että korvausilmalle on järjestetty riittävät reitit esimerkiksi korvausilmaventtiileiden avulla. Mikäli hallittua korvausilmareittiä ei ole järjestetty, kulkeutuu korvausilmaa usein merkittäviä määriä mm. rakenneliitosten, läpivientien ja muiden vaipan epäjatkuvuuskohtien kautta. Myös rakennuksen sisäpuolisten tilojen välisten siirtoilmareittien riittävyys on tarkastettava. Siirtoilmareitti on usein toteutettu oviraolla tai siirtoilmasäleiköllä.

3.8.4

Painesuhteiden mittaaminen

Rakennuksen painesuhteilla tarkoitetaan rakennuksen sisä- ja ulkoilman tai rakennuksen eri osien välisiä ilmanpaine-eroja. Ilma pyrkii virtaamaan painesuhteiden vuoksi korkeammasta paineesta alhaisempaan. Rakennukseen muodostuviin painesuhteisiin vaikuttavat ulko- ja sisäilman välisistä tiheyseroista syntyvä savupiippuvaikutus, tuuli sekä rakennukseen johdettavan tulo- ja poistoilman määrä eli ilmanvaihto. Käytännössä rakennuksessa vallitseva alipaineisuus mahdollistaa ilman virtaamisen rakenteiden läpi rakenteissa esiintyvien epätiivelyskohtien kautta. Sisäilmaan virtaavan ilman määrä vaihtelee rakenteiden epätiivelyskoh- tien määrän ja koon, ja toisaalta myös alipaineen suuruuden mukaan. Mitä epätiivimmät rakenteet ovat ja mitä suurempi alipaine vallitsee sitä enemmän sisäilmaan virtaa rakenteiden läpi ilmaa. Toisaalta rakennuksen ylipaineisuus mahdollistaa rakennuksen käytöstä aiheutuvan kosteuslisän kulkeutumisen rakenteeseen. Sisäilmasta peräisin oleva kosteus voi tiivistyä rakenteeseen erityisesti silloin, kun sisäilman kosteuslisän määrä ja sisä- ja ulkoilman lämpötilaero ovat suuret ja rakenteet kylmiä. Tällöin rakenteeseen muodostuu kastepiste ja kosteus tiivistyy kylmään rakenneosaan.

Painesuhteet tilojen välillä vaikuttavat suuresti ilman liikkumiseen rakennuksessa. Mittaamalla ilmamäärät saadaan jo viitteitä siitä, ovatko tilan ilmavirrat tasapainossa. Tämän lisäksi on hyvä mitata paine-ero tilan ja sitä ympäröivien tilojen sekä ulkoilman välillä. Mittaus suoritetaan paine-eromittarilla.

Paine-eroa mitataan sähköisillä mitta-antureilla, jotka on usein kytketty elektroniseen tiedon tal-



Kuva 3.23. Paine-eron lyhykestoinen mittaus (vasen kuva) ja pitkäaikaisseuranta mittalaitteella ja tallentavalla tiedonkeräimellä eli dataloggerilla (oikean puoleinen kuva). Paine-eron mittausputki on asennettu tuuletusikkunan kautta ulkovaipan ulkopuolelle. Kuvat: M. Pitkäranta, Vahanen Oy.

lentimeen, dataloggeriin. Tällöin saadaan mitattua paine-eroa jatkuvana seurantamittauksena (kuva 3.23). Paine-eroa voi mitata myös nestemanometrillä, jossa paine-eron mittaus perustuu U-putkessa olevan nesteen pintojen korkeuseron mittaamiseen. Yleensä nestemanometriä käytetään hetkellisissä mittauksissa. Paine-erojen nopeiden ajallisten vaihteluiden takia mittaukset on suositeltavaa tehdä jatkuvatoimisena pitkäaikaisseurantana noin 1–2 viikon mittausjaksolla riittävän mittausdatan saamiseksi. Jos tiedon tallentimia ei ole käytettävissä, tehdään useita mittauksia peräkkäin ja lasketaan tulosten keskiarvo.

Mittaus sisä- ja ulkoilman välillä ("ulkovaipan yli") tulee tehdä tilan ilmanvaihdon normaaleissa käyttöasetuksissa, tilan toimintojen ollessa tavanomaisia ja ikkunoiden ja ovien ollessa kiinni. Mittaus tulisi tehdä eri julkisivuilta tuulen vaikutuksen arvioimiseksi. Mittausta tuulisella säällä (tuulennopeus yli 5 m/s) tai poikkeuksellisissa lämpöolosuhteissa (ulkolämpötila alle -20 °C tai yli +22 °C) tulisi välttää, sillä mittaustulos näis-

sä olosuhteissa ei edusta tavanomaista tilannetta. Ilmanvaihdon ja sääolosuhteiden vaikutusta rakennuksen painesuhteisiin on kuvattu tarkemmin kappaleessa 5.5. Painesuhteiden mittausmenetelmät on kuvattu standardissa *SFS-EN 12599* (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2015).

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 (RakMK D2-2012) mukaisesti rakennuksen paineet ja rakenteiden tiiviys suunnitellaan ja toteutetaan siten, että ne osaltaan vähentävät epäpuhtauksien siirtymistä rakennuksessa. Rakennus suunnitellaan yleensä ulkoilmaan nähden hieman alipaineiseksi, jotta voitaisiin välttyä kosteusvaurioilta rakenteissa sekä mikrobin aiheuttamilta terveyshaitoilta. *Asumisterveysoppaan* (Aurola R. ja Välikylä T., 2009) mukaiset tavoitteelliset painesuhteet eri ilmanvaihtojärjestelmille on esitetty taulukossa 3.5.

Tilan ollessa alipaineinen on varmistettava, että korvausilma tulee tilaan hallitusti. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että on tunnistettava korvaus- ja siirtoilmareittien, kuten korvausilmaventtiilien ja ovirakojen riittävyys. On myös tunnistettava

Taulukko 3.5. Tavoitteelliset paine-erot eri ilmanvaihtojärjestelmissä *Asumisterveysoppaan* (Aurola R. ja Välikylä T., 2009) mukaan.

Ilmanvaihtotapa	Paine-ero	Huomautuksia
Painovoimainen ilmanvaihto	0... -5 Pa ulkoilmaan ± 0 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat voimakkaasti sään mukaan
Koneellinen poistoilmanvaihto	-5... -20 Pa ulkoilmaan 0... -5 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat sään mukaan
Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, ilmanvaihtolämmitys	0... -2 Pa ulkoilmaan ± 0 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat sään mukaan

sisäilman laatua huonontavat ilman kulkureitit, kuten korvausilman kulkeutuminen tekniikkakanaaleista, yläpohjasta tai alapohjasta huoneilmaan. Keittiöt, pesuhuoneet ja muut likaiset tilat suunnitellaan useimmiten alipaineisiksi viereisiin tiloihin nähden, jotta kosteus, hajut ja epäpuhtaudet eivät pääse kulkeutumaan puhtaisiin tiloihin, vaan ilman liikesuunta on päinvastainen.

3.9

Tutkijan työturvallisuus

Kuntotutkijan tulee ottaa työssään huomioon erilaisten fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten vaaratekijöiden riskit sekä tapaturmien ja loukkaantumisen vaarat. Kosteus- ja mikrobivaurioituneen rakennuksen kuntotutkija saattaa altistua työssään päivittäin mikrobi-itiöille, mikrobien kaasumaisille aineenvaihduntatuotteille ja muille VOC-yhdisteille, pölyille ja mineraalikuiduille. Varsinkin vanhoissa rakennuksissa altistuminen haitta-aineille, kuten asbestille, PAH-yhdisteille, metalliyhdisteille, PCB-yhdisteille ja mineraaliöljylle on tyypillisesti myös mahdollista. Altistumisriski on erityisen suuri kosteusmittausreikien porausten ja rakenneavausten yhteydessä. Altistumisriski on merkittävä myös tutkittaessa erilaisia suljettuja tiloja kuten ryömintätiloja, yläpohjan ilmatiloja ja putkitunneleita. Tuulettumattomissa tiloissa hapen vähyys tai suuri hiilidioksidipitoisuus voivat olla vaaraksi. Tällaisia tiloja voivat olla mm. pellettivarastot ja perunakellarit. Lisäksi kuntotutkimusten tekoon liittyy fyysinen loukkaantumisriski esimerkiksi putoamisen, varomattoman työkalujen käytön ja ahtaissa ja matalissa tiloissa liikkumisen seurauksena. Pienet tapaturmatkin, esimerkiksi avohaavat, voivat aiheuttaa merkittäviä tulehduksia likaisessa ja mikrobeja sisältävässä ympäristössä. Varsinkin naulojen, ruuvien päät, peltien reunat sekä terävät työkalut ovat yleisiä haavojen aiheuttajia.

Kuntotutkijan tulee suojautua terveydelle haitallisia aineita vastaan eri tavoin altisteesta riippuen. Kuntotutkijan tulee arvioida erilaiset altistusriskit ennen kuntotutkimuksiin ryhtymistä. Arviointi tehdään rakennuksen iän, lähtötietoina saatavien piirustusten mukaisten rakenteiden, rakennuksen käyttöhistorian, aiemmin mahdollisesti tehtyjen tutkimusten ja tutkijan kokemuksen perusteella. Kohteeseen perehtyminen etukäteen katselmoin-

tikäynnillä on aina suositeltavaa. Kuntotutkijan tulee suojautua aina, kun rakenteita porataan tai avataan, koska tällöin vapautuu pölyä. Myös kastuneita rakenteita ja ryömintätiloja tutkittaessa tulee aina suojautua, koska kastuneissa rakenteissa on usein mikrobikasvustoja ja ryömintätiloissa on vähintäänkin maaperän mikrobeja ja usein heikko ilmanvaihto (kuva 3.24).



Kuva 3.24. Kuntotutkijan työhön liittyy erilaisille haitallisille aineille altistumisen riski. Kuvassa on asianmukaisesti suojautunut kuntotutkija tuulettuvassa alapohjatilassa, jossa oli mm. rikkoutuneita asbestipitoisia putkieristeitä ja mikrobikasvustoja. Kuva: H. Tuovinen, Vahanen Oy.

Kuntotutkijan tulee tuntea rakennusten tyypilliset haitta-aineet. Tarkempaa tietoa on saatavilla lähdekirjallisuudesta, esimerkiksi RT-kortista RT 20-11160. *Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet* (Rakennustietosäätiö RTS, 2014).

Käsineiden, suojavaatetuksen ja hengityssuojaimen tyyppi ja tarve riippuvat terveydelle haitallisesta altisteesta, tutkitun materiaalin pölyvyydestä sekä purkumenetelmästä. Moottoroitun hengityksensuojaimen (ns. puhallinnaamari, moottorimaski) käyttö on yleensä erittäin suositeltavaa altistumisen estämiseksi. Suojautumisessa käytetään soveltaen erityyppisten terveydelle haitallisten aineiden purkutyöhön suositeltuja henkilökohtaisia suojaamia seuraavasti:

Mikrobit

- P2-, P3- tai P3/A2-luokan suodattimella varustettu moottoroitu hengityksensuojain
- suojapuku ja -käsineet
- P3-luokan suodatinta käytettäessä myös kasvojen ihon ja silmien suojaus

Pöly ja mineraalikuvidut

- P1-, P2- tai P3-luokan hiukkassuodattimella varustettu hengityksensuojain
- tarvittaessa kertakäyttöinen suojarahku ja -käsineet

Asbesti

- puhaltimella ja kokonaamarilla varustettu TM3P-luokan hengityksensuojain
- standardin *SFS-EN ISO 13982-1/A1* (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2011b) mukainen tyyppin 5 kertakäyttöinen suojarahku
- kertakäyttöiset suojarahkäsineet
- sileäpintaist kumisaappaat

PAH-yhdisteet

- standardin *SFS-EN 374-1* (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2004) mukaiset, kertakäyttöiset kemikaalinsuojakäsineet
- puhaltimella ja kokonaamarilla varustettu TM3P SL-luokan hengityksensuojain, yhdistelmäsuodattimen käyttö, jolla on A- ja P-luokitus vähentää ilmasta sekä orgaanisia höyryjä että hiukkasia
- standardin *SFS-EN ISO 13982-1/A1* (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2011b) mukainen tyyppin 5 kertakäyttöinen suojarahku
- sileäpintaist kumisaappaat

Puun kyllästysaineet

- standardin *SFS-EN 374-1* (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2004) mukaiset kemikaalinsuojakäsineet
- puhaltimella ja kokonaamarilla varustettu TH3PA1 SL- tai TM3PA1 SL-luokan hengityksensuojain

PCB ja lyijy

- A3/P3 tai A3/P2-luokan suodattimella varustettu moottoroitu hengityksensuojain, P3-luokan suodatinta käytettäessä myös kasvojen ihon ja silmien suojaus
- PCB-yhdisteiden tapauksessa lisäksi kertakäyttöiset pölyä läpäisemättömät suojarahkarit ja -käsineet (esim. butyylikumikäsineet) ja sileäpintaist kumisaappaat.

Riittävien henkilösuojaimien hankkiminen ja työntekijän ohjeistaminen niiden käyttöön on työnantajan ja esimiehen vastuulla. Suojaimien oikea käyttö on työntekijän vastuulla. Työnantaja, sekä myös tutki-

musten ja korjausten tilaaja voivat edellyttää kiinteistössä toimijoilta henkilökohtaista työturvallisuuskoulutusta ja -korttia. Mikäli tutkitussa kiinteistössä on turvallisuuspuutteita, jotka vaarantavat tutkijan työturvallisuuden, tulee tutkijan ilmoittaa näistä välittömästi tilaajalle. Ko. rakenneosaa ei sisällytetä tutkimuksiin ennen kuin puutteet on korjattu.

Kuntotutkimusten porausten aikana, rakenneavauksissa ja suljettujen tilojen tutkimuksissa on suositeltavaa käyttää myös tavanomaisia rakennustyössä käytettäviä suojavälineitä: turvakenkiä sekä kuulon- ja silmiensuojaimia sekä suojakypärää ja polvisuojuksia tarpeen mukaan. Katoilla, telineillä ja nostimilla liikuttaessa tulee huomioida putoamisriski ja työskennellessä käyttää asianmukaista putoamissuojausta. Ryömintätiloissa ja yläpohjissa tulee huolehtia myös riittävästä valaistuksesta sekä minimoida pisto- ja muiden haavojen riski soveltuvalle suojavaatetuksella. Ryömintätilojen ja muiden käyttötilojen ulkopuolisten suljettujen tilojen sekä vesikattojen tutkimukset tulisi tehdä työpareina.

Kuntotutkija saattaa altistua työssään paitsi kosteusvauriomikroobeille, myös mm. viemärivereden, maaperän ja eläinten mikroobeille. Tämän tyyppiin mikrobialtistukseen liittyy myös infektioiden riski. Erityisesti ruosteisista ja maaperäkontaminoituneista nauloista ym. rakennustuotteista saatuihin haavoihin liittyy jäykkäkouristusriski. Ala- ja yläpohjissa sekä eristeissä saattaa olla jyr-sijöiden ja lintujen pesiä ja jätöksiä, joihin liittyy mm. myyräkuumetartunnan riski. Viemäriveruototapauksissa riskin aiheuttavat sekä haitalliset kaasut että viemärivereden suolistoperäiset mikrobit, jotka saattavat aiheuttaa iho- ja suolistoinfektioita. Kuntotutkijalla tulee aina olla voimassa oleva jäykkäkouristusrokotus. Myös hepatiitti-A- ja -B-rokotukset ovat suositeltavia. Riskialttiissa tiloissa toimittaessa riittävä iho-, silmä- ja hengityssuojaus on tärkeää. Eläintenpurematapauksissa tulee olla yhteydessä työterveyshuoltoon.

Henkilökohtaisen suojautumisen lisäksi ympäristön ja rakennuksen käyttäjien suojaaminen on otettava huomioon. Riippuen rakenneavauksen laajuudesta suojaus toteutetaan kohdepoistolla tai osastoimalla ja alipaineistamalla alue, jossa rakenneavaus tehdään. Kohdepoistoimurin tulee ehdottomasti olla varustettu hepa-suodattimella. Imurin imutehon tulee olla riittävä ja suodattimet tulee vaihtaa usein. Ympäristön suojauksesta on tarkempia ohjeita kappaleen lopussa listatussa kirjallisuudessa.

Tutkijan työturvallisuuteen liittyviä ohjeita ja kirjallisuutta:

- Ratu 08-0347. Asbestia sisältävien rakenteiden purku (Rakennustietosäätiö RTS, 2010)
- Ratu 82-0381. Kivihiilipikeä sisältävien rakenteiden purku (Rakennustietosäätiö RTS ja Talonrakennusteollisuus ry, 2011)
- Ratu 82-0382. PCB:tä tai lyjyä sisältävien saumaussmassojen purku (Rakennustietosäätiö RTS ja Talonrakennusteollisuus ry, 2011)
- Ratu 82-0383. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purku (Rakennustietosäätiö RTS ja Talonrakennusteollisuus ry, 2011)
- Ratu 82-0384. Tavanomaiset purkutytöt. Vaaralliset aineet - käsittely ja suojaus (Rakennustietosäätiö RTS, 2011)
- RT 20-11160. Haitta-ainetutkimus, Rakennustuotteet ja rakenteet (Rakennustietosäätiö RTS, 2014)
- RT 80-10712. Rakennuksen kosteus- ja mikrobivauriot (Rakennustietosäätiö RTS, 1999)

- Rakennustyöntekijöiden mikrobialtistuminen ja altistumisen vähentäminen rakennusten purku- ja korjaustöissä. (Rautiala S., ym., 1997)
- Asbestilaki 684/2015. Laki eräistä asbestipurkutöitä koskevista vaatimuksista.
- STMa 268/2014. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus haitalliseksi tunnetuista pitoisuuksista.
- TsL 763/1994. Terveysuojelulaki
- TTL 738/2002. Työturvallisuuslaki
- VNa 205/2009. Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta
- VNa 715/2001. Valtioneuvoston asetus kemiallisista tekijöistä työssä
- VNa 798/2015. Valtioneuvoston asetus asbestityön turvallisuudesta
- VNp 1406/1993 Valtioneuvoston päätös henkilönsuojaimista
- VNp 1407/1993. Valtioneuvoston päätös henkilönsuojainten valinnasta ja käytöstä työssä
- VNp 793/1999. Valtioneuvoston päätös henkilönsuojainosturilla ja haarukkatrukilla

4 Tutkimusselostus

4.1

Tutkimusselostuksen sisältö

Kosteus- ja sisäilmateknisestä kuntotutkimuksesta laadittavassa kirjallisessa tutkimusselostuksessa esitetään tutkimus- ja mittaustulokset sekä näistä tehtävät johtopäätökset. Selostuksessa erotetaan selkeästi toisistaan saadut tiedot ja kuntotutkijan omat tulokset sekä johtopäätökset. Lisäksi esitetään yleensä korjaustapaehdotus kunkin vaurioituneen rakenteen osalta. Korjaustapaehdotuksen tarkkuus riippuu kuntotutkijan korjausrakentamis- ja korjaussuunnittelupätevyydestä. Koska toimivia korjaustapoja ja -materiaaleja voi olla erilaisia, mainitaan selostuksessa yleensä että lopullinen korjaustapa päätetään korjaussuunnitteluvaiheessa. Lisäksi esitetään arvio eri korjausten ja toimenpiteiden kiireellisyydestä.

Tutkimusselostuksessa on esitettävä selkeästi toimenpiteitä vaativat poikkeamat ja vauriot, niiden sijainti, laajuus ja syyt.

Suppeissakin selvityksissä tutkimuksista tehtävään raporttiin on aina sisällyttävä havaintojen, mittausten ja analyysien tulkinta sekä johtopäätökset korjaus- tai lisätutkimustarpeesta.

Kosteus- ja sisäilmateknisen kuntotutkimusraportin pohja on esitetty liitteessä 4. Alla on esitetty tarkemmin raportin sisältöä ja muotoilua.

Tutkimusselostuksen ohjeellinen sisältö on seuraava:

1. Kansilehti
2. Tiivistelmä (laajemmissa selvityksissä)
3. Sisällysluettelo (laajemmissa selvityksissä)
4. Yleistiedot
5. Kohteen yleiskuvaus
6. Lähtötiedot
7. Tutkimusmenetelmät
8. Rakenneteknisten tutkimusten tulokset ja tulosten tarkastelu
9. Ilmanvaihto- /LVI-järjestelmien tutkimusten tulokset ja tulosten tarkastelu
10. Sisäilman olosuhde- ja epäpuhtausmittaustulokset ja tulosten tarkastelu
11. Muiden selvitysten tulokset ja tulosten tarkastelu
12. Yhteenvedo tärkeimmistä suositeltavista toimenpiteistä
13. Päiväys ja allekirjoitukset
14. Liitteet

Kansilehti / Otsikko

Raportin etusivulta tulee käydä ilmi asiakirjan sisältö (esim. ”Tutkimusselostus”), kohteen nimi, selvityksestä vastannut yritys ja raportin päiväys. Jos raporttia on päivitetty, merkitään sekä alkuperäinen päiväys että päivityksen päivämäärä kansilehdelle.

Tiivistelmä

Tiivistelmä on tarpeen yleensä laajemmissa, koko kiinteistön kattavissa kuntotutkimuksissa. Tiivistelmän pituus on yleensä enintään yksi sivu. Tiivistelmässä kerrotaan, mikä oli tutkimuksen tarkoitus, kuinka tutkimus karkeasti ottaen tehtiin (mitä mittauksia ja analyyskejä tutkimus sisälsi) ja mitkä olivat merkittävimmät havainnot ja niiden perusteella tehdyt johtopäätökset vaurioista ja niiden korjaustarpeesta. Jos tehtävänantona on ollut yleinen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus, voidaan johtopäätökset käydä läpi rakennetai rakennusosittain.

1. Yleistiedot

Yleistiedot-kappaleessa esitetään kohteen nimi ja osoite, tutkimuksen tilaaja, kiinteistön omistaja (jos eri kuin tilaaja), tutkimuksen tekijät ja vastuuhenkilö(t), tutkimuksen tavoite, tutkimuksen rajaukset ja tutkimuksen suoritusajankohta. On huomattava, että raportissa on esitettävä erikseen sekä tutkimuksen tekoaika tarpeenmukaisella tarkkuudella, että itse raportin valmistumisaika. Tässä kappaleessa on hyvä listata yhteystietoineen myös muut mahdolliset hankkeeseen liittyvät tahot, esimerkiksi huoltoyhtiö, isännöinti, rakenneavauksista vastannut saneerausliike, sekä erillisiä tutkimuksia (esimerkiksi haitta-aine- tai IV-tutkimuksia) tehneet tahot.

2. Kohteen yleiskuvaus

Yleiskuvauksen tarkoituksena on antaa lukijalle kokonaiskuva rakennuskohteesta lähtötilanteesta. Kuvauksessa kerrotaan lyhyesti muun muassa rakennuksen rakentamisvuosi ja mahdollinen peruskorjausvuosi (/ -vuodet), käyttötarkoitus, kerrosluku, pinta-ala, pääasiallinen runkomateriaali, ilmanvaihtojärjestelmän tyyppi ja rakennuksen perustamistapa. Tähän osaan on hyvä liittää paikannuskuva, jossa esitetään esimerkiksi eri rakennusosien mahdollisia tunnisteita ja mahdollinen tutkimusalueen rajaus. Yleiskuvauksessa mainitaan myös, onko rakennuksessa tiedossa tai epäiläänkö siellä sisäilmaongelmia, ja liittyvätkö nämä tiettyyn rakennusosaan tai kerrokseen.

3. Lähtötiedot

Tässä kappaleessa listataan kohteesta saadut tiedot, jotka ovat vaurion syyn ja laajuuden selvittämisen kannalta oleellisia. Saatuja tietoja ovat muuan muassa rakennukseen liittyvät asiakirjat, asukas- ja käyttäjäkyselyt sekä rakentajien ja suunnittelijoiden haastattelut. Lähtötietojen sisältöä ei yleensä kuvata tarkemmin, vaan käytössä olleet asiakirjat listataan. Niihin viitataan tarvittaessa myöhemmin esimerkiksi kun tehdään johtopäätöksiä lähtötietojen ja havaintojen perusteella.

Tutkimusselostukseen voidaan kirjoittaa myös perusteellisempi yhteenveto aiemmin tehdyistä selvityksistä ja niiden päätelmistä. Tämä helpottaa tilaajaa ja muita raportin lukijoita hahmottamaan erityisesti pitkällisiä ja vaiheittaisia selvityksiä, joi-

hin on osallistunut useita eri tahoja. Mikäli aiemmat selvitykset ovat laajoja, tulee tilaajan kanssa sopia erikseen kirjallisen yhteenvedon tekemisestä ja työn laskutettavuudesta.

Kaksivaiheisen (tai monivaiheisen) tutkimuksen ensivaiheessa tehdään yleensä perusteellinen lähtötietoselvitys ja kohteen suppea katselmointi. Näiden perusteella esitetään raportissa lähtötietojen yhteenveto, riskiarvio (arvio todennäköisimmistä sisäilmaongelmien aiheuttajista) sekä tarkka tutkimussuunnitelma. Tutkimuksen toisen vaiheen raportissa selostetaan tehdyt tutkimukset.

4. Tutkimusmenetelmät

Tässä kappaleessa kuvataan käytetyt tutkimusmenetelmät ja -välineet, sekä näytteenottomenetelmät ja teetetyt laboratorioanalyysit. Kunkin menetelmän kohdalla kuvataan menetelmän toteutus, rajoitukset, virhemarginaalit, tulkintaperiaatteet jne. Mikäli menetelmästä on olemassa standardissa tai muussa, esimerkiksi RT-kortissa tai *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa* (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016) esitetty ohje, viitataan ohjeeseen ja ilmoitetaan tehtiinkö mittaus täysin ohjeen mukaan vai poikettiinko joltain osin ohjeesta. Mikäli tutkimuksissa on käytetty runsaasti erilaisia mittauksia ja analyysejä, tai mittauksia, joiden toteutus joudutaan syystä tai toisesta kuvaamaan yksityiskohtaisesti, voidaan tutkimusmenetelmät ja -välineet esittää kokonaisuudessaan liitteessä. Tällöin itse raporttitekstissä tulee viitata liitteeseen. Menetelmät tulee nimetä siten, että tekstistä selviää yksiselitteisesti, millä menetelmällä tai mittauksella mikin tulos on saatu.

5. Rakenneteknisten tutkimusten tulokset, johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset

Laajemmissa kosteus- ja sisäilmateknisissä kuntotutkimuksissa rakenneteknisen tutkimuksen tulokset, johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset esitetään yleensä rakenneosittain (ks. liite 4). Suppeammassa selvityksissä voidaan harkita muunlaista jakoa.

Kunkin rakenneosan tarkastelun alussa esitetään rakenneratkaisut, niiden suunnitelmien mukaisuus ja poikkeamat suunnitelmista. Rakenneselvitys perustuu saatuihin tietoihin ja kohteessa tehtyihin havaintoihin. Rakeneratkaisujen jälkeen kuvataan

rakenteissa havaitut puutteet ja vauriot. Havainnot kerrotaan yksityiskohtaisesti tutkimuksen kannalta tarpeellisin osin.

Rakenneavauksista esitetään avausten tarkka sijainti (paikannuspiirros ja valokuva) ja avauksista tehdyt havainnot rakenteen toteutuksesta ja kunnosta, sekä avauskohdista tehdyt mittaukset ja kerätyt näytteet sekä näiden tulokset lyhyesti (poikkeama/ei poikkeamaa).

Tekstiä täydennetään kohteesta otetuilla valokuvilla, jotka liitetään nykyään yleensä tekstin joukkoon. Valokuviiin ja piirustuksiin merkitään tarvittaessa (värillisellä) rajauksella tai korostuksella kohdat, joita halutaan tuoda esille. Merkittävimmät havainnot voidaan esittää lisäksi tiivistäen pohjapiirrosliitteessä, erityisesti laajempien tutkimuskohteiden kyseessä ollessa. Havaintojen yhteydessä ei yleensä esitetä vaurioitumisen syitä, vaan tämä tehdään johtopäätösosassa (ks. alla). Tällöin tutkimuksen päätulokset ovat selkeästi luettavissa.

Mittaustulokset

Kunkin rakenneosan mittaustulokset (esimerkiksi kosteusmittaustulokset tai rakenneavauksista otettujen materiaalinäytteiden mikrobianalyysitulokset) esitetään yleensä ko. rakenneosan tarkastelun yhteydessä. Tarkat mittaustulokset kaikista rakenneosista voidaan myös taulukoida/koota yhdeksi kokonaisuudeksi tulos-osion loppuun tai raportin liitteisiin. Tämä on suositeltavaa, mikäli mittaustuloksia on paljon, tai niiden esittäminen vie paljon tilaa. Tällöin kunkin rakenneosan kohdalla esitetään yhteenveto mittaustuloksista.

Mittaus- ja analyysitulokset, tai niiden yhteenveto esitetään tekstinä, taulukoina tai kuvaajina. Mittaus- ja näytteenottopisteiden sijainnit esitetään sijaintipiirustuksen avulla. Sijaintipiirustuksena toimii yleensä pohjapiirustus. Myös mittauspisteen sijainti rakenteessa korkeus- ja syvyysuunnassa on erittäin tärkeää kertoa. Mittauspisteen sijainti rakenteen sisällä voidaan kuvata leikkauspiirustuksella tai sanallisesti.

Mittaustulokset esitetään sellaisenaan, eikä niiden yhteydessä esitetä johtopäätöksiä vaurioitumisen syistä, vaan syyt esitetään johtopäätöksissä.

Johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset

Laajemmissa selvityksissä johtopäätökset esitetään kunkin rakenneosan käsittelyn lopussa.

Johtopäätöksissä esitetään tutkimustuloksiin ja lähtötietoihin perustuvat päätelmät eri puutteista, vaurioista ja vioista ja niiden syistä ja laajuudesta. Lisäksi esitetään riskiarvio niiden vaikutuksista rakenteen tekniseen toimivuuteen, sisäilman laatuun ja esim. ulkonäköön, sekä arvio käyttäjien mahdollisesta altistumisesta rakenteesta peräisin oleville epäpuhtauksille. Lopuksi esitetään suositeltavat toimenpiteet, niiden kiireellisyysjärjestys, suositus korjausajankohdaksi ja mahdollinen jatkotutkimustarve.

Johtopäätöksissä tulee kertoa selkeästi, mihin mittaustuloksiin johtopäätökset perustuvat. Mittaustulosten tulkintojen yhteydessä esitetään tulkinnan pohjana olevat viitearvot ja niiden lähteet. Rakenteiden rakennusfysikaaliseen toimintaan liittyvät johtopäätökset perustellaan tarvittaessa rakennusfysikaalisin laskelmin, tai muulla luotettavalla tavalla, esimerkiksi rakenteen pitkäaikaiskestävyydestä saatujen kokemusten perusteella. Jos johtopäätöksiä ei voida perustella luotettavasti, tulee se mainita tutkimuslaskelmissa. Tällöin tutkimuslaskelmissa esitetään, mitä jatkotoimenpiteitä vaurion tai muun ongelman syyn luotettava selvittäminen vielä edellyttää.

Tutkimuslaskelmissa esitetään vaihtoehtoiset korjaustavat. Tarkoitus ei ole laatia yksityiskohtaista korjaussuunnitelmaa, vaan esittää periaatteelliset ratkaisut, joilla varmistetaan rakenteiden moitteeton lämpö-, kosteus- ja virtaustekninen toiminta sekä rakenteen toimivuus sisäilman laadun kannalta. Esitettäessä useampia korjaustapavaihtoehtoja eritellään eri vaihtoehtojen epäonnistumisriskit. Jos epäonnistumisriski kuntotutkimuksen perusteella jää liian suureksi, tulee kuntotutkijan esittää jatkotutkimusehdotus korjauksen onnistumisen varmistamiseksi.

6. LVI-järjestelmien tutkimusten tulokset ja tulosten tarkastelu

Kappaleessa kuvataan tutkitun rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä, koneet ja laitteet siinä tarkkuudessa ja laajuudessa kuin se on selvityksen kannalta tarpeen. Kappaleessa esitetään myös mahdolliset lämmitys- sekä vesi- ja viemärijärjestelmään liittyvät havainnot.

Tilojen ilmanjako ja mitatut ilmamäärät, sekä ilmanvaihtojärjestelmän osien puhtaus esitetään omissa kappaleissaan. Mikäli IV-koneita on useampia, esitetään niiden palvelualueet ja havainnot

kerrotaan koneittain. Lopussa esitetään johtopäätökset ja toimenpidesuosituksot omassa kappaleessaan. Laajoissa selvityksissä myös johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset voidaan esittää IV-koneittain / palvelualueittain.

Mikäli kosteus- ja sisäilmateknisen kuntotutkimuksen yhteydessä on tehty kattava ilmanvaihto- tai LVI-järjestelmien kuntotutkimus, voidaan sen raportti laittaa kokonaisuudessaan kosteus- ja sisäilmateknisen kuntotutkimuksen raportin liitteeksi. Riippumatta LVI-tutkimusten sijoittelusta raportissa, otetaan niiden tulokset huomioon arvioidessa sisäilman laatua ja käyttäjien altistumista rakenteista peräisin oleville epäpuhtauksille.

7. Sisäilman olosuhde- ja epäpuhtausmittausten tulokset ja tulosten tarkastelu

Kappaleessa esitetään suoraan rakenteisiin liittyvät mittaukset ja analyysit. Tällaisia ovat esimerkiksi sisäilmaolosuhteet (lämpötila, ilman suhteellinen kosteus), erilaiset kaasu- tai hiukkasmaiset epäpuhtaudet sisäilmassa tai pinnoille laskeutuneessa pölyssä, sekä paine-eromittaukset. Jäottelu tehdään yleensä mittaussuureittain. Tämän kappaleen johtopäätökset-osassa tuloksia tarkastellaan suhteessa eri rakenneosien rakenneteknisen selvityksen sekä IV-selvityksen tuloksiin siten, että todettujen sisäilman epäpuhtauksien todennäköiset lähteet tai olosuhdepoikkeamien aiheuttajat tulevat selviksi.

8. Muiden selvitysten tulokset

Mikäli tutkimusten yhteydessä on tehty muita kuin varsinaisia rakenneteknisiä, LVI- tai sisäilman laatuun liittyviä tutkimuksia, ne esitetään tässä kappaleessa. Tällaisia ovat esimerkiksi käyttäjä- ja sisäilmasto- ja oirekyselyjen tulokset.

9. Johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset

Tulosten tarkastelu, johtopäätökset (tai päätelmät) ja toimenpide-ehdotukset /-suositukset esitetään kattavissa selvityksissä kunkin rakenneosan kohdalla erikseen (ks. liite 4). Tällöin koko raportin lopussa kerrotaan rakennuksen merkittävimmät sisäilman laatuun ja rakenteiden kosteustekniseen toimintaan vaikuttavat tekijät ja listataan yhteenveto suosittel-

tavista toimenpiteistä. Suppeammissa raporteissa voidaan kaikki johtopäätökset ja toimenpiteet esittää raportin lopussa yhdessä kappaleessa.

Liitteet

Liitteisiin kootaan kaikki se aineisto, jota ei sijoiteta tekstiosaan, mutta joka edesauttaa vaurion syyn ja laajuuden sekä esitettyjen korjaustapojen ymmärtämistä, kuten valokuvia, rakennetietoja ja mittaustuloksia. Erityisesti suuremmissa tutkimuskohteissa liitteisiin sisällytetään yleensä aina pohjakuva tai -kuvia, joihin merkitään tarpeen mukaisessa laajuudessa seuraavia asioita:

- pintakosteuskartoituksessa havaitut poikkeavat alueet
- tärkeimmät havainnot rakenteiden puutteista
- aistinvaraiset havainnot sisäilman laadun puutteista
- rakenneavauskohdat numeroituina tms. tunnisteilla
- mittaus- ja näytteenottokohdat numeroituina tms. tunnisteilla.

Pohjakuvaliitteissä voidaan esittää myös korjaussuunnittelun kannalta oleellisia asioita, kuten eri lattianpäällyste- ja muita materiaaleja ym. yksityiskohtia, jotka eivät ilmene suunnitelmapiirustuksista, ja joiden esittäminen on selkeämpää kuvassa kuin tekstissä. Värillisten merkintöjen käyttö on suositeltavaa piirustusten luettavuuden parantamiseksi.

Kohteen alkuperäisiä rakennussuunnitelmia esitetään tarpeellisessa laajuudessa. Suunnitelmia voidaan rajata, pienentää tai suurentaa tarpeen mukaan, kuitenkin niin, että kuvan alkuperäinen sisältö ei oleellisesti muutu.

Laajat mittaustulokset, esimerkiksi kosteusmittaustulokset sekä paine-ero- ja olosuhdemittauskuvaajat voidaan koota liitesivuiksi. Laboratorioiden analyysivastaukset ja erilliset mittausraportit liitetään aina kokonaisuudessaan tutkimusselostukseen. Raporttitekstistä ja pohjakuvista tulee selvittää yksiselitteisesti, mikä tulosliitteen tai laboratorioanalyysivastauksen mittaustulos tai näyte vastaa mitään näytteenotto- tai mittaushohtaa. Raporttiin voidaan liittää myös esimerkiksi viemäri- tai sala-ajakuvauksen videotallenne.

Mikäli tutkimuksissa on käytetty runsaasti erilaisia mittauksia ja analyysijä, tai mittauksia, joiden

toteutus joudutaan syystä tai toisesta kuvaamaan yksityiskohtaisesti, voidaan tutkimusmenetelmät ja -välineet esittää kokonaisuudessaan liitteessä. Tällöin itse raporttitekstissä tulee viitata liitteeseen. Menetelmät tulee nimetä siten, että tekstistä selviää yksiselitteisesti, millä menetelmällä tai mittauksella mikin tulos on saatu.

4.2

Tutkimustulosten esittäminen, analysointi ja riskianalyysi

4.2.1

Tutkimustulosten esittäminen

Kuntotutkimuksen havainnot, mittaustulokset ja niiden analysointi, johtopäätökset sekä toimenpide-ehdotukset esitetään tutkimusselostuksessa ja ne ryhmitellään edellä esitettyyn järjestykseen. Esitysmuotoina ovat teksti, rakenne- ja rakennuspiirustukset, periaatepiirustukset vaurioitumismekanismeista, muut mahdolliset piirustukset, valokuvat rakenneyksityiskohdista ja vaurioista sekä mittaustulokset taulukoina ja/tai graafisina tulosteina. Rakenneavusten havainnot voidaan esittää valokuvoin tai yksityiskohtapiirustuksin.

Tekstiosan tulee olla esitystavaltaan lyhyttä ja yksiselitteistä. Tekstistä tulee selvästi käydä ilmi, mitkä ovat lähtötietoina saatuja tietoja, mitkä ovat kuntotutkijan kohteessa tekemiä havaintoja ja mitauksia sekä mitkä ovat em. asioiden perusteella tehtyjä johtopäätöksiä. Raporttiin tulee sisällyttää riittävä määrä havainnollisia valokuvia. Kaikkiin kuviin liitetään kuvateksti, josta ilmenee, mitä rakennuksen kohtaa kuva esittää ja mitä kuvalla halutaan tuoda esille.

Tutkimusselostuksessa esitetään vain vaurion/ongelman syyn selvittämisen kannalta oleelliset tiedot ja tulokset. Rakennuksen kokonaisvaltaisessa kuntotutkimuksessa on kuitenkin esitettävä myös, mitkä rakenneosat ovat kunnossa ja millä perusteella. Tutkimustulokset esitetään mahdollisimman tiiviissä muodossa. Tutkimusselostuksen perusteella on pystyttävä arvioimaan tehtyjä johtopäätöksiä rakennuksen vaurioista, niiden syistä ja esitetystä korjausperiaatteista. Näin varmistetaan, että tutkimustuloksia tulkitaan oikein, mikä varmistaa korjauksen suunnittelun ja toteutuksen onnistumista. Tästä syystä tutkimusselostuksessa

on mainittava käytetyt tutkimus- ja mittausmenetelmät, mittauspisteiden sijainnit, mittausajankohdat, mittaustulosten tallennusväli ja mittausjaksojen pituudet. Lisäksi on arvioitava mittausvirhettä ja mittausten luotettavuutta ja arvioidaan lyhyesti mittausvirhettä aiheuttaneet tekijät.

4.2.2

Tutkimustulosten analysointi ja riskianalyysi

Tutkimustulosten analysoinnin laajuus, sisältö ja analysointimenetelmät valitaan tapauskohtaisesti lähtötilanteen mukaan. Analysointia varten on oltava käytettävissä kaikki tutkimus- ja mittaustiedot. Analysoinnissa keskitytään vain rakenteen vaurioitumisen tai muun havaitun puutteen kannalta oleellisiin tekijöihin. Tulosten analysointi etenee systemaattisesti ja vastaa (soveltuvin osin) ainakin seuraaviin kysymyksiin:

Kosteusvauriot ja niiden laajuus

- Missä rakenneosissa, materiaaleissa ja missä laajuudessa rakenteissa on havaittavissa kosteusvaurioita?
- Esiintyykö rakenteissa poikkeuksellisen korkeita kosteuspitoisuuksia ja mikä on kosteusjakauma rakenteessa?
- Ovatko rakenteiden mitatut kosteuspitoisuudet
 - a. pintarakenteiden vaurioitumisen kannalta kriittisen korkeat?
 - b. muiden rakenteiden vaurioitumisen kannalta kriittisen korkeat?
- Onko poikkeavan kosteissa tai aistinvaraisesti arvioiden vaurioituneissa materiaaleissa mikrobikasvua?
- Onko kosteusvaurioituneista tai vaurioituneiksi epäillyistä materiaaleista todettu lähtevän poikkeavia kemiallisia emissioita?
- Onko vaurioituneiksi havaituista rakenneosista ilmayhteys sisätilaan?
- Ovatko rakennuksen painesuhteet epäpuhauksien kulkeutumiselle otolliset?

Vaurioiden syyt

- Mistä poikkeava kosteus on peräisin?

- Onko kosteuslähde yhä olemassa, vai onko kyseessä esimerkiksi vanha, korjattu vuoto?
- Liittyykö rakenneratkaisuihin riskialttiita rakenteita, joissa esimerkiksi kosteusvaurio-riski on toteutunut?
- Mikä merkitys toteutetuilla rakenneratkaisuille ja niiden mahdollisilla poikkeamilla rakennesuunnitelmista on rakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen käyttäytymiseen?
- Onko rakennuksen sisäilmassa sellainen merkittävää kosteuslisä, joka voisi aiheuttaa kosteusrasitusta rakenteille?
- Mistä mahdollinen sisäilman poikkeava kosteus johtuu?

Sisäilman laatu

- Pysyvätkö sisäilmaolosuhteet kuten lämpötila, ilmankosteus ja hiilidioksidipitoisuus rakennuksen käytön aikana sellaisella tasolla, että niistä ei aiheudu sisäilmahaittaa?
- Toimiiko ilmanvaihto suunnitellulla tavalla?
- Onko rakennuksen sisäilmasta tai esimerkiksi laskeutuneesta pölystä kerätyissä näytteissä poikkeavia pitoisuuksia kemiallisia, mikrobiperäisiä tai hiukkasmaisia epäpuhtauksia?
- Mitkä rakenteiden kuntotutkimuksissa tai ilmanvaihtojärjestelmän tutkimuksessa havaitut tekijät selittävät sisäilman laadun poikkeamat?

Yhteenveto, riskianalyysi

- Mikä on havaittujen puutteiden ja vaurioiden vaikutus sisäilman laatuun, voivatko tilankäyttäjät altistua niiden takia epäpuhtauksille?
- Mitkä ovat toimenpiteet, joilla haittaa aiheuttava olosuhde saadaan poistettua ja mahdollisesti vaurioituneet rakenteet ja vaurioitumisen syy varmuudella poistettua?

Lisäksi toisinaan on tarpeen ottaa kantaa esimerkiksi seuraaviin asioihin:

- Liittyykö poikkeava kosteus /vaurioituminen rakenteen normaaliin ikääntymiseen ja huollon laiminlyömiseen?
- Onko vaurion aiheuttanut rakenne suunniteltu ja toteutettu noudattaen rakentami-

senaikaisia suosituksia, vai onko kyseessä rakennusvirhe?

- Onko vaurion aiheuttanut virhe materiaalin laadussa?
- Minkä ikäinen vaurio on?
- Liittyykö vaurio / sisäilmahaitta rakennuksen käyttöön, ja onko tilojen käyttö suunnitelmien mukaista?

Seuraavissa kappaleissa on selvitetty tarkemmin tärkeimpien tulosten analysointia. Tulosten tulkinnaassa käytettäviä viite- ja ohjearvoja on esitetty eri tutkimus- ja mittausmenetelmille edellä luvussa 3.

Rakenneratkaisujen poikkeaminen suunnitelmista

Toteutettujen rakenneratkaisujen ja niiden suunnitelmista poikkeamisen merkitys rakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen käyttäytymiseen arvioidaan aina rakennusfysikaalisin perustein. Analysoitaessa, onko vaurion syy rakenneratkaisussa vai aiheutuuko vaurio esimerkiksi rakenteen liiallisesta kosteusrasituksesta, apuna käytetään tutkimus- ja mittaustietoja sekä vastaavien rakenteiden pitkäaikaiskestävyydestä saatuja kokemuksia ja rakennusfysikaalisia laskelmia.

Sisäilman lämpötila- ja kosteuspitoisuus

Sisä- ja ulkoilmasta jatkuvakestoisena mittauksena mitattujen lämpötila- ja suhteellisen kosteuspitoisuuden perusteella arvioidaan, onko rakennuksen sisäilman kosteuspitoisuus käyttötarkoitukseensa nähden suunniteltua suurempi tai pienempi. Hetkellisten mittaustulosten perusteella ei voida tehdä kuin suuntaa antavia päätelmiä. Huoneilman lämpötilan ja kosteuspitoisuuden ohjearvot on esitetty *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa* (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016).

Jos huoneilman kosteuspitoisuus on arvioitua suurempi, analysoinnissa selvitetään kosteuden syy ja se, voiko ylimääräisestä kosteuslisästä olla haittaa. Yleisimmät syyt ovat puutteellinen ilmanvaihto, tilan käyttötarkoituksen muuttuminen, poikkeuksellisen runsas veden käyttö pesutiloissa tai keittiössä, ilmankostuttimien käyttö ja runsas pyykinpesu yhdistettynä pyykin kuivatukseen huonetiloissa. Myös rakentamisen aikaisen kosteuden (ns. rakennuskosteuden) haihtuminen rakenteista voi nostaa huoneilman kosteutta jonkin aikaa

rakennuksen valmistumisen jälkeen. Poikkeustapauksessa kosteusvaurio voi olla syynä huoneilman korkeaan kosteuspitoisuuteen. Jos huoneilman kosteus on merkittävästi koholla, selvitetään, aiheuttaako huoneilman kosteuslisä rakenteille kosteusvaurioriskin ja analysoidaan rakenteiden kosteusteknistä toimintaa. Riskin muodostavat yleensä kylmäsiltojen ja lämmöneristyspuutteiden aiheuttamat kylmät sisäpinnat sekä kostean ilman pääsy ilmapuotojen mukana ulkovaipan kylmiin osiin. Huoneilman kosteuspitoisuuden ollessa tilan käyttötarkoitukselle tavanomainen, johtuu rakenteen kosteustekninen vaurioituminen todennäköisesti virheellisistä rakenneratkaisuista, työvirheistä tai rakenteiden ikääntymisen myötä tapahtuneista vaurioitumisesta ja vahingoista, kuten putkivuodoista. Jos tarkasteltavat tilat ovat olleet kauan käyttämättömänä ennen kuntotutkimusta, mittaustulosten perusteella ei voida arvioida, onko asunnon käytöstä aiheutunut kosteusrasitus normaali tai poikkeuksellisen suuri. Selvittämällä, kuinka kauan tutkimuskohde on ollut käyttämättömänä, voidaan kosteusrasituksen muuttuminen ottaa mittaustulosten analysoinnissa huomioon.

Rakenteiden kosteusvaurioitumisriskin arviointi

Kuntotutkimuksen vaurioriskiarviossa selvitetään liittyykö rakenneratkaisuihin kosteusvaurioriski. Kosteusvaurioriskiarvio tarkistetaan tutkimustulosten analysointivaiheessa, jos kohteessa tehtyjen havaintojen ja rakennekosteusmittaustulosten perusteella rakenteiden kosteusrasitus tai rakenneratkaisut poikkeavat kuntotutkimuksen alkuvaiheessa tehdystä riskiarviosta. Kosteusrasituksen merkitys rakenteiden vaurioitumiseen on keskeinen. Esimerkiksi sama ryömintätilainen alapohjarakenne voi toisessa tapauksessa olla kosteusteknisesti toimiva ja toisessa tapauksessa siihen voi korkeasta kosteusrasituksesta johtuen liittyä selvä kosteusvaurioriski. Rakenteiden kosteusvaurioriskien tarkistuksessa on aina arvioitava, ovatko tutkimuksessa todetut rakennetekniset poikkeamat suunnitelmista lisänneet rakenteen vaurioitumisriskiä. Lisäksi verrataan, sijaitsevatko kosteusvauriot vain arvioiduilla vaurioriskialueilla vai onko vaurioalue laajempi.

Lisätietoa eri rakenneosien riskikohdista on esitetty luvussa 7. Kosteus- ja hometalkoissa julkaisutussa *Tunnista ja tutki riskirakenne* -opetusmateriaa-

lissa on esitetty havainnollisin kuvin pientalojen tyypillisiä riskirakenteita ja ohjeita niiden tutkimiseksi (Kosteus- ja hometalkoot, 2012).

Vaurioiden sisäilmavaikutusten ja tilankäyttäjien altistumisen arviointi

Todettujen mikrobivaurioiden ja esimerkiksi lattianpäällysteiden kemiallisen vaurioitumisen aiheuttamia sisäilmahaittojen riskiä arvioidaan pääosin vaurioiden laajuuden perusteella. Artikkelissa *Altistumisen arviointi sisäilmaston laatuun vaikuttavien tekijöiden perusteella* (Pietarinen V-M., ym., 2015) on kuvattu kriteeristöt:

- mikrobivaurioiden laajuuden arviointiin,
- epäpuhtauslähteiden ja sisäilman välisen ilmayhteyden, ilmapuotoreittien ja rakennuksen paine-erojen arviointiin,
- ilmanvaihtojärjestelmän vaikutuksen arviointiin, sekä
- tilankäyttäjien epäpuhtauksille altistumisen arviointiin.

Artikkelin kriteeristöjä voidaan käyttää tutkimustulosten perusteella tehtävien johtopäätösten tukena arviotaessa rakennuksen kuntoa ja vaurioiden vakavuutta ja merkitystä sisäilman laadun kannalta. Tilankäyttäjien altistumisen arviointia voidaan käyttää yhtenä osana rakennusten korjausten kiireellisyyden arviointia. Arviointia tehtäessä otetaan huomioon myös käyttäjien kokema sisäilmaston laatu ja tilojen käyttöön liittyvä ryhmätason terveydellinen tieto. (Pietarinen V-M., ym., 2015)

Mikrobikasvuston ja -vaurioiden riskiolosuhteista ja sisäilmavaikutusten arvioinnista on kerrottu enemmän luvussa 6.

Rakenteiden kosteuspitoisuuksien analysointi

Rakennekosteusmittaustulosten perusteella päätellään, esiintyykö rakenteissa poikkeuksellisen korkeita kosteuspitoisuuksia. Kosteuspitoisuuksia voidaan pitää poikkeuksellisen korkeina, jos ne ylittävät rakennetyypille rakennusajankohdan ja rakennetyypin huomioiden tavanomaisen kosteuspitoisuuden (vrt. luku 7). Poikkeuksellisen korkeat kosteuspitoisuudet voivat johtua rakenteiden kosteusteknisen toiminnan puutteista tai heikkenemisestä ajan myötä tai äkillisistä vesivahingoista. On

huomioitava, että rakenteen kohonneen kosteuspitoisuuden voi olla aiheuttanut kauempaa rakenteeseen kulkeutunut vesi. Esimerkiksi kattovuodon vesi voi ohjautua väliseinärakenteeseen. Tällaisissa tapauksissa rakenteiden todellinen kunto on suositeltavaa varmistaa rakenneavauksilla.

Rakenteen kosteuspitoisuuden analysoinnissa tulee ottaa huomioon mm. rakenneosan sijainti ja ikä.

Rakennekosteusmittaustuloksia analysoitaessa on arvioitava, onko tavanomaista korkeammasta kosteusrasituksesta haittaa rakenteen toiminnalle tai tilan käytölle. Esimerkiksi jos betonirakenteisten maanvastaisen alapohjarakenteen kosteuspitoisuus on koholla, mutta rakennetyypin materiaalit kestävät niihin kohdistuvan kosteusrasituksen, niin rakenne on kosteusteknisesti toimiva eikä kosteusrasituksesta ole haittaa. Materiaalivalmistajilta on tavanomaisesti saatavilla tieto eri materiaalien kriittisistä kosteuspitoisuuksista. Betonirakenteiden kosteusmittauksista ja päällystyskriteereistä on saatavilla lisätieto mm. julkaisuissa *Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet* (Suomen Betonitieto Oy ja Lattian- ja seinänpäällysteliitto ry, 2007). Lattiapäällysteiden vaurioitumisen arvioinnissa voidaan käyttää julkaisua *Hyvät tutkimustavat muovilattiapäällysteiden vaurioitumisen arviointiin* (Keinänen H., 2013).

Rakennekosteusmittaustulosten perusteella voidaan päätellä, onko kosteusvaurion syy kosteuden liiallinen kulkeutuminen rakenteisiin vesihöyrynä tai vetenä. Jos vaurion aiheuttaa vesihöyrynä siirtyvä kosteus, arvioidaan, onko kyse diffuusiosta rakenteisiin, kosteuskonvektiosta, vesihöyryn kondensoitumisesta rakenteisiin tai rakenteiden puutteellisista kuivumismahdollisuuksista. Jos vaurion aiheuttaa vetenä siirtyvä kosteus, arvioidaan, onko kyse veden liiallisesta kulkeutumisesta rakenteisiin kapillaarisesti vai painovoimaisesti. Kosteusvaurion voi aiheuttaa myös sekä vesihöyrynä että vetenä siirtyvä kosteus. Rakenteiden kosteusteknistä käyttäytymistä ja eri rakenteille tavanomaisia kosteuspitoisuuksia on käsitelty luvuissa 5 ja 7.

Mittaustulosten tulkinta ja vertaaminen viitearvoihin sekä mittaasepävarmuus

Mittauksen luotettavuuden arvioinnin perustaksi mittausraportissa tulee aina esittää mittauksen kokonaistarkkuus/epävarmuus mittalaitteen, mittausolosuhteiden ja mittaustavan vaikutukset riittävän tarkasti huomioiden. Ulkopuolisten laboratorioiden tekemien analyysien osalta laboratorio ilmoittaa analyysistä aiheutuvan mittaasepävarmuuden.

Mittaasepävarmuus tulee ottaa huomioon mitaustuloksia arvioitaessa. Esimerkiksi tilanteessa, jossa käytetyn menetelmän arvioitu mittaasepävarmuus on 25 % ja mitaustulos 100 yksikköä, tulisi mitatun suureen todelliseksi tasoksi tulkita 75–125 yksikköä. Tulkinnat mm. kosteus-, sisäilmaolosuhte- ja epäpuhtausmittauksista perustuvat yleensä ainakin osittain tuloksen vertaamiseen erilaisiin viitearvoihin. Mikäli viitearvo osuu mittaasepävarmuuden sisään (esimerkiksi mikäli viitearvo olisi edellisessä tapauksessa 90), ei yksittäisen mitaustuloksen perusteella voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä viitearvon ylittymisestä tai alittumisesta.

4.2.3

Johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset

Tutkimustulosten perusteella raportin lopussa esitetään:

- yhteenveto tutkimustuloksista
- yhteenveto kohdassa 4.2.2 kuvatun tulos- ja riskianalyysin johtopäätöksistä
- toimenpide-ehdotukset.

Tutkimustulosten yhteenvedossa esitetään muutamalla lauseella vaurioiden ja muiden sisäilman laatua heikentävien tekijöiden olemassaolo, laatu, sijainti ja laajuus sekä vaurioiden/ongelmien aiheuttajat (esimerkiksi kosteuslähde, tai materiaaliesimission syy, ilmanvaihdon puutteellisen toiminnan syy jne). Lisäksi esitetään arvio siitä, voivatko tilankäyttäjät em. puutteiden ja vaurioiden takia altistua poikkeaville pitoisuuksille rakenteista, ilmanvaihtojärjestelmästä, pintamateriaaleista jne. peräisin olevia epäpuhtauksia. Suositeltavaa on myös arvioida, kuinka merkittävää altistuminen voi olla. Tällöin tulisi huomioida paitsi altisteen

voimakkuus (esimerkiksi kosteusvaurion laajuus ja sisäilmayhteyden voimakkuus, sisäilmasta mitatun epäpuhtauden pitoisuus jne.) myös tilan käyttöön liittyviä tekijöitä, esimerkiksi oleskellaanko tilassa jatkuvasti vai onko tila satunnaiskäytössä.

Tutkimukset kohteessa tulisi suorittaa sillä laajuudella ja tarkkuudella, että toimenpide-ehdotuksissa ei enää tarvitse ehdottaa jatkotutkimuksia vaan toimenpide-ehdotuksissa esitetään toimenpiteet vaurion poistamiseksi. Johtopäätöksiin perustuvat toimenpide-ehdotukset esitetään pääasiassa tekstimuodossa. Toimenpiteiden tärkeys- ja kiireellisyysjärjestys esitetään mahdollisuuksien mukaan.

Tutkimusselostuksen lopussa esitetään pääpiirteittäin vaihtoehtoiset korjaustavat ja materiaalisuosituksiset. Toimenpide-ehdotuksen tarkkuus riippuu kuntotutkijan korjausrakentamis- ja korjaussuunnittelupätevyydestä. Varsinainen korjaussuunnittelu tarkkoine kuvineen ja materiaalivalintoineen tehdään yleensä aina eri toimeksiantona. Tutkimusselostuksessa esitetyt toimenpide-ehdotukset eivät siis ole valmis korjaussuunnitelma ja tästä on myös suositeltavaa mainita tutkimusselostuksessa väärinkäsitysten välttämiseksi. Korjaustoimenpiteet vaativat aina kohdekohtaiset korjaussuunnitelmat, jotka koostuvat korjaustyöselostuksesta ja tarvittavista detaljeista. Suunnittelun tekee korjausrakentamiseen erikoistunut rakennesuunnittelija.

Raportissa on suositeltavaa ottaa kantaa korjaussuunnittelu- ja työnjohtotehtävien vaativuuteen (vaativuusluokka) ja suunnittelijoiden ja työnjohtajan kelpoisuusvaatimuksiin.

4.3

Korjaussuunnittelun käynnistäminen

Kuntotutkimuksen jälkeen rakennuksen korjaushankkeen seuraava vaihe on korjaussuunnittelu. Korjaussuunnittelussa on oleellista, että kuntotutkimukseen liittyvät asiakirjat on toimitettu korjaussuunnittelijalle jo suunnittelun käynnistämävaiheessa. Lisäksi on huomioitava, että korjaussuunnittelijan sekä kuntotutkijan on tehtävä kiinteää yhteistyötä koko korjaussuunnitteluprosessin ajan.

Kuntotutkijan ja korjaussuunnittelijan on suositeltavaa käydä yhdessä läpi kohteen vauriot, riskianalyysi ja korjaustarpeet. Myös yhteiskatselmointi on usein tarpeen.

Korjaussuunnittelun alussa suunnittelija perehtyy kuntotutkimusselostukseen sekä muihin asiakirjoihin, ja muodostaa käsityksen sekä kohteen rakenneratkaisuista että toteutettavista korjaustavoista.

Kun korjaussuunnittelija on perehtynyt lähtötietoaineistoon, kuntotutkijan ja korjaussuunnittelijan on suositeltavaa vähintäänkin kokousta korjauskohteeseen liittyen. Laajoissa korjauskohteissa on suositeltavaa myös järjestää erillinen kohdekatselmus kuntotutkijan ja korjaussuunnittelijan kesken.

Kokouksessa kuntotutkija käy läpi korjausta edellyttävien vaurioiden syyt, vaihtoehtoiset korjaustavat, ja painottaa korjaussuunnittelijalle kriittisten rakennedetaljien, työvaiheiden sekä korjaustyön laadunvarmistuksen merkitystä korjausten onnistumisessa. Korjaussuunnittelija pyytää haluamiaan tarkennuksia vaihtoehtoihin korjaustapoihin, jotta korjaussuunnittelu osataan tehdä oikein. Tarvittaessa korjaussuunnittelun aikana voidaan järjestää useampia yhteisiä kokouksia tai katselmuksia.

Korjaussuunnittelija laatii korjaussuunnitelmat lähtötietoina olevan aineiston sekä erillisten kokousten ja katselmusten perusteella. Korjaussuunnittelussa on myös huomioitava toteutetaan kohteessa samanaikaisesti LVIS-korjauksia, sillä suunnittelussa on otettava huomioon niiden edellyttämät purku- ja rakennustyöt sekä LVIS-asennusten vaatimat liitokset rakenteisiin. Lisäksi on varmistettava, että talotekniset asennustyöt toteutetaan siten, ettei liitoksista aiheudu vaurioita rakenteisiin. Korjaussuunnittelija varmistaa ilmanvaihtosuunnittelijalta, että ilmanvaihtolaitteisto säädetään siten, että sisätila on lievästi alipaineinen ulkoilmaan verrattuna, ja painesuhteet pysyvät hallittuina ilmanvaihdon eri käyttöasetuksilla.

Ohjeita kosteusvaurioiden korjaussuunnitteluun on esitetty tarkemmin julkaisuissa *Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjaus* (Ympäristöministeriö, 1997b) sekä *Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaus* (Asikainen V. ja Peltola S., 2008).

Kuntotutkimuksen tulosten merkitys rakennuksen käyttötavan ja elinkaaren hallinnassa

Kuntotutkimuksen tuloksena saatavat toimenpiteet, niin lähiaikoina kuin myöhemminkin suoritettavat, tulee viedä kunnossapitosuunnitelmaan (PTS) tai muuhun käytössä olevaan kirjalliseen suunnitelmaan, ja siten osaksi suunnitelmallista kiinteistönpitoa. Korjaustoimet tulevat mukaan korjausohjelmaan ja niiden kustannuksiin varataan tarvittavat varat budjetista.

Kosteusvaurioiden ja sisäilmaongelmien edellyttämät korjaukset kannattaa sovittaa yhteen rakennuksen muiden korjausten kanssa.

Kuntotutkimuksen tuloksena saatavia toimenpite-ehtotuksia tulee arvioida kokonaisuutena ja suhteuttaa rakennuksen elinkaaren ja käyttötar-koitukseen. Mikäli eri rakenneosille on esitetty useita samanaikaisia ja lähiaikoina suoritettavia toimenpiteitä, voidaan mahdollista peruskorjaus-ajankohtaa aikaistaa. Yhdistämällä toimenpiteitä isommaksi kokonaisuudeksi tilojen tyhjillään olo-aika on mahdollista minimoida pitemmällä tähtäimellä. Mikäli rakennuksen tilat ovat nykyisen käytön vaatimukseen verrattuna vanhentuneita, eikä rakennusrunko mahdollista riittäviä tilamuu-toksia, voidaan rakennusta korjata kohdennetu-in minimitoimenpitein. Tällöin käyttöikä yleensä vaaditaan sen verran, että toiminnalle ehditään suunnitella ja rakentaa uusi rakennus. Rakennus voidaan myös käyttää nykyisessä käytössään lop-puun ja sen jälkeen korjata johonkin uuteen käyt-tötarkoitukseen.

Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) mukai- sesti myös viranomaisen voi korjaushankkeiden yhteydessä edellyttää rakennuksen kuntoa koske- vaa selvitystä (MRL 131 §).

Kuntotutkimuksen ja sisäilmastokyselyjen tu- losten perusteella voidaan tarvittaessa muuttaa ti- lankäyttöratkaisuja rakennuksen sisällä, ja siirtää käyttäjiä pois riskialttiista tiloista. Käyttäjille tulee taata kaikissa tilanteissa turvalliset tilat ja käyttö- tarkoitukseen nähden riittävä sisäilman laatu.

Kokonaisuudessaan tehtävät toimenpiteet tu- lee sopeuttaa rakennuksen odotettavissa olevaan elinkaareen. Tilaajan kannattaa hyödyntää kun- totutkimuksen tehneen asiantuntijan kokemusta ja henkilökohtaista näkemystä, mikäli korjauksia joudutaan kustannus- tai resurssisyyistä siirtämään tai priorisoimaan. Isommat peruskorjaustyyppiset toimet vaativat aikaa suunnittelulle ja mahdolli- sille lupaprosesseille. Ennen laajempien korjaus- toimenpiteiden aloitusta voi olla tarpeen tehdä ti- loissa väliaikaisia toimenpiteitä, joilla olosuhteita pyritään väliaikaisesti parantamaan. Mahdolliset toimet tulee valita asiantuntijan kanssa yhteistyös- sä ja kohdekohtaisesti. Kyseisiä toimenpiteitä ovat esimerkiksi ilmanvaihdon käyttö täydellä teholla ympäri vuorokauden, joidenkin tilojen poistami- nen käytöstä, käytössä olevien tilojen maltillinen ylipaineistaminen tai vaurioituneiden rakenne- tai rakennusosien alipaineistaminen. Väliaikaisia toi- menpiteitä tehtäessä tilanteen aktiivinen seuraami- nen yhteistyössä tilojen käyttäjien kanssa ja toi- menpiteistä ja niiden tarkoituksesta tiedottaminen ovat ensiarvoisen tärkeitä.

5 Rakenteiden kosteustekninen käyttäytyminen

Kosteus- ja mikrobivauriot syntyvät, kun rakenteet ja materiaalit eivät kestä niihin kohdistuvia kosteusrasituksia. Se, missä vaiheessa kosteusrasitukset ylittävät rakenteen sietokyvyn ei ole yksiselitteistä. Yleisesti ottaen voidaan ainakin sanoa, että rakenteeseen ei saisi kertyä kosteutta pitkällä aikavälillä. Lisäksi yksittäisen kosteusrasituksen, esimerkiksi putkivuodon, on kuivuttava riittävän nopeasti, jotta kosteus- ja mikrobivauriot voidaan välttää. Rakenteiden kosteusteknisen käyttäytymisen analysointi käsittää sekä rakenteisiin kohdistuvien kosteusrasitusten että rakenteiden kuivumisnopeuksien arvioinnin. Rakenteiden mikrobivaurioitumista on käsitelty tarkemmin luvussa 6.

Rakenteiden kosteusrasitukset ja kuivumiskyky perustuvat eri fysikaalisiin kosteuden siirtymistapoihin ja niiden yhdistelmiin. Rakennuksen onnistunut kosteustekninen kuntotutkimus edellyttää, että kuntotutkija ymmärtää perusasiat rakenteiden ja rakennusmateriaalien kosteusteknisestä käyttäytymisestä. Tällöin tutkimussuunnitelmassa, itse tutkimusvaiheessa ja tutkimuksen raportoinnissa keskitytään oikeisiin asioihin ja tehdään oikeat johtopäätökset.

Rakenteiden kosteusteknistä käyttäytymistä on käsitelty tämän oppaan lisäksi esimerkiksi julkaisuissa:

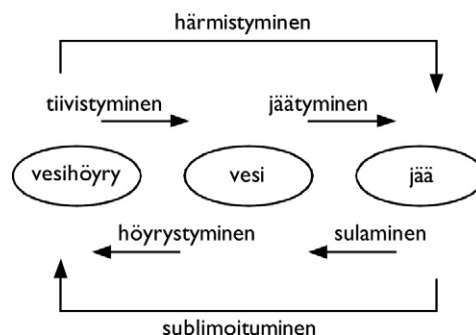
- *RIL 255-1-2014 Rakennusfysiikka I. Rakennusfysiikkaalinen suunnittelu ja tutkimukset* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2014)
- *RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteuden eristysohjeet* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012)
- *RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011)
- *RIL 126-2009, Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2009)

- *Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovelluksia* (Siikanen U., 2014)
- *Building Physics – Heat, Air and Moisture: Fundamentals and Engineering Methods with Examples and Exercises* (Hens H., 2012)
- *Fukthandbok - Praktik och teori* (Nevander L. ja Elmarsson B., 2011).
- *Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka* (Björkholz D., 2002)

5.1

Veden olomuodot

Vesi esiintyy rakennuksissa vesihöyryinä, vetenä ja jäänä. Lämpötilasta riippuen vesi muuttaa olomuotoaan rakenteissa ja niiden pinnoilla (kuva 5.1). Kun vesihöyry tiivistyy tai vesi jäätyy, vapautuu energiaa. Sulaminen ja höyrystyminen puolestaan sitovat energiaa.

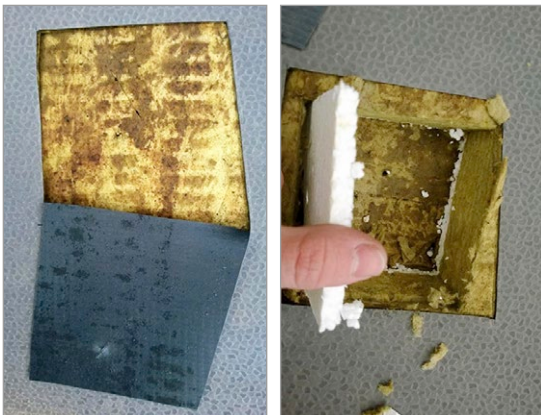


Kuva 5.1 Veden olomuodonmuutokset.

Ilmiötä, jossa vesihöyry tiivistyy vedeksi kutsutaan tiivistymiseksi eli kondensoitumiseksi. Ilman vesihöyry kondensoituu pinnalle, jos pinnan lämpötila on alle ympäröivän ilman kastepistelämpötilan. Rakennuksissa kondensoituminen voi olla seurausta esimerkiksi seuraavista ilmiöistä:

- Yön vastasäteily alentaa vaipan ulkopintojen (esimerkiksi katemateriaalin alapinnan) lämpötilaa alle ulkoilman lämpötilan.
- Rakennustöiden yhteydessä rakennusmateriaalien mukana tuodaan kosteutta esimerkiksi tasoitteiden yhteydessä.
- Rakenteita kuivatetaan lämmittämällä, josta syntyy kosteustuottoa.
- Rakenteet lämpiävät nopeasti lämpimän ulkoilman virratessa esim. ullakotilaan. Lämmenneet rakenteet luovuttavat kosteutta.
- Kosteus siirtyy ilmavirtauksen mukana kylmempään tilaan (esimerkiksi huonetilasta ullakotilaan tai ulkoilmasta ryömintätilaan).
- Huonetilan sisäpinnan lämpötila on alhainen kylmäsiällä vaikutuksesta.
- Sisäilman vesihöyryä siirtyy ulko-osastaan sisäosaa vesihöyryntiiviimpään rakenteeseen ja kondensoituu siellä pitkän ajan kuluessa (esimerkiksi sisäpuolelta lämmöneristeyssä seinässä).

Kosteus kondensoituu helpoiten tiiviille pinnalle tai määrän materiaalin pinnalle (kuva 5.2). Pinnan lämpötilan laskiessa kosteus kondensoituu ensin tasaiseksi vesikalvoksi pinnalle. Ilmiötä kutsutaan filmikondenssiksi. Filmikondenssi muuttuu pisarakondenssiksi, kun pinnalle siirtyvä kosteus lisääntyy. Pisanan koko kasvaa kondensoitumisen edetessä, kun pienet pisarat yhtyvät. Kaltevilla tai pystysuorilla pinnoilla kondensoitunut kosteus valuu alaspäin. Kondensoitunut tai muuten rakenteeseen siirtynyt kosteus jäätyy, jos rakenteen lämpötila on alle 0 °C.



Kuva 5.2 Eräässä umpirakenteisessa katossa rakennuskosteus oli kondensoitunut sekä katteen alla että kallistuksen tekemiseen käytetyn EPS-levyn alla. Kuvat: K. Viljanen, Vahanen Oy.

Kosteuden haihtuminen (kuva 5.1, höyrystymisen) pinnoilta tapahtuu diffuusiolla ja konvektiolla. Haihtumisen nopeus riippuu pinnan lämpötilasta, pinnalla virtaavan ilman nopeudesta, ympäröivän ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta sekä pintaan kohdistuvasta auringonsäteilystä.

Jää tai lumi voi muuttua suoraan vesihöyryksi sublimoitumalla. Tämä on mahdollista rakenteissa reiluissa pakkaslämpötiloissa ja kuivalla ilmalla (alhainen suhteellinen kosteus). Esimerkiksi eräässä kohteessa ullakolla ollut tuiskulumi ei sulanut ja valunut vetenä sisätiloihin, vaan sublimoitui sekä haihtui ullakotilaan (kuva 5.3). Kosteuden haihtuminen kasvaa tuulisella ja aurinkoisella säällä. On kuitenkin huomattava, että kuvan 5.3 esimerkki on epätavanomainen. Tyypillisesti lumen aiheuttama kosteusvaurioriski on merkittävä, eikä lunta saisi päästä ullakolle tai katon tuuletusväliin.

5.2

Kosteus ilmassa

Kosteuden lähteitä arvioitaessa on ymmärrettävä ilman kosteuden käsite. Lämmin ilma voi sitoa enemmän kosteutta kuin kylmä ilma (kuva 5.4). Ilman kosteus saavuttaa kyllästystilan, kun vesihöyryn pitoisuus nousee riittävästi lämpötilan pysyessä vakiona (kuva 5.4). Kyllästystilassa ilmassa on suurin mahdollinen määrä vesihöyryä ilman, että kosteus tiivistyy vedeksi. Suhteellinen kosteus on ilman sisältämän vesihöyryn määrän suhde ilman lämpötilaa vastaavaan kyllästystilan vesihöyryn



Kuva 5.3. Eräässä ullakotilassa tuiskulumi poistui ilmaan sublimoitumisen, sulamisen ja haihtumisen yhteisvaikutuksesta. Yläpohjassa oli 200 mm mineraalivilla ja kate oli tumma kuitusementtilevykate. Ullakotilan tuulettavuus oli voimakas. Kuva: P. Sallinen, Vahanen Oy.

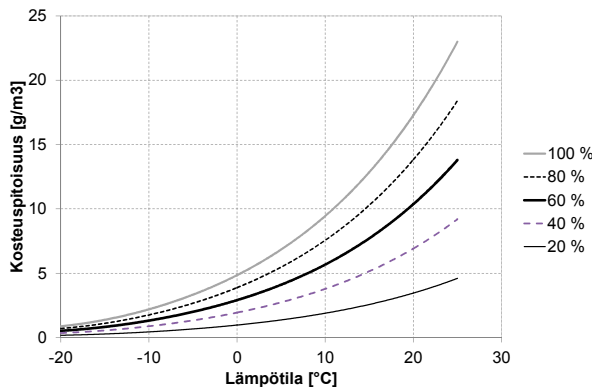
määrään. Suhteellinen kosteus voidaan määrittää myös ilman vesihöyryn osapaineen ja kyllästystilan vesihöyryn osapaineen suhteena (kaava 5.1).

$$RH = 100 \% \cdot \frac{v_i}{v_k} = 100 \% \cdot \frac{p_i}{p_k} \quad [5.1]$$

missä RH on ilman suhteellinen kosteus [%], v_i on ilman vesihöyryn määrä [g/m^3], v_k tarkasteltavaa ilman lämpötilaa vastaava kyllästystilan vesihöyryn määrä [g/m^3], p_i on vesihöyryn osapaine [Pa] ja p_k on kyllästystilan vesihöyryn osapaine [Pa]. Suhteellinen kosteus on 100 %, kun ilma on kyllästystilassa. Kuvassa 5.4 on esitetty ilman sisältämän vesihöyryn määrän riippuvuus ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta. Esimerkiksi + 20 °C lämpötilassa ja 60 % suhteellisessa kosteudessa kuutiometrissä ilmaa on reilu 10 grammaa kosteutta (kuva 5.4 punainen piste).

Kuvan 5.4 käyrästä voidaan arvioida ilman suhteellisen kosteuden muutosta

- ilman virratessa eri lämpöiseen tilaan
- pinnan suhteellisen kosteuden muutosta, kun ilma kohtaa pinnan, esimerkiksi arvioitaessa sisätilaan rajoittuvien eri lämpöisten pintojen homehtumisriskiä.



Kuva 5.4. Ilman sisältämän vesihöyryn määrän riippuvuus ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta.

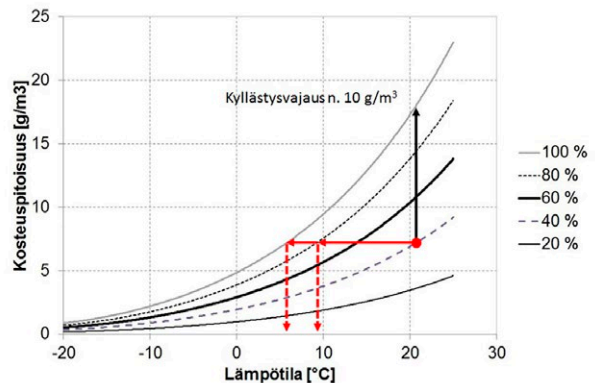
Esimerkki 5.1. Kuvan 5.4 soveltaminen

Oletetaan, että ilman lämpötila on + 21 °C ja suhteellinen kosteus 40 %. Kuvan 5.4 käyrästä voidaan arvioida, mikä on huonetilaan rajoittuvan pinnan kriittinen lämpötila. Arviointikriteerinä on kosteuden tiivistyminen, kun RH = 100 % ja homehtumisriskin raja-arvoksi pinnalle valitaan 80 %. Arvioinnin kulku on esitetty kuvassa 5.10 punaisilla nuolilla. Esimerkkitapauksessa homehtumisriskin kriittinen lämpötila on noin + 9,5 °C ja tiivistymisen kriittinen lämpötila on noin + 5 °C.

5.3

Veden sitoutuminen rakennusaineisiin

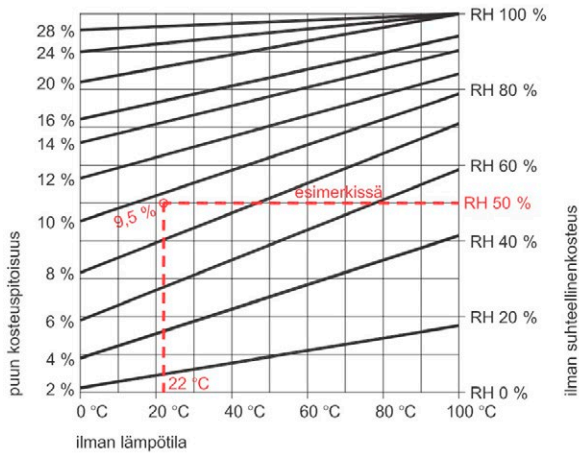
Veden määrä materiaalissa (myös materiaalin vesisisältö tai materiaalin kosteuspitoisuus, engl. moisture content, MC), voidaan esittää joko veden määränä materiaalkuutiota kohden (kg/m^3) tai prosentteina materiaalin kuivapainosta (%). Huokoisten materiaalien huokosilman sisältämä kosteus ilmaistaan usein suhteellisen ilmankosteuden arvona (relative humidity, RH). Määritelmät on kuvattu tarkemmin kohdassa 5.3.1.



Kuva 5.5. Kuvan 5.4 soveltaminen arvioitaessa huonetilan pinnan kriittistä lämpötilaa.

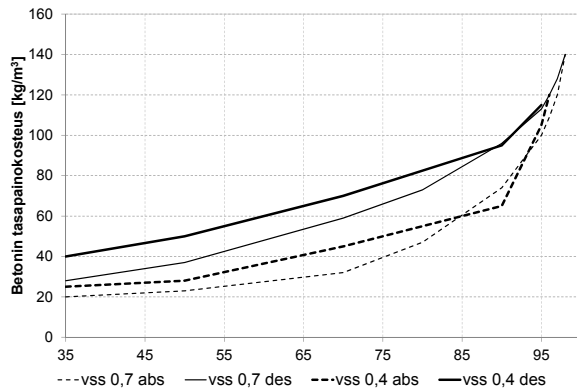
Hygroskooppinen tasapainokosteus

Hygroskooppisuudella tarkoitetaan materiaalin kykyä sitoa kosteutta ilmasta ja luovuttaa kosteutta ilmaan. Ympäristön suhteellisesta kosteudesta ja materiaalin kosteuspitoisuudesta riippuu, sitooko vai luovuttaako materiaali kosteutta. Materiaali on hygroskooppisella alueella, kun sen kosteuspitoisuus vastaa ympäröivän ilman suhteellista kosteutta 0...98 %. Materiaalin kosteuspitoisuuden ja ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden riippuvuutta kuvataan tasapainokosteuskäyrillä. Kuvissa 5.6–5.8 on esimerkit puun, betonin, mineraalivillan ja tiilen tasapainokosteuskäyristä.

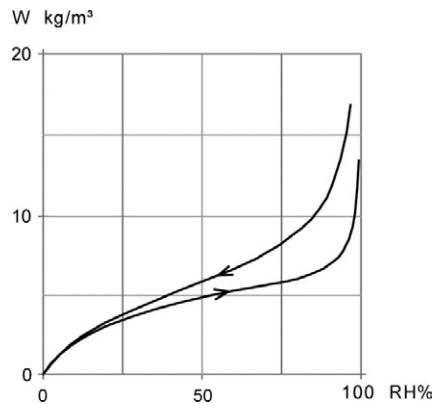
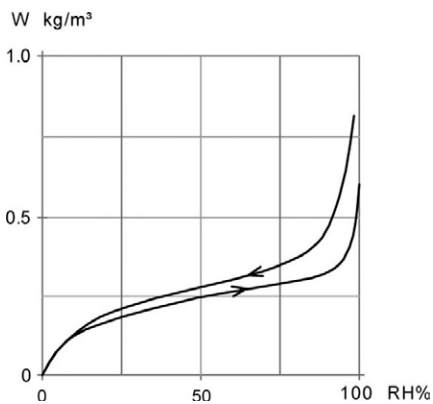


Kuva 5.6. Puun tasapainokosteuskäyrä. Esimerkissä puun tasapainokosteus 9,5 paino-% saavutetaan + 22 °C lämpötilassa ja 50 % suhteellisessa kosteudessa. Kuvan lähde: RT 21-10978. Puutavara. Sa-hattu, höylytetyt ja jatkojalosteet, Rakennustietosäätiö RTS, 2009b.

Materiaalin tasapainokosteus riippuu myös lämpötilasta, joten kutakin lämpötilaa vastaa erilainen materiaalin tasapainokosteuskäyrä. Matalammissa lämpötilassa materiaali sitoo enemmän vettä kuin korkeammassa. Kosteusmittaukset suositellaankin tehtävän +15–25 °C lämpötiloissa, sillä mittaustuloksen poiketessa liiaksi rakenteen normaalista lämpötilasta, mittaustulos voi olla vääristynyt. Rakenteissa tasapainokosteuskäyrän lämpötilariippuvuus voi toisaalta johtaa kosteuden siirtymiseen rakenteen sisällä kylmälle rakenteen osalle. Koska tasapainokosteuden lämpötilariippuvuutta on esitetty kirjallisuudessa rajoitetusti, yleensä käytetään + 23 °C lämpötilassa laadittuja käyriä.



Kuva 5.7. Betonin tasapainokosteuskäyrät kastumis- (adsorptio-) ja kuivumis- (desorptio-) vaiheissa eri vesimenttisuhteella (vss). Kuvan lähde: Hagentoft C.-E., 2001.



Kuvat 5.8. Mineraalivillan (vasemmanpuoleinen kuva) ja tiilen (oikeanpuoleinen kuva) tasapainokosteuskäyrät. Huomaa ero y-akselin asteikossa. Kuvien lähde: Nevander L. ja Elmarsson B., 2011.

Materiaalin hygroskooppisuudesta riippuu, kuinka kosteuslisä vaikuttaa materiaalin sisäiseen suhteelliseen kosteuteen ja siten mm. mikrobin käytössä olevaan vapaan veden määrään. Esimerkiksi täysin kuivaan puupohjaiseen materiaaliin lisätty 150–200 g/kg vesimäärä nostaa materiaalin suhteellisen kosteuden tasolle RH 80 %. Mineraalivillalla ja kipsilevyllä sama suhteellinen kosteustaso saavutetaan n. 10–15 g/kg kosteuslisällä.

Mineraalivillan tai solumuovien hygroskooppisesti sitomat kosteusmäärät ovat alhaisia, kun taas esimerkiksi puukuitueriste sitoo kosteutta selvästi näitä enemmän. Mitä enemmän rakenteissa on hygroskooppisesti kosteutta sitovia materiaaleja, sitä enemmän rakenne voi ottaa ympäristöstään vastaan kosteutta ilman että tämä aiheuttaa haittaa rakenteen toimivuudelle.

Materiaalin kastumisen ja kuivumisen tasapainokosteusikäyrät ovat erilaiset, sillä samalla ilman suhteellisella kosteudella materiaalin kosteuspitoisuus kuivumisvaiheessa on suurempi kuin kastumisvaiheessa. Ilmiötä kutsutaan hystereesiksi. Suuruusluokaltaan hystereesi on 75 % suhteellisessa kosteudessa mineraalivillalla 0,01 kg/m³, tiilellä 2,5 kg/m³ ja betonilla 20 kg/m³ eli se on sitä suurempi mitä enemmän materiaali hygroskooppisesti sitoo kosteutta.

Eri materiaalien tasapainokosteusikäyriä on esitetty mm. julkaisuissa RIL 255-1-2014. *Rakennusfysiikka I. Rakennusfysiikallinen suunnittelu ja tutkimukset* (Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry, 2014), *Fukthandbok - Praktik och teori* (Nevander L. ja Elmarsson B., 2011) ja *Rakennusmateriaalien rakennusfysiikalliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona* (Vinha J., ym., 2005).

Betonin tasapainokosteusikäyriä (kuva 5.7) voidaan pitää suuntaa-antavina. Tasapainokosteusikäyrät eroavat riippuen mm. vesisementtisuhteesta ja betonin osa-aineisten määristä.

Taulukossa 5.1 on esitetty rakennusmateriaalien keskimääräiset kosteuspitoisuudet, kun ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on 50 % ja 95 %.

Vertaamalla mitattua kosteuspitoisuutta ja tasapainokosteusikäyrän mukaista kosteuspitoisuutta voidaan arvioida, missä tilassa rakennusosa mittaushetkellä on. Tuoteryhmän sisällä kosteustekninen käyttäytyminen voi vaihdella paljon. Tämän vuoksi kirjallisuudessa esitetyt tasapainokosteusikäyrät ovat suuntaa-antavia. Tarvittaessa tasapainokosteuden tarkka arvo voidaan mitata laboratorioissa.

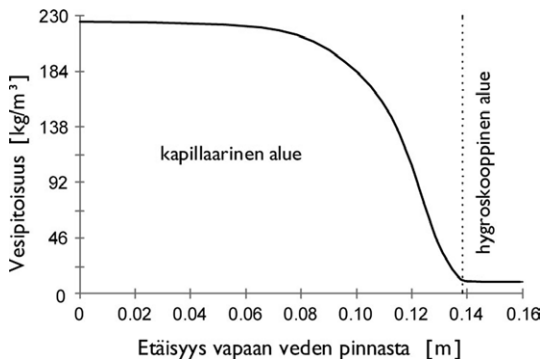
5.3.2

Kapillaarinen kosteustasapaino

Kapillaarisella kosteustasapainolla tarkoitetaan sitä kosteuspitoisuutta, johon materiaali asettuu ollessaan kosketuksessa vapaaseen veteen. Vesi imeytyy huokosalipaineen vaikutuksesta ja kosteus nousee sille korkeudelle, jossa huokosalipaine ja painovoima ovat tasapainossa. Kapillaarinen tasapaino voidaan saavuttaa myös siten, että materiaali on kosketuksessa toiseen kapillaarisella alueella olevaan materiaaliin, esim. maaperään. Materiaalin kosteuspitoisuus voi olla kapillaarisella kosteusalueella myös silloin, kun siinä on rakennuskosteutta. Kapillaariselle kosteustasapainolle on ominaista, että kosteuspitoisuus on korkeampi kuin hygroskooppisella alueella (kuva 5.9).

Taulukko 5.1. Rakennusmateriaalien keskimääräisiä kosteuspitoisuuksia, kun ilman suhteellinen kosteus on 50 % ja 95 %. Taulukon aineisto: Wufi Pro 4.2:n materiaalikirjasto; kivivillan arvot: Vinha J., 2007.

Materiaali	Tiheys [kg/m ³]	Kosteuspitoisuus [kg/m ³]	
		RH = 50 %	RH = 95 %
Kivivilla	37	0,21	0,81
Kipsilevy	850	3,6	19
Rappaus	1 265	4,0	55
Puukuitulevy	300	24	87
Vaneri	427	47	113
Betoni, vss. 0,5	2 300	48	118
Kuusi	455	45	121



Kuva 5.9. Tiilen kapillaarisesti ja hygroσκοoppisesti sitoma vesimäärä. Veden määrä on sitä pienempi mitä kauempana vapaan veden pinta on.

Materiaalin huokosjakaumasta riippuu, kuinka paljon materiaali imee kapillaarisesti itseensä kosteutta. Esimerkiksi tiilen kapillaarisesti imemä vesimäärä voi olla korkeintaan 7...25 % kuivapainosta, jolloin materiaaliin sitoutunut vesimäärä on 120...420 kg/m³. Tiilen hygroσκοoppisesti sitoma kosteus tiilen laadusta riippuen on selvästi alhaisempi, suuruusluokkaa 15 kg/m³.

Myös rakeiset aineet ovat kapillaarisesti vettä imeviä, jolloin sitoutunut vesimäärä riippuu raejakaumasta siten, että mitä hienorakeisempi materiaali on, sitä suurempi sitoutunut vesimäärä on. Esimerkiksi saven kapillaarisesti imemä vesimäärä voi vaihdella noin 400 kg/m³:sta yli 800 kg/m³:aan. Maa-ainesten kapillaarinen nousukorkeus vaihtelee löyhän hiekan noin 0,03 metristä tiiviin saven yli 10 metrin nousukorkeuteen.

Korkeat kosteuspitoisuudet viittaavat yleensä rakenteiden virheelliseen toimintaan. Rakenteet suunnitellaan siten, että kosteus niissä ei ole kapillaarisella alueella lukuun ottamatta rakenteita, jotka on suunniteltu ottamaan vastaan vapaan veden kosteusrasitus, esim. vedeneristyksen, julkisivut ja osa perustusrakenteista. Lisäksi suunnittelussa on otettava huomioon rakennuskosteuden kuivumismahdollisuudet rakenteita vaurioittamatta. Kapillaarisella kosteusalueella olevien materiaalien ja niiden läheisyydessä olevien rakenteiden vaurioitumis- ja homehtumisriski on merkittävän suuri, mikä edellyttää aina nopeita korjaustoimenpiteitä.

5.3.3

Vesiaktiivisuus

Vesiaktiivisuus on erityisesti elintarviketeknologiassa ja mikrobiologiassa käytetty termi, jolla kuvataan materiaalissa homeiden ja muiden mikrobin käytettävissä olevan veden määrää. Vesiaktiivisuus on materiaalin vesihöyryn osapaineen ja puhtaan veden vesihöyryn osapaineen suhde (kaava 5.2).

$$a_w = p/p_0 \quad [5.2]$$

missä p on materiaalin vesihöyryn osapaine ja p_0 on tiilatun veden vesihöyryn osapaine samassa lämpötilassa. Stabiileissa olosuhteissa materiaalin vesiaktiivisuus tasapainottuu ympäröivän ilman suhteelliseen ilmankosteuteen (relative humidity, RH) siten että $a_w = RH / 100 \%$. Tällöin puhutaan tasapainokosteudesta (equilibrium relative humidity, ERH). Esimerkiksi mitattaessa tuulettumattoman eristetilan suhteellisen ilmankosteuden (RH) arvoksi 55 % voidaan materiaalipintojen vesiaktiivisuuden a_w olettaa olevan noin 0,55.

5.4

Yleisimmät kosteuden lähteet

Kosteuden lähteiden jaottelu

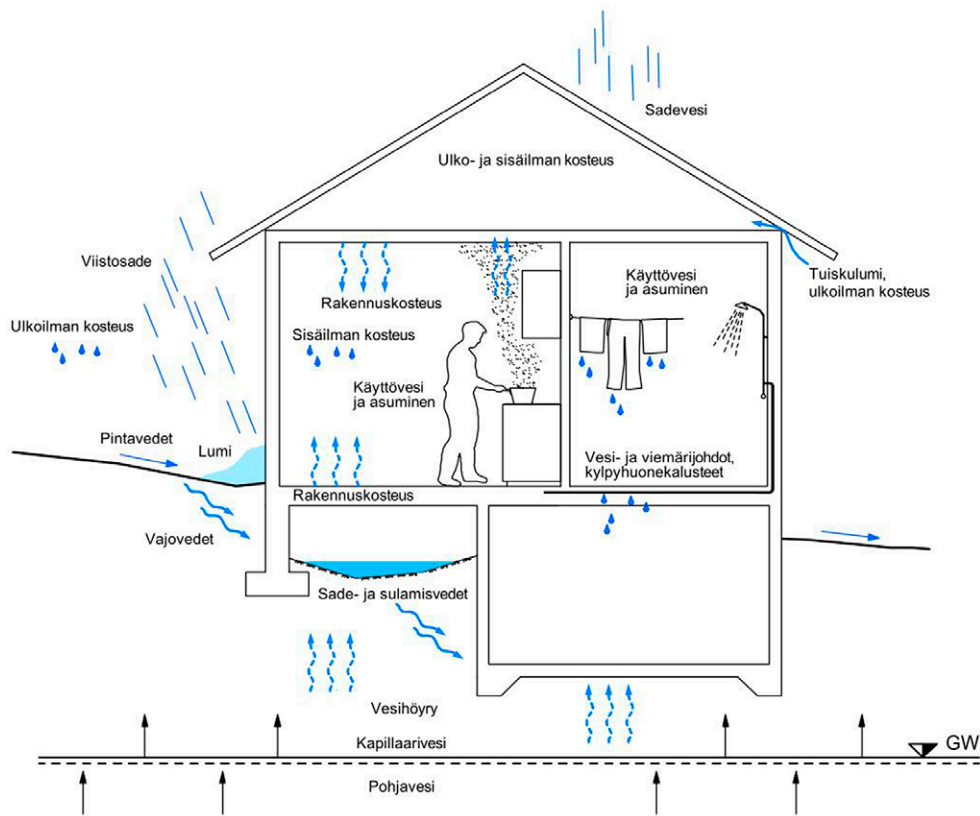
Rakenteisiin kohdistuvat kosteuden lähteet jaetaan rakennuksen sisä- ja ulkopuolisiin lähteisiin, kuva 5.10. Rakenteiden kosteus- ja mikrobivaurioita tutkittaessa on huomioitava sekä rakennukseen vaikuttavat sisä- että ulkopuoliset kosteuslähteet.

Huoneilman kosteus

Huoneilman kosteus riippuu ulkoilman kosteudesta, huonetilan kosteustuotosta ja tilan ilmanvaihtuvuudesta. Eri tekijöiden merkitystä tasapainotilanteessa voidaan arvioida kaavalla 5.3.

$$v_s = v_u + \frac{G}{nV} \quad [5.3]$$

missä v_s on sisäilman kosteuspitoisuus [g/m³], v_u on ulkoilman kosteuspitoisuus [g/m³], G on sisätilan kosteustuotto [g/h], n on ilmanvaihtokerroin [1/h] ja V on huoneen tilavuus [m³]. Termi G/nV on sisäilman kosteuslisä, joka riippuu tilan käy-



Kuva 5.8. Rakennuksen yleisimmät sisä- ja ulkopuoliset kosteuslähteet.

töstä ja ilmanvaihtuvuudesta. Kosteuslisä voidaan laskea arvioimalla tilan kosteustuotto, ilmanvaihtokerroin ja tilavuus. Jos kosteustuottoa ei erikseen arvioida, kosteuslisänä voidaan laskelmissa käyttää arvoa 3 g/m^3 . Rakennesuunnittelussa käytetään sisäilman kosteuslisälle mitoitusarvoja $3\text{--}5 \text{ g/m}^3$ (talvi) ja $1\text{--}2 \text{ g/m}^3$ (kesä) riippuen rakennuksen käyttötarkoituksesta (Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL ry, 2012).

Käytännössä helpoin tapa kosteuslisän arvioimiseksi on yleensä sisä- ja ulkoilman kosteuspitoisuuden mittaaminen ja näiden erotuksen laskeminen ($v_s - v_u$). Joissain tapauksissa näin voidaan arvioida onko rakennuksessa tavanomaisesta poikkeavaa kosteustuottoa.

Kuvassa 5.11 on esimerkki suomalaisen kerrostaloasunnon eri tilojen kosteuslähteiden, ulkoilman ja ilmanvaihdon yhteisvaikutuksesta ilman suhteelliseen kosteuteen kahden vuorokauden aikana kesällä. Runsas veden käyttö, kuten suihkussa käynti, aiheuttaa kylpyhuoneessa voimakkaan, lyhytaikaisen kosteuspitoisuuden nousun. Kuvan 5.11 tapauksessa kylpyhuoneen suhteellinen kosteus

nousi suihkun aikana 30...40 prosenttiyksikköä. Olohuoneen suhteellinen kosteus nousi 5...10 prosenttiyksikköä suihkun vaikutuksesta.

Mikrobikasvun kannalta materiaalien pinnan lähellä olevan ilman (mikroilmaston) ja materiaalien huokosilman kosteus, lämpötila ja niiden vaikutusaika ovat olennaisia. Mikrobikasvuston kehittymiseen tarvittavia kosteusoloja kuvataan usein vesikiivisyydellä (a_w , ks. kohta 5.3.3), joka voi saada arvot 0–1. Käytännössä tämä vastaa rakennusmateriaalien huokosilman suhteellista kosteutta (RH) jaettuna sadalla. Mikroilmaston suhteellinen kosteus voi poiketa olennaisesti sisäilman suhteellisesta kosteudesta esim. lämpötilojen vaihtelusta johtuen.

Huonetilan kosteustuotto, G

Huonetilan kosteuden lähteitä ovat mm. rakennuskosteus, ihmiset, eläimet, kasvit, käyttövesi, ruoan laitto, pyykinkuivaus ja ilmankostuttimet. Taulukossa 5.2 on esitetty asuinhuoneistojen kosteuden lähteitä ja niiden kosteustuottoja. Rakenteisiin ja rakennusaineisiin voi tulla kosteutta niiden val-

mistuksen, varastoinnin ja kuljetuksen sekä rakentamisen yhteydessä. Tätä kosteutta kutsutaan em. rakennuskosteudeksi. Rakenteet ja rakennusaineet pyrkivät kosteustasapainoon ympäröivän ilman kanssa. Kuivumisnopeus (kosteustuotto) riippuu ympäröivän ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta. Jos rakenneratkaisu on oikea ja rakennustyössä on noudatettu hyvää rakennustapaa, pääosa ylimääräisestä rakennuskosteudesta poistuu asuinrakennuksista yhden lämmityskauden aikana.

Ilmanvaihtuvuus, n

Ilmanvaihtuvuutta kuvataan ilmanvaihtokerroimella n [1/h], joka kertoo, kuinka monta kertaa huoneilma vaihtuu tunnin aikana. Ilmanvaihtokerroin lasketaan jakamalla huoneesta tunnissa poistunut ilmavirta huoneen ilmatilavuudella. *Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto (RakMK D2-2012)* mukaan asuin- ja opetustiloihin suunnittelun ohjearvo ulkoilmavirralla on 6 l/s/hlö, kun toimistohuoneisiin ohjeistetaan ulkoilmavirraksi 1,5 l/s/m². *Asumisterveysasetuksen (STMa 545/2015)* mukaisesti asunnon ilmanvaihdon ulkoilmavirran tulee olla käytön aikana vähintään 0,35 dm³/s neliometriä kohden. Mittaustulosten mukaan ilmanvaihtuvuus kerrostaloissa on keskimäärin 0,48 1/h ja pientaloissa 0,33 1/h (Säteri J., ym., 1990).

Esimerkki 5.2. Sisäilman kosteuspitoisuus

Oletetaan, että yksi henkilö tekee istumatyötä tilavuudeltaan 25 m³:n huoneessa. Huoneen ilmanvaihtokerroin on 0,6 1/h ja lämpötila on + 21°C. Ulkoilman lämpötila on + 5°C ja suhteellinen kosteus on 80 %. Mikä on sisäilman kosteuspitoisuus? Milloin huoneen pinnoilla on kondenssiriski ja homehtumisriski?

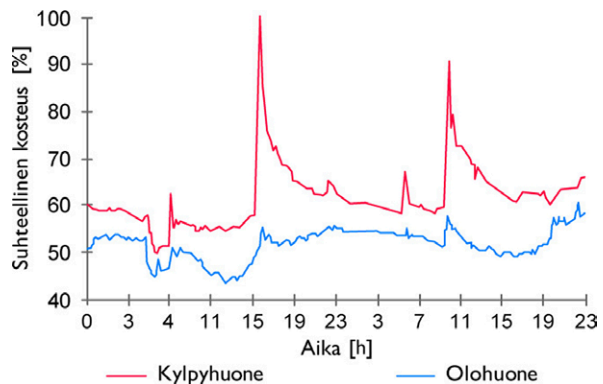
Sisäilman kosteuspitoisuutta voidaan arvioida kaavan 5.3 avulla. Ulkoilman kosteuspitoisuus on 5,5 g/m³ (kuva 5.4). Kosteustuotto on noin 40 g/h (taulukko 5.2). Sijoittamalla lukuarvot kaavaan 5.3 saadaan sisäilman kosteuspitoisuudeksi:

$$v_s = 5,5 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} + \frac{40 \text{ g/h}}{0,6 \text{ 1/h} * 25 \text{ m}^3} = 8,2 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

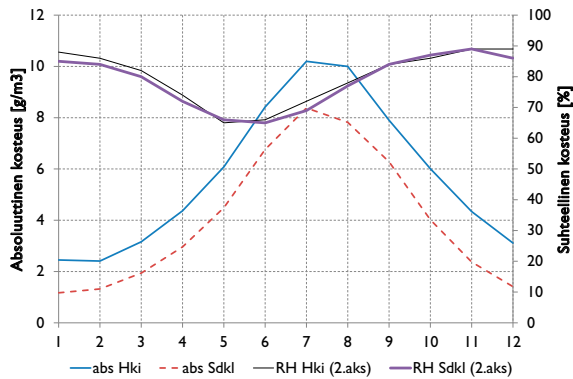
Taulukko 5.2. Asuinhuoneiston kosteustuottoja. Aineiston lähteet: Kokko E., ym., 1999; Nevander L. ja Elmarsson B., 2011.

Kosteuslähde	Tuotto
Kylpy	700 g/h
Suihku	2 600 g/h
Keittiötoiminta	600–1 500 g/h
Avoin vesipinta	40 g/m ² h
Kasvit, pienet	7–15 g/h
Kasvit, keskikokoiset	10–20 g/h
Ihminen, lepo tai istumatyö	40–50 g/h
Vaatteiden pesu ja kuivaus: lingottu pyykki vettä tippuva pyykki	10–50 g/h /kg 20–100 g/h /kg

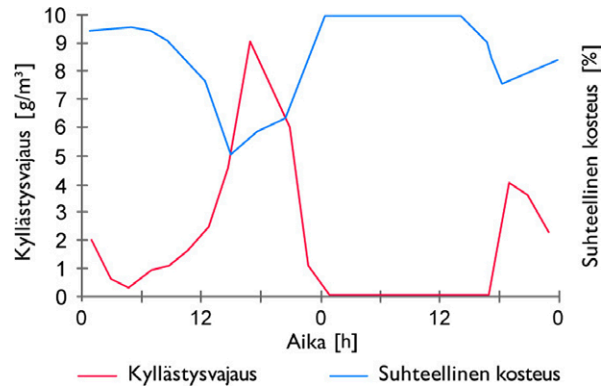
Vastaava sisäilman suhteellinen kosteuspitoisuus kuvan 5.4 perusteella on 45 %. Kuvan 5.4 mukaan pinnalla on kondenssiriski, RH = 100 %, kun pintalämpötila on + 8°C tai sen alle. Homehtumisriskin kannalta tarkastellaan tilannetta, jossa 8,4 g/m³ sisäilman absoluuttinen kosteuspitoisuus vastaa 75 % suhteellista kosteutta. Kuvan 5.4 perusteella mikrobikasvu on mahdollista, kun pinnan lämpötila on + 13°C tai alempi.



Kuva 5.11. Esimerkki suomalaisen kerrostaloasunnon eri tilojen suhteellisesta kosteudesta kahden vuorokauden aikana kesällä.



Kuva 5.12 Esimerkki ulkoilman suhteellisesta ja absoluuttisesta kosteudesta kuukausikeskiarvona Helsingissä ja Sodankylässä. X-akselilla kuukaudet tammikuusta alkaen. Kuvan lähde: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2000.



Kuva 5.13. Esimerkki ulkoilman kyllästysvajauksen ja suhteellisen kosteuden vaihtelusta kahden vuorokauden aikana kesällä. Toinen vuorokausista edustaa aurinkoista päivää ja toinen sateista päivää.

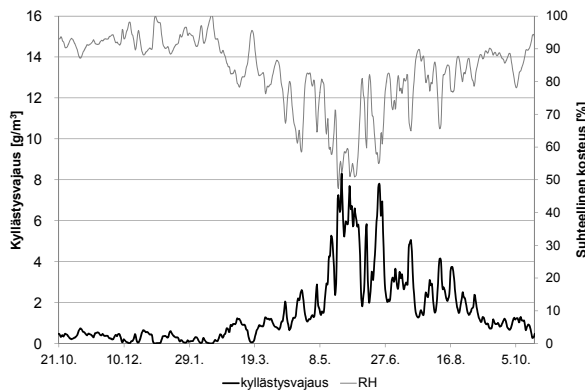
Ulkoilman kosteus

Ulkoilman kosteuspitoisuus vaihtelee vuodenajoin (kuva 5.12). Kesällä vesihöyryn määrä [g/m^3] ulkona on tyypillisesti suurempi kuin talvella, koska lämmin ilma voi sitoa suuremman määrän kosteutta. Ulkoilman vesihöyryn määrä vaihtelee talven noin $1 \text{ g}/\text{m}^3$:sta kesän $10 \text{ g}/\text{m}^3$:aan. Suhteellisen kosteuden kuukausikeskiarvo vaihtelee talven noin 90 %:sta kesän 65 %:iin. Lyhyellä aikavälillä ulkoilman suhteellisen kosteuden vaihtelu voi olla huomattavasti suurempaa. Ulkoilman suhteellinen kosteus vaihtelee auringonsäteilyn vaikutuksesta voimakkaammin kesällä kuin talvella.

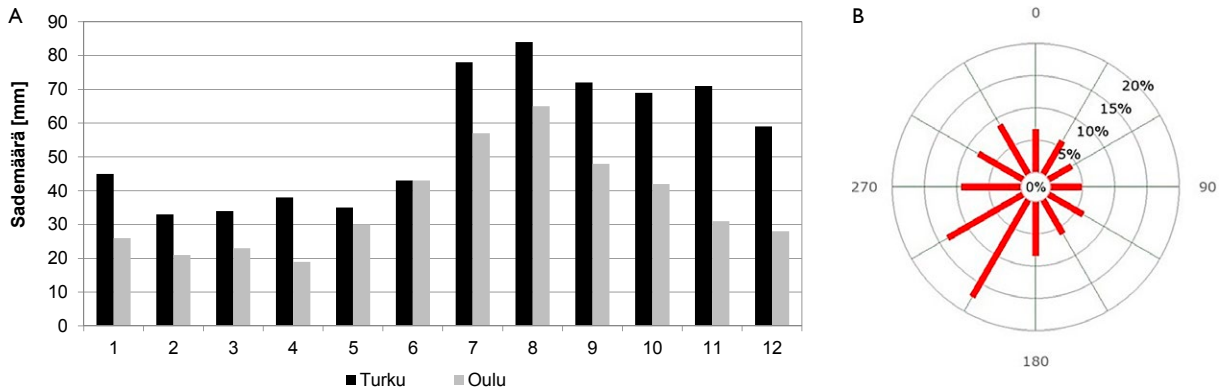
Kyllästysvajauksella tarkoitetaan kyllästystilan kosteuspitoisuuden ja vallitsevan kosteuspitoisuuden erotusta. Ilma voi sitoa kyllästysvajauksen ver-

ran kosteutta. Ulkoilman kyllästysvajaus vaihtelee voimakkaasti eri vuodenaikoina ja vuorokauden aikoina. Kuvassa 5.13 on esimerkki ulkoilman kyllästysvajauksen ja suhteellisen kosteuden vaihtelusta kesällä kahden vuorokauden aikana. Kuvassa 5.14 on esitetty vastaava mittaus tammikuusta kesäkuuhun. Kesäkuussa ulkoilman kyllästysvajaus on luokkaa $2\text{...}8 \text{ g}/\text{m}^3$ ja tammikuussa luokkaa $0\text{...}0,5 \text{ g}/\text{m}^3$.

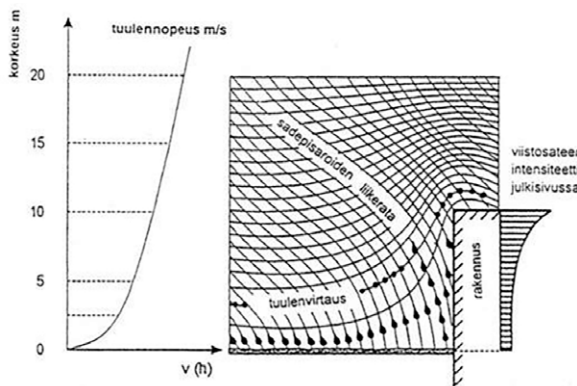
Kesällä auringonsäteily ja sen aiheuttama voimakas lämpötilan nousu lisäävät ilman kyllästysvajauksia, jolloin suhteellinen kosteus pienenee. Talvella ulkoilman kyllästysvajaus on pieni eikä se vaihtelee niin voimakkaasti kuin kesällä. Kuvan 5.13 aurinkoisena kesäpäivänä kyllästysvajaus on $2\text{...}9 \text{ g}/\text{m}^3$ ja sadepäivänä alle $0,5 \text{ g}/\text{m}^3$. Kuvan 5.14 esimerkissä ulkoilman kyllästysvajaus on talvella jatkuvasti lähes $0 \text{ g}/\text{m}^3$. Talvella kylmien rakenteiden kuivuminen tuuletusilmalla (esim. tuuletusvälikäminen ulkoseinä) onkin tästä syystä hidasta. On kuitenkin huomattava, että mikäli kylmä ulkoilma lämpenee, esimerkiksi ilman kulkeutuessa lämpimiin rakenteisiin, sen kyllästysvajaus ja kyky kuivattaa rakenteita kasvaa merkittävästi.



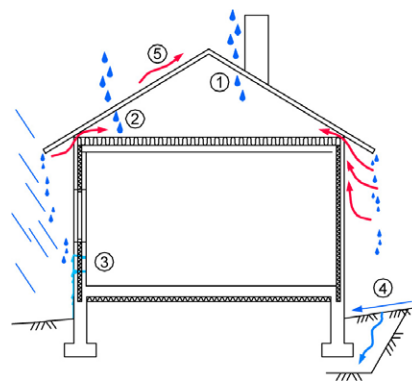
Kuva 5.14. Esimerkki ulkoilman kyllästysvajauksen ja suhteellisen kosteuden vaihtelusta kesällä ja talvella.



Kuva 5.15. A. Kuukausittaiset keskimääräiset sademäärät Turussa ja Oulussa vuosina 1961–1990. B. Järvenpään tuuliruuus, tuulensuunnan vuosikeskiarvo. Kuvien lähteet: A Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2000; B: Ilmatieteen laitos, 2011.



Kuva 5.16. Julkisivun viistosaderasitus kohdistuu suurimmaksi osaksi rakennuksen yläosiin. Kuvan lähde: Lehtinen T., ym., 1997.



Kuva 5.17. Sadeveden rakennukseen aiheuttamia kosteusvaurioriskejä: 1) vesikaton epätiivis läpiviinti, 2) vesikaton vuotokohdat, 3) ulkoseinän epätiivit kohdat, 4) pintavesien aiheuttama kosteusrasitus ja 5) tuiskulumen tai sateen pääsy tuulenpaineen takia (katto)rakenteisiin.

Sade

Sateen aiheuttama rakenteisiin kohdistuva kosteusrasitus esiintyy vetenä, lumena ja jäänä. Kuvassa 5.15A on esitetty kuukausittaiset sademäärät [mm] Oulussa ja Turussa. Sademäärä millimetreinä vastaa arvoa 1 litra/m². Sateen aiheuttama kosteusrasitus on suurin syksyllä, jolloin vuorokautiset lämpötilamuutokset ovat pienimmillään ja kuivuminen vähäistä sadejaksojen yleisyyden vuoksi. Kuvassa 5.15B on lisäksi esitetty tuulensuunnan vuosikeskiarvo tuuliruuusuna. Tuuliruuusun perusteella voidaan arvioida kuinka paljon tietyn ilmansuunnan julkisivulle kohdistuu viistosadetta. Valitseva tuulensuunta ja viistosateen kohdistuminen tiettyihin pintoihin aiheuttaa siten vaurioiden keskittymisen määrättyihin rakennuksen vaipan osiin. Toisaalta viistosade kohdistuu eniten rakennuksen julkisivun yläosaan (kuva 5.16).

Kuvassa 5.17 on esitetty sadeveden mahdollisia kulkureittejä rakenteisiin. Pystysuora sade rasittaa rakennuksen vaakapintoja kuten kattoja ja terasseja. Viistosade rasittaa vaakapintojen lisäksi pystysuoria rakennusosia kuten julkisivuja. Sade voi aiheuttaa kosteusrasituksen myös roiskeveden muodossa. Tuuli voi aiheuttaa sadeveden kulkeutumisen jopa ylöspäin rakennuksen ulkopinnoilla, koska erityisesti rakennuksen tuulenpuoleisella seinällä ilmavirtaus nousee ylöspäin. Saderasituksen arvioinnissa on huomioitava, että sadevesi voi valua tietyn rakenneosan pinnalla haittaa aiheuttamatta toiseen rakenneosaan aiheuttaen siellä mahdollisesti kosteusvaurion. Tunkeutuessaan rakenteen sisälle sadevesi voi toisaalta kulkeutua kauas vuotokohdasta, mikä on otettava huomioon arvioitaessa vuotokohdan sijaintia sisäpuolelta tehtyjen havaintojen perusteella.

Maan pinnalle satava vesi voi aiheuttaa vaurioita ulkoseinien alaosiin ja perustuksiin, jos vesi roiskuu julkisivuun, maan pinta viettää rakennukseen päin tai perustusten vedeneristykset ovat puutteelliset. Pintavedet aiheuttavat sokkeleihin suuremman kosteusrasituksen, jos maan pinta on tiivis, esimerkiksi asfaltoitu tai jäässä. Toisaalta epätiivillä maan pintakerroksilla vesi suotautuu maahan, josta se voi siirtyä rakenteisiin.

Kevyt lumi tunkeutuu sellaisiinkin rakenteisiin, joihin vesi ei tunkeudu, esim. yläpohjaan (kuva 5.3). Kasaantuessaan ja sulaessaan lumi aiheuttaa paikallisia ja merkittäviä kosteusrasituksia. Osittain sulaessaan lumesta muodostuu jäätä. Veden patoutuminen on jäädä aiheutuva välitön kosteusrasitus. Välillinen kosteusrasitus syntyy, kun pintamateriaalit rikkoutuvat jään lämpöliikkeiden takia.

Maaperä

Maaperän kosteusrasitus syntyy maaperästä kapillaarisesti nousevasta vedestä, maa-aineksen huokosilman vesihöyryn diffuusiosta ja rakenteeseen kohdistuvasta vedenpaineesta. Maaperästä kapillaarisesti tulevan kosteuden määrä riippuu maalajista, sen kapillaarisuudesta, pohjaveden pinnan korkeudesta ja salaojaverkoston toimivuudesta. Kapillaarinen veden siirtyminen on voimakkainta, kun rakenne on kosketuksissa vapaan veden pinnan kanssa. Rakenteeseen kohdistuva vedenpaine riippuu pohjaveden pinnan korkeudesta, salaojaverkoston toimivuudesta ja maalajista. Lisäksi vedenpainetta voi muodostua roudan sulamisvaiheessa.

Putkivuodot

Putkivuodot voivat esiintyä pintaan asennetuissa ja rakenteiden sisällä olevissa putkissa. Putkivuotoja voi olla vesijohdoissa, viemäreissä, lämmitysputkissa ja niihin liitetyissä laitteissa. Putkivuotoihin liittyy suuri kosteus- ja mikrobivaurioriski, koska:

- rakenteisiin kohdistuva kosteusrasitus on suuri
- putket sijaitsevat lämpimissä rakennus- ja rakenneosissa
- pieni tihkuva vuoto voi vaurioittaa rakenteita kauan ennen kuin vaurio havaitaan.

5.5

Kosteuden siirtyminen rakenteissa

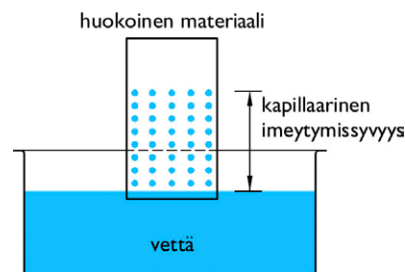
Kosteus siirtyy eri ilmiöillä rakenteissa. Ilmiöiden tarkastelu on tarpeen niin rakenteisiin kohdistuvien kosteuskuormien arvioinnissa kuin rakenteiden kuivumisnopeuden arvioinnissa.

5.5.1

Veden kapillaarinen ja painovoimainen siirtyminen

Kapillaarinen siirtyminen

Vesi imeytyy kapillaarisesti huokoiseen materiaaliin, jos se on kosketuksissa vapaaseen veteen. Kapillaarinen siirtyminen johtuu kapillaaristen voimien aiheuttamasta huokosalipaineesta. Huokosalipaineen suuruus riippuu huokosen koosta siten, että mitä pienempi huokonen on, sitä suurempi huokosalipaine on. Kuvassa 5.18 on esitetty periaate veden kapillaarisesta siirtymisestä huokoiseen materiaaliin. Vesi voi siirtyä huokoisissa materiaaleissa kapillaarisesti niin pysty- kuin vaakasuunnassa.



Kuva 5.18. Veden kapillaarinen imeytyminen huokoiseen materiaaliin.



Kuva 5.19. Kapillaarinen maakosteuden nousu on johtanut tasoitteen ja maalin irtoamiseen väliseinän alaosaan. Kuva: J. Ahokas, Vahanen Oy.

Veden kapillaarisella nousukorkeudella (kuva 5.19) tarkoitetaan tasapainotilaa, jossa huokosalipaine on tasapainossa maan vetovoiman, tässä nousukorkeutta vastaavan vesipatsaan aiheuttaman vastapaineen, kanssa. Mitä pienempiä huokokset materiaalissa ovat, sitä korkeammalle vesi kapillaarisesti nousee. Huokosalipaineen riippuvuudesta huokoskoosta seuraa, että vesi voi siirtyä kapillaarisesti myös suurempihuokoisesta materiaalista pienempihuokoiseen materiaaliin ja suuremmista huokosista pienempiin huokosiin materiaalin sisällä (kuva 5.20).



Kuva 5.20. Veden siirtyminen suuremmasta huokosesta pienempään huokoseen.

Veden kapillaarinen siirtymisnopeus riippuu huokosalipaineesta ja veden virtausta vastustavista kitkavoimista, jotka kasvavat huokoskoon pienetessä ja/tai virtausmatkan kasvaessa. Siten huokoisessa materiaalissa, jossa on aina erikokoisia huokosia, veden virtausnopeudet poikkeavat eri huokosissa. Siitä alueesta, jossa huokokset ovat kapillaarisesti vedellä täyttyneet, käytetään rakennusfysiikassa nimitystä kapillaarinen vesirintama tai veden tunkeutumissyvyys. Rakennusaineiden osalta veden tunkeutumissyvyyttä voidaan arvioida kaavalla 5.4.

$$X = B\sqrt{t} \quad [5.4]$$

missä X on veden tunkeutumissyvyys [m], B on tunkeutumiskerroin [m/\sqrt{s}] ja t on aika [s]. Taulukossa 5.3 on esimerkkejä rakennusaineiden vedentunkeutumiskertoimista. Esimerkiksi veden tunkeutumiseen 50 mm tiileen kuluu 21 min ja betoniin vastaavasti 35 h.

Taulukko 5.3. Rakennusaineiden kapillaarisia vedentunkeutumiskertoimia. Taulukon aineisto: Nevander L. ja Elmarsson B., 2011.

Materiaali	Tiheys [kg/m^3]	Vedentunkeutumiskerroin [$m/s^{0.5}$]
Tiili	1 700	$1,4 \times 10^{-3}$
Kevytbetoni	500	$0,4 \times 10^{-3}$
Sementtillaasti	1 900	$0,5 \times 10^{-3}$
Betoni, vss. 0,3	tieto puuttuu	$0,14 \times 10^{-3}$

Kapillaarisen siirtymisnopeuden riippuvuudesta aineominaisuuksista seuraa, että rakennustekniikassa vesi ei nouse yleensä koskaan suurinta nousukorkeutta vastaavaan korkeuteen, vaan vesirintaman korkeus asettuu tasapainoon rakenteen pinnoilla tapahtuvan kosteuden haihdunnan kanssa. Haihtumisnopeus riippuu haihtumisenergian saannin (kappale 5.1) lisäksi rakenteen pinnoitteen kosteudenläpäisevyydestä. Koska kapillaarisesti siirtyvä vesimäärä riippuu rakenteen poikkileikkauksesta, kapillaarisesti siirtyvän vesirintaman korkeus on sitä suurempi, mitä pienempi on pinnoitteen kosteudenläpäisy tai mitä suurempi on rakenteen poikkileikkaus. Rakenteen suurempi poikkileikkaus kasvattaa kapillaarisesti nousevan kosteuden määrää verrattuna pinnoilta haihtuvan kosteuden määrään.

Veden kapillaarista siirtymistä esiintyy rakennustekniikassa aina, kun rakenne on kosketuksessa vapaaseen veteen tai kapillaarisessa kontaktissa toiseen kapillaarisella kosteusalueella olevaan rakennusaineeseen tai maaperään. Lisäksi kosteuden kondensoituminen rakenteeseen tai sen pinnoille mahdollistaa veden kapillaarisen siirtymisen rakenteissa. Rakenteet toimivat yleensä kosteusteknisesti sitä luotettavammin, mitä vähemmän niissä esiintyy veden kapillaarista siirtymistä. Kapillaarisuudesta on toisaalta joissain tapauksissa myös hyötyä. Esimerkiksi yöllä kattotiilien viilentyessä yön vastasäteilyllä, niiden alapintaan kondensoituu vesihöyryä. Päivällä vesihöyry haihtuu katon tuuletusväliin tiilen lämpötilan noustessa.

Painovoimainen siirtyminen

Painovoiman vaikutuksesta vesi kulkeutuu alaspäin rakennuksen pystysuorilla ja kaltevilla pinnoilla sekä rakennuksen vierusmaan pinnalla. Jos veden poisjohtaminen ulospäin rakenteista ei toimi tai rakenteiden ulkopinnat eivät ole vesitiiviit, vesi voi kulkeutua rakenteiden sisään painovoimaisesti

(kuva 5.21). Tämä lisää rakenteiden kosteusvaurioiden riskiä huomattavasti, sillä vesivuodoista rakenteisiin siirtyvät kosteusmäärät ovat suuria. Esimerkiksi 2 cm vedenpaineesta siirtyy rakenteeseen 1 cm² vuotoaukosta vettä noin 30–40 g/s (Viljanen K., 2012).

Kuntotutkimuksissa on tärkeää arvioida rakenteen sisällä valuvan veden siirtymisreitti ja kohta johon vesi on mahdollisesti pysähtynyt. Tässä voidaan käyttää apuna mm. rakennepiirustuksia ja havaintoja materiaalien pintavaurioista.

Kapillaarisesti heikosti vettä imevissä materiaaleissa, esim. karkeassa sorassa, painovoimainen siirtyminen itse materiaalissa on hallitseva siirtymismuoto. Lisäksi ei-kapillaaristen materiaalien rajapinnoilla vesi pyrkii valumaan suoraan alaspäin. Veden painovoimainen siirtyminen mahdollistaa veden hallitun johtamisen pois rakenteiden ulko- ja sisäpinnoilta sekä rakennuksen vierustoilta. Lisäksi se mahdollistaa rakennuksen kuivattamisen salaajituksella.

Kapillaarisesti vettä imevissä huokoisissa ja rakeisissa materiaaleissa, esim. betonissa, tiilessä ja savessa, veden painovoimaisen siirtymisen merkitys on kosteuden kokonaissiirtymisessä verrattain vähäinen. Näissä materiaaleissa painovoimaista siirtymistä esiintyy lähinnä saumoissa, liitoksissa ja mahdollisissa halkeamissa.

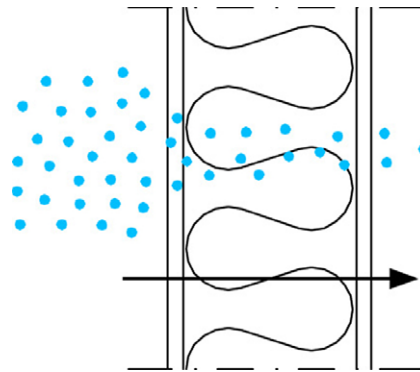


Kuva 5.21. Puutteellinen kattovesien poisjohtaminen aiheuttaa veden lammikoitumista loivalle kermikatolle. Paineellinen vesi voi tunkeutua rakenteisiin, mikäli vesikate on epätiivis. Kuva: E. Kauriinvaaha, Vahanen Oy.

5.5.2

Kosteuden siirtyminen diffuusiolla

Kosteuden siirtyminen diffuusiolla perustuu ilmassa olevien vesimolekyylien keskinäisiin törmäyksiin, jonka vaikutuksesta vesihöyryn pitoisuuserot pyrkivät tasaantumaan. Kuvassa 5.22 vesihöyryn diffuusion suunta on vasemmalta oikealle, koska vesimolekyylien määrä vasemmalla on suurempi kuin oikealla. Laskennallisesti diffuusion suuruutta voidaan arvioida vesihöyryn pitoisuuksien tai vesihöyryn osapaineiden erolla (kappale 5.4). Kosteus siirtyy suuremmasta vesihöyryn osapaineesta tai vesihöyryn pitoisuudesta pienempään päin.



Kuva 5.22. Vesihöyryn diffuusion periaate. Pallojen lukumäärä kuvaa vesimolekyylien määrää ja nuoli diffuusion suuntaa.

Diffuusiolla siirtyvä kosteusvirran tiheys voidaan yksiulotteisessa tapauksessa laskea kaavalla 5.5a.

$$g_{\text{dif}} = -\delta_p \frac{dp}{dx} \quad [5.5a]$$

missä g_{dif} on kosteusvirta diffuusiolla [kg/m²s], δ_p on materiaalin vesihöyrynläpäisevyys [kg/msPa] ja dp/dx on vesihöyrynpaineen muutos matkalla x [Pa/m]. Yhtälö voidaan esittää myös kaavan 5.5b muodossa:

$$g_{\text{dif}} = \frac{p_1 - p_2}{Z_p} \quad [5.5b]$$

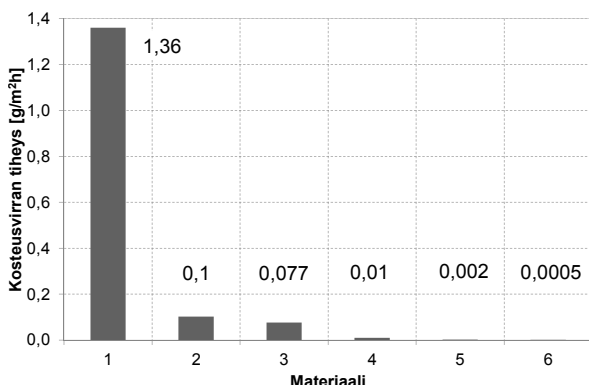
missä p_1 ja p_2 ovat vesihöyrynpaineita [Pa] ja Z_p on ainekerroksen vesihöyrynvastus [m²sPa/kg].

Vesihöyrynläpäisevyydellä δ_p [kg/msPa] tarkoitetaan vesimäärää, joka läpäisee aikayksikössä yksikön suuruisen pinta-alan ja yhden pituusyksikön paksuisen homogeenisen materiaalikerroksen, kun vesihöyryn osapaine-ero kerroksen yli on yksikön suuruinen. **Vesihöyrynläpäisykerroin** W_p [kg/m²sPa] vastaa edellistä, mutta se on sidottu tietyn paksuiseen materiaalikerrokseen. Diffuusiotarkasteluissa käytetään usein materiaalikerroksen **vesihöyrynvastusta** Z_p [m²sPa/kg], joka on vesihöyrynläpäisyn käänteisluku. Materiaalikerroksen läpi diffuusiolla siirtyvän vesihöyryn määrä on pieni, kun vesihöyrynvastus on suuri. Taulukossa 5.4 on esitetty eräiden materiaalikerrosten suuntaantavia vesihöyrynvastuksia.

Taulukko 5.4. Eräiden materiaalikerrosten vesihöyrynvastuksia. Taulukon aineisto: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012.

Materiaali	Paksuus [mm]	Vesihöyrynvastus Z_p [m ² sPa/kg]
Kipsilevy	13	0,45 × 10 ⁹
EPS-lämmöneriste	30	3...9 × 10 ⁹
Kevytsoorabetoniharkko	200	8 × 10 ⁹
Filmivaneri	12	63 × 10 ⁹
PE-kalvo	0.2	100...500 × 10 ⁹
Kumibitumikermi	3	800...1 500 × 10 ⁹

Diffuusio riippuu materiaalin vesihöyrynvastuksesta ja ilman vesihöyryn osapaine-erosta. Materiaalien vesihöyrynvastukset vaihtelevat paljon, esimerkiksi muovikalvon vesihöyrynvastus on 1 000 kertaa suurempi kuin mineraalivillan. Vastaavasti eri materiaalien läpäisemä kosteusvirran tiheys vaihtelee paljon (esimerkki 5.3).



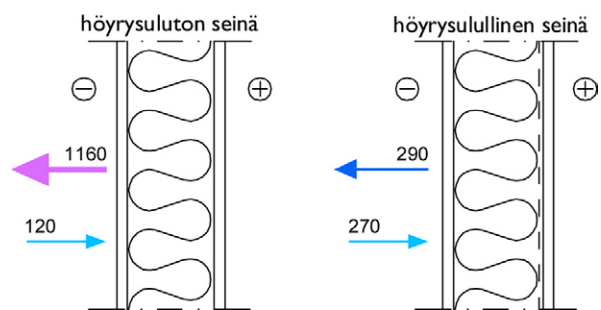
Kuva 5.23. Materiaalien läpi tunnissa siirtyvät kosteusmäärät [g/m²] neliölle kun vesihöyryn osapaine-ero on 170 Pa. 1=kipsilevy, 2=EPS, 3=kevytsorabetoniharkko, 4=filmivaneri, 5=PE-kalvo ja 6=kumibitumikermi.

Esimerkki 5.3. Kosteusvirran tiheys diffuusiolla

Olkoon vesihöyryn osapaine-ero 170 Pa materiaalikerroksen yli. Tämä vastaa tilannetta, jossa sisäilman lämpötila on + 21°C ja suhteellinen kosteus 40 % sekä ulkoilman lämpötila + 10°C ja suhteellinen kosteus 67 %. Taulukon 5.4 vesihöyrynvastusarvoilla saadaan kuvan 5.23 mukaiset diffuusiolla siirtyvät kosteusvirrat eri materiaalikerrosten läpi yhden neliömetrin alalta tunnin aikana. Kuukaudessa muovikalvon läpi virtaa 1,44 g/m² kosteutta ja kipsilevyn läpi virtaa 979 g/m², joka on selvästi enemmän kuin muovikalvon läpäisemä kosteusmäärä.

Kosteustuoton johdosta sisäilman vesihöyryn osapaine on yleensä suurempi kuin ulkoilman vesihöyryn osapaine, joten diffuusio siirtää sisäilman kosteutta sisältä ulos. Talvella diffuusion merkitys on suurempi kuin kesällä, koska sisä- ja ulkoilman välinen vesihöyryn osapaine-ero on suurempi. Kuvassa 5.24 on esitetty höyrinsulullisen ja höyrinsuluttoman puurunkoisin seinän ulkopinnalta vuoden aikana diffuusiolla ulos tai sisään siirtyvän kosteuden määrä Suomen ilmasto-olosuhteissa.

Kesällä kosteus siirtyy diffuusiolla pääosin ulkoa rakenteen sisälle riippumatta seinän mahdollisesta höyrinsulusta. Talvella rakenteessa oleva vesihöyry siirtyy ulospäin. Höyrinsulullisessa seinässä sisään ja ulos siirtyvän kosteuden määrä on pitkällä aikavälillä suurin piirtein tasapainossa, kun taas höyrinsuluttomassa seinässä sisältä ulos siirtyvä kosteus on moninkertainen ulkoa sisälle siirtävään kosteuteen verrattuna.



Kuva 5.24. Puurunkoisin höyrinsuluttoman ja höyrinsulullisen ulkoseinän ulkopinnalta diffuusiolla ulos- ja sisäänpäin siirtyvän kosteuden määrä ja suunta vuoden aikana.

Rakennusmateriaalien suurten vesihöyrynläpäisevyyserojen takia kerroksellisen rakenteen kosteustekninen toiminta tulee tarvittaessa tarkastaa tapauskohtaisesti. Yleisperiaatteena on, että kerroksellisen seinärakenteen vesihöyrynvastusten tulee pienentyä sisältä ulospäin mentäessä siten, että lämmöneristeen sisäpuolisten materiaalien vesihöyrynläpäisyvastus on vähintään viisinkertainen lämmöneristeen ulkopuolisiin materiaaleihin nähden (RakMK C2 -1998). Homehtumisriskin vähentämiseksi voi olla tarpeen käyttää suurempaakin suhdetta (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012). Vesihöyrynläpäisevyyksiltään vääränlaisissa rakenteissa suhteellinen kosteus on rakenteen ulko-osissa korkea ja vesihöyry voi rakenteen sisällä tiivistyä jopa vedeksi. Rakennekerroksen kosteuspitoisuus voi nousta myös kapillaariselle kosteusalueelle esimerkiksi mineraalivillan tapauksessa. Rakenteeseen tiivistyvä vesihöyry aiheuttaa kosteusrasituksen tiivistymiskohdassa, mutta myös kohdan ympäristössä sillä tiivistynyt kosteus voi siirtyä edelleen muihin materiaalikerrokseen painovoimaisesti tai kapillaarisesti.

5.5.3

Kosteuden siirtyminen konvektiolla

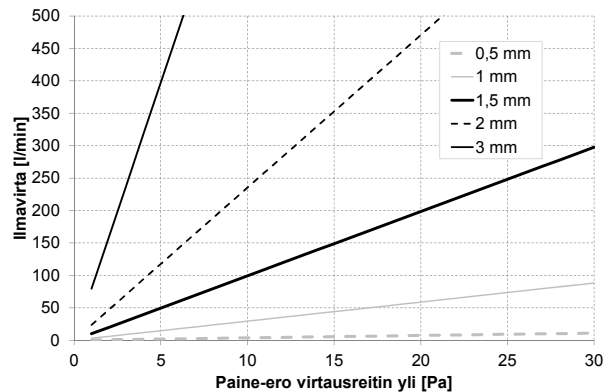
Konvektiolla tarkoitetaan ilmavirtausta, joka syntyy rakenteen yli vallitsevan ilman kokonaispaine-eron vaikutuksesta. Paineen yksikkö on pascal, Pa. Ilman normaali paine on 101325 Pa ja 10 mm:n vesipatsas vastaa noin 100 pascalia. Ilma virtaa suuremmasta paineesta pienemmän paineen suuntaan. Ilman virtausta tapahtuu huokoisten materiaalien ja rakojen läpi. Rakennuksen painesuhteet syntyvät tuulen, ilman lämpötilaerojen tai ilmanvaihdon vaikutuksesta tai niiden yhteisvaikutuksesta, ks. kappale 5.6. Virtaavan ilman määrä riippuu paine-erosta, materiaalin ilmanläpäisevyydestä ja rakenteessa olevien rakojen virtausvastuksesta. Rakennusmateriaalien ilmanläpäisevyyksiä on esitetty taulukossa 5.5.

Materiaalien ilmanläpäisevyyksissä on suuria eroja. Esimerkiksi taulukossa 5.5 esitetyistä materiaaleista mineraalivilla läpäisee noin 900 000 kertaa enemmän ilmaa kuin betoni.

Raon virtausvastus riippuu raon leveydestä, syvyydestä ja geometriasta, mm. mutkista, sekä raon pintojen epätasaisuudesta. Kuvassa 5.25 on esitetty eri levyisten rakojen läpi juoksumetrin matkalla virtaavan ilmavirran riippuvuus ilman kokonaispaine-erosta.

Taulukko 5.5. Eräiden rakennusmateriaalien ilmanläpäisevyyksiä + 20°C lämpötilassa. Taulukon aineisto: Nevander L. ja Elmarsson B., 2011.

Materiaali	Ilmanläpäisevyys [m ³ /msPa]
Tiili	0,005...0,05 × 10 ⁻⁶
Betoni	0,000005...0,0005 × 10 ⁻⁶
Mineraalivilla	15...800 × 10 ⁻⁶
EPS-lämmöneriste	30...500 × 10 ⁻⁶



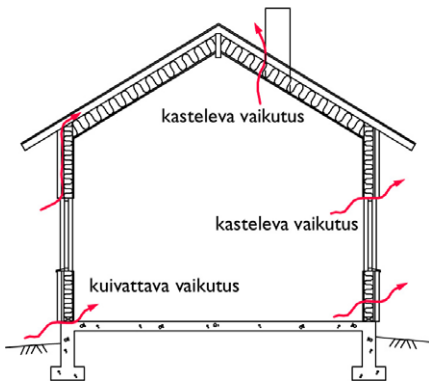
Kuva 5.25 Eri levyisten rakojen läpi virtaava ilman tilavuusvirta eri paine-eroilla. Rako on 100 mm syvä, suora ja sileäpintainen.

Kosteuskonvektio

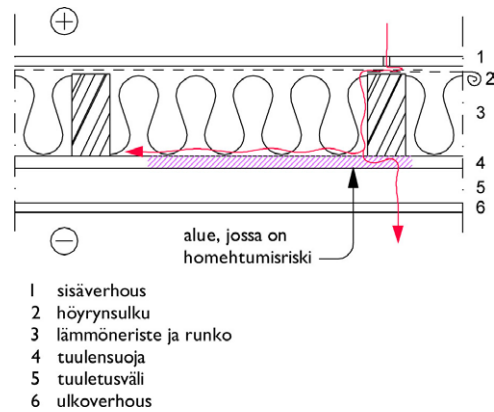
Kosteuskonvektiolla tarkoitetaan kosteuden siirtymistä ilmavirran mukana. Kosteuskonvektion aiheuttamaa kosteusvaurioriskiä arvioidaan lämpötilan ja suhteellisen kosteuden avulla. Kosteuskonvektiolla on rakennetta kuivattava vaikutus, kun ilmassa on kyllästysvajausta tai ilma lämpee virratessaan rakenteen läpi. Kosteusvaurion kannalta kosteuskonvektio muuttuu kriittiseksi ja rakenne kastuu, kun ilma jäähtyy virratessaan rakenteen läpi, ks. kuva 5.26. Kosteus tiivistyy rakenteeseen, jos ilma jäähtyy rakenteessa alle kastepisteen. Taulukossa 5.6 on esitetty rakenteen mikrobivaurioitumisen kannalta kriittiset lämpötilat eri sisäilman lämpötiloilla ja suhteellisilla kosteuksilla, kun ilma virtaa rakenteen läpi sisältä ulos. Suurin rakenteeseen jäävä kosteusmäärä voidaan laskea kaavalla 5.6:

$$G = Q (v_s - v_u) \quad [5.6]$$

missä G on kosteusvirta [g/s], Q on tilavuusvirta [m³/s], v_s on rakenteeseen tai rakoon sisään virtaavan ilman kosteusmäärä [g/m³] ja v_u on virtausreitien alinta lämpötilaa vastaava kriittinen kosteuspitoisuus [g/m³].



Kuva 5.26. Konvektion vaikutus rakenteiden kastumiseen ja kuivumiseen. Ilmavirtausten suunnat voivat tietyissä tilanteissa olla myös toisinpäin kuin kuvassa.



Kuva 5.27. Esimerkki kosteuskonvektion aiheuttamasta kosteusvaurioriskistä puurunkoisessa seinärakenteessa, vaakaleikkaus. Rasteroidulla alueella on mikrobivaurioitumisriski. Ilman virtausreitti on osoitettu punaisilla nuolilla.

Esimerkki kosteuskonvektion aiheuttamasta kosteusvaurioriskistä on esitetty kuvassa 5.27. Lämmin ja kostea sisäilma virtaa ulkoseinän sisäverhouksen ja höyrynsulkukerroksen epätiivien saumojen kautta ulospäin lämmöneristeeseen, tuulensuojakerrokseen ja tuuletusväliin. Mikro- bivaurioitumisriski on rakenteen kylmissä osissa, joissa lämpötilan lasku aiheuttaa ilman suhteellisen kosteuden nousun ja voi aiheuttaa jopa kosteuden tiivistymistä. Riskialueen sijainti riippuu rakenteen lämpötilajakaumasta, vrt. taulukko 5.6.

Kosteuskonvektion estämiseksi rakennukset suunnitellaan hieman alipaineisiksi.

Rakenteen vesihöyrynläpäisevyydestä, ilmanläpäisevyydestä ja rakenteen eheydestä riippuu kumpi siirtymismuoto, diffuusio vai kosteuskonvektio, on hallitseva kosteudensiirtymismuoto, ks. esimerkki 5.4. Rakenne on pyrittävä tekemään sisäpinnasta riittävän ilmatäiviiksi haitallisten ilmavuotojen estämiseksi. Lisäksi rakennuksen ulkovaipan yli vallitsevien painesuhteiden on oltava sellaiset, että lämmintä ilmaa ei virtaa kylmiin rakenteisiin tai rakennusosiin. Painesuhteita hallitaan ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmamäärien säädöillä. Käytännössä rakennuksen vaipan ilmanpitävyydessä esiintyy usein puutteita. Vaurioriski on aina olemassa, kun rakenteen lämpimällä puolella ylipaine on vallitseva. Rakenteiden sisältä tehtävissä seurantamittauksissa havaittavat nopeat paine-eron muutoksia seuraavat kosteuspi-toisuuden muutokset rakenteessa ovat tyypillisiä kosteuskonvektiolle.

Taulukko 5.6. Rakenteen kosteusvaurion kannalta kriittiset lämpötilat eri sisäilman lämpötiloilla ja suhteellisilla kosteuksilla. Esimerkissä rakenteen kriittinen suhteellinen kosteus on 80 %.

Sisäilman suhteellinen kosteus [%]	Sisäilman lämpötila + 20°C	Sisäilman lämpötila + 25°C
	Rakenteen kriittinen lämpötila °C	
20	-1,6	+ 2,4
40	+ 8,6	+ 13,1
60	+15,2	+ 20,0

Taulukko 5.7. Esimerkin 5.4 mukainen kosteusvirran tiheys [g/m²h] konvektiolla ja diffusiolla materiaalikerroksen läpi.

Materiaali	Paksuus [mm]	Kosteusvirta, konvektio [g/m ² h]	Kosteusvirta, diffuusio [g/m ² h]
Mineraalivilla, kevyt	100	51,5	1,2
Rakennuslevy	12	0,5	0,4
Tiili	100	6,7 × 10 ⁻³	0,1
Betoni	100	5,7 × 10 ⁻⁵	0,01

Esimerkki 5.4: Kosteusvirta diffuusiolla ja konvektiolla

Oletetaan, että ilman kokonaispaine-ero materiaalikerroksen yli on 5 Pa ja vesihöyryn osapaine-ero on 170 Pa, vrt. esimerkki 5.3. Oletetaan, että virtausreitit kriittinen lämpötila on sama kuin ulkolämpötila. Virtaavan ilman kondensoituvaa vesimäärä on $1,0 \text{ g/m}^3$. Taulukossa 5.7 on esitetty kosteusvirta konvektiolla ja diffuusiolla ehjän materiaalikerroksen läpi.

Esimerkkitapauksessa betonin ja tiilen läpi diffuusiolla siirtyvän kosteuden määrä on suurempi kuin konvektiolla siirtyvän kosteuden määrä. On huomattava, että konvektiolla halkeamien läpi siirtyvän kosteuden määrä on merkittävin. Siten rakenteen sisäpinnan ilmatiiveys on tärkeää. Esimerkiksi 100 mm syvän, 0,5 mm leveän, 1 m pitkän, sileän halkeaman läpi virtaavan ilman mukana kulkeutuu noin 10 kertaa enemmän ulkopintaan kondensoituvaa kosteutta kuin 1 m^2 suuruisen 100 mm paksun betonirakenteen läpi.

5.5.4

Lämmönsiirtymisen vaikutus rakenteiden kosteustekniseen käyttäytymiseen

Lämmönsiirtyminen vaikuttaa oleellisesti kosteudensiirtymiseen, joten rakenteiden lämpötekniikan toiminnan ymmärtäminen on välttämätöntä kosteus- ja mikrobivaurioituneen rakennuksen kuntotutkimuksissa.

Rakennuksen kuntotutkimuksiin liittyvien kosteusmittausten onnistuminen edellyttää usein lämmönsiirtymisen huomioimista mittaustuloksista tulkitessa. Aina kun kosteusmittaus tehdään rakenteen sisältä, tulee arvioida aiheuttaako mitta-anturin asentaminen rakenteeseen mittausrvirheitä. Mittausvirhe on sitä suurempi, mitä suurempi lämpötilaero on mittauspisteen ja rakenteen pinnan, josta anturi asennetaan rakenteeseen, välillä. Esimerkiksi jos anturi asennetaan kylmästä ulkoilmasta lämmöneristeen keskiosalle, johtaa anturin varsi lämpöä ulos viilentäen mittauspistettä ja nostaa anturin antamaa suhteellisen kosteuden lukemaa. Vastaavasti mitattaessa lämpimältä sisäpuolelta lämmöneristeen keskiosalta antaa anturi liian alhaisen suhteellisen kosteuden arvon. Mittausvirheitä voidaan alentaa asentamalla mittausanturi rakenteeseen mahdollisimman vinosti ja lämmöneristämällä anturin näkyvä varsi.

Rakenteiden sisäosissa ilman suhteellinen kosteus nousee, jos rakenne viilenee paikallisesti. Tämä voi johtua esimerkiksi rakenteellisesta kylmäsillasta, esimerkiksi teräsorresta, tai lämmöneristeiden huolimattomasta asennuksesta, jolloin rakenteen sisäosiin pääsee virtaamaan kylmää ulkoilmaa. Kylmäsillat ja ilmavuodot voivat aiheuttaa kosteuden kondensoitumisen sisäpinnalla tai rakenteen sisällä ja voivat pitkällä aikavälillä johtaa kosteusvaurioihin.

Ikkuna-, lasijulkisivu- ja lasikattorarakenteissa voi ns. yön vastasäteily (rakennuksen ulkopinnoilta säteilee lämpöä avaruuteen) alentaa rakenteiden lämpötiloja siten, että kosteus kondensoituu em. rakenteiden ulko- tai sisäpinnalla (kuvat 5.28). Sisäpinnalla kondensoituminen voi aiheuttaa vesivalumia, jotka voidaan tulkita virheellisesti esimerkiksi kattovuodoiksi. Ulkopinnoilla kondensoituminen ei aiheuta helposti kosteusvaurioita rakenteille, koska ulkopinnat on suunniteltu kestämään kosteat olosuhteet. Kondensoitumisherkkyys riippuu rakenteen U-arvosta ja sisäpinnalla ilmavirtauksista. Alhainen U-arvo sekä ilmavirtaukset sisäpinnalla alentavat sisäpintaan kondensoitumisen todennäköisyyttä.

Hyvänä esimerkkinä rakenteen lämpötilamuutosten vaikutuksesta kosteuden siirtymiseen on sateella kastuneen tiilijulkisivun kosteustekninen käyttäytyminen suoran auringonsäteilyn vaikutuksesta. Auringonsäteily lämmittää kastunutta seinärakennetta, jolloin tiilimuuraukseen sitoutunut sadevesi vapautuu vesihöyrynä muurauksesta. Ellei tiilijulkisivun tausta tuuleteta hyvin tehokkaasti, siirtyy ilmankosteus sisäpuoliseen lämmöneristekerrokseen ja sisäkuoreen. Kosteuden kulkeutuessa rakenteen sisäosiin, jotka ovat julkisivua huomattavasti viileämpiä, voi kosteus tiivistyä höyrynsulun ulkopintaan. Tällä mekanismilla kosteusvaurioita voi syntyä erityisesti avoimella paikalla olevien, viistosateelle ja auringonsäteilylle alttiiden, tiiliulkoseinien lämmöneristekerrokseen, mikäli tiilijulkisivu on heikosti tuulettuva.

Rakennuksen painesuhteet ja ilmatiiveys

Rakennuksen painesuhteiden ja ilmatiiveyden merkitys rakenteiden toimintaan ja sisäilman laatuun

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

Ilmavirtaukset siirtävät mukanaan lämpöä, kosteutta ja lisäksi ilmavirtaukset kuljettavat mukanaan epäpuhtauksia, kuten hiukkasia ja mineraalivillakuituja, mikrobiperäisiä epäpuhtauksia, hajuja sekä radonia. 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. Rakennetussa ympäristössä on mm. seuraavia mahdollisia epäpuhtauslähteitä, jotka voivat tuottaa ilmavirtausten mukana kulkeutuvia epäpuhtauksia huonetiloihin tai huonetiloista toiseen:

1. Huonetilan vaurioituneet pintamateriaalit, esim. lattiapäällystevaurio
2. Ilmanvaihtojärjestelmä, esim. mineraalivillainen äänenvaimennin
3. Rakenteiden sisällä olevat materiaalit, esim. välipohjan täyttökerros
4. Rakennuksen alapuolinen maaperä, esim. radon ja mikrobit
5. Ulkoilma, esim. pakokaasut
6. Viereisten tilojen epäpuhtaudet
7. Korjatun tilan pinnat, joihin on ennen korjausta absorboitunut haihtuvia tai puolihaihtuvia epäpuhtauksia.

Suomen oloissa asuinrakennukset ja oleskelutilat suunnitellaan alipaineisiksi kosteuskonvektion aiheuttaman rakenteiden vaurioitumisriskin takia. Ilman virtaussuunta on siis tavanomaisessa tilanteessa ulkoa ja maaperästä huonetilaan päin. Ulkovaipparakenteissa ja rakennuksen alapuolisessa maaperässä on lähes aina epäpuhtauksia, kuten mikrobeja tai radonia, jotka huonetilaan päästessään voivat heikentää sisäilman laatua. Siksi huoneilmaan ei tulisi ottaa korvausilmaa rakenteista tai rakennuksen alta, vaan korvausilma otetaan hallitusti tuloilmaventtiilien tai raitisilmanottoaukkojen kautta. Rakenteiden liitoskohdat eivät yleensä itsessään ole täysin tiiviit, vaan tiiviin sisäkuoren toteuttaminen vaatii kohdekohtaista suunnittelua. Tyypillisesti epätiiveyskohtia havaitaan lattianrajassa alapohjan ja ulkoseinien liitoskohdassa sekä ikkunoiden ja ulkoseinä-rakenteen liitoskohdassa.

Rakennusvaipan ilmanpitävyyden parantamisella, poistamalla hallitsemattomat ilmavuotokohdat on myönteinen vaikutus seuraaviin tekijöihin:



Kuvat 5.28. Kosteus voi kondensoitua lasikaton alapintaan yön vastasäteilyn vaikutuksesta. Kuvat: J. Ahokas, Vahanen Oy.

1. Energiankulutuksen väheneminen
2. Kosteuskonvektion estäminen
3. Epäpuhtauksien kulkeutumisen estäminen vuotoilmavirtausten mukana
4. Asumisviihtyvyys paranee vedontunteen vähentyessä
5. Ilmääneneristävyys voi usein parantua.

Rakennuksen vaipan ilmatiiveys ja rakennuksen painesuhteiden tarkastelu liittyvät kiinteästi toisiinsa. Kuntotutkimuksen yhteydessä pyritään selvittämään ilmavirtausten suuntaa, suuruutta ja niiden merkitystä epäpuhtauksien kulkeutumiselle ja rakennuksen toiminnalle. Ilmavirtaukset voivat joko kuivattaa tai kastella rakenteita. Ulkovaipparakenteiden läpi tapahtuvat hallitsemattomat ilmavirtaukset tyypillisesti viilentävät rakenteita ja sisäilmaa ja voivat siten lisätä energiankulutusta.

Talviaikaan rakenteiden läpi ulkoa sisätiloihin suuntautuva ilmavirtaus kuivattaa rakenteita. Esimerkiksi hirsirakenteiden toiminta perustuu rakenteita kuivattaville, hirsiseinän saumojen läpi tapahtuville ilmavirtauksille. Vanhoissa rakennuksissa tulisija tyypillisesti tehostaa rakennuksen alipaineisuutta, jolloin ilmavirtauksen suunta on ulkoa huonetiloihin päin. Ylipaineisessa rakennuksessa ilmavirtauksen suunta on sisätiloista ulospäin ja siten lämpimän sisäilman sisältämä kosteus voi merkittävästi vaurioittaa rakenteita. Kosteuskonvektion aiheuttamia vaurioita on tavallisimmin yläpohjarakenteissa, koska rakennukset saattavat olla savu- piippuvaikutuksen vuoksi yläosistaan ylipaineisia.

Rakennukseen tehtävät korjaustyöt saattavat vaikuttaa painesuhteisiin. Esimerkiksi tuuletusaukkojen lisääminen ryömintätilaan saattaa muuttaa ryömintätilan ylipaineiseksi huonetiloihin nähden, kun tuuli pääsee puhaltamaan ryömintätilaan. Myös rakenteiden ilmatiiveyden parantaminen muuttaa rakennuksen painesuhteita. Jos rakennuksessa on tehty korjauksia rakenteiden ilmatiiveyden parantamiseksi, tulee hallitun korvausilman saannin riittävyys varmistaa ja tulo- ja poistoilmamäärien suhde tulee säätää vastaamaan muuttuneita painesuhteita. Tyypillinen ilmatiiveyttä merkittävästi parantava toimenpide on ikkunaremontti, jossa vanhat ikkunat vaihdetaan uusiin. Vastaava vaikutus voi olla ikkunaremontissa, jossa ikkunoita kunnostetaan ja ikkunatiivisteitä uusitaan ja lisätään tiivisteet myös ulkopuoliteeseen.

5.6.2

Tuuli

Tuulen aiheuttama paine rakennukseen riippuu tuulen nopeudesta ja suunnasta ja rakennuksen geometriasta. Rakennuksen vaippaan muodostuva painejakauma ilmaistaan pinnan muotokertoimilla. Positiivinen muotokerroin tarkoittaa ylipainetta pinnalla ja negatiivinen muotokerroin alipainetta. Tuuli aiheuttaa kohtaamaansa pintaan ylipainetta ja sivuseinille ja suojan puoleiselle seinälle alipainetta. Harjakaton suojan puoleinen lape ja tasakatto ovat alipaineisia. Kirjallisuudessa on esitetty muotokertoimia rakennuksen eri pinnoille (mm. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2011a sekä Nevander L. ja Elmarsson B., 2011).

Rakennuksen sisäisenä muotokertoimena käytetään yleensä arvoa -0,3 (Nevander L. ja Elmarsson B., 2011). Tuulenpuoleisen seinän painekerroin on luokkaa +0,7...+0,8 ja suojanpuoleisen seinän -0,3...-0,7. Rakenteen yli vallitseva paine-ero saadaan ulkopuolisen ja sisäpuolisen muotokertoimen erotuksen avulla, kaava 5.7.

$$\Delta p = (\mu_u - \mu_s) \frac{\rho v^2}{2} \quad [5.7]$$

missä Δp on paine-ero [Pa], μ_u on rakenteen ulkopuolisen muotokerroin, μ_s on rakenteen sisäpuolinen muotokerroin, ρ on ilman tiheys [kg/m^3], lämpötilassa +20 °C kuivan ilman tiheys on $1,205 \text{ kg}/\text{m}^3$, v on tuulen nopeus [m/s].

Paine-erot eri rakennusosien yli voidaan laskea muotokertoimia ja kaavaa 5.7 käyttäen tai numeerisesti. Lisäksi standardissa *SFS-EN 1991-1-4* (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2011a) ja julkaisussa *RIL 201-1-2011* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011a) on käsitelty tuulenpaineen laskemista.

Paine-eron määrittäminen perustuu sisään ja ulos virtaavan ilman massatasapainoon. Rakennuspaikan vallitseva tuulen suunta ja rakennuksen aukkojen sijainti vaikuttavat rakennuksen sisäpuoliseen paineeseen. Jos rakennuksen tuulenpuoleinen seinä on muita seiniä epätiiviimpi, rakennuksen sisäpuolelle muodostuu ylipaine. Rakennuksen sisälle muodostuu alipaine, jos suurin osa aukoista on suojan puoleisella seinällä. Ilmiöllä

on merkitystä tarkasteltaessa yksittäistä rakennuspaikkaa, jolloin rakennuspaikan vallitsevan tuulen suunnan avulla voidaan arvioida rakennukseen syntyvää yli- tai alipainetta aukkojen, kuten ovien ja ikkunoiden, perusteella.

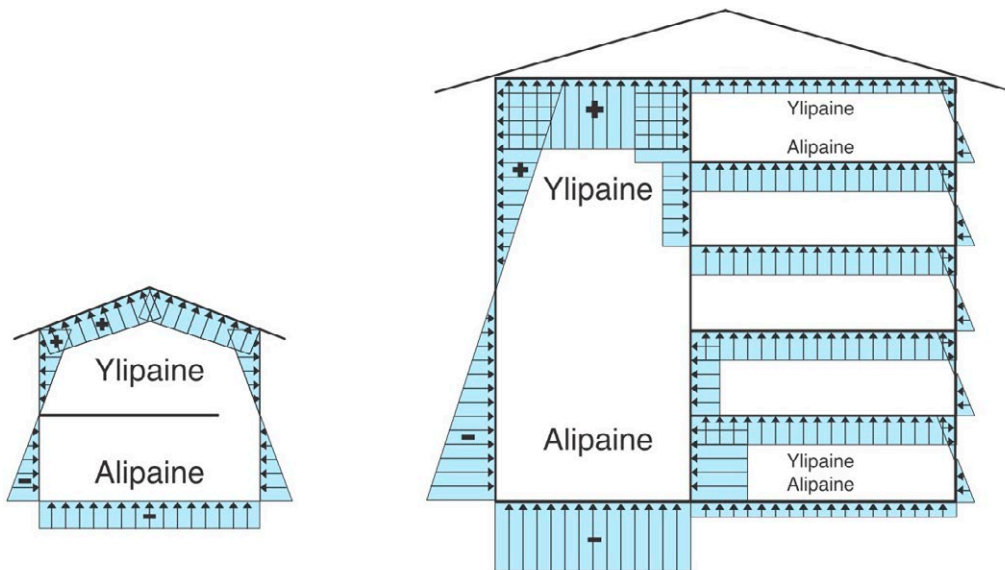
5.6.3

Savupiippuvaikutus

Ulko- ja sisäilman lämpötilaeron aiheuttamaa paine-eroa kutsutaan savupiippuvaikutukseksi. Paine-ero syntyy, kun lämmin ilma nousee kylmää ilmaa kevyempänä ylös. Tasatiiviissä rakennuksessa savupiippuvaikutus aiheuttaa kuvan 5.29 mukaisen painejakauman ulkoseinään. Ulkoilmaa lämpimämmän rakennuksen sisäpuolella sen alaosiin kohdistuu alipaine ja yläosiin ylipaine ulkoilmaan verrattuna. Neutraaliakselilla sisä- ja ulkopuolen välinen paine-ero on 0 Pa. Neutraaliakselin sijaintia on käytännössä vaikea tarkkaan määrittää, koska sen sijainti riippuu rakennuksen vaipan epätiivetyyskohtien korkeusasemista ja niiden virtausvastuksista, jotka voivat vaihdella satunnaisesti rakennuksessa.

Savupiippuvaikutuksen merkitys on suurin talvella, jolloin sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero on suuri. Savupiippuvaikutuksen aiheuttama rakennuksen sisäpuolinen ylipaine nousee neutraaliakselista ylöspäin noin 0,9 Pa metrillä, kun sisä- ja ulkoilman lämpötilaero on 20 °C (kuva 5.30). Rakennuksen sisäpuolella on ylipainetta rakennuksen koko korkeudella, kun neutraaliakseli on rakennuksen alaosassa, eli alhaalla on esimerkiksi avoin aukko tai muihin rakennusosiin nähden ilmanpitävyydeltään huonoin rakennusosa, esimerkiksi ulko-ovi tuloilma-aukkoineen. Tällöin sisäpuolen yläosaan kohdistuva ylipaine on suurin. Savupiippuvaikutuksen aiheuttama rakennuksen yläosan ylipaine saattaa kumota ilmanvaihdon aiheuttaman alipaineen.

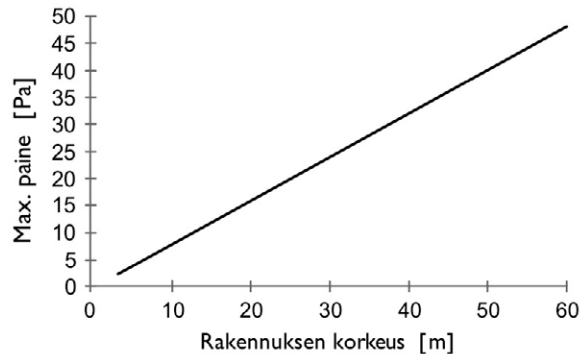
Savupiippuvaikutuksen merkitys ja samalla kosteuskonvektion mahdollisuus kasvaa rakennuksen vapaan tilan korkeuden kasvaessa. Tämän vuoksi yli 10 m korkeat tilat, kuten varastot, ja yli 20 m korkeat rakennukset erotetaan omaksi ryhmäksi rakennesuunnittelussa, ja rakenteiden ilman ja vesihöyryn tiiveys on erityisesti otettava huomioon (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012).



Kuva 5.29. Sisä- ja ulkoilman lämpötilaerojen seurauksena syntyy painejakauma rakennuksen ulkovaipan yli. Kerrostalon painejakaumassa on oletettu väliseinien ja -pohjien olevan ilmatiiviit. Kun väliseinässä on runsaita ilmavuotokohtia, siirtyy porrashuoneen painevaikutus kunkin kerroksen huoneen ulkoseinälle. Kuva: Kattoliitto ry, 2013.

Esimerkki 5.5. Rakennuksen vapaan ilmatilan korkeuden vaikutus lämpötilaeron aiheuttamaan ylipaineeseen

Oletetaan, että rakennuksen sisä- ja ulkoilman lämpötilaero on 20 °C. Kuvan 5.30 kuvaaja osoittaa, kuinka suuri ylipaineisuus voi olla rakennuksen yläosassa rakennuksen ollessa tietyn korkuinen. Kuva 5.29 havainnollistaa painesuhteiden jakautumista rakennuksen eri osissa.



Kuva 5.30. Suurin savupiippuvaikutuksen aiheuttama ylipaine erikorkuisissa rakennuksissa, kun lämpötilaero sisä- ja ulkoilman välillä on 20 °C.

5.6.4

Ilmanvaihto

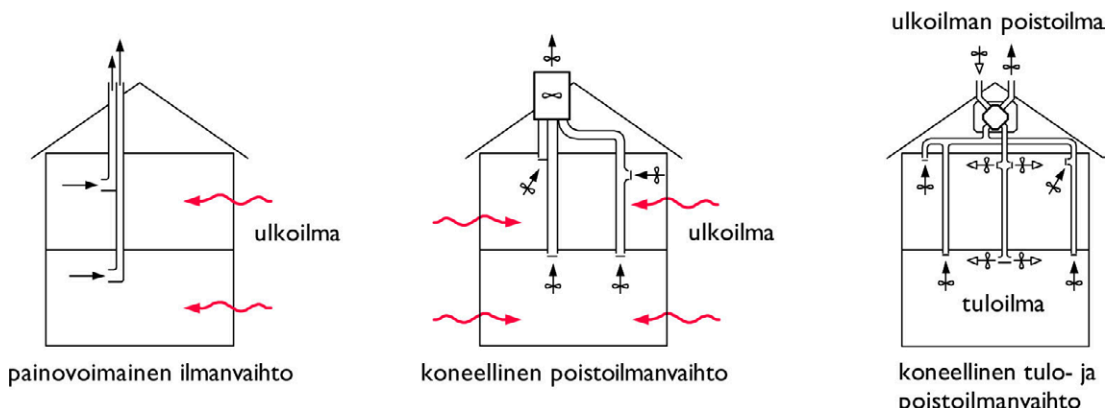
Ilmanvaihdon aiheuttama paine-ero rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välillä riippuu rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmästä, joka voi olla koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä, koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä tai kahden edellisen yhdistelmä (kuva 5.31). Painovoimainen ilman-

vaihto oli yleisin järjestelmä 1960-luvulle asti, jolloin alettiin rakentaa myös koneellisia järjestelmiä.

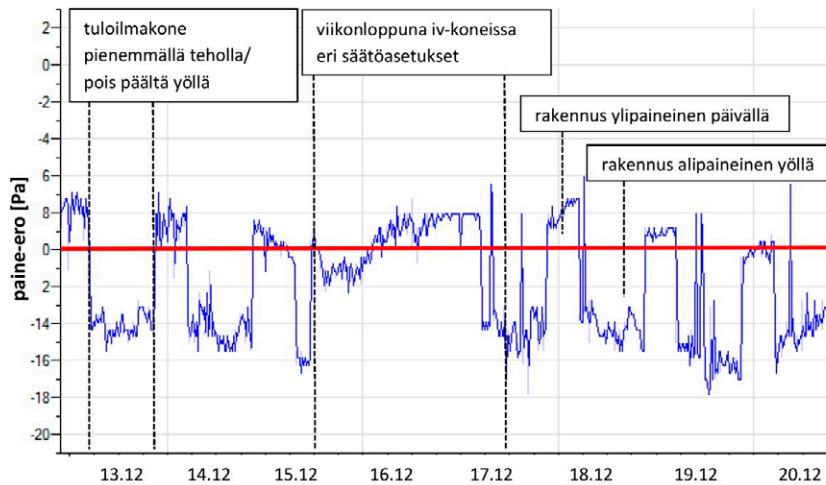
Koneellisten ilmanvaihtojärjestelmien aiheuttamat painesuhteet rakennuksessa riippuvat ilmanvaihtojärjestelmän tehokkuudesta ja säädöstä, rakennuksen vaipan tiiveydestä sekä tulo- ja poistoilmaventtiilien määrästä ja sijainnista. Tiiveyteen vaikuttavat rakenneratkaisut ja vaipan epäjatkuvuuskohdat, kuten saumat, ikkunat, ovet ja erkkerit.

Kuvassa 5.32 on esimerkki sisä- ja ulkoilman välisestä paine-erosta ja sen muutoksista, kun rakennuksessa on koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä. Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä rakennuksen painesuhteet riippuvat poiston ja sisään puhalluksen säädöstä. Rakennus on ylipaineinen, kun sisään puhallus on suurempi kuin poisto. Poiston ollessa suurempi kuin sisään puhallus rakennus on alipaineinen. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän suunnitellut ilmavirrat esitetään LVI-suunnitelmissa.

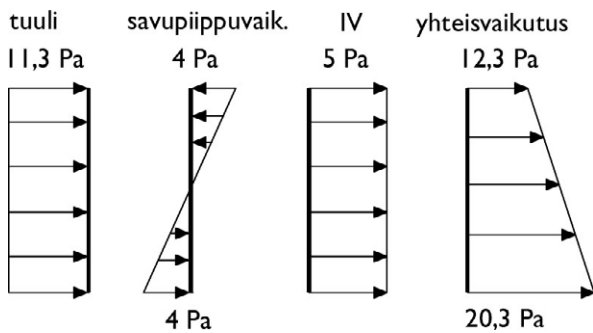
Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 (RakMK D2-2012) mukaan ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava siten, ettei se aiheuta vesi-, kosteus- tai muita vahinkoja. Rakennustekniikan kannalta ohje tarkoittaa, että lämpimiä sisätiloja ei tule ilmanvaihtoteknisesti ylipaineistaa. Tavoitteellinen paine-ero ulkovaipan yli on koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla varustetuissa rakennuksissa 0...-2 Pa ja paine-ero rappukäytävään +/- 0 Pa. Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016) mukaisesti jos alipaineisuus on yli 15 Pa, niin alipaineisuuden syy tulee selvittää ja ilmanvaihtoa mahdollisuuksiensa mukaan tasapainottaa.



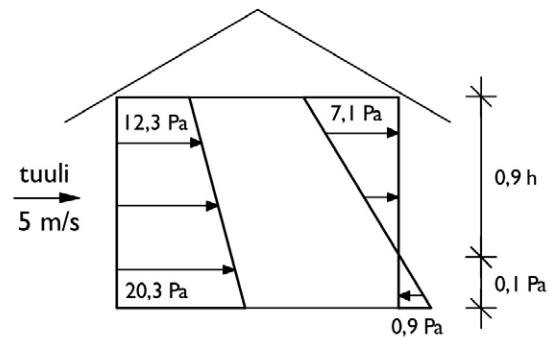
Kuva 5.31. Ilmanvaihtojärjestelmien perusratkaisuja. Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta riippuu sisä- ja ulkoilman välisestä lämpötilaerosta ja tuulesta. Painovoimainen ilmanvaihto on tehokkaimmillaan kylmänä vuodenaikana.



Kuva 5.32. Esimerkki sisä- ja ulkoilman välisestä paine-erosta rakennuksessa, jossa on koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä. Punaisella viivalla on kuvattu nollassa.



Kuva 5.33. Esimerkin 5.6 mukainen tuulen, savupiippuvaikutuksen ja ilmanvaihdon yhteisvaikutus tuulenpuoleiseen ulkoseinään kohdistuvaan paineeseen.



Kuva 5.34. Esimerkin 5.6 rakennuksen tuulen- ja suojanpuoleisiin seiniin tuulesta, savupiippu vaikutuksesta ja ilmanvaihdosta kohdistuvat painejakaumat.

5.6.5

Tuulen, savupiippuvaikutuksen ja ilmanvaihdon yhteisvaikutus painesuhteisiin

Rakennuksen painesuhteet määräytyvät tuulen, savupiippuvaikutuksen ja ilmanvaihdon yhteisvaikutuksesta (kuva 5.33). Lisäksi painesuhteisiin vaikuttaa tilojen käyttö. Tyypillisesti painesuhteet vaihtelevat edellä mainittujen tekijöiden vaikutuksesta eri vuorokauden- ja vuodenaikoina. Ilmanvaihtolaitteiston toiminta ja tuuli voivat muuttaa painesuhteita vuorokauden aikana hyvin nopeasti ja voimakkaasti. Savupiippuvaikutus muuttaa rakennuksen painesuhteita vuodenaikojen mukaan. Kokonaispaine-eron aiheuttama ilman virtaaminen aiheuttaa kosteusvaurioriskin, jos ilma jäähtyy virratessaan rakenteen läpi, mikä vastaa sisäpuolista

ylipainetta, ks. esimerkki 5.4. Käytännössä rakennuksen vallitsevia painesuhteita ja kosteuskonvektion aiheuttamaa kosteusvaurioriskiä arvioidaan mittaamalla paine-ero rakenteen yli (vrt. kuva 5.32).

Esimerkki 5.6. Tuulen, savupiippuvaikutuksen ja ilmanvaihdon yhteisvaikutus rakennuksen painesuhteisiin

Oletetaan, että rakennukseen kohdistuva tuulen nopeus on 5 m/s. Rakennuksen seinien tiiveys on sama kaikilla julkisivuilla. Ulkoilman lämpötila on 0 °C (ilman tiheys 1,29 kg/m³) ja sisäilman lämpötila on + 20°C. Rakennuksen vapaan tilan korkeus on 10 m. Rakennuksessa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, joka aiheuttaa raken-

nukseen 5 Pa alipaineen ulkoilmaan verrattuna. Millainen painejakauma rakennuksen tuulenpuoleiselle seinälle muodostuu? Tuuli aiheuttaa seinälle tasaisen painejakauman, jonka suuruus on kaavalla 5.7 laskettuna:

$$p = \mu_u \frac{\rho v^2}{2} = 0,7 \frac{1,29 \times 5^2}{2} \text{ Pa} = 11,3 \text{ Pa}$$

Savupiippuvaikutus aiheuttaa seinälle kuvan 5.29 mukaisen painejakauman. Rakennuksen sisäpuolella alaosassa on siten suurimmillaan 4 Pa alipaine ja yläosassa yhtä suuri ylipaine ulkoilmaan verrattuna. Ilmanvaihto aiheuttaa tasaisen 5 Pa alipaineen seinän sisäpinnalle. Edellisten tekijöiden yhteisvaikutus tuulenpuoleisen ulkoseinän yli vaikuttavaan paine-erojakaumaan on esitetty kuvassa 5.33. Esimerkkitapauksessa rakennuksen tuulen- ja suojanpuoleisiin seiniin tuulesta, savupiippuvaikutuksesta ja ilmanvaihdosta kohdistuvat painejakaumat on esitetty kuvassa 5.34. Kuvaajista havaitaan että tuulen puoleinen ulkoseinä on kokonaan alipaineinen. Suojan puoleinen seinä on 90 %:sti ylipaineinen ja 10 %:sti alipaineinen. Ylipaineen kohdalla ilma pyrkii virtaamaan sisältä ulos ja alipaineen kohdalla ulkoa sisälle.

5.7

Mikroilmasto

Mikroilmastolla tarkoitetaan ilmasto-olosuhteita rakennuksen välittömässä läheisyydessä ja rakennuksen pinnoilla. Sille ovat tyypillisiä sekä eri rakennuspaikkojen että yhden rakennuspaikan eri osien väliset suuret erot. Mikroilmastoon vaikuttavat eniten makroilmasto, tuuli ja auringon säteily sekä rakennuksen lähiympäristö, maan pinnan laatu ja muoto sekä rakennuksen ympärillä oleva kasvillisuus ja lähellä sijaitsevat rakennukset. Ympäristön vaikutus mikroilmastoon perustuu sen tuulivirtauksia ja auringon säteilyn jakautumista ohjaavaan vaikutukseen. Mikro- ja makroilmaston väliset erot ovat pienimmillään tasaisella aukealla paikalla. Tuulen aiheuttama virtaus- ja painekenttä vaikuttaa rakenteissa olevien tuuletusvälien toimintaan ja rakenteiden kuivumiseen. Lisäksi ilmapvirtaus jäädyttää rakenteita ja lisää viistosaderasitusta.

5.7.1

Mikroilmaston vaikutus rakenteiden toimintaan

Mikroilmasto voi muuttaa rakenteiden kosteusteknistä käyttäytymistä merkittävästi, koska todelliset olosuhteet voivat poiketa huomattavasti suunnittelun lähtökohtana käytetyistä keskimääräisistä makroilmasto-olosuhteista. Mikroilmaston vaikutuksesta voi samanlainen rakennus säilyä toisessa paikassa vaurioitumattomana ja toisenlaisessa ympäristössä vaurioitua. Tästä syystä mikroilmaston merkitys rakenteen kosteustekniseen toimintaan tulee ottaa huomioon arvioitaessa rakenteiden vaurioitumismekanismeja.

5.7.2

Tuuli

Tuulen vaikutuksesta rakennuksen ympärille syntyy virtauskenttä, jossa virtausten nopeus ja suunta riippuvat rakennuksen muodon ja mittojen lisäksi sen sijainnista lähellä oleviin esteisiin, kuten muihin rakennuksiin nähden, esteiden korkeudesta sekä kasvillisuudesta ja sen läpäisevyydestä. Suomessa vallitseva tuulen suunta on lounaasta. Lähiympäristön vaikutuksesta tuulen nopeus ja suunta voivat merkittävästi erota vastaavista vapaan tuulen arvoista.

Kohdatessaan rakennuksen tuuli kohdistuu voimakkaimmin rakennuksen nurkkiin ja yläosaan, missä tuulen rakenteita jäädyttävä vaikutus on suurin. Virtausten jakaantuminen näkyy hyvin sadeilmalla, kun nurkat ja seinän yläosat ovat muita kohtia märempiä. Tämä kosteusrasitus yhdessä erityisesti keväisin ja syksyisin tapahtuvan rakenteen toistuvan jäätyksen ja sulamisen kanssa lisäävät julkisivuvaurioiden keskittymistä ko. alueille.

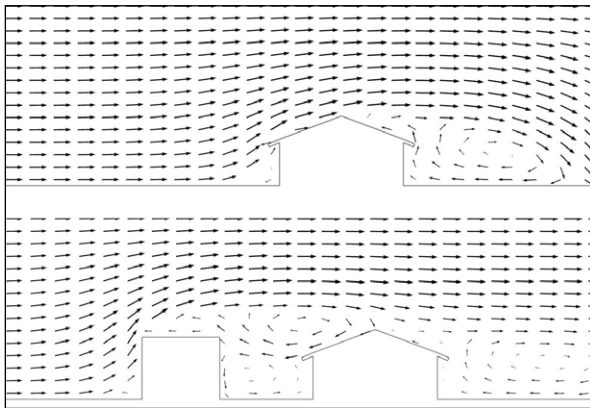
Esteen merkityksestä rakennuksen ympärille syntyvään virtauskenttään on esitetty kuvan 5.35 esimerkissä virtausohjelmalla lasketut 2-ulotteiset tapaukset, joista toisessa rakennus sijaitsee aukealla paikalla ja toisessa rakennuksen tuulen puolella on virtausta ohjaava este.

Esimerkkitapauksessa este pienentää selvästi virtausnopeuksia tuulen puolella rakennuksen läheisyydessä. Tuulen vaikutuksesta rakennuksen tuulenpuolelle muodostuu ylipaineinen ja taakse alipaineinen alue, jolloin paine-erot vaikuttavat merkittävästi tuulettuvien rakennusosien tuulettavuuteen ja rakenteiden kuivumiseen. Esteen

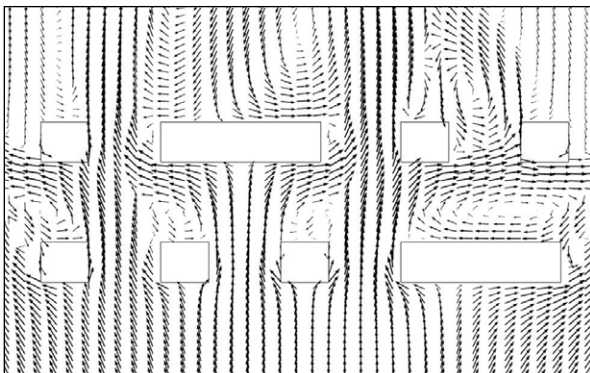
suojaavan vaikutuksen seurauksena saattaa rakennuksen ympärille syntyä alipaineinen alue, jossa paine-erot esimerkiksi räystäään ja perusmuurin yli ovat merkityksettömiä ja rakennuksen yli vallitseva paine-erokin on erittäin pieni. Ko. tilanteessa tuuletusvälien toiminta on puutteellista tai estyy rakennuspaikan mikroilmaston vaikutuksesta.

Esteet muuttavat tuulen virtaussuuntaa kääntäen sen joissain tapauksissa jopa vastakkaiseksi. Kanavoitumisen seurauksena virtaus voi kohdistua voimakkaana osaan rakennuksista. Virtauskentän erilaisesta kohdistumisesta taloryhmän eri rakennuksiin on virtausohjelmalla laskettu esimerkki kuvassa 5.36.

Kuvan 5.36 tapauksessa ilman virtausnopeus kasvaa kanavoitumisen seurauksena talojen välissä vapaan tuulen nopeutta suuremmaksi. Kanavoitumisen seurauksena virtausnopeudet voivat



Kuva 5.35. Esimerkki ilmapvirtauksista rakennuksen ympärillä eri mikroilmastoissa. Ilmapvirtauksen suuruutta kuvataan nuolen pituudella ja suuntaa nuolen suunnalla.



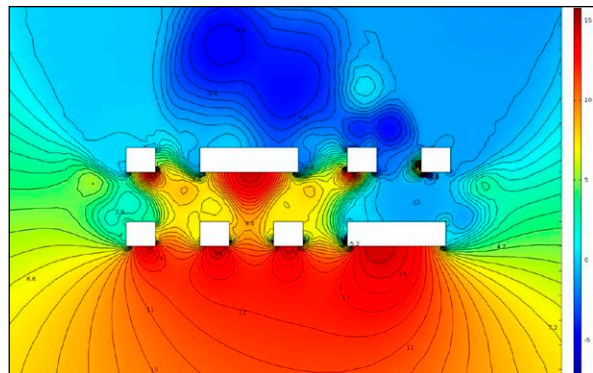
Kuva 5.36. Tuulen synnyttämä virtauskenttä kahden rivitalon ja kuuden pientalon muodostaman rakennusryhmän ympärillä. Ilmapvirtauksen suuruutta kuvataan nuolen pituudella ja suuntaa nuolen suunnalla. Oikeanpuoleisessa kuvassa on esitetty vastaavan rakennusryhmän viereinen ilmanpainejakauma (viivoilla paineen tasa-arvokäyrät ja väreillä paineen arvo, jonka nollakohta asetettu rakennuksen pohjoispuolelle ulosvirtaukseen). Punaisella alueella vallitsee ylipaine ja sinisellä alueella alipaine.

kasvaa niin paljon, että sateella vesi voi nousta jopa pintaa pitkin ylöspäin. Virtausnopeudet pienenevät selvästi niiden talojen kohdalla, jotka ovat tuulensuojassa toisten rakennusten takana ja nopeudet ovat alle kymmenesosa siitä, mitä ne ovat tuulen kohdistuessa suoraan rakennukseen. Virtauskentän vaikutuksesta syntyvässä painekentässä rakennusten yli esiintyvät paine-erot vaihtelevat merkittävästi rakennusten sijainnin perusteella.

5.7.3

Auringon säteily

Auringon säteilyn mikroilmastollinen merkitys riippuu auringon korkeuskulmasta ja siis vuoden- ja vuorokaudenajasta, tarkasteltavan tason suunnasta ja kaltevuuskulmasta, pilvisyydestä sekä lähiympäristössä olevien rakennusten ja puuston varjostavasta vaikutuksesta. Selkeinä päivinä säteilytehot ovat seinäpinnalla suurimmillaan keväällä ja alkusyksystä ja katon vaakapinnalla kesällä. Puuston varjostava vaikutus riippuu lehvästön läpäisevyydestä ja siten niiden lajijominaisuuksista ja vuodenajasta. Pinnalle tulevan säteilytehon määrissä esiintyy suuria eroja samallakin seinäpinnalla. Säteilyn erilaisesta jakaantumisesta erisuuntaisille pinnoille ja kasvillisuuden varjostavan vaikutuksen merkityksestä on kuvassa 5.37 esitetty esimerkkinä erään Kuopiossa sijaitsevan pientalon seinä- ja kattopinnalta yhden päivän aikana mitatut säteilytehot toukokuun viimeiseltä päivältä. Kattopinnalle tuleva säteilytehon enimmäisarvo oli noin 800 W/m^2 ja seinäpinnan enimmäisarvo noin 500 W/m^2 .



Rakennuksen lähellä oleva puusto varjostaa kattoa vähemmän, mutta on selvästi nähtävissä muutamana yksittäisenä säteilytehon laskuna. Varjostuksen seurauksena säteilyteho aleni hetkittäin alle 350 W/m^2 . Seinäpinnalle kohdistuva säteilytehon määrä vaihteli johtuen puuston suuremmasta varjostusvaikutuksesta pinnalle. Säteilytehot alenivat jopa yhteen kymmenesosaan enimmäisarvosta.

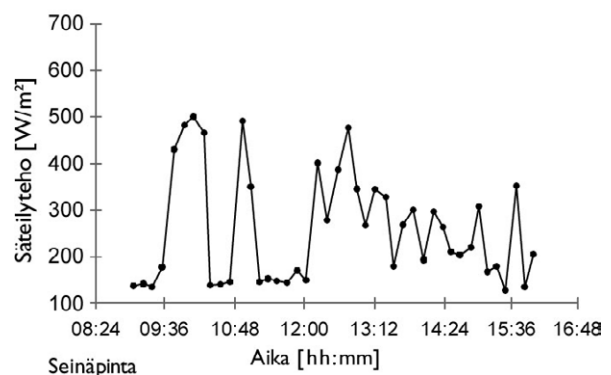
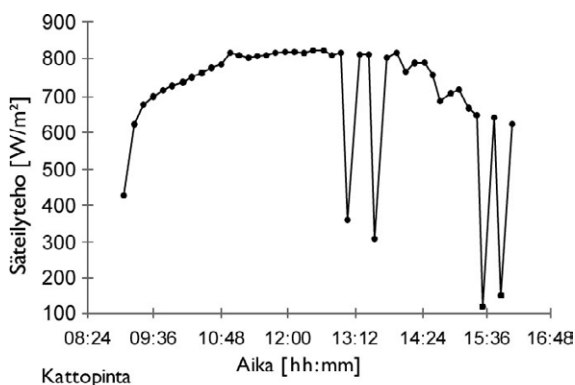
Kohdistuessaan rakenteen pintaan auringonsäteily nostaa pintalämpötiloja ja samalla pinnan läheisen ilman lämpötilaa. Lämpötilan nousu lisää ilman kyllästysvajausta ja tehostaa siten rakenteiden kuivumista. Pilvisyyden ja varjostavien esteiden vaikutuksesta samalla seinäpinnalla voi esiintyä suuria lämpötilaeroja, millä on merkitystä rakenteen epätasaisen kuivumisen ja sen seurauksena mahdollisen vaurioitumisen kannalta. Auringon säteily kuivattaa rakennuksen vaipan ulkopintoja, mutta voi siirtää kosteutta vaipan kylmiin sisäosiin. Kuvassa 5.38 on esitetty puurunkoisen levyseinän ja betonisandwich-seinän suhteellisen kosteuden vaihtelu auringonsäteilyn vaikutuksesta. Auringon lämmittäessä vaipan ulkopintaa suhteellinen kosteus mineraalivillan ulkopinnalla laskee, mutta mineraalivillan keskellä ja sisäpinnalla suhteellinen kosteus nousee. Mineraalivillan sisäpinnalla suhteellisen kosteuden nousu on suurempaa kuin keskellä. Ilmiö on voimakkaampi levyseinärakenteessa, kuva 5.38a, kuin betonisandwich-seinässä, kuva 5.38b.

Kosteusrasitus voi muodostua merkittäväksi erityisesti rakennuksen nurkkakohdissa, jos kosteus siirtyy nurkan taakse rakenteen kylmempiin osiin. Keväällä ja syksyllä ilman lämpötilan ollessa lähellä $0 \text{ }^\circ\text{C}$ auringon säteily lisää ns. nollanvaihtokertojen lukumäärää ja siten vuorottaista sulamista

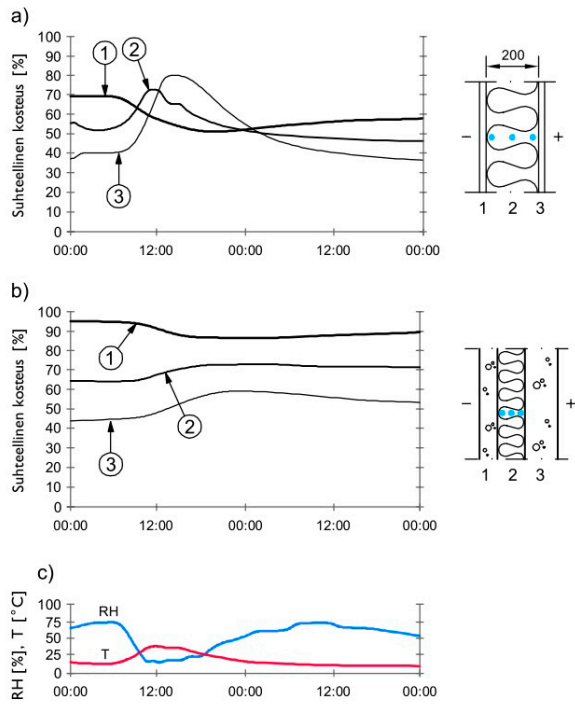
ja jäätymistä rakenteessa. Tämä saattaa johtaa paikallisiin vaurioihin rakenteessa.

Auringonsäteilyn vaikutuksesta, ilman kyllästysvajaksesta ja kosteuden haihtumisesta on kuvassa 5.39 esimerkki pientalon eteläseinustalta. Mittausjakson alussa pilvisten ja sateisten päivien aikana ilman kyllästysvajausta oli pieni, mutta kasvoi nopeasti yli kymmenkertaisiin arvoihin kokjaksoa seuraavina aurinkoisina päivinä. Kyllästysvajaksesta merkitys rakenteen kuivumiselle näkyy selvästi kuvassa 5.39b. Pilvisellä ja sateisella jaksolla haihdunta oli vähäistä ja lisääntyi aurinkoisina päivinä merkittävästi. Haihduntakäyrän negatiiviset arvot edustavat tilannetta, jossa sadevesi on lisännyt haihduntamittarissa olevan veden määrää. Rakennuksen pohjoisseinustalla, jonne auringon suora säteily ei kohdistu, rakenteiden kuivuminen perustuu pelkästään ilman kyllästysvajaksesta ja tuulen vaikutukseen.

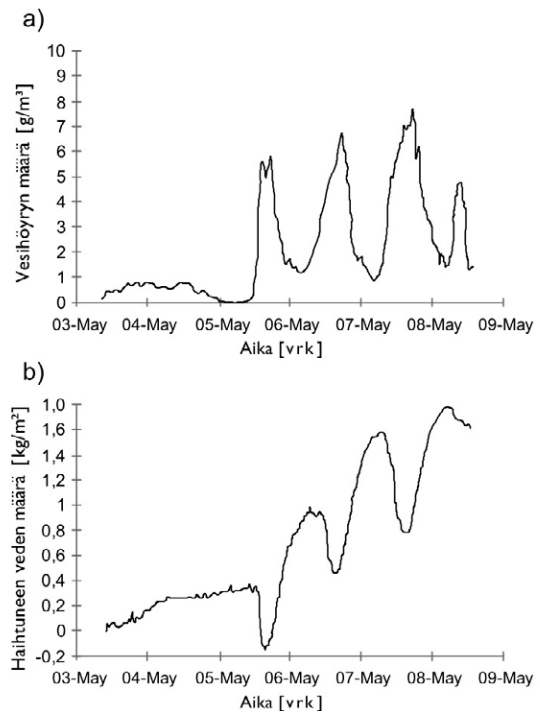
Vastakohtana päiväsaikaan auringonsäteilyn vaikutuksesta tapahtuvalle pintalämpötilojen kohoamiselle ilman lämpötilaa korkeammaksi tapahtuu kirkkaina öinä rakenteen pinnan jäähtymistä ulkoilmaa kylmemmäksi. Sitä nettoenergiaa, joka siirtyy säteilyllä pinnalta avaruuteen, kutsutaan yön vastasäteilyksi. Yön vastasäteilyn merkitys on suurin katolla, joka suuntautuu koko alaltaan taivasta kohti. Rakennuksen seiniin vastasäteilyn merkitys on pienempi johtuen maan lämpösäteilystä ja ympäristön varjostuksesta. Katteen jäähtyessä ulkoilmaa kylmemmäksi kosteus voi tiivistyä katteen ylä- tai alapintaan. Katteen alapintaan tiivistynyt kosteus voi valua alapuolisiin rakenteisiin. Muun muassa tämän ehkäisemiseksi tuuletettuun kattorakenteeseen asennetaan yleensä aluskate.



Kuva 5.37. Auringon säteilytehot toukokuun 31. päivänä mitattuna Kuopiossa sijaitsevan pientalon katto- ja seinäpinnalta.



Kuva 5.38. Auringon säteilyn aiheuttama suhteellisen kosteuden vaihtelu mineraalivillan ulkopinnalla, keskellä ja sisäpinnalla. A) puurunkoinen levyseinä, b) betonisandwich-seinä, c) vaipan ulkopinnan lämpötilä ja suhteellinen kosteus.



Kuva 5.39. Pientalon eteläseinustan ilman lämpötilän ja suhteellisen kosteuden mittaustuloksista laskettu a) ilman kyllästysvajaus pilvisellä ja aurinkoisella jaksolla toukokuun alussa sekä b) haihdunnan mittaustulokset vastaavalta jaksolta.

6 Mikrobikasvu ja -vauriot rakenteissa

6.1

Rakennusten mikrobiologiaa

6.1.1

Rakennusten mikrobilajisto ja mikrobikasvu

Mikrobeja ja niiden itiöitä on kaikkialla, ja ne ovat osa normaalia elinympäristöä. Rakennuksissa esiintyvien mikrobien luonnollisia kasvuympäristöjä ja siten niiden lähteitä ovat mm. maaperä, lahoava kasvimateriaali ja elävien kasvien pinnat sekä ihmiset, eläimet ja elintarvikkeet. Mahdollista terveyshaittaa aiheuttava mikrobialtistus johtuu siitä, että mikrobeja on alkanut kasvaa jossakin osassa rakennusta.

Mikrobit tarvitsevat kasvaakseen kosteutta, lämpöä ja ravinteita. Mikrobikasvun käynnistyminen ja nopeus riippuvat näistä tekijöistä. Homesienet ja muut mikrobit voivat kasvaa missä tahansa; jopa pinnoilla oleva pöly sisältää riittävästi ravinteita eräiden mikrobien kasvun käynnistymiseen. Yleensä myös rakennuksen lämpöolosuhteet ovat suotuisat mikrobikasvulle. Tärkein mikrobikasvua rajoittava tekijä on kosteus; mikrobit eivät kasva kuivissa rakenteissa. Rakenteiden ja materiaalien pinnoilla on aina mikrobeja, jotka ovat peräisin pääasiassa sisä- ja ulkoilmasta. Kostuneen rakenteen mikrobikasvusto kehittyy näistä mikrobeista. Rakennusmateriaaleilla voi kasvaa erilaisia homeja hiivasieniä sekä aktinomykettejä eli sädesieniä ja muita bakteereita. Sädesienet ovat nimestään huolimatta bakteereita, mutta niiden kasvutapa muistuttaa homesieniä.

Mikrobit on nimetty kaksiosaisella latinankielisellä nimellä.

Edellä mainittuja eliöitä kutsutaan mikrobeiksi niiden mikroskooppisen pienen koon takia. Mikrobilajin nimen ensimmäinen osa, sukunimi, kirjoitetaan isolla alkukirjaimella (esim. *Aspergillus*). Toinen osa, lajinimi, kirjoitetaan pienellä alkukirjaimella (esim. *versicolor*). Molemmat nimet kirjoitetaan kursiivilla. Lueteltaessa useita samaan sukuun kuuluvia lajeja, esitetään sukunimi toisesta lajista alkaen sukunimen alkukirjaimella (esim. *Aspergillus fumigatus*, *A. ochraceus*...). Jos mikrobi on tunnistettu vain sukutasolla, korvataan lajinimi lyhenteellä "sp.". Esimerkiksi laboratorion homeviljelyn analyysivastauksessa käytetty ilmaisu *Penicillium* sp. tarkoittaa, että näytteessä todettiin yhtä *Penicillium*-lajia, mutta sen lajia ei määritetty. Lyhenne spp. tarkoittaa useampaa lajia, esimerkiksi analyysivastauksen *Cladosporium* spp. tarkoittaa, että näytteessä esiintyi useampia erinäköisiä *Cladosporium*-homeita, mutta niiden lajeja ei määritetty. Useiden homesukujen lajit ovat mikroskooppitarkastelussakin niin samannäköisiä, ettei niitä voida luotettavasti tunnistaa tavanomaisen sisäympäristön mikrobianalyysitoimeksiannon puitteissa.

Kosteusvaurioilla kasvaa tunnusomainen mikrobilajisto.

Taulukko 6.1. Ulko- ja sisäilmassa tyypillisiä, sekä kosteusvaurioihin viittaavia mikrobisukuja, -lajeja ja -ryhmiä.

Ulkoilma	Sisäilma	Kosteusvauriot
<i>Cladosporium</i> , basidiomykeetit ¹⁾ , <i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Alternaria</i> , hiivat, <i>Geotrichum</i> , steriilit ²⁾	<i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Cladosporium</i> , hiivat, bakteerit	<i>Acremonium</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>A. ochraceus</i> , <i>A. penicillioides</i> / <i>A. restrictus</i> ³⁾ , <i>A. sydowii</i> , <i>A. versicolor</i> , basidiomykeetit ¹⁾ , <i>Chaetomium</i> , <i>Eurotium</i> , <i>Exophiala</i> , <i>Oidiodendron</i> , <i>Geomyces</i> , <i>Paecilomyces</i> , <i>Phialophora</i> , <i>Scopulariopsis</i> , <i>Sporobolomyces</i> , Sphaeropsidales (<i>Phoma</i>), <i>Stachybotrys</i> / <i>Memnoniella</i> ³⁾ , sädesienet (mm. <i>Streptomyces</i>), <i>Trichoderma</i> , <i>Tritirachium</i> / <i>Engyodontium</i> ³⁾ , <i>Ulocladium</i> , <i>Wallemia</i>

1) Kantasieniä, esimerkiksi useimmat tutut ”metsäsienet”, lahottajat, käävät ja ruostesienet, 2) lajeja, jotka eivät muodosta käytetyissä laboratorio-olosuhteissa lajintunnistuksen mahdollistavia itiörakenteita, 3) hyvin lähisukuisia ja ominaisuuksiltaan samanlaisia lajeja tai sukuja.

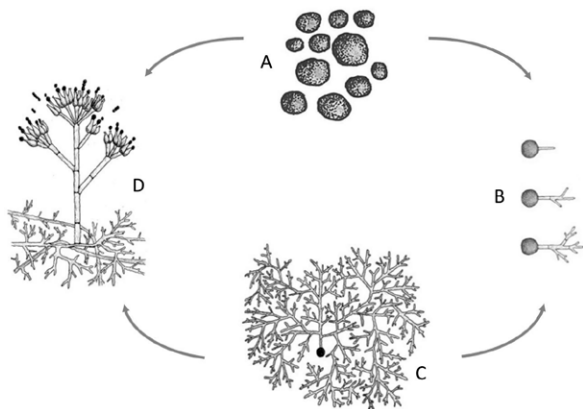
Kosteusvaurioituneissa rakenteissa voi kasvaa sekä tavanomaisessa sisä- ja ulkoilmassa hyvin yleisesti esiintyviä mikrobeja, että sellaisia mikrobeja, joita ei yleensä esiinny merkittävinä pitoisuuksina sisä- ja ulkoilmassa. Jälkimmäisiä kutsutaan kosteusvaurioindikaattoreiksi. Taulukossa 1 on listattu ulko- ja sisäilmassa tyypillisiä mikrobilajeja ja -sukuja, sekä kosteusvaurioihin viittaavia mikrobeja.

Kuvassa 6.1 on esitetty yksinkertaistaen homesien elinkierto. Homeen kasvu käynnistyy homeitiöistä. Itiöstä kasvaa rihmasto, joka käyttää kasvualustan ravinteita ja leviää säteittäisesti alkupisteestään. Sopivissa olosuhteissa rihmastosta kehittyy kasvuston yläpuolelle nousevia ilmarihmoja, sekä itiönkannattimia, joihin kehittyy uusia itiöitä. Nämä itiöt leviävät ilman mukana

uusille kasvupaikoille. Itiöiden lisäksi kasvustosta irtoaa myös rihmaston kappaleita ja muita pieniä partikkeleita sekä kaasumaisia ja puolihaihtuvia aineenvaihduntatuotteita, joilla saattaa olla vaikutuksia sisäilman laatuun. Homesienten itiöiden koko vaihtelee muutamasta mikrometristä (µm, millimetrin tuhannesosa) muutama kymmeneen mikrometriin. Sädesienten itiökoko on noin 1 µm.

Bakteereihin kuuluvien sädesienten kasvu muistuttaa homesienten kasvua. Myös sädesienet muodostavat haarautuvia rihmastoja, joista kohoaa ilmarihmoja ja itiöitä muodostavia rakenteita. Useimmat muut bakteerit sekä hiivasienet kasvavat materiaalilla kosteana solumassana, eivät rihmastona (kuva 6.2).

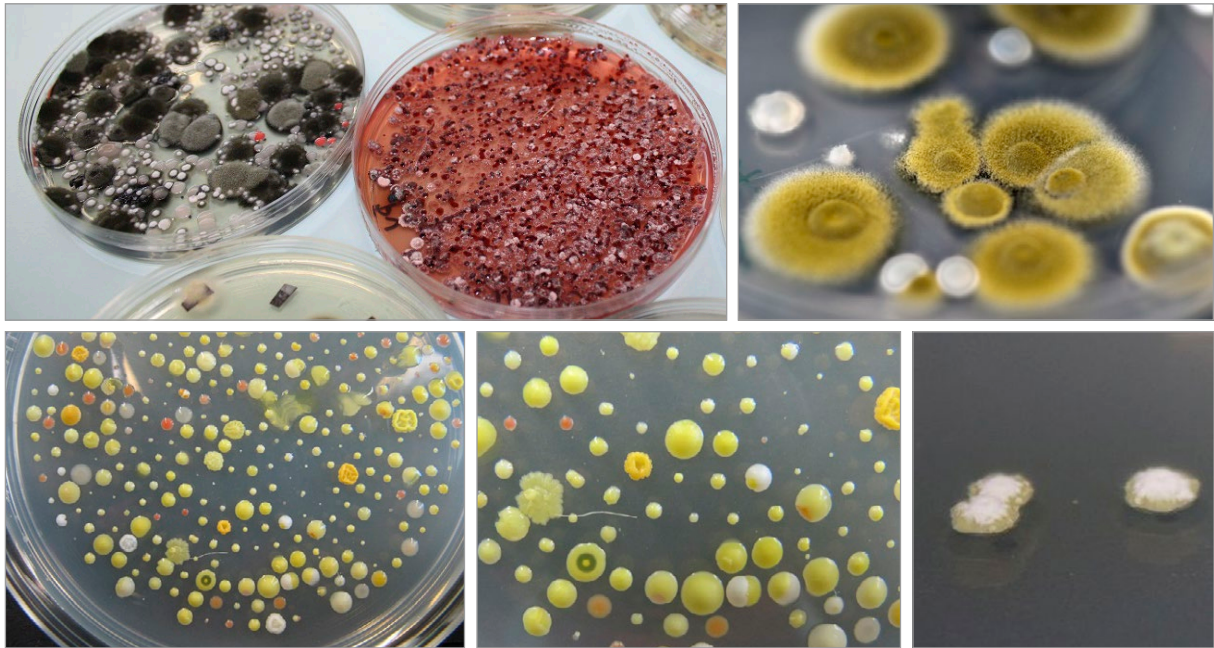
Tiiviillä ja umpisoluisilla materiaaleilla (esimerkiksi puu, betoni ja useat muovieristeet ja -kalvot) mikrobikasvusto kehittyy materiaalin pintaan ja halkeamiin. Huokoisilla materiaaleilla (esimerkiksi puukuitulevyt, puupuru ja mineraalivillaeristeet ja vettynyt kipsilevy) kasvustoa kehittyy yleensä runsaasti myös materiaalin sisälle.



Kuva 6.1. Homeen elinkierto (yksinkertaistettu malli). Sopivissa olosuhteissa homeitiöt (A) itävät ja kasvattavat rihmoja (B), jotka pitenevät ja haarautuvat edelleen rihmastoksi (C). Rihmastoon kehittyy itiönkannatinrakenteita, joihin kehittyy itiöitä (D). Itiöt leviävät uusille kasvupaikoille. Kuvan lähde: Johansson P., 2014.

Lahottajasienet hajottavat puuta ja heikentävät puurakenteiden lujuutta.

Lahottajasienet kasvavat samantyyppisenä rihmastona kuin homeet. Toisin kuin homeet, lahottajasienet pystyvät kuitenkin hajottamaan puuta ja puupohjaista materiaalia pintaa syvemmältä, mikä heikentää materiaalin lujuutta. Lahottajasienet kuuluvat useimmista homeista poiketen ns. basidiomykkeetteihin eli kantasieniin. Lahottajat jaetaan valko-, rusko- ja katkolahottajiin. Yleisimmät rakennuksissa esiintyvät lahottajat ovat ruskolahottajia.



Kuva 6.2. Mikrobipesäkkeitä kasvatusaljoilla laboratoriossa. Ylärivissä home- ja hiivasienipesäkkeitä ja alarivissä bakteeri- ja sädesienipesäkkeitä. Kuvat: U. Vuori, Mikrobioni Oy.

Useimmat lahottajat pystyvät hajottamaan vain hyvin kosteaa puuta. Poikkeuksen muodostaa rusko-lahottajiin kuuluva lattiasieni (*Serpula lacrymans*, kuva 6.3), joka pystyy lahottamaan myös melko kuivaa puuta kasvuston reuna-alueilla. Lattiasienen rihmasto kykenee suotuisissa olosuhteissa kasvamaan useita metrejä myös ravinnoksi kelpaamattomilla pinnoilla. Lattiasieni suosii lämpimiä ja huonosti tuulettuvia alapohjarakenteita, joissa on käytetty rakennusaineena puun lisäksi kalsiumpitoista materiaalia kuten betonia, rappauslaastia, tiiltä, kipsiä tai kevytsoraa. Lahosta on saatavilla lisätietoa KH-

kortissa KH 90-00138. *Puurakenteiden lahottajasienet ja -bakteerit* (Rakennustietosäätiö RTS, 1990).

Kostuneen rakenteen väliaikainen kuivuminen ei tuhoa mikrobikasvustoa. Liian kylmässä, kuumassa tai kuivassa mikrobikasvusto menee lepotilaan. Kasvustoon muodostuneet homeitiöt pysyvät lepotilassa elinkykyisinä olosuhteista ja lajista riippuen useita viikkoja, kuukausia tai vuosia. Itiöt sietävät hyvin kuivuutta ja osa mikrobeista jatkaa kasvuaan, kun olosuhteet muuttuvat kasvulle suotuisiksi. Sisäympäristön yleisistä mikrobeista erityisen pitkään elin- ja viljelykelpoisina



Kuva 6.3. Lattiasieni (*Serpula lacrymans*) a) ennen ja b) jälkeen rakenteen avaamisen. Kuvat: H. Viitanen, VTT.

pysyvät mm. *Penicillium*-suvun homeet, hiivat ja sädesienet. Useat rakennuksissa esiintyvät homeet sietävät hyvin vaihtelevia kosteusolosuhteita ja kuivuusjaksoja.

6.2

Mikrobien kasvuvaatimukset

Eri mikrobilajit ovat erikoistuneet kasvamaan erityyppisissä kasvuympäristöissä ja -olosuhteissa. Materiaali, kosteustaso ja lämpötila vaikuttavat siihen, millainen mikrobilajisto materiaalille kehittyy. Mikrobilajisto myös muuttuu ajan myötä, sillä olosuhteet tyyppillisesti vaihtelevat, ja mikrobit muokkaavat itse kasvuympäristöään. Kosteusvaurion kehittyessä vauriokohtaan ilmestyvät yleensä ensimmäisinä home- ja hiivasienikasvustot. Herkästi homehtuvalla materiaalilla ja mikrobikasvulle optimaalisissa lämpö- ja kosteusolosuhteissa tähän menee päiviä tai viikkoja, kestäväällä materiaalilla ja huonommissa olosuhteissa jopa vuosia. Sädesienten kasvu on homeiden kasvua hitaampaa. Jos kosteuspitoisuus pysyy hyvin korkeana kuukausia, alkaa puumateriaaleihin yleensä kehittyä lahoa.

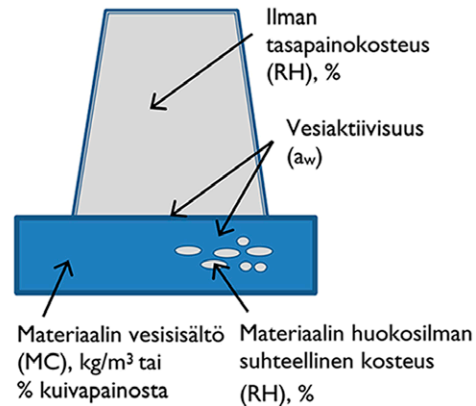
6.2.1

Kosteus ja lämpötila

Mikrobikasvun kannalta oleellisia tekijöitä ovat kasvualueena toimivan materiaalin ja materiaalipinnan kosteus ja lämpötila, eivät niinkään huoneilman olosuhteet. Riittävä kosteus mahdollistaa mikrobeille ravinteiden otton kasvuympäristöstä ja kompensoi haihdunnan aiheuttaman veden hävikin.

Materiaalipinnan tuntumassa vallitsevia olosuhteita kutsutaan pinnan mikroilmastoksi. Mikroilmaston kosteus voi erota ympäröivän huoneilman kosteudesta, mikäli materiaaliin vaikuttaa tai on vaikuttanut kosteuslähde tai materiaalin lämpötila eroaa huoneilman lämpötilasta. Muuttumattomissa olosuhteissa pinnan mikroilmasto ja materiaalin sisäisen huokosilman suhteellinen ilmankosteus tasapainottuvat samalle tasolle ympäröivän ilman kosteuden kanssa (kuva 6.4). Mikrobien kasvuolosuhteita tarkasteltaessa kosteus esitetään yleensä joko materiaalin vesiaktiivisuutena (a_w) tai sitä vastaavana ilman suhteellisena kosteutena (RH). Betonin ja puumateriaalien kosteus ilmoitetaan usein myös prosentteina materiaalin kuivapainosta. Tällöin tarkoitetaan esimerkiksi puussa olevan veden painon suhdetta puun kuivapainoon. Materiaalien

kosteuskäyttäytymisestä ja kuvassa 6.4 esitettyjen kosteuspitoisuutta kuvaavien suureiden keskinäisistä suhteista on kerrottu tarkemmin luvussa 5.



Kuva 6.4. Materiaalin kosteuspitoisuutta kuvaavat suuret. Materiaalin vesisisältö (MC) kuvaa materiaalin sisältämän veden absoluuttista määrää, vesiaktiivisuus a_w materiaalissa olevaa "vapaata" vettä, joka on mikrobin käytettävissä ja suhteellinen ilmankosteus (RH) ilman suhteellista kosteuspitoisuutta.

Optimiolosuhteet

Optimaaliset olosuhteet, joissa homeiden ja muiden mikrobien kasvu on nopeinta, vallitsevat + 20–30°C lämpötilassa ja suhteellisessa ilmankosteudessa (RH) 95–99 % jota vastaa materiaalin vesiaktiivisuus a_w 0,95–0,99.

Kuivaa ympäristöä suosivia lajeja kutsutaan kserofiiliseksi. Nämä pystyvät kasvamaan hitaasti matalassa, jopa alle RH 75 % kosteudessa, mutta optimaalinen kosteus näille on $RH \geq 90$ %. Lämpimää ympäristöä suosivia lajeja kutsutaan termofiiliseksi. Esimerkiksi *Aspergillus fumigatus* -homeen ja muutamien muiden homeiden optimikasvulämpötila on noin + 40°C. Kylmää ympäristöä suosivia lajeja kutsutaan psykrofiiliseksi. Nämä pystyvät kasvamaan hitaasti jopa 0 °C tuntumassa, mutta näiden optimikasvulämpötila on + 20–30°C.

Vähimmäisvaatimukset

Yleensä vähimmäiskosteus homekasvulle rakennusmateriaaleilla on noin RH 75 ... 80 %. Elintarvikkeilla ja hyvin homehtumisherkillä rakennusmateriaaleilla homeen kasvu saattaa alkaa jo RH 65 ... 70 %:ssa, mutta tämä edellyttää $\geq + 25$ °C lämpötilaa. Sädesienten ja muiden bakteerien sekä lahottajasienten kasvu edellyttää korkeampaa kosteutta (taulukko 6.2).

Taulukko 6.2. Eri mikrobiryhmien kasvun vähimmäiskosteusvaatimukset rakennusmateriaalissa.

Mikrobiryhmä	Ilman suhteellinen vähimmäiskosteus
Homesienet	70...85 %
Bakteerit ja sädesienet	95 %
Sinistäjä- ja lahottajasienet	95 %

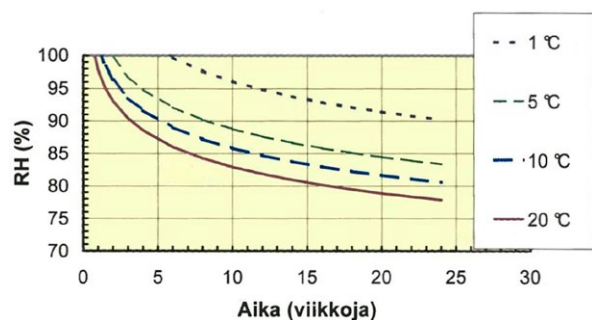
Taulukko 6.3. Esimerkkejä eri mikrobilajien ja -ryhmien vähimmäiskosteusvaatimuksista.

RH _{min} ¹⁾	Esimerkkilajeja ja -sukuja
RH _{min} < 75 %	<i>Aspergillus penicillioides / restrictus, Eurotium, Wallemia</i>
75 % ≤ RH _{min} ≤ 79 %	Useimmat <i>Aspergillus</i> -lajit (mm. <i>A. versicolor, A. ochraceus</i> ja <i>A. sydowii</i>), <i>Paecilomyces</i> , eräät <i>Penicillium</i> -lajit
80 ≤ RH _{min} ≤ 89 %	Useimmat <i>Penicillium</i> -lajit, <i>Aspergillus fumigatus, Alternaria, Aureobasidium, Chaetomium, Cladosporium</i>
RH _{min} ≥ 90 %	<i>Fusarium, Stachybotrys, Mucor, Rhizopus</i> ja <i>Ulocladium</i> , lahottajasienet, sädesienet

1) Vähimmäiskosteusvaatimukset on määritetty laboratorio-olosuhteissa rakennusmateriaaleilla noin + 25°C lämpötilassa. Matalammassa lämpötilassa vähimmäiskosteusvaatimus on korkeampi.

Rakennuksissa kasvavat mikrobit vaativat kasvaakseen vähintään noin + 5°C lämpötilan. Enimmäislämpötila on yleisesti noin + 50°C. Lähellä lämpötilan ja kosteusolosuhteiden vähimmäisvaatimuksia homeiden kasvu on hidasta. Tällöin materiaalin homehtuminen ja mikrobivaurion kehittyminen vaatii pitkän ajan, käytännössä kuukausia tai vuosia.

Mikrobien vaatima vähimmäiskosteus ja -lämpötila ovat toisistaan riippuvaiset. Molemmat tekijät vaikuttavat myös mikrobin kasvunopeuteen ja siten mikrobikasvuston ja -vaurion kehittymisvauhtiin. Kuvassa 6.5 on esitetty esimerkkinä homekasvun käynnistymiseen kuluva aika eri lämpö- ja kosteusolosuhteissa. Esimerkiksi + 5°C lämpötilassa ja 85 % suhteellisessa ilmankosteudessa puu alkaa homehtua pinnasta noin 18 viikossa, kun taas lämpimässä, + 20°C lämpötilassa samassa suhteellisessa ilmankosteudessa homehtuminen alkaa noin 7 viikossa.



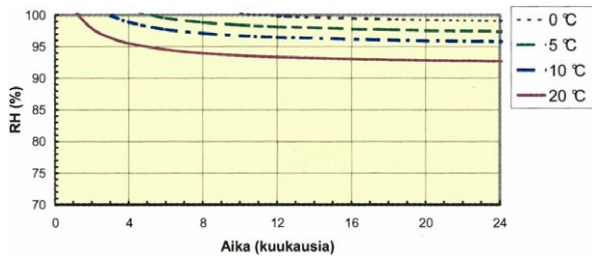
Kuva 6.5. Homeen kasvun alkamiseen johtavat kriittiset kosteus- ja lämpöolosuhteet sekä niiden vaikutusaika pitkäaikaisissa vakioissa oloissa männyn pintapuussa. Käytännössä olosuhteet vaihtelevat enemmän tai vähemmän, jolloin tarvittava vaikutusaika voi olla huomattavasti pidempi. Kuvan lähde: Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL ry, 2011b.

Lyhytaikainen korkea kosteus (esimerkiksi pesutiloissa muutaman tunnin korkea kosteus vuorokaudessa) ei aiheuta homehtumisriskiä rakenteelle, kunhan materiaali pääsee kuivumaan nopeasti ja pitkäaikainen kosteustaso pysyy alle 70–75 % RH. Homeiden kasvu myös taantuu jonkin verran ajanjaksoina, jolloin olosuhteet eivät ole kasvulle suotuisat.

Eri mikrobilajit ovat sopeutuneet erilaisiin kasvuolosuhteisiin. Siten rakenteen kosteuspitoisuus vaikuttaa siihen, millainen mikrobilajisto sille kasvaa. Eri mikrobien vähimmäiskosteusvaatimuksia on esitetty taulukossa 6.3.

Lahottajasienet tarvitsevat kasvaakseen homeisienä korkeamman kosteuspitoisuuden. Kriittinen kosteus lahovaurion muodostumiselle on lämpötilasta riippuen RH > 93...95 %, joka vastaa puun kosteuspitoisuutta n. 24–27 p-%. Lahottajasienten optimilämpötila on + 20–25°C ja kasvu on mahdollista lämpötila-alueella 0–50°C. Nopeinta lahoaminen on puun kosteuspitoisuudessa 30–80 %, eli kun puun suhteellinen kosteus RH > 100 % (vrt. kuva 5.4 luvussa 5). Kuvassa 6.6 on esitetty esimerkkinä erään ruskolahottajasienien kasvun käynnistyminen eri lämpö- ja kosteusolosuhteissa.

Kuvasta 6.6 ilmenee, että esimerkiksi + 10°C lämpötilassa ja ilmankosteudessa RH 97 % lahoaminen alkaa noin kahdeksassa kuukaudessa, kun taas lämpimässä, kahdessakymmenessä asteessa ilmankosteudessa 97 % RH lahoaminen alkaa jo alle kahdessa kuukaudessa. Alle RH 95 % kosteudessa lahoa kehittyy vain lämpötilan ollessa yli + 10°C.



Kuva 6.6. Ruskolahottajasienen kasvun käynnistyminen eri lämpö- ja kosteusolosuhteissa. Vaaka-akselilla aika kuukausina, pystyakselilla suhteellinen ilmankosteus. Kuvan lähde: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011b.

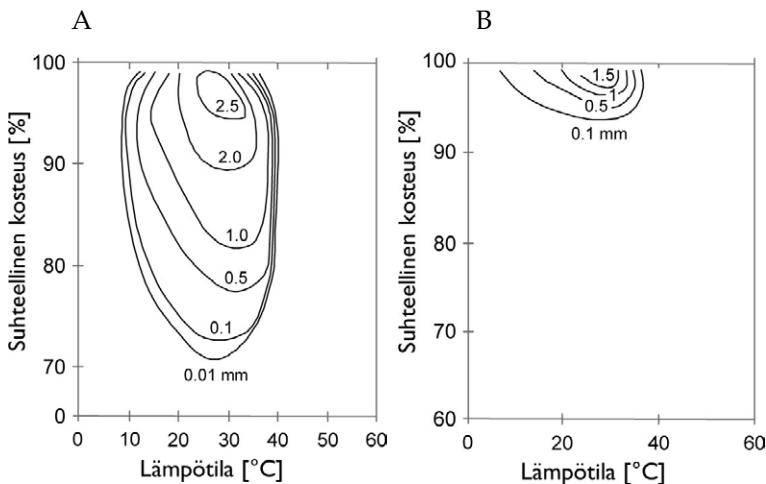
Esimerkkejä rakennuksissa esiintyvien homeiden kasvusta

Eri homelajeilla on erilaiset kasvuolosuhdevaati- mukset. Kuvassa 6.7A on esitetty lämpötila- ja kosteusolosuhteiden vaikutus kserofiilisen eli kuivassa viihtyvän *Aspergillus restrictus* -homeen kasvuun. Kuvasta havaitaan, että kyseisen homelajin vähimmäiskosteusvaatimus on noin RH 70 %. Tämä kosteus riittää kasvun hitaaseen käynnistymiseen, kunhan lämpötila on n. +26–29 °C. Vastaava ilman kosteussisältö on 17–20 g/m³ (vrt. kuva 5.9, luku 5). Tavanomaisessa huoneenlämpötilassa (+21 °C) vähimmäiskosteus kasvulle on n. RH 73 %, ja vastaava ilman kosteussisältö n. 13,5 g/m³. Ulkovaipparakenteissa esiintyvässä n. +10 °C lämpötilassa kriittinen suhteellinen kosteus on 85–95 %, joka vastaa ilman kosteussisältöä 9,0–9,5 g/m³. Edellä mainituissa olosuhteissa homeen kasvunopeus on n. 0,01 mm päivässä eli muutamia millimetrejä vuodessa.

Kuvassa 6.7B on esitetty toisen lajin, kosteassa ympäristössä viihtyvän *Stachybotrys chartarum* -homeen kasvu suhteessa kosteus- ja lämpötilaolosuhteisiin. Kyseisen lajin havaitaan vaativan huomattavasti enemmän kosteutta kuin *A. restrictus* -homeen; vähimmäiskosteus on yli RH 90 % kaikissa lämpötiloissa. Edellä mainitut arvot koskevat kasvua ravinnerikkaalla kasvatusalustalla. Kasvu rakennusmateriaaleilla edellyttää jonkin verran kuvaajissa esitettyä korkeampaa kosteutta (vrt. taulukko 6.5).

Edellisen esimerkin *A. restrictus* -home on kokemusperäisesti arvioiden yleinen löydös pitkäaikaisesti lievästi kohonneessa kosteudessa olevissa rakenneosissa, esimerkiksi heikosti tuulettuvissa ulkovaipparakenteissa ja maanvaraisen laatan päälle koolatuissa puulattioissa. Tällaisissa rakenteissa laji esiintyy usein valtalajina, jos kosteus on tasaisesti kriittisen kosteuden tuntumassa. Jo hie- man korkeammassa kosteudessa muut lajit, esimerkiksi *Aspergillus versicolor* ja *Penicillium*-suvun homeet menestyvät paremmin ja syrjäyttävät *A. restrictus* -homeen. *Stachybotrys chartarum* -hometta taas todetaan vain hyvin märillä materiaaleilla, joiden kosteus on kapillaarialueella (RH > 97 %) tai lähellä sitä, esimerkiksi vuotovesistä kastuneilla sisäverhouskipsilevyillä ja puumateriaaleilla tai alapohjarakenteissa, joihin vettä pääsee kapillaarisesti maaperästä.

Lahottajasieniin kuuluva lattiasieni (*Serpula lacrymans*) kykenee siirtämään rihmastojänteiden- sä avulla kosteutta märältä alueelta rakennuksen kuivempiin puosiin, ja lahottamaan myös puuta,



Kuva 6.7. Vasemman puoleisessa kuvassa *Aspergillus restrictus* -homeen kasvun riippuvuus kasvuympäristön lämpötilasta (x-akseli) ja kosteudesta, (vesiaktiivisuus, y-akseli). Oikean puoleisessa kuvassa *Stachybotrys chartarum* -homeen kasvun riippuvuus kasvuympäristön lämpötilasta (x-akseli) ja kosteudesta, (suhteellinen ilmankosteus, y-akseli). Kuvaajien viivat esittävät homerihmaston kasvunopeuksia (mm/pv). Uloimmalla kehällä kasvu on marginaalista, sisimmällä kehällä nopeinta. Kuvien lähteet: Magan N. ja Lacey J., 1984 ja Ayerst G., 1969.

jonka kosteuspitoisuus on vain n. 18–20 %. Lattiasien kasvuun käynnistyminen kuitenkin edellyttää puurakenteiden kastumista hyvin kosteiksi, yli 30 % painokosteuteen.

6.2.2

Materiaalin merkitys

Mikrobivaurion kehittymiseen vaikuttaa kosteuden, lämpötilan ja vaikutusajan lisäksi tarkasteltava materiaali. Taulukossa 6.4 on esitetty eri rakennusmateriaalien homehtumisherkkyyksiä. Luokittelun mukaisesti korkeassa kosteudessa (RH > 97 %) herkien luokkien materiaaleille (homehtumisherkkyyksiluokka, HHL 1 ja 2) kehittyy näkyvä mikrobikasvusto huoneenlämmössä noin 2...8 viikossa. Vastaavissa olosuhteissa HHL 3 -luokan materiaaleille kehittyy kasvustoa noin vuodessa. HHL 4 -luokan materiaaleille voi kehittyä lievää, silmin havaitsematonta kasvustoa useiden vuosien kuluessa. Eri luokkiin kuuluvien materiaalien homehtumisaikoja on esitetty tarkemmin julkaisussa *RIL 250-2011. Kosteudenhallinta ja homeenestäminen* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011b).

Taulukossa 6.5 on esitetty ruotsalaisessa tutkimuksessa määritettyjä mikrobikasvun kannalta kriittisiä suhteellisen kosteuden tasoja eri materiaaleille + 22°C ja + 10 °C lämpötilassa (Johansson P., 2014).

Herkät materiaalit

Hyvin mikrobivaurioherkkiä eli herkkiä homehtumaan ovat erilaiset puu- ja paperipohjaiset tuotteet, eläinperäiset materiaalit sekä kartonkipintainen kipsilevy. Höylätty puu on karkeasahattua jonkin verran kestävämpää. Männyn pintapuu ja koivu ovat tunnetusti homehtumiselle herkempiä kuin esim. kuusi tai männyn sydänpuu. Myös tuotantoprosessit, kuten esim. puun kuivaus ja varastointi vaikuttavat puun kestävyteen. Ulko-olosuhteissa puumateriaalit on suojattava homehtumiselta pintakäsittelyllä. Lattianpäällysteenä käytetty linoleumi ja sen alapinnan juuttiverkko homehtuvat, mikäli kosteus pysyy jatkuvasti korkealla, kokemusperäisesti arvioiden yli 85 % RH-tasolla. Myös vanhoissa rakennuksissa käytetyt orgaaniset eristemateriaalit kuten pellavarive, korkki ja olki

Taulukko 6.4. Rakennusmateriaalien jakautuminen eri homehtumisherkkyyksiluokkiin (VTT-homeriskimalli). Taulukon aineisto: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011b.

Homehtumisherkkyyksiluokka	Rakennusmateriaalit
HHL 1 hyvin herkkä	karkeasahattu ja mitallistettu puutavara (mänty ja kuusi), höylätty mänty
HHL 2 herkkä	höylätty kuusi, paperipohjaiset tuotteet ja kalvot, puupohjaiset levyt, kipsilevy
HHL 3 kohtalaisen kestävä	mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiilet
HHL 4 kestävä	lasi ja metallit, alkalinen uusi betoni, tehokkaita homesuoja-aineita sisältävät materiaalit

Taulukko 6.5. Homehtumisriskin kannalta kriittinen kosteus eri materiaaleilla kolmen kuukauden tarkastelujaksolla. Taulukon aineisto: Johansson P., 2014.

Materiaali	Alin mikrobikasvun mahdollistava kosteus (RH)	
	Lämpötila + 22 °C	Lämpötila +10 °C
Puu (mänty)	75...79 %	85...90 %
Vaneri	75...79 %	75...85 %
Lastulevy	79...85 %	90...93 %
Ohut kovalevy	85...89 %	93...95 %
Märkätilan kipsilevy	89...95 %	> 95 %
Tuulensuojakipsilevy	89...95 %	> 95 %
Tervapaperi	89...95 %	> 95 %
Sementtipohjainen levy	> 95 %	> 95 %
Lasivilla	> 95 %	> 95 %
EPS-lämmöneriste	> 95 %	> 95 %

ovat homehtumisherkkiä. Sementtilastuvillalevy (ks. liite 2), joka on sementtilietteellä sidottua puu- lastua, kestää kosteutta puhdasta puuta paremmin, mutta vaurioituu pitkän ajan kuluessa mikrobikas- vulle suotuisissa olosuhteissa.

Kohtalaisen kestävät materiaalit: muovi- ja kumipohjaiset materiaalit

Muovi- ja kumipohjaisten materiaalien kestävyys riippuu materiaalin laadusta, esimerkiksi luonnon- kumi on vaurioherkkää, kun taas useimmat syn- teettiset muovit ovat melko kestäviä. Esimerkiksi saniteettisilikonin säilyvyys riippuu pitkälti sen sisältämistä homeenestoaineista. Lattioiden muo- vipäällysteet ovat yleensä mikrobiologisesti melko kestäviä, ja näiden kosteusvaurioitumiseen liittyy tyypillisesti liiman ja päällysteen pehmittimien ke- miallinen hajoaminen erityisesti alkalisen kosteu- den vaikutuksesta. Myös mikrobikasvuston kehitty- minen liimakerrokseen ja joidenkin muovimattojen alapinnassa olevaan tekstiilikerrokseen on mahdol- lista korkeassa kosteuspitoisuudessa. Liimattavien lattianpäällysteiden mikrobivauriot liittyvät yleensä kosteisiin maanvastaisiin betonilattioihin, joissa ala- puolinen kosteustuotto on tasaista ja voimakasta. Myös liian märälle betonirakenteelle asennetut lat- tianpäällysteet saattavat vaurioitua, jos rakenne on heikosti kuivuva. Liimattavien lattianpäällysteiden sauma- ja reuna-alueiden ja reikien kautta päällys- teen alle saattaa päästä siivousvesiä ja likaa, minkä seurauksena päällysteen alle voi syntyä paikallisia mikrobivaurioita.

Kosteutta kestävien muovieristeiden pinnoille voi pitkän ajan kuluessa kehittyä mikrobikasvus- toa. Kasvuston kehittyminen riippuu materiaa- liin kosketuksissa olevien muiden materiaalien homehtumisherkkyydestä ja vallitsevista olosuh- teista.

Synteettisistä polymeereistä epoksit ja neopreeni ovat mikrobivaurioitumisen suhteen kestävimpiä. Polyuretaanien kestävyys riippuu käytetyn tuotteen koostumuksesta. Muista eristevaahdoista erityises- ti 1960–70-luvuilla omakotitalojen jälkieristämiseen käytetty urea-formaldehydivaahtoeriste ("hölyn- pöly") on heikosti kosteutta ja mikrobeja kestä- vää. Bitumipohjaisten materiaalien pintaan saattaa otollisissa olosuhteissa kehittyä mikrobikasvustoa. Kasvu riippuu materiaalin koostumuksesta, mm. aromaattisten hiilivetyjen pitoisuudesta.

Kohtalaisen kestävät materiaalit: laastit ja tasoitteet

Erilaisten tasoitteiden kestävyys riippuu pitkälti niissä mahdollisesti käytetystä orgaanisesta side- aineesta. Orgaanisen aineen käyttö tarjoaa mik- robeille ravinteita ja siten hermistää materiaalin mikrobivaurioille. Esimerkiksi kaseiinia ja muita eläinperäisiä aineita sisältäneet tasoitteet vaurioi- tuvat herkästi kastuttuaan, jolloin niissä käynnis- tyy mikrobikasvu ja erilaisten hajoamistuotteiden kuten ammoniakkin vapautuminen.

Kestävät materiaalit: betoni

Uusi puhdas betoni on mikrobiologisesti kestävä. Vanhan, karbonatisoituneen betonin sekä kevyt- ja kevytsorabetonin pinnalle kehittyy mikrobikasvus- to kuukausien - vuosien kuluessa, mikäli pinnan kosteus pysyy korkealla, yli RH 90 % vastaavalla tasolla. Betonin karbonatisoitua sen alun perin voimakas alkalisuus (korkea pH) laskee, mikä luo mikrobikasvulle suotuisimmat olosuhteet. Kivi- pohjaisten, pitkään kosteina olleiden materiaalien pinnalla ja halkeamissa kasvaa tyypillisesti sekä sädesieniä ja muita bakteereja että homeita. Kas- vua lisää materiaalin likaantuminen ilmavirtojen tai kapillaarisesti kulkeutuvan veden mukanaan tuomasta orgaanisesta aineksesta.

Puhtaat betonirakenteet kestävät kosteusrasitus- ta paremmin kuin tasoitetut ja erityisesti vesihöy- ryntiiviillä maalilla pinnoitetut betonirakenteet, joille kehittyy yleensä mikrobikasvustoa kuukau- sien kuluessa, mikäli rakenne on jatkuvasti erit- täin kosteana (kuva 6.8). Tiivis maalipinta hidastaa haihduntaa kosteasta kivimateriaalista, ja toisaal- ta tarjoaa orgaanista ravintoa mikrobeille, jolloin kasvusto pääsee kehittymään maaliin tai maalin ja tasoitteen rajapintaan.

Kestävät materiaalit: lasi- ja metallipinnat

Mikrobivaurioitumisen suhteen kestävimpiä ovat lasi- ja metallipinnat. Näille materiaaleille kasvus- toa kehittyy vain pintakerrokseen tarttuneeseen lika- an ja pölyyn. Esimerkkejä tällaisten kasvustojen kehittymispaikoista ovat likaantuneet lasitetut kylpyhuoneen laatoitukset ja ilmanvaihtokanavi- en pinnat. Märkätilan laatoituksen pinnalla sen likaisuudesta ja usein myös tilan puutteellisesta ilmanvaihdosta johtuvaa mikrobikasvua ei katsota



Kuva 6.8. Kivirakenteiseenkin seinään voi kehittyä mikrobivaurio kun aikaa ja kosteutta on riittävästi. Kuvissa ulkopuolisen vedeneristyksen pettäminen on aiheuttanut kosteus- ja mikrobivaurioita maanvastaisen betoniseinän tasoite-, maali- ja tapettikerroksiin. Kuvat: M. Pitkäranta, Vahanan Oy.

mikrobivaurioksi, sillä se on yleensä poistettavissa pesemällä. Poikkeuksena ovat syvemmillä laastija silikonisaumamateriaaleissa ja laattojen takana kiinnityslaastissa olevat homekasvustot, jotka saattavat edellyttää materiaalien vaihtoa.

Nuohoamattomien poistoilmanvaihtokanavien pinnoille saattaa kertyä paksuja likakerroksia. Mikäli kanavat ovat heikosti eristettyjä, saattavat ne kondensoida huoneilman kosteutta kanavan sisäpintaan erityisesti viileissä rakenneosissa sijaitsevilla kanavaosuuksilla. Tiivistynyt vesi kastelee likakerrokset, joihin kehittyy mikrobikasvustoja. Mikäli virtaus kanavassa kääntyy huonetilaan päin, pääsee kanavasta hyvin epäpuhdasta ilmaa huonetilaan. Takaisinvirtausta saattaa esiintyä esimerkiksi poistoilmanvaihdon ollessa suljettuna yöaikana, mikäli koneen sulkupellit eivät ole tiiviit. Vanhoissa painovoimaisen ilmanvaihdon rakennuksissa poistoilmahormin osittainen tukkeutuminen saattaa kääntää ilmavirtauksen suunnan likaisesta, usein kosteusvaurioituneesta hormista sisäilmaan päin.

Likaantuneet ja aiemmin vaurioituneet materiaalit

Uuden materiaalin mikrobikontaminoituminen tai alkava vaurioituminen työmaa-aikaisen kastumisen, pitkän ulkoarastoinnin tai maa-aineksella likaantumisen takia nopeuttaa mikrobivaurion syntyä materiaalin kastuessa myöhemmin rakennuksen elinkaaren aikana. Vanhoissa, kuivuneissa vauriokohdissa runsas mikrobikasvu käynnistyy huomattavasti uutta, puhdasta materiaalia nopeammin. Vastaavasti myös

viemäriveresi, joka sisältää paljon ravinteita ja mikrobeja, käynnistää nopeasti massiivisen mikrobikasvun erityisesti lämpimissä olosuhteissa.

Ilmavuodoista likaantunut ulkoseinän lämmön-eristekerroksen mineraalivilla saattaa sisältää merkittävän määrän orgaanista pölyä ja ulkoilmasta peräisin olevia mikrobi-itiöitä. Koska eristevillassa huokoisena materiaalina on runsaasti pintaa, saattaa likaantuneeseen villaan sen kastuessa muodostua tiheä mikrobikasvusto, vaikka materiaali on uutena ja puhtaana mikrobikasvua heikosti ylläpitävää. Hyvän ilmanläpäisevyyden takia mineraalivillaeristeiden epäpuhtaudet kulkeutuvat helposti ilmavirtojen mukana. Erityisesti sokkelihalkaisuihin ja maanpaineisiin verhomuurausten takaisin lämmön-eristeisiin saattaa kehittyä pitkän ajan kuluessa runsaita sädesieni- ja homekasvustoja, mikäli rakenteet ovat jatkuvasti kosteita.

Materiaalin likaantumisen merkitys vaurioitumisen nopeudelle nähdään kuvasta 6.9. Kuvaajassa on esitetty homeen kasvu uusilla puhtailla materiaaleilla, sekä sahanpurulla ”liatuilla” materiaaleilla ajan funktiona korkeassa, kapillaarialueella olevassa kosteudessa. Kehittyvän homekasvun määrä on esitetty ns. homeindeksiasteikolla 0-6, jossa indeksi 1 tarkoittaa alkavaa kasvua, 3 silmännähtävää kasvua ja indeksi 6 koko pinnan peittävää runsasta kasvua.

Kuvaajista havaitaan, että tarkastelluissa olosuhteissa herkille materiaaleille sekä sahanpurulla liatuille kestäville materiaaleille kehittyy homekasvua jo noin kuukaudessa. Puhtaiden, kestävien materiaalien pintaan kehittyy vuodessa vähäistä kasvustoa, mutta ravinteiden puute rajoittaa kasvuston määrää.

Mikäli homekasvu tapahtuu kahden materiaalin rajapinnassa, riippuu homeutumisherkyys herkemmän materiaalin kestävytydestä. Kokemusperäisesti on havaittu esimerkiksi tasoitettua ja vesihöyryntiiviällä maalilla maalattua betonipinnan mikrobivaurioituvan huomattavasti käsittelemättä betonipintaa herkemmin.

Maatäytöt ja sepelöinnit

Rakennusten alaisissa maatäytöissä ja sepelöinneissä on aina runsaasti mikrobeja. Rakennuksen alla vallitsevat käytännössä aina mikrobikasvulle suotuisat lämpötila- ja kosteusolosuhteet, vaikka alapohjarakenne olisi kosteusteknisesti toimiva ja huolellisesti toteutettu. Rakennuksen alta poistetun humusmaan jäänteet sekä rakennusaikana puumateriaalien työstöstä syntyneet roskat ja muut rakennusjätteet tarjoavat riittävästi ravinteita ylläpitämään mikrobikasvua (kuva 6.10). Lisäksi vuotoilmavirtojen ja pintavesien sekä veden kapillaarisen kulkeutumisen mukana maatäyttöön kulkeutuu pölyä ja ravinteita, jotka mahdollistavat mikrobikasvun. Myös aivan puhtaissa maatäytöissä ja uudessa sepelissä on mikrobiviljelyllä tutkittaessa tyypillisesti runsaasti sädesieniä ja jonkin verran homeita. Maatäyttöjen, sepelöintiä ja alustatilojen maapintojen mikrobiologista kuntoa tulisi arvioida seuraavilla perusteilla:

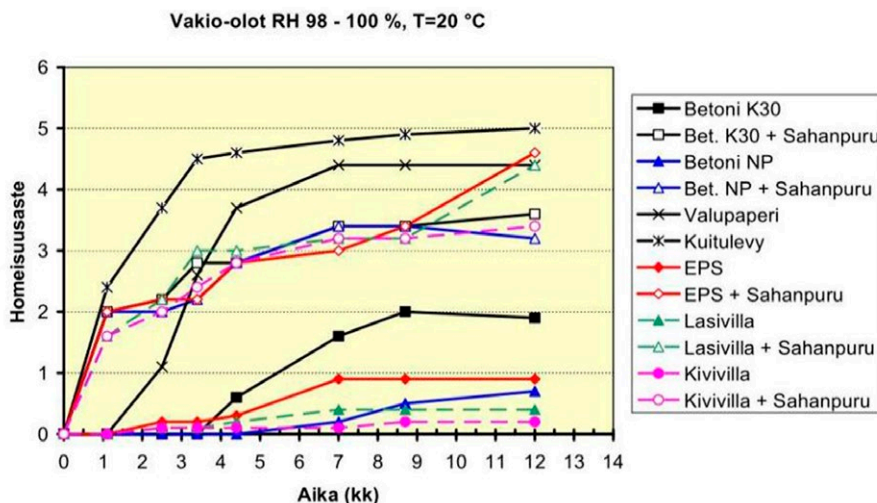
- maanvastaisen alapohjan alla tai ryömintätilan pohjalla olevan maa-/täyttöaineksen laatu, sepelöinnin paksuus

- humusmaan, rakennusjätteen, betonivalujen alle jätettyjen muottilaudoitusten yms. orgaanisen aineksen määrä, kunto ja sijainti
- alapohjan kosteus- ja lämpötilaolosuhteet (maanvaraiset alapohjat)
- tilan tuulettavuus ja kosteus- ja lämpötilaolosuhteet (tuulettuvat alapohjat).

Mikrobinäytteillä maatäytön kelvollisuutta ei voida arvioida. Jotta maan ja alustäytön mikrobikasvu pysyisi riittävän vähäisenä ja mikrobien aineenvaihduntatuotteet eivät päätyisi haitallisessa määrin huoneilmaan:

- alustäyttöjen ja ryömintätilojen tulisi olla siistejä (ei orgaanista rakennusjätettä tai maakosketuksessa olevia puuosia)
- maapinnoilla sekä maanvastaisen alapohjarakenteen alla tulisi olla riittävä, kapillaarikatkona toimiva, ja tuulettuvissa alustatiloissa haihduntaa vähentävä sepelikerros
- alapohjaliittymien ja -läpivientien tulisi olla sisäilmaan nähden ilmatiiviitä
- tuulettuvien alapohjarakenteiden ilmanvaihtuvuuden tulisi olla maapohjan kosteustuottoon nähden riittävä.

Alapohjarakenteiden ja ryömintätilojen mikrobiologiaa on käsitelty tarkemmin mm. julkaisuissa *Maanvastaisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus* (Leivo V. ja Rantala J., 2006) ja *Ryömintätilan kosteus ja mikrobit* (Kurnitski J., ym., 1999).



Kuva 6.9. Homekasvun nopeuden ja voimakkuuden riippuvuus materiaalista. Taulukon selitteessä käytetyt lyhenteet: K30 = betonin lujuusluokka, NP = nopeasti päällystettävä betoni, EPS = paisutettu polystyreenieriste. Kuvan lähde: Viitanen H., 2004.



Kuva 6.10. Mikrobikasvua tuulettuvassa alapohjatilassa paljaana olevan savimaan pinnassa. Kuvan ryömintätilasta puuttuu kunnollinen sepelöinti, salaojitus on puutteellinen ja tilan ilmanvaihtuvuus maapohjan kosteustuottoon nähden liian pieni. Mikrobikasvustoja esiintyi runsaasti, vaikka maapinnalla oli vain vähän orgaanista rakennusjätettä. Kuvat: H. Keinänen, Vahanen Oy.

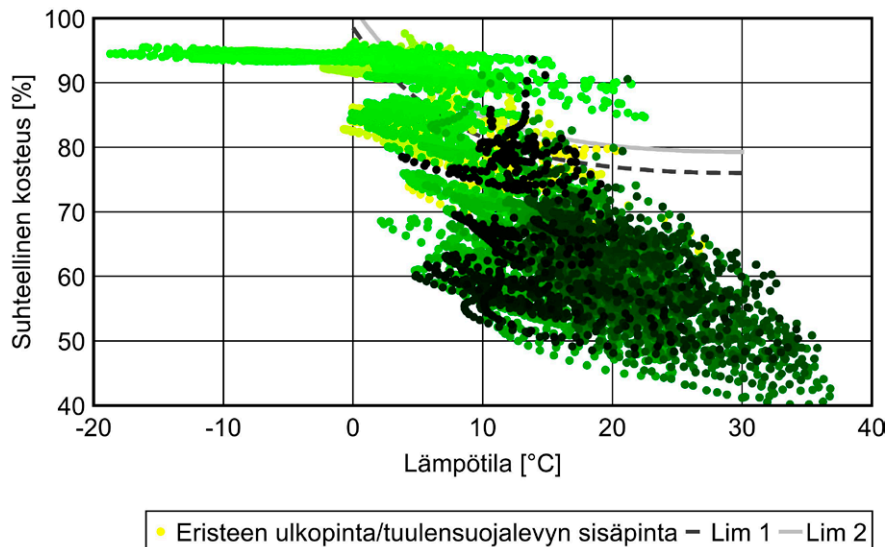
6.2.3

Mikrobikasvun kehittymisen arviointi ja mallinnus

Rakenteen lämpö- ja kosteusolosuhteiden aiheuttamaa homehtumisriskiä voidaan tarkastella pitkällä aikavälillä rakenteen rakennusfysikaalisen mallinnus- tai mittausdatan perusteella. Rakenteen mikrobikasvun kehittymistä voidaan mallintaa mm. VTT-Homemallin avulla (Ojanen T., ym.,

2009). Malliin syötetään materiaali, lämpötila- ja kosteusolosuhteet ja tarkastelu-aika, ja tuloksena saadaan homeriskin kehittyminen edellä kuvatulla kuusiportaisella homeindeksiasteikolla ilmaistuna.

Karkeammin riskiä voidaan arvioida vertaamalla mittauspisteiden (esimerkiksi päiväkeskiarvo) lämpötila- ja kosteustasoja homekasvun vähimmäisvaatimukseen (kuva 6.11). Näin voidaan tunnistaa rakenteen toiminnan kannalta kriittiset olosuhteet ja ajanjaksot.



Kuva 6.11. Esimerkki etelään suuntautuvan puurakenteisen tiiliverhotun julkisivun laskennallisesta homehtumisriskitarkastelusta. Kuvaajassa on esitetty tarkastelupisteen lämpötila ja suhteellinen kosteus tarkastelujakson ajanhetkillä. Tarkastelu-aika on yksi vuosi (lokakuu-lokakuu). Laskennan alkupisteet ovat keltaisia ja viimeisimmät mustia). Viivat kuvaavat mikrobikasvun mahdollisia olosuhteita (Lim 1: biohajoavat materiaalit, Lim 2: kestävät materiaalit). Esimerkkitapaus kuvaa vikatilannetta, jossa osuus viistosateesta pääsee tuulensuojakerroksen sisäpuolelle, mikä aiheuttaa mikrobikasvun mahdollistavat olosuhteet rakenteeseen. Mallinnus ja kuva: P. Sekki, Vahanen Oy.

6.3

Mikrobikasvun ja -vaurion tunnusmerkkejä

6.3.1

Näkyvä mikrobikasvusto sisäpinnoilla tai rakenteissa

Asuin- ja oleskelutilojen sisäpinnoilla tai rakenteissa silmin havaittava mikrobikasvusto voi näkyä värinmuutoksena materiaalin pinnalla tai puutermaisina, pölymäisinä tai pistemäisinä kasvustoina. Homesienien voi erottaa sinistäjäsienestä irrottamalla materiaalista pala. Homesieni kasvaa vain pinnalla ja irtoaa yleensä alustastaan. Sinistäjäsieni näkyy myös pinnan alla.

Suuri osa mikrobivaurioista sijaitsee piilossa kerroksellisten rakenteiden sisällä (kuva 6.12 ja 6.13). Tämä johtuu rakenteen sisäosan hitaammasta kui-

vumisesta rakenteen pintaan verrattuna, ja siitä, että ulkovaipan vesivuodot saattavat kastella vain ulkovaipan ulko- ja keskiosia sisäpinnan pysyessä kuivana. Rakenteen sisällä oleva mikrobikasvu havaitaan rakenneavauksilla.

Lahon tunnusmerkkinä on vaurioituneen puun pehmeneminen, jonka voi todeta pintapuusta terävällä työkalulla ja syvemältä puusta halkaisijaltaan pienellä poranterällä poraamalla. Tarkempi analyysi ja lahottajasienen lajinmääritys voidaan tehdä mikroskoopilla puunäytteestä. Puu saattaa olla pintakerroksesta kovaa mutta sisältä lahonnut. Lahon syvyys tulisi aina tarkistaa, sillä puun lahoaminen heikentää puun lujuutta ja saattaa aiheuttaa rakenteiden romahtamisvaaran. Laho esiintyy pitkään hyvin kosteina olleissa puurakenteissa, yleisimmin puurakenteisissa alapohjissa, mutta myös vuotavien ikkunoiden puukarmeissa, yläpohjissa jne. Hirsirakennusten alapohjissa



Kuva 6.12. Mikrobikasvu esiintyy usein kerroksellisen rakenteen sisällä heikosti kuivuvassa kohdassa. Kuvat: J. Sievola ja M. Pitkäranta, Vahanan Oy.



Kuva 6.13. Kosteusvauriojälkiä huonetilan ja suljetun komeron kattopinnoissa. Kosteusrasitus ja materiaalit olivat olleet molemmissa tiloissa samanlaiset, mutta huonetilan paremman tuulettuvuuden takia huoneen kattoon ei ollut syntynyt silminnäkyvää homekasvustoa. Molemmilla alueilla kattotasote ja maali olivat kuitenkin mikrobiviljelytutkimuksen perusteella mikrobivaurioituneet. Kuvat: S. Niemi, Vahanan Oy.



Kuva 6.14. Lahovaurioita a) yläpohjassa vesikaton ruodelaudoituksessa, b) puutteellisesti pellitettyssä ja -maalatussa ikkunan karmi-rakenteessa, c) betonirakenteisen ryömintätilan muottilaudoituksessa ja d) puutteellisesti vedeneristetyssä märkätilan kynnyksessä. Kuvat: E. Kauriinvaha, E. Salo, Vahanen Oy.

ja alimmissa hirsikerroissa on usein lahovaurioita erityisesti alapohjan heikosti tuulettuvilla nurkka-alueilla. Myös heikosti tuulettuvien, ryömintätillisten alapohjien paikalleen jätetyt muottilaudoitukset ovat usein lahovaurioituneita, ja ovat yleinen sisäilmaongelmien lähde (kuva 6.14).

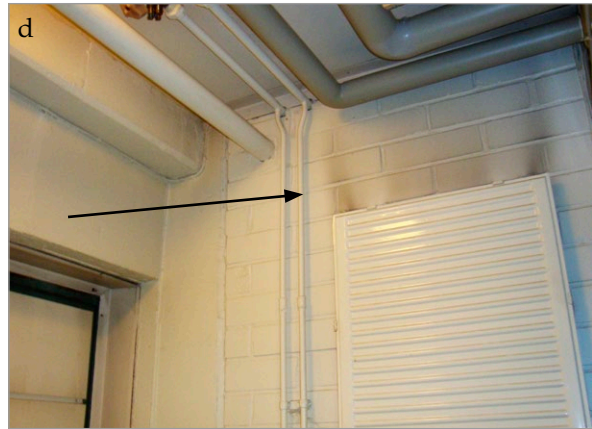
Kaikkiin kosteusvaurioihin ei liity mikrobikasvua, vaikka rakenteissa olisi silmämääräisesti havaittavia muutoksia. Esimerkiksi mineraalivil-lapohjaisten alaslaskettujen kattojen levytysten ja akustointilevyjen alapintojen värimuutokset ovat yleensä materiaalin sidosaineiden liukenemisesta johtuvaa värjäytymää (kuva 6.15a). Kapillaarinen kosteus voi puolestaan siirtää tiilen ja betonin läpi kalsiumkarbonaattia tai suoloja, jotka muodostavat valkoista "kalkkihärmettä" materiaalin pintaan (kuva 6.15 b). Vaikka muutokset eivät ole mikrobikasvun aiheuttamia, ovat ne kuitenkin merkki kosteusrasituksesta, johon saattaa liittyä myös mikrobikasvua tutkitussa tai ympäröivissä

rakenteissa. Ilmavirtauksista aiheutuva pintojen likaantuminen puolestaan on kosteudesta ja mikrobikasvusta riippumaton ilmiö, joka tulee erottaa mikrobikasvustosta. (Kuva 6.15c ja d)

6.3.2

Sisäilman poikkeava mikrobipitoisuus ja -lajisto, homeenhaju, maakellarimainen, tunkkainen haju

Kosteusvaurio voi kehittyä rakenteiden sisällä vuosien mittaan ilman, että rakennuksen sisäpinnoilla on merkkejä kosteusvauriosta tai mikrobikasvustosta. Aika ajoin aistittava homeenhaju, maakellarimainen, "mummonmökkimäinen", tunkkainen tai imelä haju voivat viitata mikrobikasvustoihin. On tavallista, että hajua aistitaan rakennuksessa vain silloin tällöin tai tietyissä tilanteissa. Haju on seurausta mikrobien aineenvaihdunnasta, jota mm. kosteusolosuhteet säätelevät. Haisevia aineenvaihduntatuotteita ei muo-



Kuva 6.15. a) vuotoveden aiheuttamaa värjäytymää alakattolevyssä, b) kalkkihärmettä putkitunnelin lattialla c) tuloilmasuihkun aiheuttamaa likaantumista katon akustointimateriaalissa ja d) lämpöpatterin aiheuttaman ilmavirtauksen aiheuttamaa likaantumista seinäpinnassa. Kuvat: M. Pitkäranta ja M. Koskivuori, Vahanen Oy.

dotu jatkuvasti. Mm. ulkoilmaolosuhteiden vaihtelu sekä rakennuksen ilmanvaihdosta, käytöstä ja tuulenpaineesta aiheutuvat paineenvaihtelut voivat jaksottaa hajun esiintymistä tiettyihin aikoihin tai tilanteisiin. Ihmisten herkkyys haistaa mikrobiperäisiä hajuja vaihtelee hyvin paljon. Mikäli asunnossa on esimerkiksi lemmikkejä, voi homeenhajun haistaminen olla ulkopuoliselle kuntotutkijalle hankalaa asunnossa esiintyvän eläinten ominaishajun takia, kun taas asukas saattaa aistia vähäisenkin homeenhajun. Toisaalta tilan käyttäjät saattavat tottua homeenhajuun ja lakata aistimasta sitä.

Mikrobivauriot voidaan toisinaan havaita tavanomaisesta poikkeavana sisäilman sieni-, bakteeritai sädesieni-itiöpitoisuutena tai mikrobilajistona. Tulosten tulkinnassa tulee ottaa huomioon käytetyn menetelmän epävarmuustekijät, sillä poikkeava tulos voi johtua muustakin kuin mikrobivaurioista. Sisäilman mikrobimittausten käyttöön ja tulosten tulkintaan liittyviä asioita on esitelty tarkemmin luvussa 2.

6.3.3

Tilassa oleskelevien henkilöiden oireilu

Kosteusvauriorakennuksissa oleskelevilla on tutkimusten mukaan esiintynyt hieman tavallista enemmän hengitystieoireita ja -infektioita sekä astmaa. On myös useita muita oireita ja sairauksia, joiden yhteyttä altistumiseen rakennusten kosteus- ja mikrobivaurioille on tutkittu, mutta joiden osalta tutkimuksellinen näyttö on jäänyt riittämättömäksi. Näitä ovat allerginen alveoliitti, ODTS-oireyhtymä (organic dust toxic syndrome), silmä-, iho- ja muut ärsytysoireet, reuma- ja muut immunologiset sairaudet, maha- ja suolisto-oireet sekä neurologiset oireet. Rakennukseen liittyvät oireet yleensä lieventyvät tai häviävät, kun oleskelu rakennuksessa keskeytyy tai lakkaa.

Lisätietoa mikrobi-altistukseen liittyvistä terveysvaikutuksista on saatavilla mm. *Duodecim Oppiportin Kosteus- ja homevauriot -verkkokurssissa* (Kustannus Oy Duodecim, 2014) ja julkaisussa *Home ja*

terveys. Kosteusvauriohomeiden, hiivojen ja sädesienten esiintyminen sekä terveyshaitat (Putus T., 2014). Suositeltavista tutkimustavoista yleis- ja erikoissairaanhoidon sekä työterveydenhuollon piirissä on saatavilla tietoa Majvik II-suosituksessa (Alenius H., ym., 2007). Majvik-suositukseen on koottu suomalaisen asiantuntijaryhmän näkemys kosteusvaurioiden selvittelystä lääketieteellisestä näkökulmasta.

6.4

Mikrobikasvun ja -vaurion toteaminen

Tämän kirjan kohdassa 3.2.3 on esitetty rakenteiden home- ja muiden mikrobikasvustojen toteamiseksi suositellut menetelmät. Lahovaurion aiheuttanut laji voidaan tunnistaa kasvuston mikroskopoinnilla asiantuntevassa laboratoriossa. Mikäli epäillään lattiasientä, tulisi tunnistus varmistaa laboratoriossa, sillä lattiasienivaurioiden korjaus on muita lahovaurioita vaikeampaa ja edellyttää yleensä laajempia purkuja ja korjauksia.

Korjaustoimenpiteitä edellyttävän mikrobivaurion erottaminen rakennuksen tavanomaiseen kulumiseen ja materiaalien ikääntymiseen liittyvistä muutoksista saattaa olla vaikeaa.

Rakennuksen ikääntyessä erityisesti ulkovaipan ulkoilmayhteydessä oleviin ulko-osiin voi kertyä mikrobeja, ja vähäinen tai paikallinen mikrobikasvukin on näissä rakenneosissa melko tavanomaista. Ikääntyneessä rakennuksessa esimerkiksi ulkoseinien tuulensuojalevyjen ja yläpohjan eristeiden ulkopinnoilla voidaan usein todeta korkeita mikrobipitoisuuksia. Tästä huolimatta kaikissa ikääntyneissä rakennuksissa ei ole sisäilmaongelmia tai em. puutteisiin liittyvää välitöntä korjaustarvetta. Rakennusvaipan tiiveydellä ja painesuhteilla sekä ilmanvaihdon riittävyydellä on tällaisissa tapauksissa usein kriittinen merkitys siihen, millaisena rakennuksen sisäilmanlaatu koetaan. Painesuhteiden ja tiiveyden merkityksestä rakennuksen sisäilmanlaadulle on kerrottu tarkemmin kappaleessa 5.5.

Yleensä myös rakennusten alustäyttöjen mikrobipitoisuudet ovat suuria, mutta mikäli täyttömateriaalissa ei ole merkittävää määrää orgaanista ainesta, sen tuottamien epäpuhtauksien määrä on

yleensä niin vähäinen, ettei siitä aiheudu ongelmia, mikäli alapohjasta ei kulkeudu merkittävää määrää vuotoilmaa sisälle. Kuntotutkijan tulisikin pystyä selvittämään, esiintyykö mikrobikasvua sellaisessa paikassa ja sellaisena määränä, että tilan käyttäjät voivat altistua mikrobikasvuston tuottamille epäpuhtauksille joko välittömän ilmayhteyden tai ilmapuotokohdan kautta.

Vaurioituneen tai vaurioituneeksi epäillyn rakenneosan tutkimuksen tavoitteina on vahvistaa tai poissulkea kosteusvaurioiden ja mikrobikasvun esiintyminen sekä määritellä tarvittava korjausalue ja -periaate. Mikrobianalyysien tulee tukea näitä tavoitteita. Mikrobiologia näytteitä kosteusvaurioituneen rakennuksen tutkimuksissa otetaan pääsääntöisesti rakenteiden materiaaleista.

Kuntotutkijan tulee ottaa mikrobinäytteitä vain sellaisista paikoista, joiden mikrobilöydökset ovat informatiivisia ja joita tutkija osaa tulkita.

Sisäilman mikrobimittauksia voidaan käyttää mahdollisten päätavanomaisten mikrobilähteiden (mikrobikasvu rakenteissa, mikrobien kulkeutuminen esim. kellarista) esiintymisen arviointiin. Sisäilman mikrobimittauksella ei voida kuitenkaan täysin luotettavasti todentaa tai poissulkea mikrobilähteen olemassaoloa tai varmentaa sisäilman hyvää laatua. Sisäilman mikrobinäytteillä voidaan kuitenkin saada vahvistusta muilla menetelmillä saatuun kokonaiskuvaan tilojen kunnosta ja sisäilman laadusta.

6.5

Mikrobiperäisten epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan

Mikrobikasvusto tuottaa ympäröivään ilmaan itiöitä ja muita hiukkasia sekä kaasuja. Monet näistä ovat tai voivat olla haitallisia ihmiselle. Mikrobien tuottamista yhdisteistä osa on haihtuvia, osa puolihaihtuvia ja osa kiinteitä yhdisteitä. Epäpuhtaudet kulkeutuvat ilmassa kaasuihin ja erikokoisiin hiukasiin sitoutuneina. Pääsääntöisesti mikrobiperäiset epäpuhtaudet kulkeutuvat ilmapurtojen mukana, mutta osa yhdisteistä voi kulkeutua ja myös läpäistä rakennusmateriaaleja diffuusiolla. Esimerkiksi

sädesienten tuottamat, maakellarimaisen hajun aiheuttavat puolihaihtuvat yhdisteet läpäisevät tavallisen polyeteenimuovisen höyrynsulun. Aktiivinen kasvusto tuottaa yleensä runsaasti kaasumaisia epäpuhtauksia, kun taas kuivasta kasvustosta irtoaa enemmän hiukkasmaisia epäpuhtauksia.

Ilmayhteydessä olevien tilojen välillä mikrobi-peräiset hiukkaset sekä kaasumaiset epäpuhtaudet kulkeutuvat ilmavirtauksien mukana nopeasti, liikkuvan ilman mukana useita metrejä minuutissa.

6.6

Mikrobikasvuston haitallisuuden vaikuttavia tekijöitä

Lähtökohtaisesti sisäilmaan yhteydessä olevissa rakenteissa ei tulisi esiintyä mikrobikasvua. Mikrobikasvua voi kuitenkin esiintyä niin vähäisenä määränä tai sellaisessa rakennosassa, ettei sillä käytännössä ole sisäilmavaikutuksia tai vaikutuksia rakenteiden ulkonäköön tai kantavuuteen. Mikrobikasvustosta irtoavien epäpuhtauksien laatuun ja määrään, epäpuhtauksien pääsyyn sisäilmaan ja edelleen altistumisen todennäköisyyteen vaikuttavat seuraavat tekijät:

- kasvuston runsaus
- vaurion laajuus
- vaurion sijainti
- ilmayhteys vaurioituneesta rakennosasta sisäilmaan
- rakennuksen painesuhteet

- kasvualustana toimiva materiaali ja esim. alapohjissa orgaanisen aineksen määrä
- vauriolla kasvava mikrobilajisto.

Edellä mainittuja tekijöiden vaikutusta on tarkasteltu kuvassa 6.16 ja alla olevissa kappaleissa. Listattujen tekijöiden lisäksi mikrobivaurioiden haittoihin vaikuttaa tilan ilmanvaihdon riittävyys.

Vaurion ala ja mikrobikasvuston runsaus

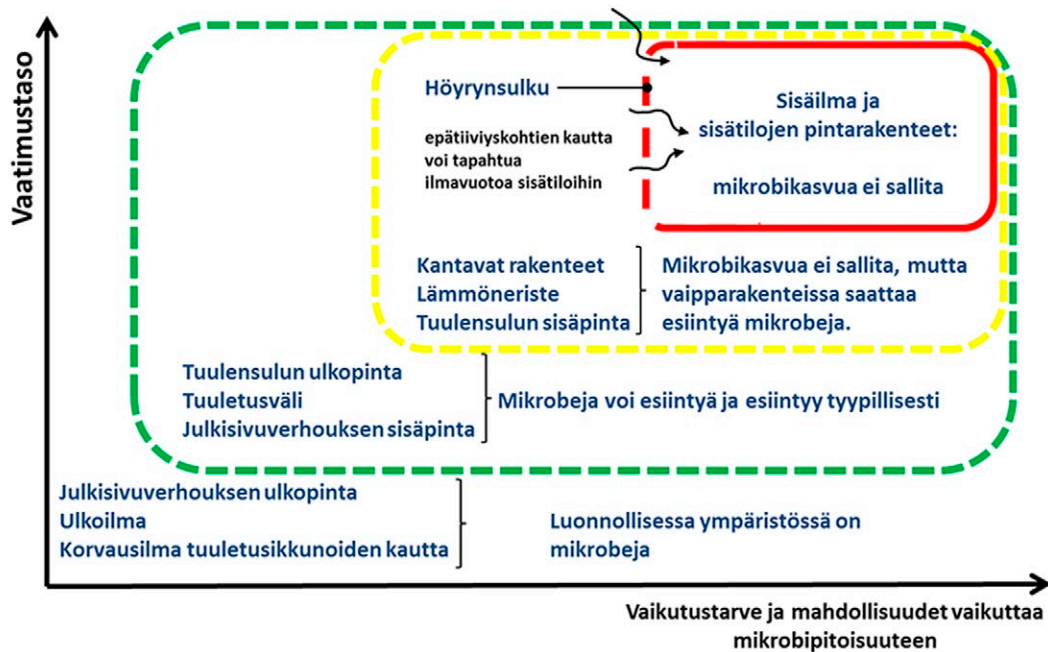
Laaja ja runsas mikrobikasvusto voi tuottaa ilmaan suuria määriä kaasumaisia ja/tai hiukkasmaisia epäpuhtauksia. Sisäilmayhteydessä ollessaan tällainen mikrobikasvusto aiheuttaa hyvin todennäköisesti sisäilmahaittaa, sillä tehokaskaan ilmanvaihto ei kykene laimentamaan suurta epäpuhtausmäärää riittävästi. Kokonaisen rakennososan puutteellisesta rakennusfysikaalisesta toiminnasta johtuvilla vaurioilla on usein merkittäviä sisäilmavaikutuksia, sillä mikrobikasvustoa voi kehittyä hyvin laajalle alueelle.

Kasvuston sijainti, erottavien rakenteiden ilmatiiveys ja painesuhteet

Mikrobikasvuston sisäilmavaikutukset riippuvat merkittävästi kasvuston sijainnista. Mitä lähempänä sisäpintoja vaurio sijaitsee, sitä todennäköisemmin sillä on ilmayhteys oleskelutiloihin, ja näin ollen haitallinen altistuminen mikrobeille on todennäköistä (kuva 6.17). Sisätiloissa mikrobikas-



Kuva 6.16. Mikrobikasvuston sisäilmavaikutuksia määrittäviä tekijöitä. Vaurion alan, kasvustoa ja sisäilmaa erottavien rakenteiden ja painesuhteiden sekä mikrobimäärien osalta sisäilmavaikutusten todennäköisyys on sitä suurempi, mitä alempana pyramidien "portailla" ollaan. Myös kasvuston mikrobilajiston ja kasvualustana toimivan materiaalin tiedetään voivan vaikuttaa kasvuston haitallisuuteen, mutta käytännössä näiden tekijöiden riittävän luotettava arviointi ei ole mahdollista.



Kuva 6.17. Mikrobin esiintyminen ja merkitys rakennusvaipan eri osissa. Kuvan lähde: muokattu RIL 250-2011. Kosteudenhallinta ja homeenehkäisy (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011b) pohjalta.

vua ei sallita. Julkisivuverhouksessa, tuulensuojassa tai lämmöneristekerroksen ulko-osassa olevat vähäiset homepisteet eivät yleensä ole ongelma. Ulkovaipan ulko-osien pahatkaan vauriot eivät välttämättä aiheuta sisäilmaongelmia, mikäli sisäkuori on tiivis ja epäpuhtaudet pääsevät "tuuletumaan" ulospäin. Lämmöneristekerros myös suodattaa ilmasta hiukkasmaisia epäpuhtauksia, jolloin ne jäävät lämmöneristeeseen, eivätkä päädy sisäilmaan. Mikäli rakenteet eivät ole tiiviit, epäpuhtaudet voivat päätyä rakenteista sisäilmaan vuotoilmavirtauksien mukana heikentäen sisäilman laatua. Tällöin ulkovaipan ulko-osienkin vauriot saattavat aiheuttaa sisäilmahaittaa.

Myös mikrobivaurion sijainti tiloissa voi vaikuttaa sen aiheuttamiin haittoihin. Esimerkiksi saunoissa, kylpyhuoneissa ja muissa märkätiloissa sijaitsevilla vaurioilla on tyypillisesti vähemmän sisäilmavaikutuksia kuin esimerkiksi makuuhuoneiden rakenteiden vaurioilla. Toimiessaan oikein märkätilojen poistoilmanvaihto laimentaa tehokkaasti epäpuhtauspitoisuuksia ja vähentää niiden kulkeutumista oleskelutilojen ilmaan. Näissä tiloissa ei myöskään oleskella pitkiä aikoja, mikä vähentää altistumista. Mikäli mikrobikasvusto sijaitsee esimerkiksi makuuhuoneen vastaisessa väliseinässä, voi sillä kuitenkin olla merkittäviäkin haittavaikutuksia.

Myös vaurion sijainti korkeussuunnassa voi olla merkitsevä tekijä mikrobialtistumisen kannalta. Esimerkiksi ulkoseinien alaosien ja alapohjan vaurioilla voi olla useammin sisäilmavaikutuksia kuin yläpohjan vaurioilla. Tähän ovat syynä rakenteen yli vallitsevat painesuhteet. Savupiippuvaikutuksen takia tilan alaosassa vallitsee keskimäärin voimakkain alipaine, ja alaosien ilmavuotopaikkojen kautta ilmaa pyrkii sisään eniten. Vastaavasti tilan yläosa on vähemmän alipaineinen ja sisään pyrkivä ilmavirta on heikompi. Mikäli tilassa on voimakas alipaine esimerkiksi koneellisen poistoilmanvaihdon takia, kulkeutuu myös yläpohjarakenteista epäpuhtauksia. Esimerkiksi räystäältä tuulettuva yläpohjatila voi olla myös tuulen vaikutuksesta ajoittain voimakkaasti ylipaineinen alla olevaan tilaan nähden, mikä voi aiheuttaa epäpuhtauksien kulkeutumista sisäilmaan.

Rakenteiden ilmatiiveyden ja rakennusvaipan yli vallitsevien painesuhteiden vaikutusta epäpuhtauksien kulkeutumiseen on tarkasteltu kappaleessa 5.5. Yleisesti ottaen betonirakenteet saattavat olla niin tiiviitä, tai ne voidaan korjauksin tiivistää niin tiiviiksi, että niiden ulkopuolella sijaitsevien mikrobikasvustojen vaikutus sisäilmaan on merkityksetön tai ilmanvaihdoilla hallittavissa. Rakenneseosan tiiveys riippuu betonissa mahdollisesti olevien halkeamien, työ- ja liikuntasaujojen, rakenneliittymi-

en ja läpivientien määrästä ja tiiveydestä. Myös rapatut ja maalatut tiiliseinät ovat tyypillisesti melko tiiviitä, joskin liittymät ja läpiviennit sekä halkeamat ovat tyypillisiä ilmapuotojen riskikohtia. Puhtaaksimuurrattujen tiiliseinien ja kevyiden, höyrynsululisten levyrakenteiden ilmatiiveys on tyypillisesti selvästi heikompi ja mikrobiperäiset epäpuhtaudet pääsevät kulkeutumaan niiden saumoista ja liittymistä helpommin sisäilmaan.

Artikkelissa *Altistumisen arviointi sisäilmaston laatuun vaikuttavien tekijöiden perusteella* (Pietarinen V-M., ym., 2015) ja julkaisussa *Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen* (Lappalainen S., ym., 2016) on määritelty kriteeristöt mikrobivaurioiden laajuuden, vaurion ja sisäilman välisen ilmayhteyden, ilmapuotoreittien ja rakennuksen paine-erojen arviointiin.

Vauriolla kasvava mikrobilajisto, materiaali ja vaurion ikä

Mikrobilajit eroavat toisistaan mm. allergisoivuutensa ja tuottamiensa haitallisten aineenvaihduntatuotteiden suhteen. Mikrobien kasvualustana toimivan materiaalin tiedetään myös eräissä tapauksissa vaikuttavan em. tekijöihin. Riittävän yleispätevää ja kattavaa tietoa eri mikrobilajien ja -lajiyhdistelmien terveysvaikutuksista tai materiaalien vaikutuksista ei kuitenkaan ole saatavilla, jotta vauriomateriaalin ja siltä löydetyn lajiston perusteella voitaisiin tehdä luotettavia päätelmiä löydöksen haitallisuudesta tai haitattomuudesta. On myös huomattavaa, että yksittäinen materiaalinäyte, josta mikrobit tunnistetaan, edustaa tyypillisesti vain paikallista otosta vaurioalueista ja lajisto läheisessäkin rakenteessa tai materiaalissa saattaa olla erilainen. Mikrobikasvustojen haitallisuus riippuu suuresti myös muista tässä kappaleessa mainituista tekijöistä sekä altistuneiden henkilöiden yksilöllisestä herkkyydestä.

Materiaalinäytteistä todettujen mikrobilajien perusteella ei voida tehdä luotettavia päätelmiä vaurion haitallisuudesta.

Vaurion ikä ja kosteustila voivat vaikuttaa vaurion haitallisuuteen. Kostealla materiaalilla aktiivisesti kasvava kasvusto tuottaa yleensä itiöitä sekä myös kaasumaisia aineenvaihduntatuotteita, jotka voivat olla haisevia tai hajuttomia. Kosteissa olosuhteissa

aktiivisesti kasvavan mikrobikasvuston voidaan siksi olettaa olevan vanhaa kuivunutta kasvustoa haitallisempaa. Toisaalta kuivumisvaiheessa homeet tyypillisesti itiöivät runsaasti, ja kuivunut rihmasto fragmentoituu eli hajoaa. Tällöin ilmaan vapautuu runsaasti hiukkasmaisia epäpuhtauksia kuten itiöitä ja erikokoisia rihmastofragmentteja. Kuivumisvaiheeseen voi liittyä myös lisääntyntä mikrobitoroksinien tuottoa, mikä voi tehdä kasvustosta irtoavista hiukkasista haitallisempia. Myös kuivunut mikrobikasvusto voi siten aiheuttaa terveyshaittoja. Riittävän kattavaa tietoa siitä, kuinka pitkään haitat säilyvät kasvuston kuivuttua, ei ole saatavilla, mistä syystä myös vanhat, kuivuneet mikrobivauriot on korjattava samoin periaattein kuin tuoreet vauriot. Esimerkiksi laaja-alaiset, pinnallisesti korjatut vesivuotovahingot aiheuttavat tyypillisesti merkittäviä sisäilmahaittoja. Vuodon jälkeen sisäilmaongelmat alkavat yleensä viimeistään noin 1–3 vuodessa, missä ajassa runsas mikrobikasvusto ehtii kehittyä kostuneisiin rakenteisiin ja toisaalta vaurio ehtii yleensä kuivua ja vapauttaa epäpuhtauksia ilmaan. Tällöin on selvää, että pelkkä vuotoveden kuivaus ja pintojen esteettiset korjaukset eivät ole olleet riittäviä toimenpiteitä vuotovahingon haittojen poistamiseksi.

Vanhoissa rakennuksissa sisäilmaongelmat saatavat alkaa korjauksista, jotka muuttavat vanhojen rakenteiden tiiveyttä ja painesuhteita.

Hyvin vanhojen mikrobikasvustojen sisäilmavaiikutuksista on vähän tietoa saatavilla. Kokemuksperäisesti on havaittu, että esimerkiksi 1900-luvun alun kerrostalojen puuvälipohjissa havaitaan peruskorjaustilanteissa usein mikrobivaurioita välipohjan orgaanisessa täyttöaineksessa ja jopa lahoa märkätilojen kohdalla tai massiivitiiliseinien sisään tukeutuvien kantavien puuvasojen päissä. Näissä tapauksissa tiloissa ei välttämättä ole koettu minikäänlaisia sisäilmaongelmia. Ongelmia saattaa kuitenkin toisinaan alkaa ilmetä korjauksen jälkeen, erityisesti jos korjausten yhteydessä välipohjiin on tehty läpivientejä tai vanhoja tiiviitä lattianpäällystekerroksia on poistettu. Ongelmien alkaminen on toisinaan yhdistetty myös vanhan rakennuksen painovoimaisen ilmanvaihdon muuttamiseen koneelliseksi. Näissä tapauksissa rakennuksen muuttuneet painesuhteet ja tiiveys ilmeisesti voi-

mistavat vanhoissa rakenteissa olleiden epäpuh-
tauksien kulkeutumista sisäilmaan niin paljon, että
sisäilman laatu heikkenee merkittävästi.

Tulkinnat

Kun rakenteiden mikrobilöydöksistä tehdään
johtopäätöksiä, tulee rakenteiden vaurioastetta,
tilojen käyttäjien altistumisen todennäköisyyttä
ja korjaustarvetta arvioida edellä mainitut tekijät
huomioiden. Vähintään tulee tietää, kuinka laajaa
aluetta rakenteessa esimerkiksi vaurioitunut ma-
teriaalinäyte edustaa. Merkittävydeltään yleensä
vähäisenä voidaan pitää esimerkiksi pienialaista
mikrobikasvua siivousvesistä kastuneissa, paik-
allisissa likakertymissä jalkalistojen takana tai ikään-
tyneiden ikkunaliitosten paikoittaisesta epätiivey-
destä aiheutunutta ulkoilman mikrobien kertymää
ja pienialaista mikrobikasvua ikkunan puuosien
pinnalla ja tilkemateriaalissa. Esimerkiksi keittiön
ja märkätilojen kalustelevyissä saattaa olla mm. si-
likonisaumojen epätiiveyden takia toistuvasta kas-
tumisesta aiheutunutta paikallista mikrobikasvua,
joka pienialaisena harvoin aiheuttaa muuta kuin
esteettistä haittaa. Vaurion vakavuutta ja vaikutta-
vuutta arvioitaessa tulee kuitenkin aina selvittää,
kuinka laajalle alueelle poikkeava kosteusrasitus
on materiaalissa vaikuttanut, sillä myös edellä mai-
nittuihin kastumismekanismeihin saattaa liittyä
merkittäviä vaurioita ja sisäilmahaittoja.

6.7

Mikrobilöydösten raportointi

6.7.1

Materiaalinäytteet

Rakennusmateriaaleista tehtyjen mikrobianalyysi-
en tulokset raportoidaan osana kunkin rakenne-
osan tarkastelua (ks. luku 4). Raportissa esitetään
tarkastelukohdan sijainti (tila, rakenneosa, kohdan
sijainti pysty- ja vaakasuunnassa) sekä mistä osas-
ta rakennetta näytteet on otettu (rakennekerros,
materiaali). Parhaiten paikannus tehdään pohjaku-
van (tutkimuskohdan/rakenneavauksen sijainti) ja
havainnollisen valokuvan sekä kuvatekstin (näyt-
teenotto kohta rakenteessa) avulla. Kustakin tar-
kastetusta rakenteesta raportoidaan miltä alueelta
ja mistä materiaalikerroksista mikrobikasvustoja
on todettu (silminnähtävät kasvustot, selvä mik-

robi-peräinen haju, laboratorioanalyysien tulokset).
Mikäli mikrobikasvusto on todettu höyrönsulku-
kerroksen tai rakennusvaipan kivirakenteisen
sisäkuoren ulkopuolelta otetussa materiaalissa,
raportoidaan lisäksi, onko kohdasta ilmayhteys
sisäilmaan, sekä rakenteen yli vallitsevat paine-
suhteet. Arvio ilmayhteydestä tehdään avatusta
rakenteesta tehtyjen silmämääräisten havaintojen
perusteella ja/tai merkkiainetutkimuksen avul-
la, paine-ero mieluiten useamman vuorokauden
jatkuvatoimisella seurantamittauksella (ks. lu-
ku 3). Rakenneosan tarkastelussa esitetään aina
rakennetyyppi/-tyypit ja -paksuudet sekä raken-
teeseen liittyvät muut havainnot ja tutkimustulok-
set, mm. mahdolliset kosteusmittaustulokset. Eri
tulokset esitetään siten, että niiden keskinäinen yh-
teys on hahmotettavissa. Johtopäätökset rakenteen
korjaustarpeesta ja suositeltavista korjaustavoista
tehdään kaikkien em. tekijöiden perusteella.

Mikrobikasvun määrä ja laajuus raportoidaan
tekstissä yleensä karkeasti aistinvaraisen tarkaste-
lun ja/tai laboratorioanalyysin perusteella (vrt. ku-
va 6.16). On huomattava, että laboratoriovastaus,
esimerkiksi materiaalinäytteen elinkykyisten mik-
robien määrä ei yleensä yksinään anna riittävää
tietoa vaurion vakavuudesta, vaan tulosta tulee
tarkastella osana kokonaisuutta.

Materiaalinäytteiden mikrobianalyysien perus-
teella tehdään lähtökohtaisesti yksinkertainen ar-
vio rakenteen mikrobivaurioituneisuudesta. Tätä
varten materiaalilla esiintyvää lajistoa ei yleensä
ole tarpeen eritellä raporttitekstissä. Mikäli mate-
riaalinäytteen mikrobipitoisuus on melko pieni ja
päätelmä kasvuston olemassaolosta tehdään myös
lajiston perusteella, ilmoitetaan tämä raportissa.
Poikkeustapauksissa mikrobilajiston perusteella
voidaan tehdä suuntaa-antavia päätelmiä myös
vaurion iästä, haitallisuudesta tai vallinneista kos-
teusolosuhteista. Tämän tyyppiset selvitykset tulee
suunnitella, toteuttaa ja raportoida yhteistyössä
mikrobiasiantuntijan kanssa.

6.7.2

Sisäilmanäytteet

Sisäilmasta tehtyjen mikrobianalyysien tulokset
tulkitaan kohdassa 3.7.3 esitetyn mukaisesti. Ra-
portissa esitetään tulkinta tuloksen tavanomaisuus-
desta /poikkeavuudesta mikrobipitoisuuksien ja
lajiston osalta. Lisäksi raportoidaan aina näytteen-
otto paikka ja -aika, vallinneet sisä- ja ulkoilma-

olosuhteet (lämpötila, kosteus, maanpinnan lumi-peite), mahdolliset virhelähteet ja tulkinnan epävarmuustekijät. Myös rakennuksen ulkovaipan yli vallitsevien painesuhteiden mittausta ja raportointi on aina suositeltavaa. Raportissa tulee ilmoittaa, että sisäilmamittauksen tulos on suuntaa-antava. Mikäli tulos on tavanomainen, ilmoitetaan että mittaustulos ei luotettavasti poissulje mikrobivaurioiden olemassaoloa tai takaa sisäilman hyvää laatua.

Mikrobianalyysien alkuperäinen laboratoriovastaus, josta tarkka tulos mm. lajiston osalta on tarvittaessa nähtävissä, on aina liitettävä kokonaisuudessaan raporttiin.

Lisätietoa rakennusmikrobiologiasta löytyy mm. seuraavista kirjallisuuslähteistä:

- Sisäilmayhdistys ry:n raportit (mm. Sisäilmastoseminaarikirjat)
- Työterveyslaitoksen, Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen, VTT:n, eri yliopistojen ja teknillisten yliopistojen ja muiden tutkimuslaitosten väitöskirjat ja muut tutkimusjulkaisut
- *RIL 250-2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen* (Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL ry, 2011b).

Lisäksi tietoa on saatavilla mm. seuraavilla tutkimuslaitosten ja kansalaisjärjestöjen internet-sivuilla:

- www.thl.fi
- www.ttl.fi
- www.asumisterveysliitto.fi
- www.hengitysliitto.fi
- www.sisailmayhdistys.fi
- www.hometalkoot.fi

Kansainvälisiä rakennusmikrobiologian alan oppikirjoja ovat mm.

- *Recognition, Evaluation, and Control of Indoor Mold* (Prezant B., ym., 2008)
- *Microorganisms in Home and Indoor Work Environments. Diversity, Health Impacts, Investigation and Control* (Flannigan B., ym., 2011)
- *Fundamentals of mold growth in indoor environments and strategies for healthy living* (Adan O. ja Samson R., 2011)

Kansainvälisen kirjallisuuden kohdalla tulee huomioda, että muilla ilmastoalueilla tehdyistä tutkimuksista saatu tieto sisäympäristön mikrobeista ei sellaisenaan sovellu kaikilta osin käytettäväksi suomalaisissa rakennuksissa ja olosuhteissa.

7 Rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toimivuus ja vaurioitumisriskin arviointi

Tässä luvussa käsitellään rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa sekä vaurioitumisriskin arviointia. Ilmanvaihto- ja LV-laitteita ei ole erityisesti käsitelty, sillä niiden toimintaa ja vaurioita on käsitelty julkaisuissa *Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien ja -laitteiden kuntotutkimusmenettely* (Suomen LVI-liitto SuLVI ry, 2016) sekä *LVV-kuntotutkimusopas* (Suomen LVI-liitto SuLVI ry, 2013).

Rakennuksessa tai rakenteissa todettu kosteus- ja mikrobivaurio on merkki siitä, että vauriokohdan kosteuspitoisuus kuntotutkimushetkellä tai joskus tätä ennen on ollut mikrobien kasvulle otollinen. Kosteusrasituksen aiheuttajan selvittäminen on oleellinen osa rakenteiden vaurioitumisen arviointia. Kuntotutkijan on osattava lisäksi arvioida, onko rakenteen kosteustaso tutkimushetkellä normaali vai kohonnut (kappale 7.1).

Rakennuksen rakennusfysikaalinen toiminta on puutteellista, jos siinä ilmenee kosteusvauriota tai haitallista mikrobikasvua. Rakenteiden toiminnalliset virheet voivat johtua suunnittelusta, rakenteiden toteuttamisesta suunnitelmista poikkeavalla tavalla tai rakennuksen vanhenemisesta, joka on heikentänyt rakenteiden kosteusteknistä toimintaa. Rakennuksen käytössä, huollossa ja kunnossapidossa voi olla virheitä tai puutteita. Rakennuksen tai tilan käyttötarkoitusta on voitu muuttaa ottamatta huomioon uuden käyttötavan rakenteille aiheuttamia rasituksia. Eri tekijöiden osuus selvitetään aina tapauskohtaisesti.

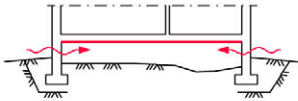
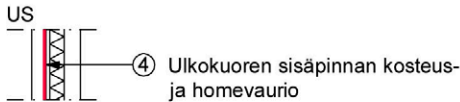
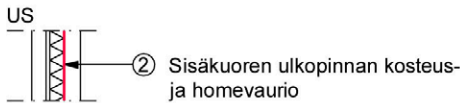
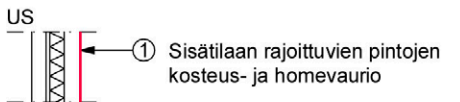
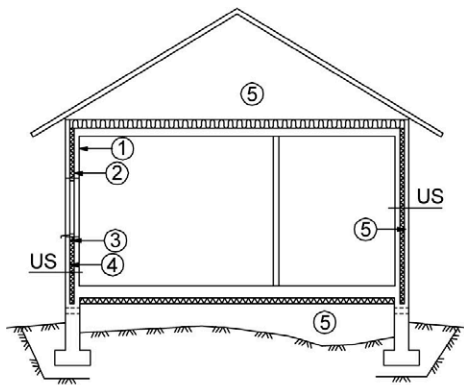
Rakennusten ja rakenteiden vaurioitumisriskiä arvioidaan tapauskohtaisesti rakennuspaikan, rakenneratkaisujen pitkäaikaiskestävyydestä saatujen kokemusten sekä rakennuksen ja rakennusmateriaalien iän perusteella. Rakenneratkaisujen

kosteusvaurioriskejä ja vaurioitumismekanismeja voidaan lisäksi arvioida rakennusfysikaalisilla käsinlaskentamenetelmillä, numeerisilla analyyseillä ja tarkastelemalla käytännön kosteusvaurioesimerkkejä rakennusfysikaalisista lähtökohdista. Tietokonepohjaisilla laskentaohjelmilla voidaan mallintaa rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa ja tarkastella rakenteen vaurioitumisriskiä pitkällä aikavälillä.

Käytännön kosteus- ja homevauriotutkimuksissa vaurioitumisriskin arviointi (kappale 7.2) perustuu yleensä tutkimuksiin ja niiden analyyseihin raskaiden laskentatarkastelujen sijaan. Rakenteiden vaurioitumisen arvioiminen perustuu rakenteisiin kohdistuvien ilmastollisten tekijöiden, rakennuksen käytön aiheuttamien rasitusten sekä rakenteiden kosteusteknisen toiminnan tuntemiseen. Rakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa keskeisiä ovat kosteudensiirtymisilmiöiden (luku 5) ja materiaalien lämpö- ja kosteusteknisten ominaisuuksien vuorovaikutukset.

Kuntotutkimuskohteissa on usein käytetty rakenneratkaisuja, jotka poikkeavat nykyohjeistuksesta. Tämä ei tarkoita, että rakenne on välttämättä vaurioitunut, vaan osa rakenteista voi toimia sopivissa olosuhteissa. Kuntotutkijan on arvioitava nykyohjeistuksesta poikkeavien rakenteiden toimivuutta tapauskohtaisesti.

Kosteudensiirtymisilmiöistä aiheutuva kosteus- ja homevaurio voi syntyä rakennuksen vaipan sisäpinnoille, sisäkuoren ulkopinnoille, eristekerrokseen ja ulkokuoren sisäpinnoille sekä tuuletettujen rakenneosien ilmatilaan rajoitettuille pinnoille. Kuvassa 7.1 on esitetty vaurioiden sijainteja sekä näiden yleisimpiä syitä.



- 1 Sisätilaan rajoittuvaan pintaan liittyy homeutumisriski, kun sisäpinnan lämpötila on kosteuteen verrattuna kriittisen alhainen.

Pintalämpötila voi olla alhainen

- kylmäsiltojen kohdalla
- lämmöneristekerroksen paikallisen puutteellisuuden takia ulkonurkissa

Sisäilman korkea kosteuspitoisuus lisää sisäpintojen homeutumisriskiä. Putkivuoto huonetilassa ja rakenteen sisällä voi vaurioittaa myös sisäpintoja. Huonetilassa käytetyn veden roiskuminen voi aiheuttaa sisäpinnan vaurioita.

- 2 Sisäkuoren ulkopinta voi vaurioitua, kun sisäpinnan suuntainen jäädyttävä ilmapuoto ulkoa sisälle, kylmäsilta tai puutteellinen lämmöneriste aiheuttaa sisäkuoren ulkopinnan lämpötilan laskemisen kriittisen alas. Tällöin sisäkosteuden diffuusio on riittävä aiheuttamaan vaurion sisälevyyn ja höyrynsulun väliin. Rakenteen sisäinen putkivuoto tai rakenteeseen tunkeutuva vesi voi vaurioittaa myös sisäkuoren ulkopintaa.

Sisäkuoren ulkopuolelle höyrynsulun ulkopintaan voi tiivistyä vesihöyryä diffuusiolla ulkoilmasta hellejaksojen aikana, jos sisäilmaa jäädytetään liiallisesti.

- 3 Eristekerros voi vaurioitua rakenteessa tapahtuneen putkivuodon, rakenteeseen tunkeutuneen veden, sisäilman liiallisen kosteuskonvektion ja diffuusion seurauksena. Kosteuskonvektio ja diffuusio vaurioittavat eristekerrosta kerroksen uloimmilla alueilla.

- 4 Ulkokuoren sisäpinta voi vaurioitua rakenteeseen tunkeutuneen veden, sisäilman liiallisen kosteuskonvektion ja diffuusion seurauksena. Rakenteen sisäinen putkivuoto voi vaurioittaa myös ulkokuoren sisäpintaa.

- 5 Tuuletettu rakenne vaurioituu, kun ilmatilan kosteustuotto ilmatilaan on liian korkea verrattuna tilan tuulettavuuteen. Ulkoseinän vaurion voi aiheuttaa rakenteeseen tunkeutuva vesi ja sen puutteellinen johtaminen pois rakenteesta. Ryömintätilan vaurion voi aiheuttaa maaperän liiallinen kosteus, tuuletuksen katvealueet ja tilan lämpötekniinen hitaus. Tuuletetun kattorakenteen vaurion voi aiheuttaa vallitseva sisätilan ylipaine tuulettuun verrattuna, yön vastasäteilyn vesikatetta voimakkaasti jäädyttävä vaikutus, tuuletetun rakenteen lämpötekniinen hitaus ja vesikatton vuotojen vaikea paikallistettavuus.

Kuva 7.1. Kosteus- ja homevaurion mahdollinen sijainti rakenteissa. Kohdat 1-4 voivat sijaita seinä-, lattia- ja kattorakenteissa.

7.1

Rakenteiden kosteustasot

Arvioitaessa rakenneosien lämpö- ja kosteusteknistä toimivuutta tai vaurioriskiä kohteessa tehtyjen havaintojen ja rakennekosteusmittausten perusteella, otetaan huomioon rakennusajan kohta, tehdyt remontit, käytetyt rakennusmateriaalit ja hyödynnetään olemassa olevaa tietoa vastaavan tyyppisten rakenteiden lämpö- ja

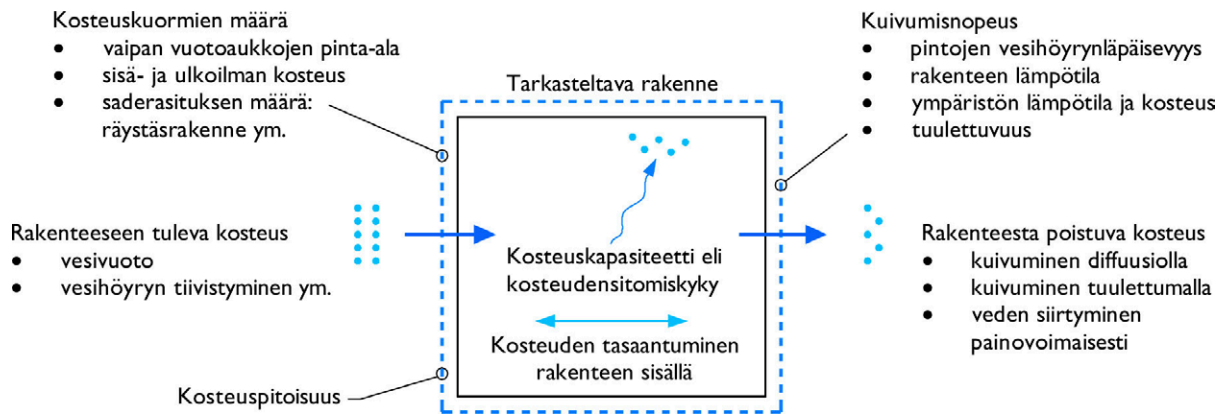
kosteusteknisestä käyttäytymisestä. Toimivuuden arvioinnissa kiinnitetään huomiota siihen, ovatko rakenteen lämpötila ja kosteuspitoisuus tavanomaisesta poikkeavia ja onko tästä ollut haittaa rakenteen toiminnalle. Kuntotutkija arvioi esimerkiksi pintarakenteisiin kohdistunutta kosteusrasitusta ja siitä aiheutunutta mahdollista vaurioitumista tai riskiä vaurioitua tulevaisuudessa.

Rakenteiden kosteustaso muodostuu yksittäisten materiaalien kosteuspitoisuuksista. Kuitenkin materiaalit toimivat yhtenä rakenteena, jonka sisältämä kosteus määrä muodostuu kuvan 7.2 mukaisesti rakenteeseen menevästä ja rakenteesta poistuvasta kosteudesta.

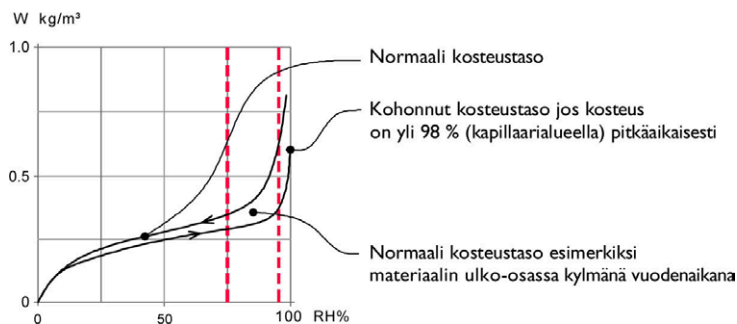
Tavanomainen kosteustaso on aina rakenne- ja materiaalikohtaista. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että materiaalien normaali kosteuspitoisuus on hygroskooppisella alueella (ks. kohta 5.2.1), mutta joissakin tapauksissa jo yli 75 % suhteellinen kosteus on yli normaalin tason (kuva 7.3). Toisaalta on huomioitava, että rakenteet ovat usein hetkellisesti korkeissa kosteusolosuhteissa, mikä ei aina tarkoita rakenteita vaurioittavaa tilannetta. Esimerkiksi julkisivutiilien normaali kosteustaso käsittää koko suhteellisen kosteuden tasot 0...100 % (kuva 7.4). Jos rakenteessa on kosteudenkestävyydeltään eroavia materiaaleja, tulee hyväksyt-

tävä kosteustaso määrittää siten, että rakenteen kosteudelle herkin materiaali ei vaurioidu tässä kosteustasossa. Rakennekohtaisia suuntaa-antavia ohjearvoja tavanomaisista kosteustasoista on esitetty kappaleessa 7.2.

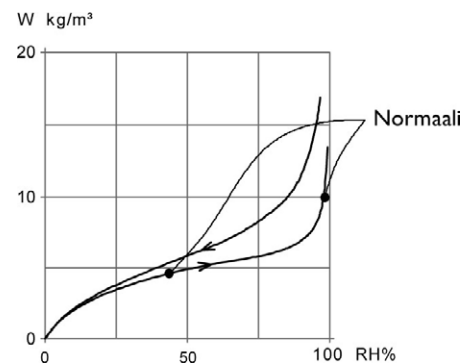
Tarkasteltaessa kosteuspitoisuuksia on huomioitava, että rakenteen elinkaaren alkuvaiheessa sekä mahdollisesti jossain vaiheessa elinkaarta rakenteen kosteuspitoisuus voi olla merkittävästi tavanomaista tasoa korkeammalla (kuva 7.5). Tämä johtuu rakennuskosteudesta ja yksittäisistä poikkeuksellisista kosteuskuormista, kuten vesivuodoista. Rakenteen kosteuden kuivumisnopeus riippuu rakenteen sijainnista rakennuksessa (kuva 7.6). Esimerkiksi betonivälipohjan kuivumisnopeus riippuu mm. käytetystä betonilaadusta, ilman kosteudesta, laatan paksuudesta ja lattian pintamateriaalista ja rakenteen kuivumisaika voikin vaihdella kuukausista vuosiin.



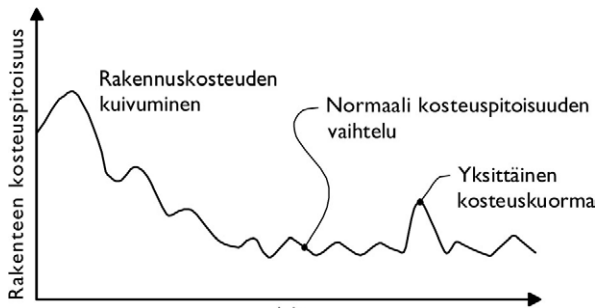
Kuva 7.2. Rakenteen kosteuspitoisuuden muodostuminen.



Kuva 7.3. Mineraalivillan kosteustason arviointi tasapainokosteuskäyrän avulla.

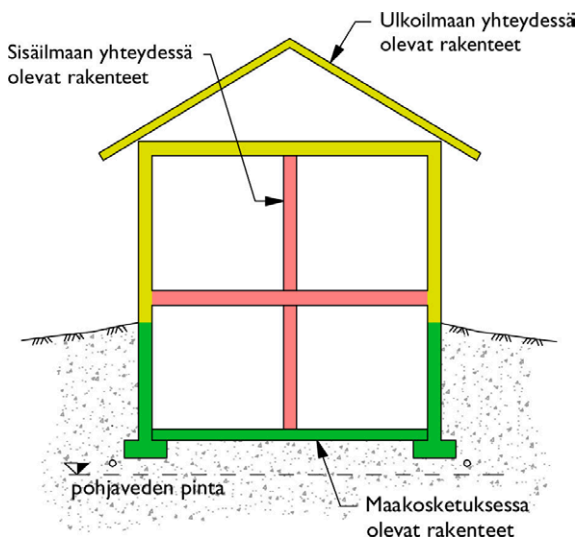


Kuva 7.4. Julkisivutiilien kosteustason arviointi tasapainokosteuskäyrän avulla.



Kuva 7.5. Kosteuspitoisuuden vaihtelu rakenteen elinkaaren aikana.

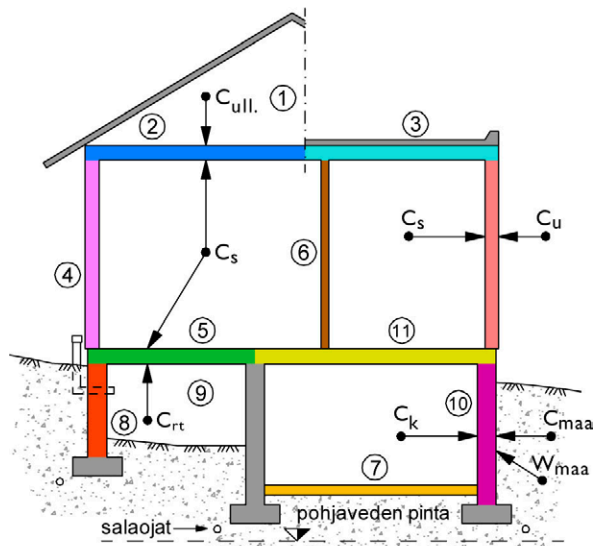
Rakennusmateriaalin kosteusvaurio voi syntyä jopa lyhytaikaisesta kosteusrasituksesta kuten esim. parkettilattian kosteusvaurio. Home- ja lahovauriot syntyvät pitkäaikaisesta kosteusrasituksesta. Rakennuskosteuden on annettava kuivua riittävästi ennen pinnoitteiden ja päällysteiden asentamista. Katto- ja putkivuotojen yms. tapauksessa on yleensä kuivatettava rakenteita koneellisesti, jolloin liiallinen kosteus saadaan pois rakenteesta ennen kuin kosteus- ja homevauriot voivat syntyä. Toisaalta vesivuotojen tapauksessa materiaaleja on tarvittaessa uusittava, jos ne ovat kosteusvaurioituneet. Rakenteiden kuivatus- ja uusimistarve on tapauskohtaista ja se tulee arvioida huomioiden mm. kosteusrasituksen määrä, kastuneiden materiaalien kosteudenkestävyys sekä rakenteen luonnollinen kuivumiskyky. Eri materiaalien homehtumisen eli mikrobivaurioitumisen nopeutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä on tarkasteltu luvussa 6.



Kuva 7.6 Rakenteiden jaottelu kolmeen ryhmään niihin kohdistuvien kosteusrasitusten perusteella.

Rakenteet pyrkivät kosteustasapainoon ympäristönsä kanssa. Rakenneosan sijainti rakennuksessa vaikuttaa sitä ympäröiviin kosteusolosuhteisiin ja siis rakenneosan tavanomaiseen kosteustasoon. Arvioitaessa, onko rakenteesta mitattu kosteustaso rakenteelle tavanomainen vai poikkeava, tulee huomioida rakenteen sijainti rakennuksessa. Rakenteet voidaan jaotella niihin kohdistuvien kosteusrasitusten perusteella sisäilmaan, ulkoilmaan ja maahan kosketuksissa oleviin rakenteisiin (kuva 7.6). Kosteusteknisissä kuntotutkimuksissa on tunnistettava nämä oleelliset erot kosteusrasituksen suuruudessa, mutta myös tiedostettava, että rakenteiden toiminnan analysointi edellyttää usein tätä tarkempaa rakenteiden luokittelua (kuva 7.7).

Sisäilmaan kosketuksissa olevat välipohjat ja väliseinät pyrkivät pitkällä aikavälillä tasaantumaan sisäilman olosuhteisiin, joten niiden tavanomainen kosteuspitoisuus on sisäilman absoluuttisen ja suhteellisen kosteuden tasolla. Välipohjissa ja -seinissä ei yleensä esiinny suuria lämpötilamuutoksia.



Kuva 7.7. Rakenteiden tavanomaiset kosteustasot ovat rakennekohtaisia. Rakenteiden tavanomainen kosteustaso muodostuu niitä ympäröivien kosteusolosuhteiden (C ja w) mukaisesti. C_{ull} =ullakon ilman absoluuttinen kosteuspitoisuus (g/m^3), C_s =sisäilman absoluuttinen kosteuspitoisuus, C_u =ulkoilman absoluuttinen kosteuspitoisuus, C_{rt} =ryömintätilan ilman absoluuttinen kosteuspitoisuus, C_k =kellarin ilman absoluuttinen kosteuspitoisuus, C_{maa} =maaineksen huokosilman absoluuttinen kosteuspitoisuus ja w_{maa} =maaineksen kosteuspitoisuus (kg/m^3). Rakenteiden numerointi: 1: tuulettuva yläpohjatila, 2: ullakkotilan rakenteet, 3: umpirakenteinen katto, 4: ulkoseinä, 5: ryömintätilainen alapohja, 6: väliseinä, 7: maanvastainen alapohja, 8: perustusrakenteet, 9: ryömintätila, 10: maanvastainen seinä, 11: välipohja.

Maahan kosketuksissa olevien rakenteiden tapauksessa keskeinen merkitys on maaperän kosteudella, joka on yleensä tasainen vuoden mittaan. Riippuen rakentamispaikasta, pintavesien poisjohdattamisesta, salaojitukselta ym. tekijöistä maaperän huokosilman suhteellinen kosteus voi vaihdella laajalti, mutta suunnittelussa sen oletetaan olevan 100 % (taulukko 7.1). Maassa tapahtuu selvästi vähemmän kuivattavia ilmavirtauksia verrattuna ilmaan yhteydessä oleviin rakenteisiin.

Vaikeimmin analysoitavia rakenteita ovat ulkoilmaan yhteydessä olevat rakenteet. Näissä rakenteissa sisäilman kosteusreunaehto on yleensä tasainen ja vaihteluväli erityisesti lyhyellä aikavälillä on pieni. Ulkoilma vaikeuttaa siihen yhteydessä olevien rakenteiden toimivuuden ja kosteustason arviointia. Ulkoilmassa olosuhteet muuttuvat vuodenaajan mukaan, vesi- ja lumisade aiheuttavat kosteuskuormia, rakenteet viilentyvät yöaikaan ja auringonpaiste kuumentaa rakenteita.

Rakenteet voidaan jakaa kosteusreunaehdoltaan myös tarkemmin kuin edellä mainittuun kolmeen ryhmään, kuten kuvassa 7.7 on tehty. Tällöin esimerkiksi maanvastainen betonilaatta ja ryömintätalainen alapohjarakenne eroavat toisistaan kosteusrasitusten osalta (rakenteet 5 ja 7 kuvassa 7.7). Kuntotutkimuksessa voidaan esimerkiksi ensin tarkastella rakennetta kuvan 7.6 mukaisesti ja tämän jälkeen tarkentaa rakenneanalyysiä kuvan 7.7 mukaisesti.

Rakenteiden kosteustason arvioinnissa rakenteessa vallitseva suhteellinen kosteus kuvaa rakenteen homeaurioitumisen todennäköisyyttä. Vaikka absoluuttinen kosteus kuvaa paremmin rakenteeseen kohdistuvaa kosteuskuormitusta (kuva 7.7), sillä ei voida tarkastella homeutumiskäsitteitä. Taulukossa 7.1 on esitetty ohjeellisia homeaurion syntymisen todennäköisyyksiä eri rakennusosille suhteellisesta kosteudesta riippuen.

Taulukko 7.1. Ohjeelliset arvot materiaalin kosteuspitoisuuden, lämpötilan ja ajan merkityksestä rakenteen homeutumiskäsitteisiin.

Rakennusosa	Homeutumiskäsite ¹⁾		
	RH 70...80 % ²⁾	RH 80...90 %	RH > 90 % ja kapillaarialue
Rakennuksen ulkovaipan sisäosat, väliseinät ja välipohjat	Vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy vuositasolla lähinnä lyhyinä jaksoina	Vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy lyhyinä jaksoina ³⁾	Rakenne on pääsääntöisesti korjattava, ellei kosteuspitoisuus esiinny vain lyhyinä jaksoina esim. kosteiden tilojen sisäpinoilla. ^{4) 5)}
Rakennuksen ulkovaipan ulko-osat	Vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy vuositasolla lyhyinä jaksoina tai pidempiaikaisesti vuoden kylmimpänä aikana	Vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy lyhyinä jaksoina tai kylminä vuodenaikoina ³⁾	Rakenne on pääsääntöisesti korjattava, jos kosteuspitoisuudet esiintyvät pitkinä jaksoina, ellei rakenteen lämpötila ole samanaikaisesti alle 0 °C. ³⁾
Rakennuksen maakosketuksessa olevat perustusrakenteet (kiviainesperustukset, materiaalit, solumuovit, solulaset yms.)	Rakenteen toimivuutta/vaurioitumista ei arvioida suhteellisen kosteuden mukaan. Sen sijaan on arvioitava onko kosteudesta haittaa niille materiaaleille, jotka ovat kosketuksissa ko. rakenteeseen, siirtykö kosteus ko. rakenteesta sisään päin sekä arvioitava tapahtuuko maanvastaisen rakenteen kautta ilmavuotoja sisätiloihin.		
Rakennuksen kapillaarikatko-kerros, alustäyttö ja maapohja	Rakennusosassa esiintyy yleisesti home- ja mikrobikasvua, joten homeutumiskäsitteiden arviointi ei ole tarkoituksenmukaista. ⁶⁾		

¹⁾ Joissain tapauksissa voi olla tarpeen arvioida rakenteessa vallitsevan kosteustason lisäksi tarkastelupisteessä olevan, mikrobien ravintona toimivan orgaanisen aineksen määrää.

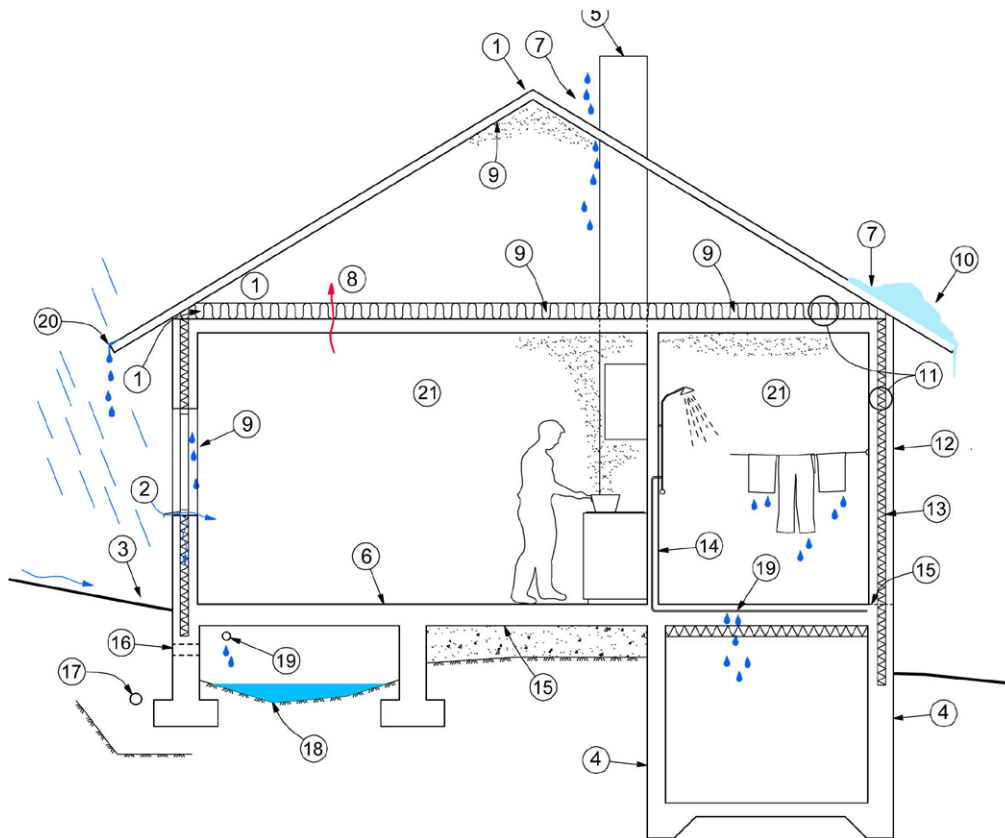
²⁾ Materiaalin kosteuspitoisuudessa RH ≤ 75 % homeutumiskäsite on vain hyvin herkillä materiaaleilla, yli 20 °C lämpötilassa kosteusrasituksen esiintyessä tasaisena useiden kuukausien ajan. Vertaa luku 6, kuva 6.5 ja taulukko 6.5.

³⁾ Edellyttää kokonaistilanteen huomioimista perustuen yleensä kokemukseräiseen tietoon rakenteen toiminnasta.

⁴⁾ Vesivuototapauksissa korjaukselta voidaan joissain tapauksissa välttyä, jos rakenne kuivatetaan riittävän nopeasti.

⁵⁾ Lukuun ottamatta poikkeustapauksia, joissa kosteuspitoisuus voi olla >90 % tai kapillaarialueella pitkiä aikoja. Näitä ovat mm. märkätilan vedeneristeen päällä olevat rakenteet eli laatan kiinnityslaasti, saumalaasti ja keraaminen laatta, märkätilan bitumivedeneristeen päällä oleva betoninen pintalaatta sekä huoneistojen välinen märkätilan betoniseinä, jossa on suihkutilla seinän molemmilla puolilla.

⁶⁾ Maaperässä oletetaan olevan suunnittelun lähtökohdalla huokosilman suhteellinen kosteus 100 %, mutta kosteus voi olla ajoittain jopa kapillaarialueella. Alapohjarakenteen toimivuutta ei voida arvioida pelkästään rakenteiden alapuolisen kosteustason perusteella.



- | | | | |
|----|---|----|--|
| 1 | Yläpohjan puutteellinen tuuletus | 12 | Julkisivun vuodot |
| 2 | Ikkunavuodot | 13 | Julkisivun tuuletuksen puutteet |
| 3 | Virheellinen maan muotoilu | 14 | Märkätilan puutteellinen vedeneristys |
| 4 | Puutteellinen vedeneristys | 15 | Kapillaarikatkon puuttuminen |
| 5 | Suojaamaton savupiippu/horni | 16 | Ryömintätilan tuuletuspuutteet |
| 6 | Liian kostean rakenteen pinnoitus | 17 | Puutteellinen salaojitus |
| 7 | Kattovuodot | 18 | Virheellinen maan muotoilu, sorastuksen puutteet |
| 8 | Ilmavuodot | 19 | Putkivuodot |
| 9 | Kondenssi | 20 | Sadevedenohjauksen puutteet |
| 10 | Lämpövuotojen aiheuttamat jääpadot | 21 | Kosteustuottoon nähden riittämätön ilmanvaihto |
| 11 | Höyrysulun ja/tai lämmöneristeiden puutteet | | |

Kuva 7.8. Yleisimmät kosteusvaurioita aiheuttavat rakenteiden puutteet.

7.2

Rakenteiden vaurioituminen

7.2.1

Yleisimmät kosteusvauriot rakennuksissa

Rakenteiden vaurioitumisriskiä arvioidaan rakenneratkaisujen pitkäaikaiskestävyydestä ja vaurioitumisesta saadun kokemuksen perusteella sekä rakennusfysikaalisin laskelmin. Tässä on esitetty vaurioesimerkkejä, joita voidaan käyttää apuna vaurioitumisriskin arvioinnissa. Vaurioitumisriski arvioidaan kuitenkin aina rakennusfysikaalisin perustein, koska kosteusrasitukset vaihtelevat tapauskohtaisesti. Yleisimpien kosteus- ja mikrobivaurioiden riskiä nostavia rakenteiden puutteita on esitetty kuvassa 7.8.

Seuraavassa tarkastellaan rakenteiden vanhenemisen merkitystä niiden vaurioitumiseen, sisäpintojen vaurioita ja eri rakennusosien rakennusfysikaalisen toiminnan perusteita ja rakennusosien vaurioita.

7.2.2

Rakennusmateriaalien vanheneminen

Rakennuksen iän ja korjaushistorian perusteella voidaan arvioida eri materiaalien kuntoa ja mahdollisia ongelmakohtia, jotka ovat tyypillisiä kohteen rakentamisaikakauden rakennuksissa.

Rakennusmateriaalit voivat menettää vanhetessaan toimintansa kannalta tärkeitä ominaisuuksia. Rakenteiden mahdollisten vaurioiden arvioinnissa

ja tutkimisessa huomio kohdistetaan jo selvitysten alkuvaiheessa vaurioiden kannalta tärkeiden materiaalien ikään. Rakennusmateriaalien ja rakenteiden käyttöikäennusteita on esitetty ohjekortissa KH 90-00403. *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot* (Rakennustietosäätiö RTS, 2008). Käyttöikäennusteista saadaan likimääräinen arvio materiaalin kunnosta ja uusimistarpeesta. Rakenteiden ja materiaalien uusimistarve huomataan usein vasta, kun vanhentunut rakenne tai materiaali on jo aiheuttanut vaurioita rakennukselle. Suunnittelu-, rakennus-, käyttö- ja huoltovirheet nopeuttavat rakenteiden ja rakennusmateriaalien vanhenemistä ja lyhentävät niiden käyttöikää.

Vanhenemisen arvioinnissa otetaan huomioon rakennuksen korjaushistorian selvityksessä esiin tulleet huoltokorjaukset ja perusparannukset, jolloin materiaaleja on uusittu. Huoltovälit tietyille rakenteille, kuten salaojitukselle, on hyvä selvittää.

Tyypillinen materiaalin vanhenemisestä aiheutuva kosteus- ja homevaurion aiheuttaja on aikaisempina vuosina ollut loivan katon (ns. tasakatto) vesivuoto. Loivilla katoilla 1970-1990-luvuilla käytetyn bitumikermikatteen käyttöikä jäi tyypillisesti 20...30 vuoteen. 1990-luvun jälkeen yleistyneiden polyesteritukikerroksisten kumibitumikermikatteen käyttöikäennuste on 30...50 vuotta. Sade ja virtaava vesi irrottavat ja kuljettavat katteen suojana olevaa sirotetta tai singelikerrosta ja ultraviolettisäteily heikentää katteen joustavuutta. Suojakiveystä käyttämällä ultraviolettisäteilyn katetta heikentävä vaikutus poistuu ja katteen käyttöikä pitenee. Kattoon kohdistuvat mekaaniset rasitukset, kuten kävely, heikentävät katetta. Katon painanteisiin jäävä vesi jäätyy ja jään lämpöliikkeet rasittavat katetta.

Loivan katon vuoto voi vaurioittaa useita vuosia vesikaton rakenteita ilman, että vuotoja havaitaan.

Kuvassa 7.9 on esitetty 1900-luvun alun rakennuksen palapellistä tehty vanha rivipeltikatto, jonka pellitys on noin 50 vuotta vanha. Yläpohjan vesitiiveys voi olla puutteellinen mm. pellin saumoissa, sisätaitejiireissä ja räystäillä.

Märkätiloissa kosteusvaurioita aiheutuu vedeneristeenä toimivien muovimattojen ja muovitapettien vanhetessa. Muovimateriaali haurastuu ja muovimaton liimaukset pottävät seinälle nostoissa ja maton saumat aukeavat johtuen materiaalin kutistumisesta. Muovitapetit ja muovimatot vedeneristeenä ovat alttiita saumausten työvirheille, mikä on lyhentänyt materiaalien käyttöikää.

Julkisivupinnoilla ongelmallisia ovat elementti- ja ikkunaliittymien elastisten saumausten verrattain lyhyet kestoiät, jotka vaihtelevat 15...25 vuoden välillä. Virheellisistä työmenetelmistä johtuen käyttöikä jää usein vieläkin lyhyemmäksi. Saumatukset ovat julkisivupinnan vesitiiviyyden kannalta oleellisen tärkeitä. Usein saumausten merkitystä ei kuitenkaan ymmärretä rakennuksen huoltokorjauksia ajoitettaessa. Vaikka elastiset saumatukset ovat ikääntyneet käyttökelvottomiksi, odotellaan myöhemmin tehtävää perusteellisempaa julkisivukorjausta sillä seurauksella, että rakenteisiin muodostuu kosteus- ja homevaurioita.

Salaojituksen käyttöikä on 50...60 vuotta. Salaojitus tulee kiinteistön huollon yhteydessä tarkastaa määräajoin. Tarkastuksen perusteella tehdään tarvittavat huoltotoimenpiteet, kuten putkistojen huuhtelu. Tarvittava huoltoväli riippuu salaojituksen toteutuksesta, täyttömaan laadusta ja siitä, kulkeutuuko sadevesi salaojaverkostoon. Edel-



Kuva 7.9. Vanha palapeltikatto, jonka vesitiiveydessä havaittiin puutteita. Kuvat: J. Sievola, Vahanen Oy.

lä mainitut tekijät vaikuttavat mm. putkistoissa kulkevan lietteen määrään ja vaihtelevat paljon eri rakennuksissa. Myös maan painuminen ja kasvien juuret voivat johtaa salaojien toiminnan heikkenemiseen. Salaojituksen tarkastuksien ja huollon laiminlyönti on yleistä. Vaikka kiinteistön huolto olisi tarkastanut salaojituksen, kuntotutkijan tulee ainakin pistokokein tarkastaa ja arvioida muutamista tarkastuskaivoista salaojituksen kunto ja toiminta.

Ikääntyvien vesijohtojen, viemäreiden ja lämmityspotkien syöpyminen aiheuttaa lukuisia kosteus- ja homevaurioita.

7.2.3

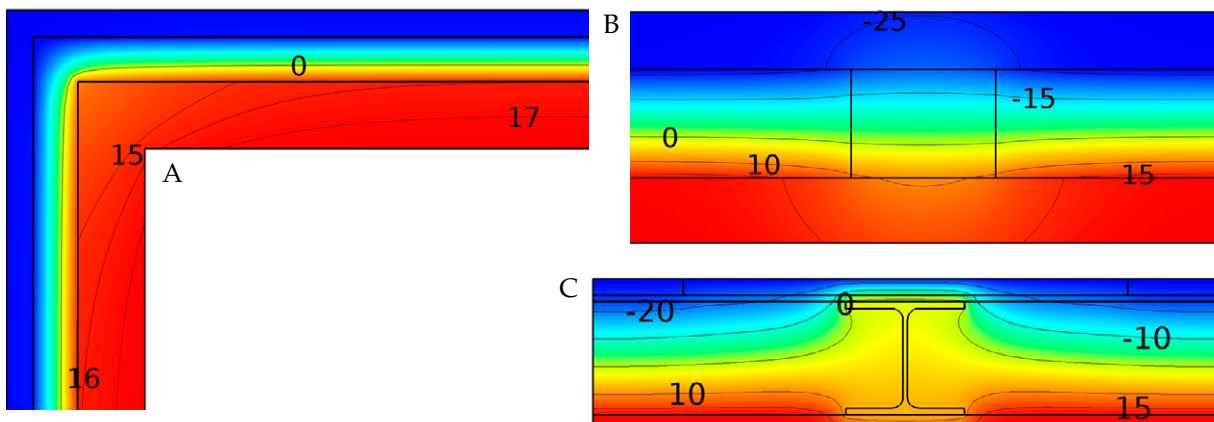
Sisäpinnat

Sisätilaan rajoittuvan pinnan kosteusrasitus riippuu sisäilman lämpötilasta, suhteellisesta kosteudesta ja pinnan lämpötilasta. Pinnalla on riski mikrobivaurion synnylle, jos sen lämpötila on niin alhainen, että ympäröivän ilman kosteuspitoisuus aiheuttaa pinnalle 80 % tai korkeamman suhteellisen kosteuden. Hyvin alhainen lämpötila ei kuitenkaan suosi mikrobikasvua, ks. luku 6. Sisäilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta vastaava homehtumisen kannalta kriittinen pintalämpötila voidaan määrittää luvun 5 kuvan 5.9 avulla, ks. esimerkki 5.1.

Sisäilman kosteuspitoisuutta voidaan arvioida ulkoilman kosteuspitoisuuden ja sisäilman kosteuslisän perusteella, ks. kappale 5.3. Sisäilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittaustulokista lasketaan sisäilman absoluuttinen kosteuspitoisuus (g/m^3). Sisäilman kosteuspitoisuudesta vähennetään ulkoilman kosteuspitoisuus, ja saatua sisäilman kosteuslisää verrataan kosteuslisän mitoitusarvoihin (mitoitusarvot, ks. RIL 107-2012). Kosteuden aiheuttaja selvitetään, jos mittaustulokset poikkeavat selvästi mitoitusarvoista.

Sisäilman kosteuspitoisuus mitataan vähintään vuorokauden kestäväenä jatkuvana mittauksena, jotta erilaiset muuttuvat tekijät eivät aiheuta mittaustulosten väärää tulkintaa. Muuttuvia tekijöitä ovat esimerkiksi suihkussa käynti, ruoan laitto, tilojen peseminen, ilmanvaihtolaitteiston eri käyttöasennot ja ihmisten lukumäärä.

Pintalämpötilaa voidaan arvioida laskennallisesti käsinlaskentamenetelmän avulla tai mittaamalla. Ulko-olosuhteet, rakennuksen painesuhteet ja rakennusvirheet vaikuttavat pintalämpötilaan, mikä vaikeuttaa mittaustulosten analysointia. Rakennusfysikaalisesti virheettömässäkin rakenteessa pintalämpötila voi olla muun pinnan lämpötilaa alhaisempi esimerkiksi nurkissa ja runkorakenteiden kohdalla. Kuvassa 7.10 on esitetty rakenteen muodon, lämmöneristeen kastumisen ja kylmäsillan vaikutus pintalämpötiloihin eräissä yksinkertaisissa esimerkkitalauksissa.



Kuvat 7.10 a, b ja c. Jatkuvuustilan lämpötilajakauma. Ulkolämpötila $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sisällä lämpötila $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a) Ulkonurkka. Betoninen 80 mm ulkokuori, 160 mm mineraalivilla ja 150 mm betoninen sisäkuori. b) vastaava rakenne kuin a-kohdassa mutta rakenteen keskellä on märkä mineraalivilla. c) Puurakenteinen mineraalivillaeristetty ulkoseinä, jossa on yläpohjaa kannatteleva ulkoseinän sisään asennettu teräsprofiili. Kuvat: J. Saarinen, Vahanan Oy.



Kuva 7.11. Märkätilan tuuletuksen kannalta epäedullisesti sijoitettu poistoilmaventtiili. Kuva: P. Jäppinen, Vahanen Oy.

Sisäilman liian korkea kosteuspitoisuus voi johtua puutteellisesta ilmanvaihdosta ja tulo- ja poistoilmaventtiileiden väärästä sijoittelusta huone-tiloissa. Kuvassa 7.11 on esimerkki märkätilan tuuletuksen kannalta epäedullisesti sijoitetusta poistoilmaventtiilistä. Märkätilassa poistoilmaventtiilin sijoittaminen heti oven yläpuolelle edesauttaa homeongelman syntymistä. Oviraon kautta tuleva ilma nousee suoraan poistoilmaventtiiliin, ja suihkunurkkaus ei tuuletu riittävästi.

Märkätilojen vääränlainen käyttö voi myös johtaa korkeisiin kosteuspitoisuuksiin. Märkätiloissa tulee tehostaa tilan ilmanvaihtoa käytön jälkeen, mikäli ilmanvaihto on suunniteltu tällä tarkoituksella.

Ilmanvaihtojärjestelmän tehtävä on poistaa kosteutta huone-tiloista. Jäteilmasta kosteutta palauttava ilmanvaihtojärjestelmä saattaa nostaa huoneilman kosteuden haitalliselle tasolle, mikäli tilojen kosteustuotto on poikkeuksellisen suuri. Erityisesti pienissä asunnoissa, joissa märkätilojen poistoilman kosteutta palautetaan liiallisesti huone-tiloihin, voi pinnoille syntyä homekasvua. Myös riski rakenteiden sisäiselle kondenssille ja sen aiheuttamille vaurioille kasvaa.

Märkätiloissa käytön aikana tapahtuva nopea ilman lämpötilan ja kosteuden nousu aiheuttavat seinäpinnoille kosteuden tiivistymistä filmi- ja pisarakondenssina. Lämpötilan voimakas nousu esimerkiksi saunomisen vaikutuksesta ja rakenteiden massiivisuus lisäävät kondensoituvan veden määrää. Jos märkätiloissa pinnat eivät ole kondenssiveden kestäviä, siitä aiheutuu homehtumisriski.

Roiskevesi, näkyvissä olevien putkien vuoto ja putkien pinnalle kondensoituva vesi vaurioittavat



Kuva 7.12. Vuotavan vesiputken aiheuttama kosteusvaurio lattiasa ja jalkalistassa. Kuva: E. Kauriinvaaha, Vahanen Oy.

pintoja, jotka ovat jatkuvasti tai toistuvasti tippuvan tai roiskuvan veden alueella. Vauriot ilmenevät pintamateriaalien tummumisena, irtoamisena ja valumajälkinä. Vesi voi vaurioittaa vuotokohdan alapuolella olevaa lattia-päällystettä tai tunkeutua saumakohdista päällysteen alle, josta kosteus ei pääse kuivumaan.

Kuvassa 7.12 on esimerkki vuotavan vesiputken aiheuttamasta vauriosta lattiasa ja jalkalistassa. Muovimatto on irronnut ja jalkalistan maali hilseillyt.

Sisäpintojen vauriot voivat johtua rakenteessa piilossa olevasta kosteusrasituksesta, joten pintavaurioita voidaan käyttää havaitsemaan rakenteessa syvemmillä olevia vaurioita.

7.2.4

Ulkoseinät

A. Ulkoseinien lämpö- ja kosteustekninen toiminta

Ulkoseinät (kuva 7.7 rakenne 4) pyrkivät toisaalta tasapainoon sisäilman kosteuden kanssa ja toisaalta ulkoilman kosteuden kanssa. Ulkoseinät toteutetaan yleensä siten, että seinien sisäpinta on vesihöyryntiiviimpi kuin ulkopinta. Usein tämä tarkoittaa erillisen höyrynsulun käyttämistä lämmöneristeen sisäpinnassa tai sisäosassa. Höyrynsulun avulla rajoitetaan diffuusiolla siirtyvän vesihöyryn siirtymisnopeutta rakenteeseen, sillä sisäilmassa on yleensä ulkoilmaa enemmän vesihöyryä. Höyrynsulun merkitys sisäilman kosteudenhallinnassa korostuu tiloissa, joissa sisäilman vesihöyrypitoisuus on normaalia korkeampi, kuten esimerkiksi suurkeittiöissä, paperitehtaissa ja

uimahallien allastiloissa. Jos höyrynsulku on puutteellinen, voi vesihöyry tiivistyä rakenteen ulko-osissa. Vanhoissa seinärakenteissa ei välttämättä ole käytetty erillistä höyrynsulkua, mutta rakenteet voivat tästä huolimatta olla toimivia.

Rakenteen sisäpinnan vesihöyrytiiveyttäkin tärkeämpää on sisäpinnan ilmatiiveys. Hallitsemattomat ilmavirtaukset kuljettavat vesihöyryä rakenteeseen, missä se voi pahimmillaan tiivistyä vedeksi. Ilmavuodot voivat lisäksi siirtää epäpuhtauksia seinärakenteista sisäilmaan. Höyrynsulun hyvä ilmatiiveys edellyttää limitusten, liittymien ja läpivientien huolellista suunnittelua ja toteutusta. Höyrynsulun toteutusperiaatteet vaihtelevat rakennetyyppien mukaan. Rakennusten ilmanvaihto suunnitellaan yleensä hieman alipaineiseksi, jotta sisäilman kosteus ei kulkeutuisi vaipparakenteisiin. Rakennuksen sisätilojen alipaineisuus edellyttää höyrynsulun/ilmansulun ilmatiiveyttä.

Ulkoseinän lämmöneriste vähentää lämpöhäviötä sisäilmasta ulos. Lämmöneristykseen vuoksi rakenteen yli vaikuttaa lämpötilaero. Ulkoseinien ulko-osat ovat erityisesti kylmänä vuodenaikana sisäilmaa viileämpiä, jolloin rakenteen ulko-osassa materiaalien huokosilman suhteellinen kosteus nousee. Suhteellisen kosteuden ei tulisi olla korkealla tasolla pitkiä ajanjaksoja rakenteen ulko-osissa. Korkeasta suhteellisesta kosteudesta ei yleensä ole haittaa, jos rakenteen lämpötila on pakkasen puolella.

Kaikilla ulkoseinillä tulisi olla riittävä kuivumiskyky. Vanhoissa seinärakenteissa kuivumiskyky on usein merkittävästi huonompi kuin nykyaikaisissa seinärakenteissa. Vanhoissa rankarunkoisissa ulkoseinissä ei ole nykyaikaista seinän ulko-osan tuuletusväliä. Tällöin rakenne pystyy kuitenkin kuivumaan riittävästi materiaalien hygroskooppisuuden ja esimerkiksi seinän ulko-osan laudoit-



Kuva 7.13. Esimerkki pitkästä räystäästä, joka vähentää seinään kohdistuvaa saderasitusta merkittävästi. Kuva: K. Viljanen, Vahanen Oy.

tuksen rakojen ansiosta. Lisäksi seinien matalampi lämmöneristystaso johtaa suurempaan lämpövirtaan, joka kuivattaa rakennetta. Seinien kuivumiskyvyn tarve on aina suhteessa seinään kohdistuviin kosteusrasituksiin.

Seinärakenteiden tulisi olla myrskysateenpitäviä. Sadevesi voi lisätä rakenteen kosteuspitoisuutta imeytymällä julkisivun pintaan kapillaarisesti tai valumalla/konvektoitumalla epätiiveyskohdista rakenteen sisään. Ulkoseinien tulee toimia sadetakkiperiaatteella, eli julkisivulle kohdistunut sadevesi valuu hallitusti pois rakenteen pinnalta. Rakennuksen ikkuna- ja oviliittymät sekä räystäärakenne (kuva 7.13) vaikuttavat osaltaan ulkoseinän sisään tunkeutuvan saderasituksen suuruuteen.

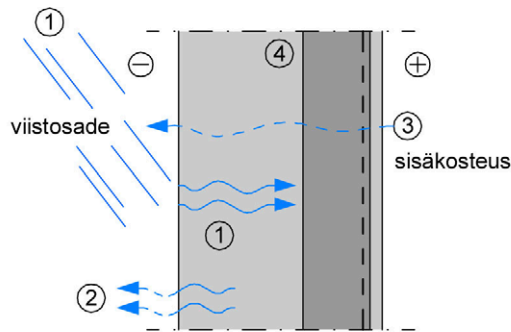
Massiiviset eli yksiaineiset ulkoseinärakenteet

Massiivisia ulkoseinärakenteita ovat esimerkiksi massiiviset tiiliseinät, kevytsora- ja kaasubetoniharkkoseinät, betoniseinät sekä hirsirakenteiset ulkoseinät. Massiivisille ulkoseinärakenteille on tyypillistä suuri kosteudensitomiskyky. Ulkoseinärakenteessa voi olla sitoutuneena runsaasti rakennuskosteutta, joka poistuu hitaasti. Viistosade voi imeytyä syvällekin seinärakenteeseen ja sateen loputtua rakenteeseen imeytynyt vesi haihtuu ennen rakenteen vaurioitumista pois. Siksi syvältä rakenteesta mitattavat korkeat kosteuspitoisuudet eivät välttämättä ole merkki kosteusvauriosta.

Massiivisissa ulkoseinärakenteissa käytettävät pinnoitemateriaalit tulee valita siten, että kosteus pääsee poistumaan rakenteesta haihtumalla pinnoitteen läpi. Massiivisen ulkoseinän kuivuminen riippuu voimakkaimmin tuulen aiheuttaman ilmavirtauksen nopeudesta ja auringonsäteilyn voimakkuudesta ulkopinnalla. Massiivisen ulkoseinän kosteustekninen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 7.14.

Massiivisten ulkoseinärakenteiden sisäpintaan asennettu lisälämmöneristys alentaa ulkoseinärakenteen lämpötilaa ja altistaa esimerkiksi tiilimuurauksen pakkasvaurioille, koska kylmempi rakenne kuivuu hitaammin ja kuivuminen saattaa jopa loppua kokonaan. Jos sisäpuolinen lämmöneriste on hyvin paksu, lisää tämä rakenteen kosteusvaurioitumisen todennäköisyyttä pitkällä aikavälillä. Riittävän ohut sisäpuolinen lämmöneristys voi olla toimiva, jos rakennuksen käyttö tuottaa vähän kosteutta sisäilmaan.

Mahdollisia syitä massiivisten ulkoseinärakenteiden korkeisiin kosteuspitoisuuksiin ovat mm.



- 1 Viistosade imeytyy kapillaarisesti rakenteeseen
- 2 Sateen loputtua rakenteeseen imeytynyt vesi haihtuu pois rakenteesta
- 3 Sisältä diffuusiolla siirtyvä kosteus läpäisee rakenteen tiivistymättä rakenteeseen
- 4 Jos massiivinen rakenne koostuu useammasta kerroksesta, on rakennekerrosten vesihöyrynvastusten pienennytävä ulospäin, jolloin kosteus siirtyy pois rakenteesta vaurioita aiheuttamatta

Kuva 7.14. Massiivisten ulkoseinien kosteustekninen toiminta.

rakenteen ulkopinnan kapillaarinen vedenimu tai halkeamat, rakennusaikainen kosteus, ulkoseinän liitoskohtiin tai vesikattovuotoihin liittyvät vesivahingot, toimimaton sisäpuolinen lisälämmöneristys, rakenteen sisäiset putkivuodot tai maaperän kosteusrasitus, joka voi aiheutua salaoituspuutteista tai puutteista seinän ulkopuolisessa vedeneristyksessä. Massiivitiiliseinissä voi olla sisällä ilmaonkaloita, joissa sade- tai vuotovesi pääsee etenemään rakenteessa syvemmälle.

Kapillaarisesti vettä imevien massiiviseinien ulkopintojen tavanomainen kosteustaso vaihtelee kuivasta aina kapillaariselle kosteusalueelle. Seinän sisäosissa kosteustaso on tavanomaisesti hygroskooppisella alueella alle 75 % suhteellisessa kosteudessa.

Tiili-villa-tiili- ja tiili-villa-betoniulkoseinät

Varsinkin 1960-luvulla ulkoseinissä on käytetty runsaasti rakennetyyppejä, jossa on kantavana rakenteena muurattu tai betoninen sisäkuori ja tämän ulkopuolella mineraalivillalämmöneristys ja puhtaaksi muurattu ulkokuori. Rakenne on yleinen mm. koulurakennuksissa. Rakennetyyppejä toteutettiin pitkään ilman erillistä tiiliulkokuoren takana olevaa tuuletusväliä, joka alkoi yleistyä vasta 1980-luvulla. Tiiliulkokuoren tuuletusvälin tehtävänä on tuuletuksen lisäksi ohjata ulkokuoren vuotovedet rakennuksen ulkopuolelle.

Tuuletusvälin puuttuessa muuratun ulkokuoren saumoista ja ikkunaliittymistä pääsee viistosateella vettä lämmöneristeisiin. Puuttuvan tuuletusvälin takia rakenteen kuivumiskyky on erittäin heikko, mikä on johtanut yleisesti lämmöneristeiden, ikkunarakenteiden ja ikkunoiden apukarmien kosteusvaurioihin. Kosteuden vaikutus ilmenee mikrobikasvuna mineraalivilloissa sekä mikrobi- ja lahovaurioina ikkunoissa ja näiden apukarmien puurakenteissa.

Rakennetyypin erityispiirteisiin kuuluu lisäksi sisäkuoren huono ilmatiiveys. Ilmatiiveyspuutteet esiintyvät varsinkin ikkuna- ja oviliittymissä. Kantava sisäkuori voi olla myös puhtaaksi muurattu rappaamaton seinä, jolloin ilmavuotoja esiintyy myös tiilisaumoissa. Seinärakenteen sisällä olevat kosteusvauriot yhdistettynä rakennetyypin sisäkuoren huonoon ilmatiiveyteen ovat usein johtaneet siihen, että rakennetyyppi on aiheuttanut sisäilmaongelmia.

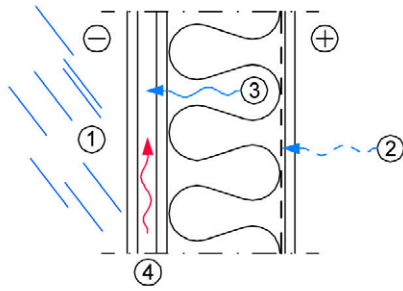
Kerroksellisissa seinissä rakenteen tavanomainen kosteustaso on hygroskooppisella kosteusalueella. Poikkeuksena tästä voidaan pitää rakenteen ulkopintaa, kuten tiilijulkisivua, betonijulkisivua, puuverhoiltua rakennetta yms., jossa ulkopinnan materiaalit kestävät kapillaarialueen kosteuksia. Rakenteen ulko-osissa voi olla ajoittain korkeita suhteellisia kosteuksia 80–100%. Tämä kosteus ei saa siirtyä rakenteessa haitallisesti sisäänpäin, vaan sen tulee kuivua julkisivusta ja tuuletusvälistä ulkoilmaan. Toisaalta rakenteen pitkäaikaiskestävyyden kannalta ulkopinnan materiaalienkin tulisi pysyä mahdollisimman kuivina.

Rankarakenteiset ulkoseinärakenteet

Tuuletetun, kerroksellisen, rankarakenteisen ulkoseinän kosteustekninen toiminta on esitetty kuvassa 7.15. Tällainen rakenne on esimerkiksi puurunkoinen ulkoseinä.

Kerroksellisissa ulkoseinärakenteissa julkisivun tehtävänä on estää viistosateen pääsy rakenteen sisälle. Julkisivun ja siihen liittyvien rakenneosien, kuten ikkunoiden ja ovien liitoskohtien tulisi olla vedenpitäviä. Ikkunoiden ja ovien kohdilla julkisivun taakse pääseen veden tulisi ohjautua rakenteesta ulos. Tämä ominaisuus tulisi olla myös seinärakenteen muissa yksityiskohdissa.

Ulkoseinän rakennekerrosten vesihöyrynvastusten pieneminen ulkopintaa kohden mahdollistaa rakenteen kuivumisen diffuusiolla. Lämmöneristeen



- 1 Tiivis julkisivu estää viistosateen pääsyn rakenteeseen
- 2 Lämmöneristeen lämpimällä puolella oleva vesihöyry- ja ilmatiivis kerros estää sisäilman kosteuden siirtymisen diffuusiolla ja konvektiolla rakenteen kylmiin osiin
- 3 Rakennekerrosten vesihöyrynsäilykset pienenevät seinän ulkopintaa kohti, jolloin rakenteesta oleva kosteus siirtyy diffuusiolla pois rakenteesta
- 4 Tuuletusväliin joutunut kosteus tuulettuu ja vesi ohjataan rakenteesta pois

Kuva 7.15. Kerroksellisen, rankarakenteisen ulkoseinän kosteustekninen toiminta.

lämpimämmällä puolella oleva vesihöyry- ja ilmatiivis kerros estää sisätilojen kosteuden siirtymisen diffuusiolla ja konvektiolla ulkoseinärakenteen sisälle ja ulkoseinärakenteen kylmiin osiin. Lisäksi vesihöyry- ja ilmatiivis kerros estää ilmavirtaukset rakenteiden läpi huonetilojen suuntaan silloin, kun huonetilat ovat alipaineiset ulkoilmaan nähden.

Rakenteen sisäpuolisen ilmatiiviin kerroksen toimivuudessa on oleellista kerroksen liittyminen lattiaan, yläpohjaan, oviaukkoihin ja ikkunoihin. Lisäksi esimerkiksi muovikalvojen jatkoksien (limitys, teippaus) toteutus voi vaikuttaa höyrynsulun ilmatiivyyteen merkittävästi. Läpivientikohdissa voi olla ilmavuotoa, jos ei ole käytetty läpivientikappaleita.

Tuuletetun kerroksellisen seinän ulko-osassa käytetään tuulensuojakerrosta. Tuulensuojan tulee estää ulkoilman pääsy lämmöneristekerrokseen. Hallitsemattomat ilmavirtaukset lämmöneristekerroksessa voivat viilentää seinärakennetta, mikä voi johtaa vesihöyryn tiivistymiseen höyrynsulun tai seinän sisäpinnalle. Rakenteeseen ulkopuolelta kohdistuva ilmanpaine saattaa aiheuttaa hallitsemattomia ilmavirtauksia seinärakenteen läpi ulkoilmasta sisäilmaan.

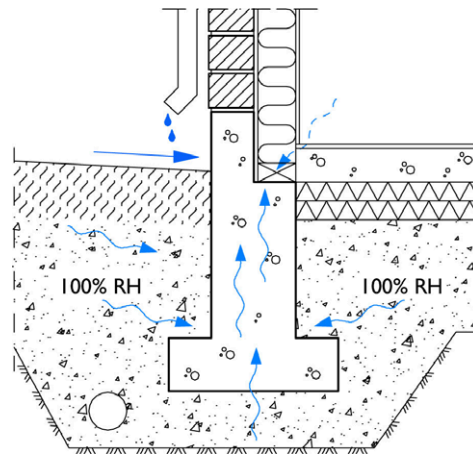
Tuuletusvälin (kuva 7.15 kohta 4) tarkoitus on poistaa tuuletusväliin joutunut vesi ja vesihöyry. Rakenteeseen sisäilmasta siirtyvä kosteus poistuu vesihöyrynä tuuletusväliin virtaavan ilman mukana. Kun tuuletusväli toimii, ei rakenteeseen yleensä tiivisty merkittäviä määriä diffuusiokosteutta. Tuuletusvälin tarkoituksena on poistaa myös

ulkoseinärakenteesta rakennusaikaista kosteutta. Tuuletusväli toimii lisäksi ulkoseinärakenteesta sadeveden kapillaarikatkona ja johdattaa ulkopinnan läpi pääseen veden ulos rakenteesta.

Tuuletusväliin on oltava kokonaisilmanpaine-ero, jotta ilma liikkuu välissä. Ulkoseinän tuuletusväliin paine-ero syntyy lämpötilaerojen ja tuulen vaikutuksesta. Tuuletusvälin on oltava riittävän leveä, jotta ilman virtaus välissä on mahdollinen. Tuuletusvälin oikean leveyden lisäksi on oleellista, että tuuletusväli on koko matkaltaan avoin ilmavirtausreitti ja että tuuletusvälin ylä- ja alareunat ovat suorassa yhteydessä ulkoilmaan.

Tuuletusvälin puuttuminen hidastaa ulkoseinän lämmöneristetilan kuivumista. Normaalit työtoleranssit johtavat joskus paikallisesti riittämättömään tuuletusväliin ja joskus reilun välin tekee toimimattomaksi paikallisesti syystä tai toisesta kuristunut tuuletusrako.

Alaohjauspuihin (alajuoksuihin) kohdistuu usein sekä maaperän kosteusrasitus että mahdollisten ulkoseinärakenteen vedenpitävyyspuutteiden aiheuttama kosteusrasitus. Kuvassa 7.16 on esitetty ns. valesokkelirakenne, jossa alaohjauspuu sijaitsee sokkelipinnan alapuolella. Valesokkelissa alaohjauspuun kuivumiskyky on heikko, koska puun ulkopuolella on betonisokkeli ja mahdollisesti kosteuseristyskerros, esim. bitumisively. Nykyisin ulkoseinärakenteet ohjeistetaan toteuttamaan siten, että alaohjauspuu sijaitsee maanpinnan yläpuolella eikä perusmuurin ulkopinta nouse alaohjauspuun eteen, jolloin rakenteen kuivumiskyky on parempi.



Kuva 7.16. Hitaasti kuivuva valesokkelirakenne voi vaurioitua sekä tiilijulkisivun läpi että alapuolelta maaperästä kapillaarisesti nousevan veden vaikutuksesta. Myös sisäilman kosteuden tiivistyminen valesokkelin sisäpintaan on mahdollista, mikäli höyrynsulku on puutteellinen.

Puurunkoisen ulkoseinärakenteen julkisivuverhouksena voi olla esimerkiksi taustaltaan tuuletettu tiili- tai lautaverhous.

Vanhoissa rakennuksissa julkisivuverhouksen tausta voi olla myös tuulettumaton.

Puurunkoisten ulkoseinärakenteiden sisäkuorena on yleisimmin levyrakenne, jonka takana on höyrynsulkumuovi. Höyrynsulun ilmatiivisyys on tyypillisesti parempi, mikäli höyrynsulku on asennettu hieman lämmöneristyskerroksen sisään, kuin jos höyrynsulku on heti sisäverhouslevyn takana. Tällöin on pienempi riski, että esimerkiksi sähköasennukset ovat lävistäneet höyrynsulun. Höyrynsulun tulee kuitenkin olla selvästi rakenteen lämpimällä puolella, siten että lämmöneristekerrosten paksuuksien suhde höyrynsulun eri puolilla on korkeintaan 1:3. Esimerkiksi siten että höyrynsulun sisäpuolella on 50 mm ja ulkopuolella on 150 mm mineraalivillaa. Mikäli höyrynsulku on rakenteen viileässä ulko-osassa, voi sisäilman kosteus tiivistyä sen sisäpintaan kylmänä vuodenaikana.

Puurungon ulkopuolinen lämmöneristekerros nostaa puurungon lämpötilaa ja alentaa näin rungon ympärillä vallitsevaa suhteellista kosteutta. Mitä enemmän rungon ulkopuolella on lämmöneristettä, sitä parempi tilanne on mikrobikasvun ehkäisemisen kannalta.

Tiiliverhotun puurunkoseinän alaosassa käytetään nykyään vedenohjainta, joka ohjaa tiilikuoren taakse päässeän veden ulos rakenteesta. Vedenohjain on yleisimmin bitumikermiä.

Puurunkoisissa seinissä seinän julkisivun ja tuuletusvälin takana olevien rakennekerrosten tavan-

omaisena kosteustasona voidaan pitää 75 % RH kosteutta. Mikrobivaurioiden välttämiseksi suhteellisen kosteuden ei tulisi nousta haitallisen pitkiä ajoiksi yli tämän arvon lämpötilan ollessa yli 0 °C. Kuitenkin kosteudenkestävillä tuulensuojilla suhteellinen kosteus voi olla tuulensuojan kohdalla tätäkin korkeampi.

Ulkoseinän tiiliverhouksen erityispiirteet

Tiiliverhoukselle on tyypillistä, että se kastuu ja läpäisee sateella vettä, mikä on rakenteelle tavanomaista eikä aiheuta haittaa, kun kosteus pääsee poistumaan rakenteesta hallitusti.

Tiiliverhoiltu rakenne tuulettuu oikein toimissaan ulkoilmaan tiilikuoren alaosan avointen pystysaumojen, tuuletusvälin ja seinän yläosan kautta. Tiilikuorimuureille on tavanomaista, että seinän alaosassa olevat laastipurseet saattavat tukkia avoimiksi tarkoitettuja pystysaumat (kuva 7.17). Tukkeutuneet pystysaumat estävät kosteuden poistumisen rakenteesta suunnitellusti. Lisäksi lämmöneristeessä kiinni olevat laastipurseet siirtävät tiiliverhouksen kosteutta lämmöneristeeseen. Jos pystysaumat sijaitsevat toiseksi alimalla tiilirivillä, pystysaumojen tukkeutumisen riski laastipurseista on pienempi.

Tiiliverhouksen taustapinnalla valuva vesi tulee johtaa rakenteesta ulos hallitusti. Tämä edellyttää mm. muuraussiteiden kallistusta alaspäin. Puurunkoisten seinien toimivuuden kannalta on tärkeintä, että julkisivun taakse ei pääse haitallisen paljon kosteutta (kuva 7.18).



Kuva 7.17. Laastipurseet tukkivat tiiliverhoillun rankarakenteisen ulkoseinän tuuletusvälin. Kuva: Kosteus- ja hometalkoot, 2012.



Kuva 7.18. Lumen kasaaminen seinustalle on kastellut tiiliverhoillun, puurunkoisen ulkoseinän alaosan. Kuva: M. Pitkäranta, Vahanen Oy.

Betoniulkokuorella toteutetut betonirakenteiset sekä metallipintaiset elementtiulkoseinät

Betonirakenteiset ulkoseinät (sandwich-elementtiseinät, kuorielementtiseinät) muodostuvat betonikuorista, joiden välissä on lämmöneristekerros. Seinärakenteet yleistyivät Suomessa 1960-luvulla elementtirakentamisen myötä. Nykyään käytössä on myös pelti-villa-pelti-tyyppisiä sandwich-elementtejä, joissa lämmöneriste voi olla solumuovia tai mineraalivillaa.

Sandwich-elementtiseinän pitkäaikaiskestävyyden kannalta on oleellista, että elementtisaumaus on toteutettu vesitiiviisti, jolloin ulkokuoren taakse ei pääse sadevettä. Betonielementeissä saumaus on yleensä tehty pohjanauhan päälle säänkestävällä saumausmassalla. Usein näiden saumauksien huoltokorjaukset on laiminlyöty. Saumaukset ovat voineet vanhemmiten irrota tartuntapinnasta tai vaurioitua halkeilemalla (kuva 7.19). Betonielementtejä on tehty tuulettamattomina sekä tuuletettuina, ns. uravillaratkaisuina. Elementtisaumoissa käytetään tuuletusputkia tai -koteloita.

Tyypillisesti esimerkiksi teollisuushalleissa ja IV-konehuoneissa käytettyjen pelti-villa-pelti-tyyppisten ns. kevytsandwich-elementtien kosteustekninen toiminta perustuu elementin sisä- ja ulkokuoren vesi- ja vesihöyryntiiveyteen. Elementtien välinen saumaus toteutetaan esim. butyyლისau-manauhalla, jonka päälle asennetaan saumalista. Käytännössä peltielementtiseinien vesitiiveydessä on havaittu puutteita erityisesti läpivientien ja muiden aukkojen kohdalla. Elementtien sileä ulkopinta nostaa tuulisella säällä viistosadetta

herkästi ylöspäin, minkä vuoksi rakenteissa tulee olla asianmukaiset vastapellitykset tai vastaavat vedenohjausratkaisut. Peltielementtien lämpölaajenemisen muodonmuutokset ovat kesäisin suuria, jolloin saumojen vesitiiveys voi heikentyä. Muodonmuutokset voivat aiheuttaa seiiniin myös taipumia, jos elementtien liikettä ei ole sallittu.

Pelti-villa-pelti-seinäelementtien ja yläpohjan liitoksessa yläpohjan ilman-/höyrynsulun liitos ulkoseinään on vaikea toteuttaa ilmatiiviisti johtuen rakenteiden liikkeistä. Kuntotutkimuksessa voidaan tarkastella em. liitosta esimerkiksi jos kattorakenteeseen epäillään tapahtuneen kosteuskonvektiota.

Lämmöneristeen kosteuspitäisyyden ei tulisi olla kapillaarialueella. Suhteellinen kosteus voi kuitenkin olla seinässä hetkellisesti korkea, esimerkiksi aivan elementin ulkopinnan takana, kun ulkopinta viilenee yöllä.

Levyjulkisivut

Levyjulkisivun verhoukset voivat olla kiviaines-pohjaisia, puuaines-pohjaisia tai metallisia (kuva 7.20). Levytetyissä julkisivuissa on varmistettava, että sadevesi ei tunkeudu haittaa aiheuttavasti levyn taakse muuhun rakenteeseen, vaan kulkeutuu levyn takaa ulos rakenteesta. Levyjen saumoissa voidaan käyttää esim. EPDM-kumikaistoja tai butyyliteippiä. Lisäksi veden ulosjohtamisessa voidaan käyttää teräs- tai muovilistoja. Rapatuissa levyjulkisivuissa sadevesitiiveys on parempi kuin avosaumaisissa levyjulkisivuissa. Levyjulkisivuissa levyn takana tulisi olla tuuletusväli.



Kuva 7.19 Vasemman puoleisessa kuvassa saumat ovat tiiviitä ja elementtien alarunkissa on vedenpoistoputket. Oikeanpuoleisen kuvan sauma on epätiivis. Kuvat: M. Pitkäranta ja K. Laine, Vahanen Oy.

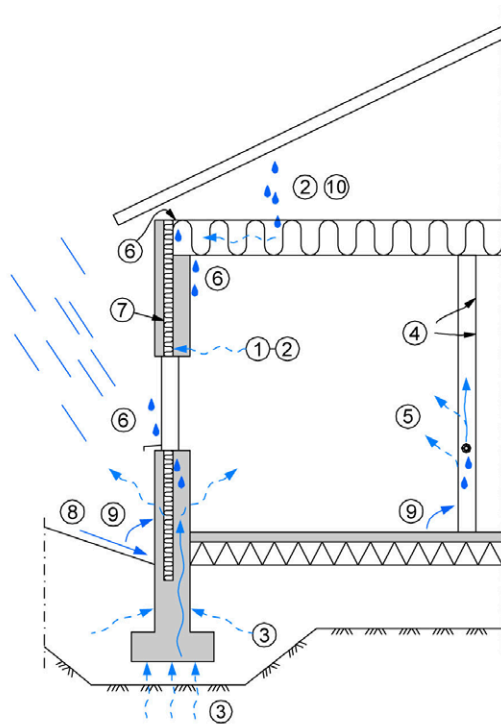


Kuva 7.20. Kuitusementti- ja peltilevyillä toteutetut julkisivut. Kuvat: K. Viljanen, Vahanen Oy.

Joissakin tapauksissa levyjulkisivuissa käytetään kahta erillistä levykerrosta, jolloin sateen rakenteeseen tunkeutumisen estämiseksi saadaan lisävarmuutta. Kahden levykerroksen ratkaisuja voidaan tarvita mm. korkeissa rannikolla olevissa rakennuksissa.

B. Ulkoseinien vaurioitumisriskin arviointi

Seinien yleisiä vaurioitumistapoja on esitetty kuvassa 7.21.



- 1 Sisäilman kosteuden diffuusio rakenteen kylmiin osiin
- 2 Kosteuskonvektio sisältä kylmiin tiloihin, kun rakennus on ylipaineinen kylmiin tiloihin verrattuna
- 3 Kapillaarinen veden nousu maasta seiniin
- 4 Kosteiden tilojen vedeneristykseen puutteet
- 5 Rakenteen sisällä oleva putkivuoto
- 6 Ulkoseinään tai sen läpi tunkeutuva vesisade
- 7 Tuuletusraon tukkeutuminen
- 8 Sadeveden ja lumen sulamisvesien valuminen rakennukseen päin sekä puutteellinen sadeveden poistojärjestelmä
- 9 Roiskevesi
- 10 Katon vesivuotojen tunkeutuminen ulkoseinä- rakenteisiin

Kuva 7.21. Seinien kosteusvaurioiden aiheuttajat.

Massiiviset seinärakenteet

Massiivisten seinärakenteiden kuntotutkimuksessa seinän kosteusilannetta voidaan arvioida pintakosteusilmmaisimella, jonka tulosten perusteella tehdään tarkemmat kosteusmittaukset esimerkiksi porareikämittauksella. Massiivisten rakenteiden

kohonneesta kosteustasosta kertoo usein tasoite- ja maalipinnan kupruilu ja irtoaminen alustastaan, mitä voidaan myös hyödyntää mittausten kohdistamisessa. Porareikämittauksissa kohonneena suhteellisena kosteutena rakenteen sisäpinnasta mitattuna voidaan pitää välillä 80–100 % olevia suhteellisen kosteuden arvoja.

Massiivisten seinien vaurioitumisen arvioinnissa on huomioitava, että kivipohjaiset ja tiilirakenteiset seinät ovat yleensä hyvin kosteutta kestäviä. Vanhemmissa rakenteissa on kuitenkin käytetty rappaus- ja tasoitteita, jotka sisältävät usein orgaanista materiaalia (esim. luujauhoa). Tällaiset tasoitteet voivat helpommin vaurioitua liiallisesta kosteudesta.

Myös seinät ja tasoitteet, joissa ei ole orgaanista materiaalia, voivat vaurioitua korkeasta kosteudesta. Tasoitteen pinnalle kertyvä pöly on tällöin riittävä ravinto mikrobikasvun mahdollistamiseksi. Esimerkiksi puhtaaksi muurattu tiiliseinä voi vaurioitua näin. Tällöin kosteuskuormien selvittäminen on oleellista.

Tutkimuksissa on huomioitava, että massiivisissa rakenteissa mahdolliset vesivalumareitit ovat lähinnä rakenteen pinnoilla.

Tiili-villa-tiili- ja tiili-villa-betoniulkoseinät

Tiili-villa-tiili- ja tiili-villa-betoniulkoseinien kuntotutkimuksissa päähuomio kohdistetaan ulkokuoren kosteustekniseen toimintaan ja toisaalta sisäkuoren ilmatiiveyteen. Ulkokuoren osalta tutkitaan aistivaraisten havainnoin erilaisten liittymien kuten ikkuna- ja oviliittymien vesitiiveys. Tyypillisiä vuotopaikkoja löytyy ikkunapellitusten karmiliittymistä sekä piilien liittymistä ulkokuoren tiilimuuraukseen. Yleinen vuotokohta on myös ikkunan pystypielien liitos tiiliulkokuoreen.

Ulkokuoren vesitiiviyyden rinnalla arvioidaan mahdollisten vuotovesien haittavaikutus ulkoseinän rakenteille. Jos rakenteessa on toimiva tuuletusväli, joka toimii myös tehokkaana vuotovesien ulosohjaajana, voi rakenne säilyä vaurioitumatta ulkokuoren vuodoista huolimatta. Kuntotutkimuksessa selvitetään tuuletusvälin olemassaolo sekä ulkoilmasta tuuletusväliin yhteydessä olevat tuuletusraot seinän ala- ja yläosasta. Lisäksi selvitetään onko rakenteen sisällä seinän sokkeliliittymässä ja ikkunoiden ja ovien päällä vuotovesien hallittu ulosohjaus. Tutkimuksessa hyödynnetään olemassa olevia suunnitelmia ja tarvittaessa tehdään rakenneavauksia.

Joissakin vanhoissa tiiliverhotuissa rakenteissa on käytetty leukapalkkirakennetta ikkunoiden yläpuolella. Vesivuototapauksissa vesi voi jäädä leukapalkin päälle ja nostaa rakenteen kosteuspi-toisuutta paikallisesti.

Ulkoseinän lämmöneristeestä voidaan tutkia myös mahdollisen mikrobivaurion olemassaolo. Vaurioituneisuus voidaan todeta joissakin tapauksissa jo aistivaraudessa tutkimuksessa (eristetilan selvä homeen- tai maakellarin haju), mutta tyypillisesti lämmöneristenäytteiden laboratorioanalyysi on tarpeen. Näytteitä otetaan pahimmista riskikohdista ja riittävällä otoksella muista kohdista.

Seinän sisällä olevien mikrobi- ja muiden epäpuh-tauksien kulkeutumiskiä sisäilmaan arvioidaan ulkoseinärakenteen sisäkuoren ilmatiiviyttä tutki-malla. Ilmatiiviyys tutkitaan merkkisavulla tai merkkiainekokeella. Savulla saadaan selville merkittävät vuotokohdat mm. ikkunaliittymistä. Merkkiaine-kokeessa merkkiainetta lasketaan ulkoseinän läm-möneristetilaan, jolloin merkkiainelaitteella voidaan paikallistaa myös pienemmät vuotoreitit.

Rankarakenteiset seinärakenteet

Rankarakenteisten seinien kuntotutkimukses-sa tulee arvioida mm. julkisivun vesitiiveyttä ja tuulettavuutta, seinän sisäpinnan ilmatiiveyttä ja materiaalien kuntoa. Seinään tehtävällä rakenne-avauksella voidaan tarkastaa materiaalien kunto ja kosteuspi-toisuus, tuuletusvälin toimivuus sekä arvioida mm. rakenteen ilmatiiveyttä.

Puurunkoisissa ulkoseinissä suurin vaurioriski liittyy alaohjauspuuhun ja ulkoseinän ulko-osan tuuletuspuutteisiin. Alaohjauspuu ei kuitenkaan vaurioidu ilman merkittävää kosteusrasitusta. Täl-lainen voi olla maan kosteus ja sadeveden pääsy sokkeliin. Sisäilmasta saattaa kulkeutua vesihöy-ryä myös diffuusiolla alajuoksuun. Alaohjauspuu voi kestää pientä kosteusrasitusta kuivumalla ylös-päin, sisäilmaan tai ulkoilmaan. Seinän rakenne-avauksella voidaan todentaa alaohjauspuun kunto aistinvaraisesti arvioimalla sekä tarkastella puun kosteustasoa. Alaohjauspuun kunnan arvioimisek-si on yleensä perusteltua sahata irti näytekappale.

Rakenteen kosteusmittauksissa voidaan käyttää puu- ja levymateriaaleissa piikkimittaria ja läm-möneristeessä lämpö- ja kosteusantureita, joiden luotettavuutta arvioitaessa tulee huomioida mit-tavirhetekijät. Hetkellisessä mittauksessa läm-möneristekerrokseen asennetaan mittapää, mut-

ta tällöin on vältettävä työntämästä mittapäästä lämmöneristeen keskelle tai läpi. Mittaus voidaan tehdä vain lämmöneristeen sisä- tai ulkopinnas-ta, missä mittauspisteen ja mittajaan välillä ei ole merkittävää lämpötilaeroa. Rajoitus koskee mitta-uksia, jotka tehdään ulkoilman lämpötilan ollessa selvästi alle tai yli sisäilman lämpötilan. Vaihto-ehtoisesti lämmöneristeen läpi mitattaessa tulee huomioida mittausturin johtama lämpö ja sen mahdollisesti aiheuttama mittausrvirhe. Hetkelli-nen kosteusmittaus ei yleensä anna riittävää kuvaa eristetilan usein nopeasti muuttuvista olosuhteista. Suositeltavaa on tehdä jatkuvatoimisia mittauksia.

Kosteusmittaustuloksissa on myös huomioita-va, että ulkoilman kanssa kosketuksissa olevien rakennekerrosten hetkelliseen kosteuspi-toisuuteen vaikuttaa vahvasti tarkasteluhetken säätö ja ulkoil-man olosuhteet. Auringonsäteily julkisivu- tai kat-topintaan voi hetkessä siirtää kosteutta esimerkiksi höyrynsulun ulkopintaan (ns. kesäkondenssi) ja ky-seisestä rakennekerroksesta mitattu hetkellinen kor-kea kosteusarvo voidaan virheellisesti tulkita osoi-tukseksi rakenteen liiasta kosteudesta. Rakenteen lämpeneminen voi myös siirtää materiaalikosteutta.

Rakenteen ulko-osan kosteustasojen arvioinnis-sa tulee huomioida rakenteen pitkäaikaistoimi-vuutta ja havaittua kuntoa yksittäisten mittaustu-losten sijaan. Esimerkiksi rakenteessa havaittujen vanhojen kosteusjälkien tai rakenteen paikallisen tai hetkellisen kastumisen merkitys rakenteen toi-mivuuden ja mahdollisten sisäilmahaittojen kan-nalta arvioidaan tapauskohtaisesti.

Rankarakenteisten seinien mikrobivaurioitunei-suutta tutkitaan pinnoilta ja rakenneavauksista aistinvaraisesti ja tarvittaessa materiaalinäyttein puumateriaalien pinnoilta tai lämmöneristeestä. Kovilta materiaalipinnoilta voidaan ottaa myös pintasivelynäytteitä. Lahovauriot havaitaan hel-posti aistinvaraisesti ja tarvittaessa puun lujuutta voidaan testata esim. puukolla. Puurunkoisen sei-nän vauriotapauksissa on myös selvitettävä vaurion aiheuttaja, joka on poistettava korjauksessa (esim. vuotava julkisivudetalji tai puutteellinen tuuletus).

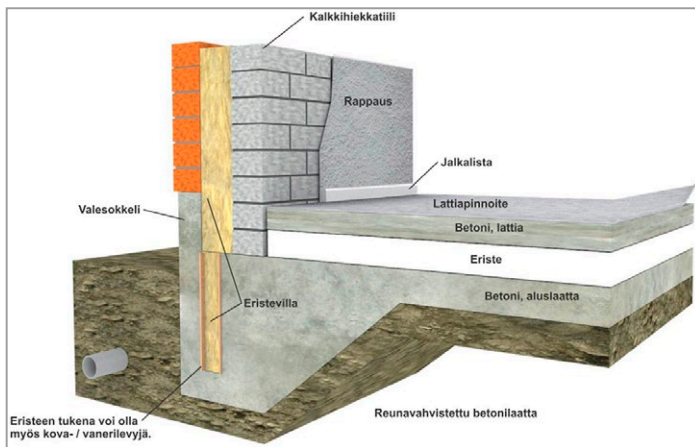
Rankarakenteisten ulkoseinien kosteusvauriot keskittyvät yleensä liitoskohtien, kuten ikkunoiden ympärille. Vaurio voi näkyä ulkopuolelta tiiliseinän tummumisena ja laastin irtoamisena tiilien välistä tai kalkkisuodoksena julkisivun pinnalla. Vaurio voi olla myös piilevä esimerkiksi silloin kun vuotovesi pääsee rakenteen sisälle. Tyypillisin vaurio on lämmöneristeiden kastuminen pitkäaikaisen

kosteusrasituksen vuoksi, jonka voi aiheuttaa mm. vesikattovuoto tai puutteellinen vedeneristys märkätilassa. Joskus julkisivun liian tiivis tai muuten sopimaton pinnote voi heikentää seinärakenteen kuivumiskykyä. Seinän alaosassa sokkelihalkaisun lämmöneriste on usein maaperään kosketuksissa ja kosteassa, mikrobikasvulle suotuisissa olosuhteissa ja siksi sokkelihalkaisun alaosassa voi esiintyä mikrobikasvua. Sokkelihalkaisuissa on käytetty mm. mineraalivillaa, sementtilastuvillalevyä ja korkkilevyä. Sokkelihalkaisu on yleinen rakenne myös tiili-villa-tiili-ulkoseinissä (kuva 7.22). Jos seinän ja lattian liittymä ei ole ilmatiivis, voi ilmavuotojen kautta siirtyä sisäilmaan epäpuhtauksia sokkelihalkaisusta.

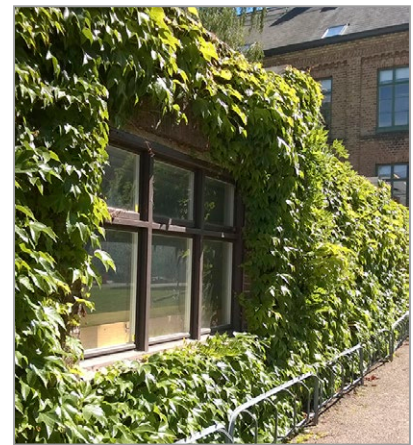
On tavanomaista, että ulkoseinärakenteen sisällä on ajoittain suotuisat olosuhteet mikrobikasvulle erityisesti lämmöneristekerroksen ulkopinnassa. Koska kerroksellinen ulkoseinärakenne on usein suoraan kosketuksissa ulkoilmaan, kulkeutuu ul-

koseinän sisälle ilmavirtojen mukana epäpuhtauksia, kuten katupölyä, siitepölyä, liikenteen päästöjä ja mikrobeja. Julkisivulla kasvavat köynnös- ym. kasvit (kuva 7.23) voivat heikentää seinän kuivumista ulospäin, tukkia tuuletusrakojia ja aiheuttaa juurillaan rakenteellisia vaurioita vedenpoistojärjestelmiin. Tämän takia julkisivun kasvillisuuden määrä tulisi minimoida ja kuntotutkimuksessa tulee arvioida, onko julkisivun kasvillisuudella ollut haittavaikutuksia rakenteiden toiminnalle.

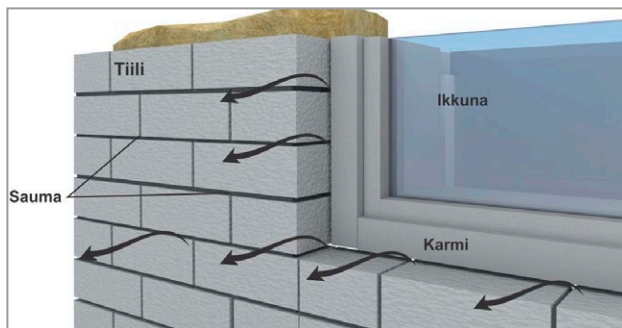
Ulkoseinän sisäkuoren tulisi olla ilmatiivis, jotta rakenteessa normaalisti olevat epäpuhtaudet eivät pääse huonetiloihin. Betonisisäkuori itsessään on ilmatiivis, mutta liitoskohdissa muihin rakenteisiin on tavallisesti tiiveyspuutteita, mikäli liitoskohtia ei ole erityisesti tiivistetty. Sisäpuolelta levyverhoiltujen tai puhtaaksimuurattujen ulkoseinien sisäkuorissa on niin ikään tavallisesti ilmavuotoja (kuva 7.24). Ilmavuotojen suuruus ja merkitys tulee aina arvioida tapauskohtaisesti.



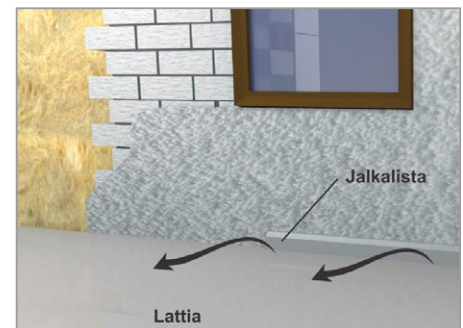
Kuva 7.22. Sokkelihalkaisun lämmöneriste voi olla jatkuvasti kosteissa olosuhteissa jolloin se saattaa mikrobivaurioitua. Ilmavuodot rakenteesta voivat aiheuttaa sisäilmaongelmia. Kuva: Kosteus- ja hometalkoot, 2012.



Kuva 7.23. Julkisivulla oleva runsas kasvillisuus voi haitata rakenteen toimintaa. Kuva: K. Viljanen, Vahanen Oy.



Kuva 7.24. Mikäli ulkoseinän sisäkuori tai sen liittymät muihin rakenteisiin eivät ole ilmatiiviit, voi ulkoseinän eristetilasta kulkeutua epäpuhtauksia sisäilmaan. Kuvissa kalkkiahiekkatiilestä muurattu sisäkuori, jonka mahdollisia ilmavuotokohtia ovat liittymät ja saumat. Kuva: Kosteus- ja hometalkoot, 2012.



Diffuusio rankarakenteisissa seinissä

Rankarakenteisten seinärakenteiden toimivuuden lähtökohta on rakennekerrosten vesihöyrynläpäisevyyden kasvu seinän sisäpinnasta tuuletusväliä kohti.

Sisäilman kosteuden liiallinen siirtyminen diffuusiolla rakenteen ulompiin osiin voi aiheuttaa laajoja, koko rakennusosan kattavia vaurioita. Höyrynsulun merkitystä puurakenteisen seinärakenteen toiminnan kannalta on tarkasteltu kuvien 7.25 ja 7.26 esimerkeissä. Kuvassa 7.25 on esitetty esimerkki diffuusion kannalta moitteettomasti toimivaan, höyrynsululliseen rakenteeseen talvella muodostuvasta lämpötila- ja kosteusjakaumasta. Jakauman laskenta on kuvattu mm. julkaisussa *Rakennusfysiikka, Perusteet ja sovelluksia* (Siikanen U., 2014).

Kuvan 7.25 rakenne on diffuusion kannalta hyväksyttävä, koska vesihöyrynsulopaine (p_i) ei missään kohdassa ole suurempi kuin vesihöyrynsulopaine kyllästystilassa (p_k) eikä suhteellinen kosteus (RH) ole haitallisen korkea. Vesihöyrynsulopaine (p_i) pienenee sisältä ulos mentäessä, mutta suhteellinen kosteus (RH) kasvaa lämpötilan (T) laskiessa. Tuulensuojalevynä toimivan rakennuslevyn sisäpinnan 77,5 % suhteellinen kosteus johtuu ulkoilman korkeasta suhteellisesta kosteudesta, 87 %.

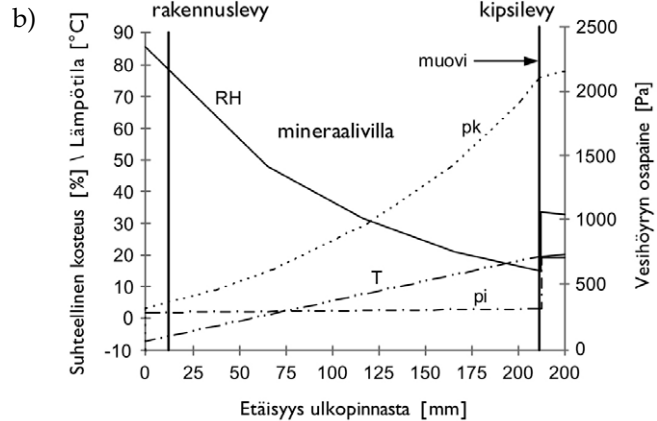
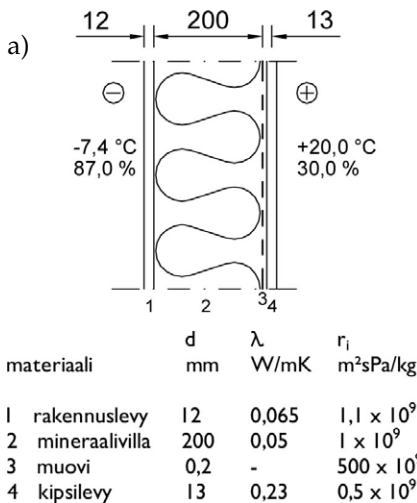
Kuvassa 7.26 on esitetty vastaava laskenta rakenteelle, joka on muutoin samanlainen, mutta jossa höyrynsulkuna on muovin sijasta vesihöyryä

hyvin läpäisevä ilmansulkupaperi (voimapaperi). Suhteellinen kosteus on 100 % mineraalivillan ja rakennuslevyn (tuulensuojalevyn) välissä, koska ilmansulkupaperin vesihöyrynvastus on 1/500 -osa 0,2 mm paksun muovin vastuksesta. Sisäilman kosteus kerääntyy tuulensuojalevynä toimivan rakennuslevyn lämpimälle puolelle, koska rakennuslevy läpäisee vähemmän vesihöyryä kuin paperi ja mineraalivilla.

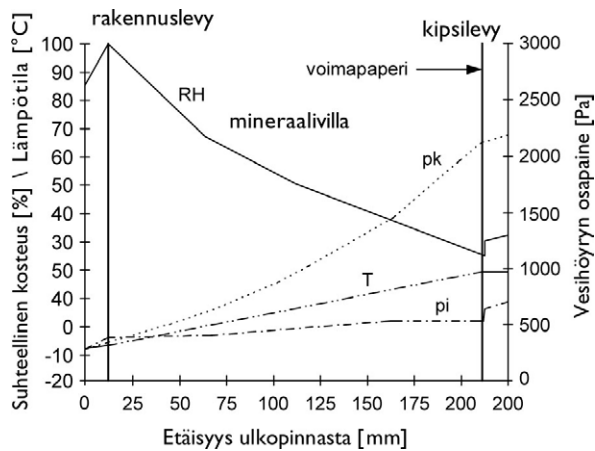
Kuvien 7.25 ja 7.26 lämpötila- ja kosteusjakaumat vastaavat jatkuvuustilaa, jossa olosuhteiden oletetaan pysyvän vakioina ja rakenteen saavuttavan tasapainotilan ympäristönsä kanssa. Jos sisä- ja ulko-olosuhteiden ajalliset muutokset otetaan huomioon, laskenta joudutaan tekemään rakennusfysiikan laskentaohjelmalla. Laskentaohjelmalla tehdystä mallinnuksesta on esimerkki kuvissa 7.27 ja 7.28.

Kuvassa 7.27 on esimerkki höyrynsulullisen ja kuvassa 7.28 höyrynsuluttoman puurunkoisena levyseinän suhteellisen kosteuden vaihtelusta vuoden aikana, kun kosteus siirtyy diffuusiolla. Suhteellisen kosteuden muutokset on esitetty lämmöneristekerroksen kolmessa eri pisteessä.

Diffuusion aiheuttamat korkeat kosteuspitoisuudet, höyrynsulullisessa rakenteessa 88 % ja höyrynsuluttomassa rakenteessa 100 %, esiintyvät talvella rakenteen kylmissä osissa. Koska kosteusvirta ko. rakenneosiin kasvaa ulkolämpötilan laskiessa, erot ko. seinärakenteiden kosteuspitoisuuksien välillä johtuvat höyrynsulusta, joka pienentää diffuusiolla sisältä ulos siirtyvää kosteusvirtaa.



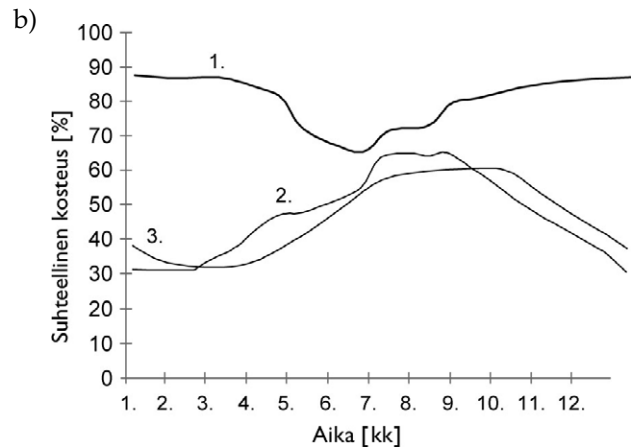
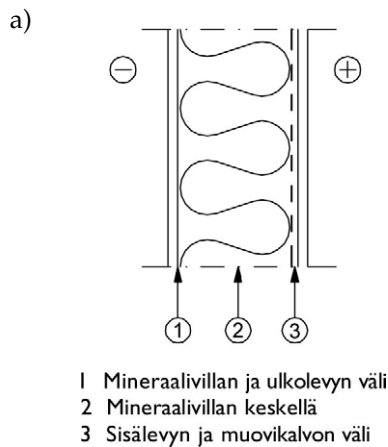
Kuva 7.25. Esimerkki lämpötila- ja kosteusjakaumasta diffuusion kannalta moitteettomasti toimivassa puurunkoisessa ulkoseinässä. Kuva a: tarkasteltu rakennetyyppi sekä ja sisä- ja ulkoilmaolosuhteet, kuva b: kosteus- ja lämpötilajakauma rakennelikkauksessa. Kosteusjakauma on diffuusiolla siirtyvän vesihöyrynsulun jakauma jatkuvuustilassa talvella.



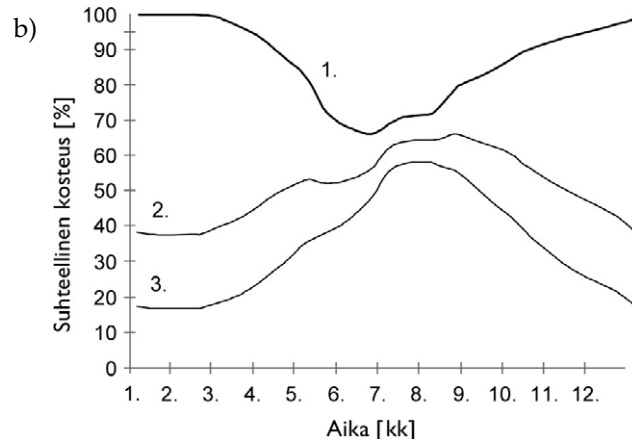
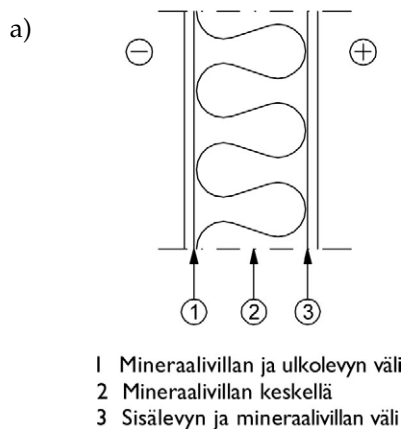
Kuva 7.26. Kosteus- ja lämpötilajakauma esimerkin rakenteessa, jossa höyrynsulkuna on ilmansulkupaperi (voimapaperi).

Rakennusfysiikan laskentaohjelmalla tehtävä tarkastelu kuvastaa rakenteen toimintaa paremmin kuin jatkuvuustilan tarkastelu.

Rakenteen homehtumisriskiin vaikuttavat suhteellisen kosteuden lisäksi lämpötila ja kosteuden vaikutusaika. Homehtumisriski esiintyy rakenteen lämpötilan ollessa suurempi kuin 0 °C. Diffuusion aiheuttaman homehtumisriskin mahdollisuuden selvittäminen mittaamalla on luotettavampaa syksyllä ja talvella kuin kesällä, koska kesällä rakenteen ulko-osien kosteus on pienimmillään, ks. kuva 7.27 ja 7.28.



Kuva 7.27. Esimerkki suhteellisen kosteuden vaihtelusta vuoden aikana puurunkorakenteisessa höyrynsulullisessa ulkoseinässä, kun kosteus siirtyy diffusiolla. Lähde: H. Lehtonen, TKK, Talonrakennustekniikan laboratorio.

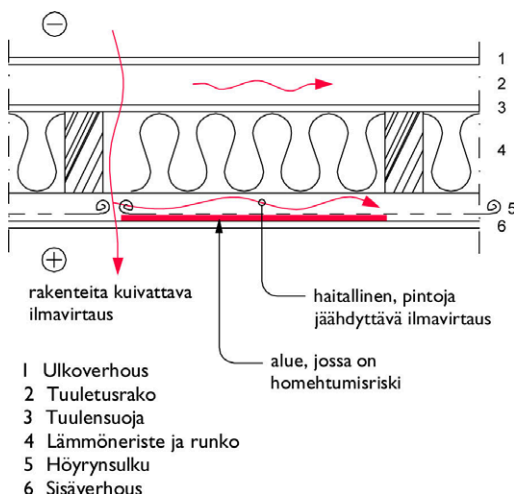


Kuva 7.28 Esimerkki suhteellisen kosteuden vaihtelusta vuoden aikana puurunkorakenteisessa höyrynsuluttomassa ulkoseinässä, kun kosteus siirtyy diffusiolla. Lähde: H. Lehtonen, TKK, Talonrakennustekniikan laboratorio.

Ulkoseinän lämmöneristeen lämpimällä puolella olevien rakenteiden homehtumisriski on kylmäsiltöjen ja pintaa jäädyttävien ilmavirtausten kohdalla sekä alueilla, joissa lämmöneriste on puutteellinen tai puuttuu kokonaan. Erityisesti lämmöneristeen lämpimällä puolella rakenteen suuntaisesti virtaava ulkoilma jäädyttää sisäkuoren ulkopintaa, ks. kuva 7.29.

Rakenteen sisäinen konvektio voi viilentää pintoja merkittävästi; alueella, josta puuttuu lämmöneriste, ilma virtaa kuvan 7.30 mukaisesti. Kosteusvaurioriski on sisäverhouksen ja höyrynsulun välissä.

Sisäkuoren ulkopinnan homehtumisriski johtuu höyrynsulun jäähtymisestä, mikä lisää sisäilman kosteuden siirtymistä diffuusiolla sisäkuoren läpi. Sisäkuoren ulkopuolella oleva höyrynsulku vähentää sisältä tulevan vesihöyryn siirtymistä rakenteen läpi, jolloin kosteus lisääntyy sisäkuoressa sekä sisäkuoren ja höyrynsulun välissä, ks. kuva 7.29. Näille homehtumisriskitapauksille on tyypillistä niiden suuri paikallinen vaihtelu.



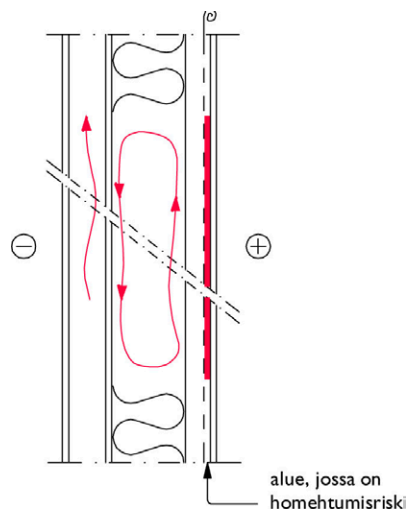
Kuva 7.29. Periaatekuva lämmöneristetyssä rakenteessa esiintyvän ilmavirtauksen vaikutuksesta. Rasteroidulla alueella höyrynsulun ja sisälevyn välissä on kosteusvaurioriski.

Betoniulkokuorella toteutetut betonirakenteiset sekä metallipintaiset elementtiulkoseinät

Betonisandwich-elementtien mikrobiologista toimivuutta on tutkittu vuonna 1999 valmistuneessa tutkimuksessa *Betonielementtijulkisivujen mikrobiologinen toimivuus*. Tutkimuksessa havaittiin, että betonielementtien eristetila ei ole erityisen suotuisa mikrobikasvulle, vaan mikrobikasvua esiintyi merkittäviä määriä vain silloin, kun elementin ulkokuoressa oli merkittäviä vesitiiveyspuutteita (Pessi A-M., ym., 1999).

Betonirakenteisten seinien yhteydessä sisäkuoren liitosten toteutus, esim. juotosvalujen toteutus, vaikuttaa rakenteen ilmatiiveyteen. Puutteelliset juotosvalut sallivat ilman liikkua sisäkuoren läpi.

Pelti-villa-pelti-elementtien kosteusteknisessä tutkimuksessa tulee arvioida elementtien välisten saumojen vesitiiveyttä, esimerkiksi irrottamalla elementin saumalistoja. Julkisivun saumoista rakenteeseen päässyt vesi voi valua elementtien välisessä raossa esteettä alaspäin. Jos rakenteeseen on päässyt vettä, voidaan tämä yleensä havaita seinien alaosissa vesivuotoina.



Kuva 7.30. Lämmöneristämättömässä tilassa talvella tapahtuva ilmavirtaus aiheuttaa kosteusvaurioriskin sisäverhouksen ja höyrynsulun väliin.

Konvektiolla siirtyvän kosteuden vaikutus seinärakenteissa

Rakennuksen tai sen osan ollessa ylipaineinen kylmään tilaan verrattuna siirtyy konvektiolla sisäilman kosteutta ilmaa läpäisevien materiaalien ja rakenteiden epätiiviyyskohtien kautta rakenteiden kylmiin osiin. Kosteuskonvektio aiheuttaa yleensä paikallisia vaurioita ilmanvuotoreittien läheisyydessä, joissa kosteuspitoisuudet nousevat korkeiksi.

Konvektiolla virtausreittien kautta siirtyvä kosteusmäärä on yleensä huomattavasti suurempi kuin ehjän materiaalin läpi konvektiolla tai diffuusiolla siirtyvä kosteusmäärä. Kosteuskonvektio on aina vaarallinen, kun rakenteen ulko-osien lämpötilat laskevat alle sisäilman kriittisen lämpötilan, vrt. taulukko 5.7.

Käytännössä konvektiovirtauksia aiheuttavat paine-erot vaihtelevat erittäin paljon eri vuodenaikoina, eri rakennustyypeissä, seinän eri korkeuksilla, vrt. esimerkki 5.6, sekä rakennuksen eri käyttötilanteissa. Lisäksi ulko- ja sisäilman välinen paine-ero riippuu merkittävästi ilmanvaihtojärjestelmän tulo- ja poistoilmamäärien säädöistä. Ikkunoiden ja ovien avaaminen ja sulkeminen muuttaa paine-eroa hetkittäin.

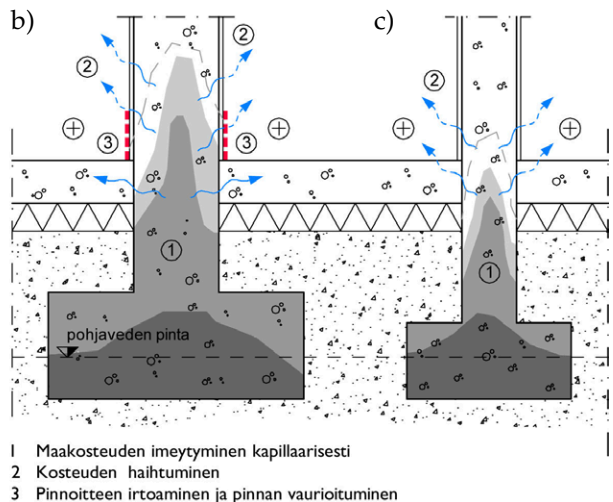
Paikalla valettu ehjä betonirakenne on tyypillisesti tiiviimpi kuin esimerkiksi rankarakenteinen puurakenne. Epätiiviyyskohtia voivat olla esimerkiksi elementtien väliset saumat, ikkunoiden ja ovien sekä muun rakenteen väliset saumat, läpiviennit

ja rikkoutuneet ilmansulun kohdat. Rakennuksen ilmanpitävyys riippuu merkittävästi rakenneratkaisuista, rakenneosien toteutuksesta ja epätiiviyyskohtien määrästä.

Kapillaarinen veden siirtyminen maasta seiniin

Maasta kapillaarisesti siirtyvän veden aiheuttamat kosteusvauriot ovat yleisiä suorassa kosketuksessa maahan olevissa rakenteissa. Vauriot voivat ilmetä mm. tiiviin pintakerroksen, esimerkiksi maalin, kupruiluna ja irtoamisena, kuva 7.31a tai lahovaurioina, kuva 7.32. Kosteus voi siirtyä myös lattian pintarakenteeseen ja vaurioittaa lattianpäilystettä.

Veden nousukorkeus riippuu materiaalin kapillaarisuuden lisäksi veden haihtumisesta rakenteesta. Tiivispintaisessa rakenteessa vesi nousee korkeammalle kuin pinnoittamattomassa rakenteessa. Rakenteessa olevan veden haihtuminen tiiviin pinnan läpi on vähäisempää, jolloin veden määrä tiivispintaisessa rakenteessa on suurempi. Alhaisen vesihöyrynläpäisevyyden takia tiivis pinnoite myös irtoaa alustastaan helpommin kuin vesihöyryä hyvin läpäisevä pinnoite. Veden nousukorkeus kasvaa rakenteen paksuuden lisääntyessä, kun haihduttava pinta-ala vähenee suhteessa vetä kapillaarisesti siirtävään massa (kuvat 7.31b ja c). Vaurioituneen alueen muodon, pinnoitteen kosteudenläpäisevyyden ja rakenteen paksuuden perusteella voidaan arvioida kapillaarisen kosteusrasituksen suuruutta.

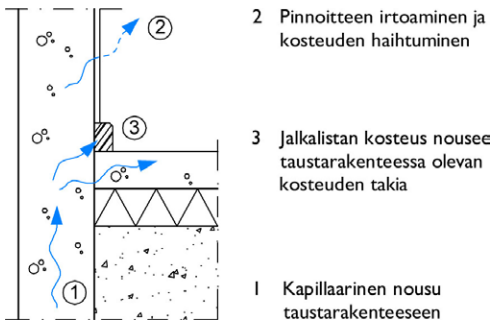


Kuva 7.31. Kapillaarisen veden imeytymisen aiheuttama pinnoitteen irtoaminen ja esimerkitapauksen vaurioitumisperiaate. Kuvissa b ja c on esitetty rakennepaksuuden vaikutus kapillaariseen nousukorkeuteen. Valokuva: T. Lammi, Vahanen Oy.



Kuva 7.32. Kapillaarisen veden nousun aiheuttama kosteusvaurio maanvastaisen seinän alaosassa. Valesokkelirakenteen alaoheisuus on lahonnut. Kuva: J. Saarinen, Vahanen Oy.

Kapillaarinen kosteus voi siirtyä materiaalista toiseen ja vaurioittaa rakenteita, jotka eivät ole suorassa kosketuksessa maahan tai vapaaseen veteen. Kuvassa 7.33 on esimerkki taustarakenteen kapillaarisen kosteuden vaurioittamasta jalkalistasta.

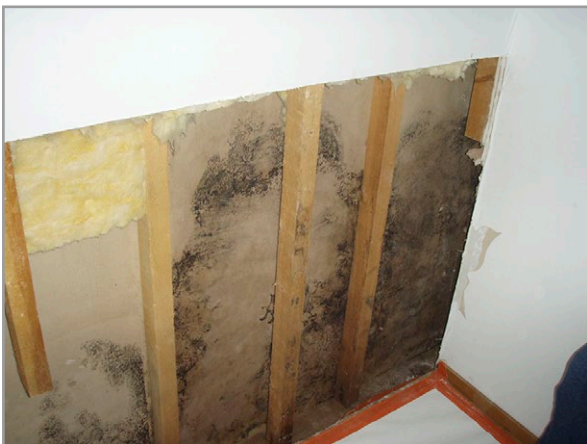


Kuva 7.33. Taustarakenteen kapillaarisen kosteuden vaurioittama jalkalista ja esimerkkitapauksen vaurioitumisperiaate. Valokuva: Vahanen Oy.

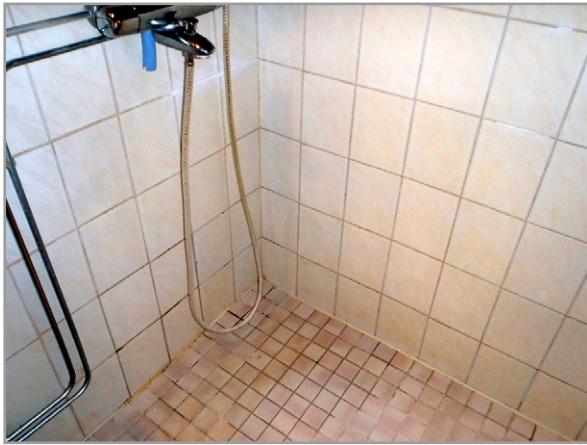
Märkätilojen vedeneristyksen puutteellisuus

Märkätilan vedeneristyksen puutteellisuus aiheuttaa kosteuden pääsyn rakenteeseen. Rakenteeseen päässyt kosteus leviää kapillaarisesti laajalle alueelle vedeneristyksen alla. Rakenne kuivuu vuotokohdasta diffuusiolla, joka on huomattavasti hitaampaa kuin kapillaarinen veden imeytyminen rakenteeseen. Vauriot saattavat ilmetä märkätilan väliseinien vastakkaisella puolella (kuvat 7.34 ja 7.35). Rakenteen vaurioitumiseen vaikuttaa vuodon määrä, rakenteen kuivumiskyky muihin tiloihin päin ja rakenteen materiaalien kyky sitoa kosteutta.

Puurunkorakenteisessa levyseinässä kosteusvaurio syntyy nopeasti ja seinän kantavat puurakenteet homehtuvat ja lahoavat. Kipsilevyn pahvipinta kosteus- ja mikrobivaurioituu herkästi. Teräsrunkoseinän teräsrangat ruostuvat ja mineraalivilla homehtuu ajan myötä jatkuvassa kosteusrasituksessa (kuva 7.34). Kaakeloituissa rakenteissa kosteus imeytyy laatto-



Kuva 7.34. Vasen kuva: Märkätilan väliseinä vastakkaiselta puolelta avattuna. Seinän kipsilevyn kartonkipinta on alkanut homehtumaan. Oikea kuva: Puretun märkätilan seinän alaosan rakenteet ovat vaurioituneet puutteellisesta vedeneristyksestä johtuen. Lattiaa vasten oleva teräsranka on ruostunut puhki. Kuvat P. Puuska, Vahanen Oy.

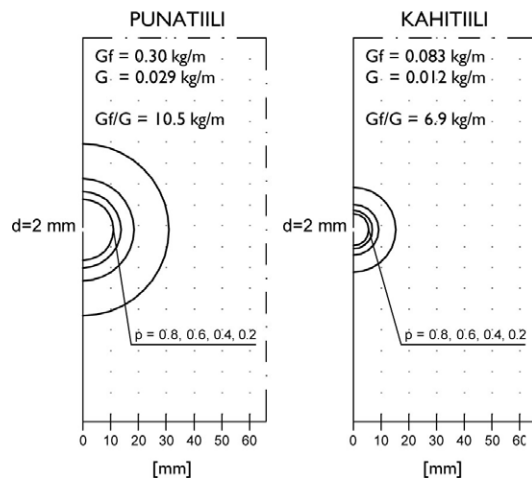


Kuva 7.35. Märkätilaa rajoittavan seinän toisella puolella oleva taustastaan vaurioitunut seinäpinta. Märkätilan puutteellinen vedeneristys on aiheuttanut kosteusvaurion. Kuva: A. Puhka, Indoor Quality Service Oy.

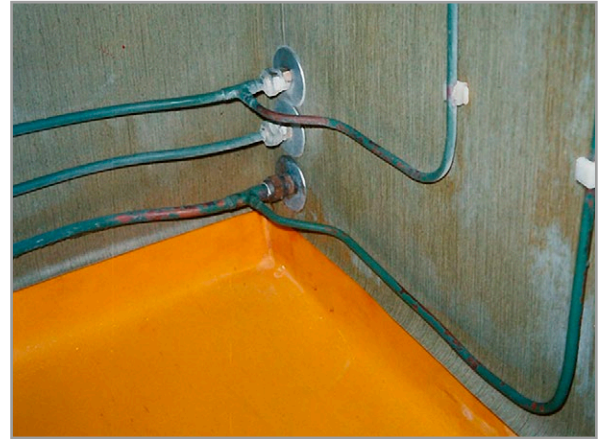
jen saumalaastin läpi kiinnityslaastin ja siitä edelleen rakenteeseen, mikäli vedeneriste ei ole vesitiivis (kuva 7.35).

Tiilirakenteissa vesi imeytyy kapillaarisesti vedeneristyksessä olevan halkeaman kautta nopeasti laajalle alueelle. Kuvassa 7.36 on esitetty alue, johon vesi on imeytynyt poltettuun savitiileen ja kalkkiahiekkatiileen yhden tunnin kuluttua veden imeytymisen alkamisesta.

Kuvassa 7.37 on esimerkkejä suihkunurkkauksista, joissa vedeneristysnä toimivan muovimatton saumat ja läpiviennit ovat epätiivisiä ja vesi pääsee seinärakenteeseen. Kuvassa 7.37 on esimerkki huonosta suunnitteluratkaisusta. Vesijoh-tojen läpiviennit ovat märkätilan suihkunurkka-uksen alaosassa. Läpivientien vuodot aiheuttavat nopeasti seinärakenteiden kosteusvaurion.



Kuva 7.36. Veden imeytymisalue puna- ja kahitiilessä tunnin kuluttua imeytymisen alkamisesta. Vesi imeytyy kapillaarisesti vedeneristyk-ssä olevan halkeaman kautta. Lähde: Lehtinen T. ja Viljanen M., 1996.



Kuva 7.37. Vasen kuva: Märkätilan vedeneristysnä toimivan muovitapetin sauma on auennut oikeassa alanurkassa. Oikea kuva: Suihku-nurkkauksen alaosassa olevat vuotavat vesijohdotputkien läpiviennit. Kuvat: P. Laamanen, Vahanan Oy.

Laattojen kiinnityslaastin levityksessä käytetyllä kampakyöteknikalla laatoituksen taakse jää ilmaonteloita, joihin vesi pääsee laattasaumojen läpi. Tällöin laatoituksen takaisen vedeneristyksen on oltava ehdottomasti yhtenäinen ja vedenpitävä, jotta vesi ei vaurioita taustarakennetta. Tapauksessa, jossa märkätilassa on laatoitetut seinät ja vedeneristeenä muovimatto lattiassa, vesi voi valua seinälaattojen takaisista onteloista muovimaton ylösnoston taakse muovimaton ja seinän vedeneristeen epätiivistä saumasta. Kuvassa 7.38 näkyy märkätilan puretun seinälaatoituksen tausta onteloineen ja seinälle nostetun muovimaton auennut sauma.



Kuva 7.38. Puretun laatoituksen takaiset ilmaontelot ja seinälle nostetun muovimaton epätiivis sauma. Kuva: V. Pekkala, Vahanen Oy.

Märkätiloissa käytetään laatoitusten pystynurkissa sekä lattian ja seinän liittymissä joustavaa saumausmassaa, jonka tehtävänä on tasata jännityksiä, joita syntyy rakenteiden lämpöliikkeistä ja kuivumiskutistumisesta. Saumausmassan vaurio ei ole välttämättä ongelma, jos laatan takana oleva vedeneristys on säilynyt ehjänä. Kuvassa 7.39 on esitetty revennyt joustava saumaus. Epäpuhtauksien ja kosteuden kulkeutuessa raosta rakenteeseen, voi muodostua hajuhaittaa. Kuntotutkimuksessa tulee arvioida myös tässä riskitapauksessa tarkastelukohdan sijainnin merkitys mahdollisiin kosteus- tai sisäilmaongelmiin.

Vanhemmissa märkätiloissa kaivon ja korokerengasväliä ei ole tiivistetty (Kuva 7.40). Tiivistämättömästä välistä voi siirtyä rakenteeseen merkittävästi kosteutta.



Kuva 7.39. Märkätilan joustava saumaus on revennyt tartuntapinnostaan lattia-seinäliittymässä. Kuva: K. Viljanen, Vahanen Oy.



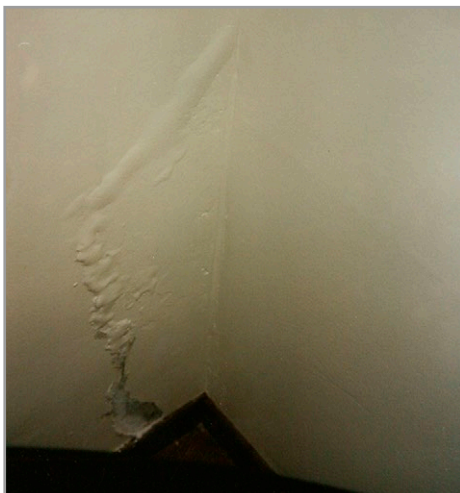
Kuva 7.40. Tiivistämätön korokerengas on yleinen vuotokohta vanhoissa märkätiloissa. Kuvat: P. Puuska, Vahanen Oy.

Seinärakenteeseen asennetun putken vuodon aiheuttama kosteusvaurio

Rakenteiden sisään asennetut vesijohdot ja viemärit muodostavat aina kosteus- ja mikrobivauriorisikin. Putkivuoto on usein vaikeasti havaittavissa ennen kosteusvaurion ilmenemistä. Kosteusvaurion ilmenemiseen kuuluva aika riippuu vuodon suuruudesta, rakennusmateriaalien vedenläpäisevyydestä ja vuotoveden virtausreitistä. Tihkuvan vuodon tapauksessa myös rakennusmateriaalin vedenimemiskyky vaikuttaa vuodon ilmenemiseen. Rakenteeseen asennetun putken vuoto voi ilmetä pinnan tummumisena tai pinnoitteen irtomisena, kuva 7.41.



Kuva 7.41. Rakenteen sisäisen putkivuodon ilmeneminen rakenteen pinnalla. Kuva: E. Salo, Vahanen Oy.



Kuva 7.42. Maanvastaisen betoniseinän kosteusvaurio johtui seinärakenteen sisällä olevan viemärin vuotamisesta. Kuva: P. Laamanen, Vahanen Oy.

Kuvassa 7.42 on kosteusvaurion aiheuttama sisäseinän pinnoitteen irtoaminen. Rivitaloaluoneiston kellarikerroksessa havaittiin kosteusvaurio takahuoneen maanvastaisessa betoniseinässä. Vaurio viittasi putkivuotoon tai puutteisiin perustusten salaojituksessa ja kosteudeneristyksessä. Rakennepiirustusten mukaan salaojitus ja kellarin seinien vedeneristys olivat kunnossa. Vesi- ja viemärintiivistysten mukaan viereisen saunatilän seinärakenteen sisässä oli ensimmäisestä kerroksesta tuleva keittiön viemäriputki. Saunan paneloinnin ja lämmöneristeiden purku paljasti keittiöviemärin vuodon. Vuoto oli turmellut kellarikerroksessa saunan, märkätilan ja kodinhoitohuoneen rakenteita laajalti. Vauriot voitiin havaita vasta rakenteiden avauksissa.

Putkivuoto edellyttää aina nopeita korjaus- ja kuivatustoimenpiteitä. Rakenteet voidaan joissain tapauksissa kuivattaa välttämättä laajat korjaustyöt, mikäli rakenteissa ei ole helposti kosteusvaurioituvia materiaaleja.

Ulkoseinään tunkeutuva sadevesi

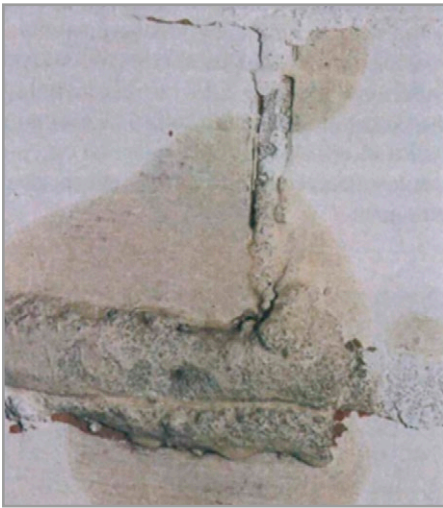
Ulkoseinään tunkeutuva sadevesi voi vaurioittaa seinärakennetta. Betonijulkisivuelementtien saumat ovat usein epätiivitä ja sadevesi siirtyy niiden läpi seinärakenteeseen. Kuvassa 7.43 on julkisivuelementin vaurioitunut sauma. Kuvassa 7.44 on ulkoseinärakenne, jossa sadevesi on valunut kuorielementin sisäpuolelle epätiivistä elementin saumasta.



Kuva 7.43. Julkisivuelementin sauma on vaurioitunut. Saumassa on selvä reikä. Kuva: T. Lammi, Vahanen Oy.



Kuva 7.44. Epätiivin julkisivuelementin sauman läpi on tunkeutunut sadevettä elementin sisäpuolelle. Kuva: P. Laamanen, Vahanen Oy.

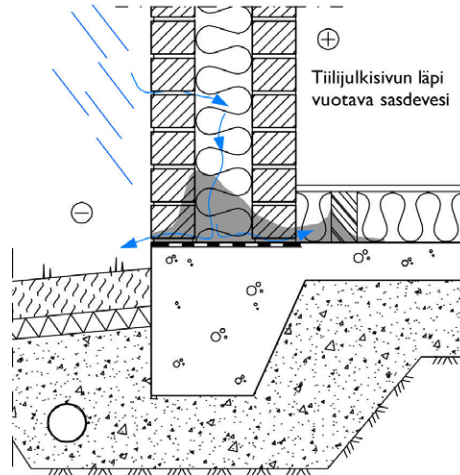


Kuva 7.45. Sadevesi on tunkeutunut kuorimuurin läpi. Lähde: Lehtinen T., 1989.

Muuratun tiilijulkisivun saumat läpäisevät vettä. Kosteuden tuulettuminen ja veden johtuminen pois tuuletusvälistä on oleellista ulkoseinän kosteusteknisen toiminnan kannalta. Kuvassa 7.45 näkyy tiilijulkisivun vuotokohdan ilmeneminen tiilimuurauksen sisäpuolella. Sadevesi valuu tiilimuurauksen sisäpintaa pitkin alas ja osittain imeytyy kapillaarisesti vuotokohtaa ympäröivään rakenteeseen.

Kuvassa 7.46 on esimerkitapaus, jossa alas valunut vesi kulkeutuu tiiviin alusrakenteen päältä osittain ulos ja osittain maanvaraisen laatan päälle rakennuksen sisäpuolelle. Seinän alaosan lämmönriesteet ja puurakenteet kastuvat ja vaurioituvat.

Sadeveden vaikutus julkisivuun riippuu myös julkisivumateriaalin kapillaarisista ominaisuuksista ja julkisivumateriaalin mahdollisista raoista ja halkemista (kuva 7.47). Pinnoittamaton tiili imee



Kuva 7.46. Esimerkitapaus tiilijulkisivun läpi tunkeutuvan sadeveden aiheuttamasta seinän alaosan kosteusvaurioitumisesta.

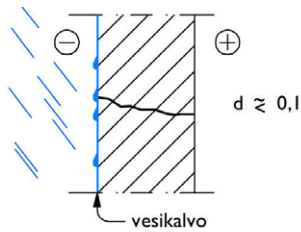
voimakkaasti vettä, jolloin sen pinnalle muodostuu vesikalvo ainoastaan pitkien sateiden aikana. Betonin kapillaarisuus on tiilen kapillaarisuutta selvästi pienempi, jolloin vesikalvo muodostuu nopeasti. Ulkoilman voimakas ylipaine edesauttaa veden imeytymistä julkisivuun, ks. kuva 7.47 e-kohta. Tiiviiden materiaalien pinnalle muodostuu vesikalvo ja vesi alkaa valua painovoiman vaikutuksesta alas. Vesikalvo nousee myös ylöspäin tuulenpaineen johdosta tiiviiden materiaalien pinnalla. Tiivispintaisia materiaaleja ovat esimerkiksi pelti ja muovi.

Kuvan 7.47 kohdissa a-d on esitetty arvioida vuotokohtien koon merkityksestä mekanismiin, jolla vesi tunkeutuu rakenteeseen.

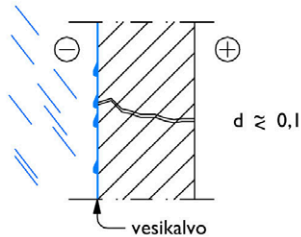
Loivilla katoilla sadevesi voi tunkeutua ulkoseinärakenteeseen virheellisestä räystäärakenteesta, kuva 7.48. Räystäään vierelle patoutunut vesi voi tunkeutua seinärakenteeseen, mikäli vesikaton vedeneristystä ei ole ulotettu räystäään yli julkisivupinnan ulkopuolelle. Tuulisella säällä sadevettä voi tunkeutua seinärakenteeseen myös seinäpintaa pitkin räystäspellin alapuolelta puuttuvan vastapellin takia tai sen puutteellisesta toteutuksesta johtuen.

Vastaavanlainen puutteellinen rakenne on esitetty kuvassa 7.49, jossa bitumikate päättyy vanerin ulkoreunaan kääntymättä alaspäin, jolloin vesi saattaa ohjautua vanerin alapintaan ja siitä räystästä tai seinärakenteeseen.

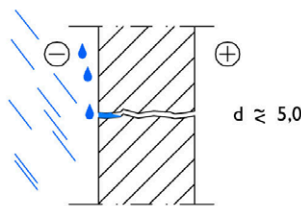
Julkisivuun kohdistuva viistosaderasitus riippuu sademäärästä, tuulen nopeudesta ja suunnasta sekä rakennuksen geometriasta. Kuvassa 7.50 näkyy korkean kerrostalon julkisivurappauksen kastuminen alueilla, joissa viistosaderasitus on ollut suurinta, eli rakennuksen yläosissa ja nurkissa.



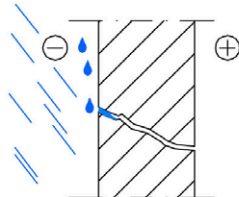
- a) $d < 0,1$ mm: kapillaarinen imu on määrävä veden siirtymismuoto



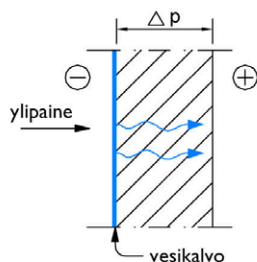
- b) $d < 0,1$ mm: paine-ero rakenteen yli aiheuttaa veden virtauksen rakenteeseen niin kauan, kun raon yli on yhtenäinen vesikerros, paine-eron suuruudesta riippuen virtaus voi tapahtua myös ylöspäin suuntautuneessa raossa



- c) $d < 5,0$ mm: pisaroiden putoamisnopeuden vaakasuuntainen vektorikomponentti aiheuttaa sadeveden siirtymisen pisaroina rakenteeseen

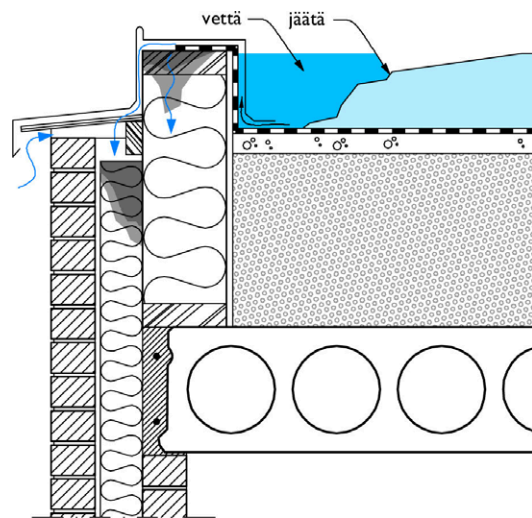


- d) sadevesi siirtyy painovoiman vaikutuksesta alaspäin avoimeen halkeamaan tai saumaan



- e) sadevesi imeytyy kapillaarisesti huokoiseen materiaaliin, esimerkiksi tiileen, ulkoilman voimakas ylipaine sisäilmaan verrattuna edesauttaa veden imeytymistä rakenteeseen olevien epätiiviyiskohtien kautta

Kuva 7.47. Sadeveden tunkeutuminen ulkoseinärakenteeseen. Annetut vuotokohtien leveydet ovat suuntaa antavia. Kuvat Nevander L. ja Elmarsson B. (2011) mukaan.



Kuva 7.48 Virheellinen räystäärakenne, josta katolle patoutunut vesi tunkeutuu ulkoseinään. Tuulisella säällä sadevesi tunkeutuu ulkoseinän sisään myös puuttuvan vastapellin takia.



Kuva 7.49. Loivan katon räystäärakenteessa katteen tulisi kääntyä alusvanerin ulkoreunan päälle tippanokaksi, mitä ei kuvan rakenteessa ole. Kuva: K. Viljanen, Vahanen Oy.



Kuva 7.50. Viistosateen aiheuttama korkean kerrostalon yläosien ja nurkkien julkisivurappauksen kastuminen. Rappauksessa todettiin vaurioita kastuneella alueella. Kuva: P. Räisänen, Vahanen Oy.

Julkisivuun liittyvien rakenteiden kuten ikkunoiden ja julkisivun väliset liitokset ovat kriittisiä kohtia, joiden epätiivelyskohtien kautta sadevesi voi päästä tunkeutumaan rakenteeseen. Esimerkiksi ikkunapellitysten väärä kallistus aiheuttaa veden valumisen sekä ikkunan alapuoliseen seinärakenteeseen että ikkunan karmille. Kuvassa 7.51 on esimerkki väärin kallistetusta ikkunapellistä. Sadevesi on aiheuttanut karmin ja alapuolisen tiilijulkisivun vaurioitumisen.

Ikkunapellityksen ja ikkunan alakarmin välisen liitoksen ollessa epätiivis sadevesi valuu suoraan tai ikkunaa pitkin raon kautta seinärakenteeseen. Kuvan 7.52 esimerkissä ikkunapellityksen ja karmin välisessä liitoksessa on selvä rako. Ikkunapellin kallistus on liian loiva.

Kuvassa 7.53 näkyy ikkunapellityksen ja tiilimuurauksen välissä sekä peitelistan ja tiilimuura-

uksen välissä rako, jonka kautta viistosade pääsee tunkeutumaan seinärakenteeseen.

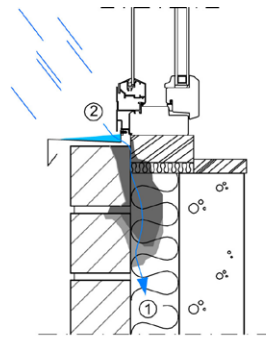
Sadevesijärjestelmän toiminnan puutteet aiheuttavat kosteusrasituksia ulkoseinään ja perustusrakenteisiin, kuva 7.54. Puutteellisen sadevesijärjestelmän perustusrakenteille aiheuttamia vaurioesimerkkejä on esitetty kappaleessa 7.2.6.

Tuuletusvälin tukkeutuminen

Tuuletusvälin toimivuutta voidaan arvioida vertaamalla suunnitelmia toteutukseen, tekemällä rakenneavauksia ja tarkastamalla tuuletusrakojen avoimuus. Ulkoseinän tuuletusväli voi olla rakenteellisesti tukossa ylä- tai alareunastaan tai niiden väliltä. Muurattujen rakenteiden saumapurseet voivat tukkia tuuletusvälin joko koko matkalla tai välin alareunasta. Tuulettavuuden pienenemisen



Kuva 7.51. Virheellisesti rakennukseen päin kallistettu ikkunapelti ja esimerkitapauksen vaurioitumisperiaate. Valokuva: M. Pitkäranta, Vahanen Oy.



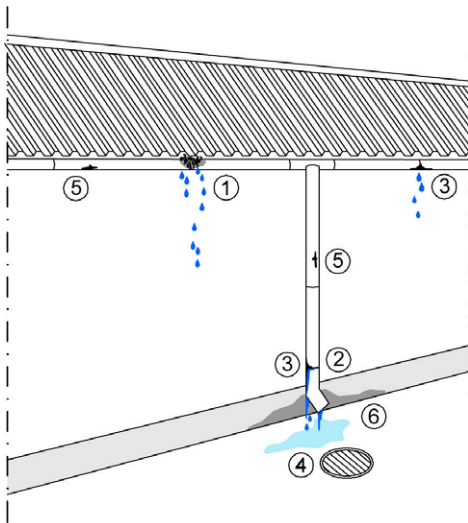
- 1 Vesi valuu julkisivun taakse
- 2 Veden kerääntyminen; karmin vaurioituminen ja sammaloituminen



Kuva 7.52. Ikkunapellityksen ja karmin alaosan välissä on selvä rako, joka aiheuttaa alapuolisen rakenteen kosteusvaurioriskin. Kuvat: E. Kauriinvaha, Vahanen Oy.



Kuva 7.53. Ikkunan ja julkisivun liitoksesta puuttuu joustava saumaus. Kuvat: K. Laine, Vahanan Oy.



- 1 Sadevesikouru tukkeutuu ja tulvii yli
- 2 Syöksytorvi tukkeutuu
- 3 Järjestelmän liitokset vuotavat
- 4 Sadevesi valuu liitoksista liian lähelle rakennusta
- 5 Järjestelmä rikkoutuu ja ruostuu
- 6 Roiskevesi kastelee sokkeliä

Kuva 7.54. Sadevesijärjestelmän toiminnan puutteita.



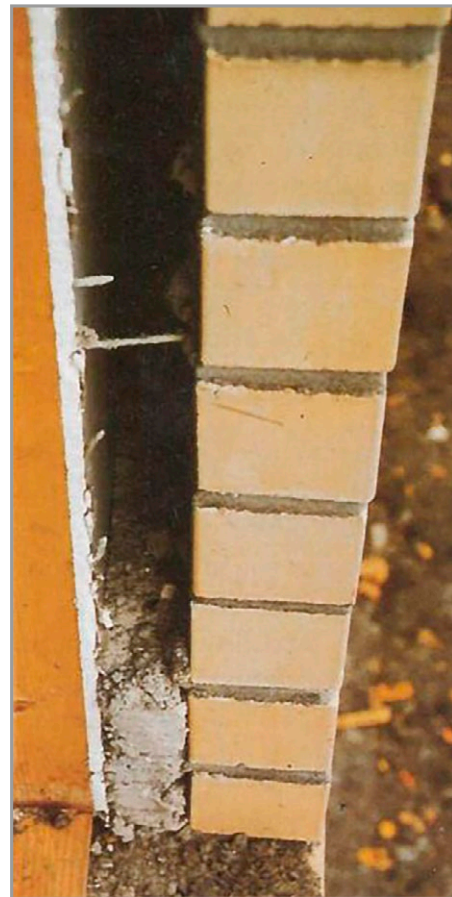
Kuva 7.55. Saumapurseiden tukkimasta tuuletusväli. Kuva: E. Salo, Vahanan Oy.

lisäksi purseet ohjaavat tiiliverhouksen läpi tunkeutuvan veden seinärakenteen sisäosiin. Kuvassa 7.55 on esimerkki saumapurseiden tukkimasta tuuletusvälistä muuratun julkisivun takana.

Muuratun rakenteen leveän tuuletusvälin alaosaan pudonnut laasti voi tukkia julkisivuun jätetyt avoimiksi tarkoitetut pystysaumot estäen rakenteen tuulettumisen ja tiiliverhouksen läpäisseen veden pääsyn ulos tuuletusvälistä, ks. kuva 7.56.

Kuvan 7.56 tapauksessa saumapurseita on myös ylempänä tuuletusvälissä, mutta väli ei ole virtausmekanisesti koko matkalta tukossa. Tuuletus ei toimi suunnitellusti tukkeutuneen välin alaosan takia.

Vanhoissa rakennuksissa on toteutettu kuorimuurirakenteita joko hyvin kapealla tuuletusväliä tai kokonaan ilman tuuletusväliä. Tällöin rakenteen kuivumiskyky on selvästi heikentynyt ja saderasitus saattaa päästä rakenteessa haitallisen pitkälle sisäänpäin.



Kuva 7.56. Leveän tuuletusvälin alaosaan pudonnut laasti estää rakenteen tuulettumisen ja tiiliverhouksen läpäisseen veden pääsyn ulos alareunaan jätettyjen avoimien pystysaumojen kautta. Lähde: Lehtinen T. ja Viljanen M., 1989.

Sokkelin korkeus, julkisivuverhouksen etäisyys maasta ja puutteellinen sadevesijärjestelmä

Roiskevesi vaurioittaa julkisivuverhousta, joka on liian lähellä maan pintaa. Matala sokkeli muodostaa aina kosteus- ja homevaurioriskin seinän alaosiin sekä seinän ja lattian liittymään. Kuvassa 7.57 on esimerkkejä matalan sokkelikorkeuden ja puutteellisen sade- ja pintavesien ohjauksen aiheuttamista julkisivun vaurioista.

7.2.5

Vesikatto ja yläpohja

A. Vesikattojen ja yläpohjien lämpö- ja kosteustekninen toiminta

Vesikatto ja yläpohja toimivat yhdessä kokonaisuutena. Vesikatto tulee olla vedenpitävä, myös myrskysateella ja kun vettä lammikoituu katolle. Vesitiiveys tulee varmistaa katteen saumoissa ja katon yksityiskohdissa. Yläpohjarakenteella tulee lisäksi olla riittävä lämmöneristyskyky koko rakenteen alueella, jotta haitallista lämpövuotoa sisätiloista yläpohjatilaaan ei tapahtuisi.

Vesikatot jaetaan yleensä loiviin (kaltevuus on 1:80...1:10) ja jyrkkiin kattoihin (kaltevuus on $\geq 1:10$) (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012). Erityyppisten yläpohjarakenteiden toimintaperiaatteet on esitetty kuvassa 7.58.

Mikäli sadevettä tai sisätiloista peräisin olevaa vesihöyryä pääsee yläpohjatilaaan, tulee rakenteella

olla riittävä kuivumiskyky (yleensä tuuletusväli, -urat tai -tila), jotta kosteus pääsee poistumaan vauriota aiheuttamatta. Vesikatot toteutetaan nykyisin tyypillisesti tuulettuviksi rakenteiksi. Nykyään tuulettamattomia loivia kattorakenteita käytetään kylmävarastojen tai vastaavien kattorakenteissa. Ennen 2000-lukua levymäisillä lämmöneristeillä eristettyjä betoni- tai poimulevyalustaisia loivia kermikattoja toteutettiin yleisesti tuulettamattomina. Joissakin harvinaisemmissa tapauksissa jyrkkiä kattoja on menneisyydessä toteutettu tuulettamattomina.

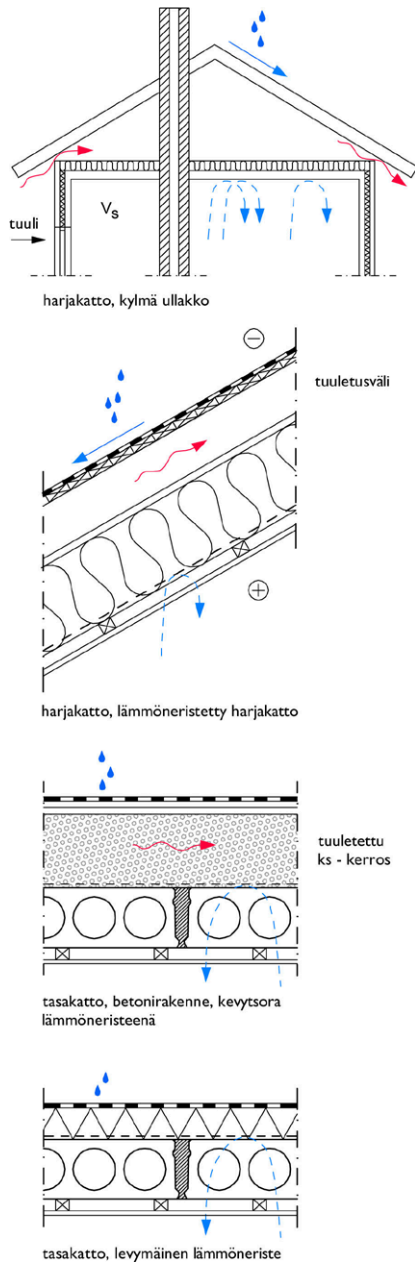
Erikoistapaus loivista katoista on kevytsorakatto, joka tuulettuu koko lämmöneristeen korkeudelta. Kevytsorakaton kuivumiskyky on yleensä riittävä, jollei tuuletuksen toteutuksessa ole selkeitä puutteita.

Yläpohjan sisäkuoren tulee aina olla ilmatiivis, jotta rakennuksen sisäilmaa ei pääse vuotokohtien kautta yläpohjaan. Yleensä tämä edellyttää huolellisesti asennettua ilman- tai höyrynsulkua. Lämpimän sisäilman sisältämä kosteus voi vaurioittaa yläpohjarakenteita, jos kosteus tiivistyy suurina määrinä kylmien rakenteiden pintoihin. Toisaalta ilmatiivis sisäkuori estää myös mahdollisten epäpuhtauksien kulkeutumisen huoneilmaan. Yläpohjan höyrynsulun diffuusiolla läpäisemä kosteusmäärä ei yleensä ole merkittävä verrattuna ilmavuotojen kuljettamaan kosteusmäärään.

Loivien kattojen kosteusteknisen toimivuuden kannalta kattokaivojen ja muiden läpivientien vesitiiveys on keskeistä. Katteen riittävällä kallistuksella taataan veden hallittu johtaminen kaivoihin ja viemäreihin. Lisäksi kattojen yleensä suuresta pinta-alasta johtuen rakennusaikainen kosteudenhallinta on tärkeää rakennuskosteuden määrän minimoimiseksi.



Kuva 7.57. Vasen kuva: Rakennusratkaisu, jossa syöksytorvesta valuva vesi ei mene sadevesikaivoon, vaan kastelee ulkoseinää. Sadevedet imeytyvät maahan perusmuurin vieressä. Oikea kuva: Julkisivun tiiliverhousta vasten asennettu pihakiveyksen asennushiekka on johtanut kosteuden seinärakenteeseen. Kuvat: T. Lammi ja M. Pitkäranta, Vahanen Oy.



Kuva 7.58. Yläpohjien kosteusteknisiä toimintaperiaatteita.

Jyrkillä katoilla käytetään jatkuvien katteiden lisäksi epäjatkuvia katteita, kuten tiilikatetta. Epäjatkuvien katteiden kanssa rakenteen vedeneristys edellyttää epäjatkuvan kateen alapuolelle asennettua aluskatetta. Aluskate voi sitoa kosteutta, rajoittaa yläpohjan tuuletustilasta vesikaton alapinnalle siirtyvän kosteuden määrää ja johtaa pellin alapinnalle tiivistyneen kosteuden ja vesikatteen saumoista aluskatteelle tulleen veden ulos. Aluskatteen vesitiiveys koko katon alueella mukaan

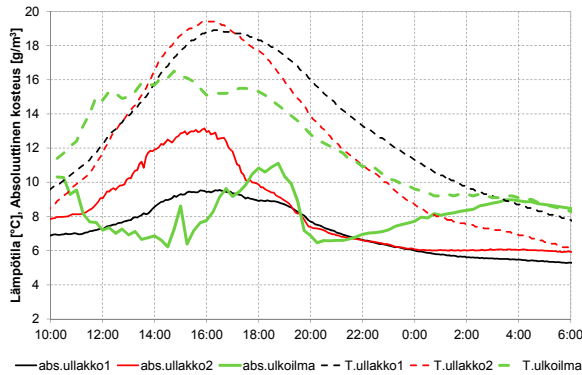
lukien läpiviennit ja ylösnostot on keskeistä jyrkän kattorakenteen toiminnalle. Aluskate tuulettuu yläpuolelta ja yleensä myös alapuoleltaan poikkeuksena ns. tuulensuoja-aluskateratkaisu, joka on harvinainen Suomessa. Aluskatteen päällä valuvan veden tulee poistua hallitusti ulos rakenteesta (ks. myös kuva 7.71).

Jyrkillä katoilla katon tuuletus on toteutettu riittävän suurilla ilma-aukoilla räystäällä sekä harjalla. Katon tuuletusratkaisu perustuu kattotyyppeihin ja katon dimensioihin. Katon tuuletus perustuu luonnolliseen konvektioon, mutta tuulenpaine tehostaa tuuletusta.

Sisäkosteus siirtyy yläpohjan tuuletustilaan yläpohjan läpi diffuusiolla tai konvektiolla. Rakennukset, joiden ilmanvaihto on tasapainossa, ovat tyypillisesti yläosastaan ylipaineisia ja alaosastaan alipaineisia. Ilmavirtausten suunta on siksi yleensä huonetilasta yläpohjarakenteiden suuntaan. Tästä johtuen yläpohjarakenteen höyrynsulun ilmatiheys on keskeistä kosteuskonvektion estämiseksi. Toisaalta yläpohjatilasta konvektiolla sisäilmaan kulkeutuvien epäpuhtauksien määrä on käytännössä vähäinen. Savupiippuvaikutuksen merkitys on suurin talvella, kun sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero on suuri. Voimakkaalla tuulella painesuhteet saattavat kuitenkin muuttua hetkittäin. Lisäksi painesuhteisiin vaikuttaa ilmanvaihtojärjestelmän toiminta. Huomattavaa on, että mikäli rakennuksessa on ilmanvaihdon luoma voimakas alipaine, voi myös yläpohjarakenteista kulkeutua merkittäviä epäpuhtausmääriä sisäilmaan (ks. kappale 5.5).

Merkittävä kosteusrasitus jyrkkien kattojen rakenteisiin muodostuu usein rakennushankkeen aikana, kun rakennuskosteus kuivuu uusista materiaaleista. Rakennuskosteuden kuivuminen voi aiheuttaa vesihöyryn kondensoitumista yläpohjan rakenteiden pinnoilla. Yläpohjatilasta kuivumista on tarvittaessa tehostettava.

Ulkoilmalla tuulettuvien jyrkkien kattojen ullakotilat pyrkivät tasapainoon ulkoilman kosteuspiitoisuuden kanssa (kuva 7.7 rakenne 1 ja kuva 7.59). Vesikatto johtaa sadeveden hallitusti pois rakennuksesta, joten toimivassa yläpohjassa ullakotilan rakenteet ovat hygroskooppisella kosteusalueella (kuva 7.7 rakenne 2). Rakenteisiin voi kertyä ylimääräistä kosteutta lähinnä vesikatteen vuotokohdista, aluskatteen alapinnan kondenssilla, ilmavuodoista sisäilmasta tai tuiskulumesta. Myös loivissa katoissa (kuva 7.7 rakenne 3) tavanomainen kosteustaso



Kuva 7.59. Ullakkotilassa ilman kosteuspitoisuus (abs.ullakko1 ja abs.ullakko2) hakee tasapainoa ulkoilman (abs.ulkoilma) kanssa, mutta tilapäisesti ullakon ilman absoluuttinen kosteus voi nousta yli ulkoilman tason, esimerkiksi kun yläpohjaan kohdistuu auringsäteilyä. Ullakon mittauksista kohta 1 tuuletuu paremmin kuin kohta 2. Kuvaajassa on lisäksi esitetty lämpötilat vastaavista mittauskohdista.

on ulkoilman tasolla, sillä rakenteet tuuletetaan yleensä ulkoilmalla. Loivissa katoissa voi esiintyä kuitenkin hetkellisiä korkeita suhteellisia kosteuspitoisuuksia, jopa 100 %, esim. katteen alla kylmällä ulkoilmalla, mikä ei ole yleensä haitallista rakenteen toiminnalle. Lämmöneristeen sisältämän keskimääräisen kosteus määrän tulisi kuitenkin olla hygroskooppisella alueella. Esimerkiksi mineraalivilloilla tämä tarkoittaa alle 1 kg/m^3 kosteuspitoisuutta.

B. Vesikattojen ja yläpohjien vaurioitumisriskin arviointi

Vesikatto

Vesikatoilla yleisin rakenteiden vaurioriski syntyy katevuodoista. Vesikatteen läpivientien, kuten kattokaivojen, savupiippujen, ilmanvaihtokanavien ja kattoikkunoiden, liitokset ja saumat voivat olla epätiiviyttä (kuvat 7.60 ja 7.61). Tuulisella säällä sadevesi voi kulkeutua vesikatteen päällä myös ylöspäin ja tunkeutua mm. ylösnostojen epätiiviyshkohtien kautta rakenteisiin.

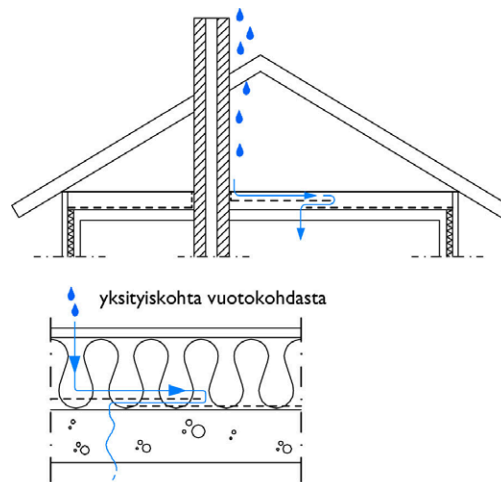
Vesikattojen mahdollisia vuotokohtia voidaan lisäksi tutkia alapuolelta aistinvaraisesti tarkastelemalla huonetilan katto- ja seinäpintoja sekä ullakkotiloissa vesikatteen alapuolisia puurakenteita. Huonetilassa voidaan lisäksi kartoittaa mahdollisesti kastuneita alueita pintakosteudenosoittimella.

Vuotokohdan paikantamisen jälkeen voidaan arvioida vuodon aiheuttamat mahdolliset vauriot rakenteissa. Tutkijan on huomioitava, että vesivu-

doista voi siirtyä rakenteisiin lyhyessäkin ajassa merkittäviä määriä kosteutta.

Vesikatteen läpi tunkeutuvan sadeveden aiheuttaman vaurion laajuus riippuu veden virtausreiteistä. Virtausreittejä voidaan arvioida rakennepiirustusten perusteella, vesisateen aikana tai vesikokein. Vesivuoto, kosteusvaurio ja niiden ilmenemiskohdat sisäpuolella voivat olla vaakasuunnassa etäällä toisistaan. Kuvassa 7.60 sadevesi kulkeutuu vesikaton epätiiviyistä läpiviennin liitoksesta ullakolle, jossa se virtaa höyrnsulun limityskohtaan ja siitä betonilaattojen sauman tai halkeamien kautta huonetilaan.

Kattovuodon ja vesivaurion ilmenemiseen voi mennä pitkä aika, jos kattovuoto on pieni tai jos vesi valuu sellaiseen rakenteeseen, jossa sitä ei heti havaita, tai jos rakennusmateriaalit sitovat paljon kosteutta. Jos kuvan 7.60 tapauksessa yläpohjan lämmöneriste on sahanpurua tai selluvillaa, eris-



Kuva 7.60. Vesikaton vauriokohta ja sen ilmenemiskohta sisäpuolella ovat vaakasuunnassa eri kohdassa. Vesi valuu ullakon höyrnsulun limityskohdan ja betonielementtien sauman kautta huonetilaan.



Kuva 7.61. Savuhormin juuripellin vuodosta kosteusvaurioitunut avattu yläpohjarakenne. Kuva: K. Viljanen, Vahanen Oy.



Kuva 7.62. Katon lämpövuodon lumesta sulattaman veden jäätyminen räystäälle. Oikean puoleisessa kuvassa näkyy myös kattovuodon aiheuttamia kosteusjälkiä tiilijulkisivun yläosassa. Kuvat: J. Sievola ja H. Tuovinen, Vahanen Oy.

teeseen sitoutuvan veden määrä hidastaa vuodon ilmenemistä. Jos vuoto on pieni, se voi näkyä huoneiloissa vasta vuosien kuluttua.

Katteen elinikä voi jäädä arvioitua teknistä käyttöikää lyhemmäksi esimerkiksi, kun vesikate rikkoutuu ulkopuolisesta rasituksesta. Näitä ovat esimerkiksi mekaaninen kuluminen, kattorakenteiden lämpöliikkeet ja taipumat, veden lammikoituminen ja jäätyminen katolle, jään liikkeet sekä sammaleen ja roskien kasaantuminen. Edellä mainittujen tekijöiden seurauksena vesikattojen vedenpoisto ei toimi suunnitellusti.

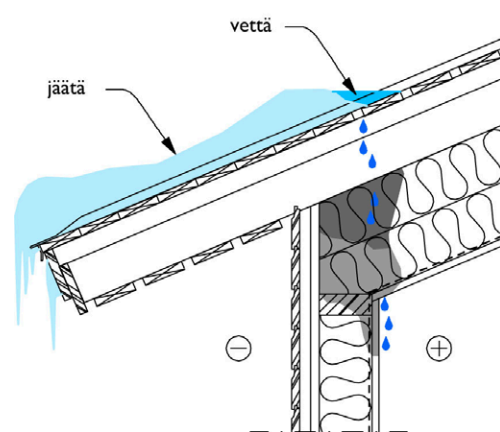
Vesi lammikoituu katolla oleviin painanteisiin, katon saumoihin, vesikaton kantavien rakenteiden taipumisen aiheuttamiin kuoppiin, tukkeutuneiden kattokaivojen ympärille tai lumen ja jään patoamiin kohtiin. Isojen läpivientien kohdalta puuttuvat vastakallistukset aiheuttavat veden padottumista. Kattokaivon tukkeutuminen johtaa veden padottumiseen ja tulvimiseen, jolloin epätiivelyskohtien kautta vedet voivat tunkeutua katto- ja seinärakenteisiin.

Jäätä voi muodostua räystäälle rakennuksessa, jonka katossa on lämpövuotoja (kuva 7.62). Lämpövuotoa voi syntyä esim. lämmöneristeen epäjatkuvuudesta tai ullakotilassa olevasta lämmöneristämättömästä IV-kanavasta. Jään muodostumista räystäälle lisää katon tuuletusvälin heikko tuuletuminen. Lämpövuodot sulattavat katolla olevaa lumikerrosta, jolloin sulanut vesi valuu kylmälle räystäälle ja jäätyy. Räystäälle jäänyt vesi muodostaa padon, joka lisää jään muodostumista räystäällä. Paitsi räystäällä voi jääpatoja esiintyä myös muissa katon osissa. Patoutunut vesi voi tunkeutua kattorakenteeseen esimerkiksi vesikatteen ylösnostojen

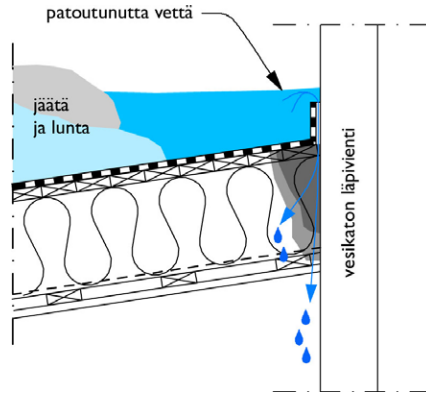
ja kateratkaisuun liittyvien erilaisten tiivistämättömien limitysten kautta. Patoutuminen on yleisintä ulkolämpötilan vaihdella $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ molemmiin puolin. Kuvassa 7.63 on esitetty räystäälle syntyvän jääpadon ja siitä aiheutuvan vesivuodon periaate.

Vesikaton läpiviennit voivat toimia lämpösiltoina ja siirtää sisäilman lämpöä katolle. Lämpö sulattaa läpiviennin ympäristössä lunta. Sulanut vesi virtaa kylmälle alueelle ja jäätyy. Jäätyvä vesi patoaa veden lammikoksi läpiviennin ympärille (kuva 7.64).

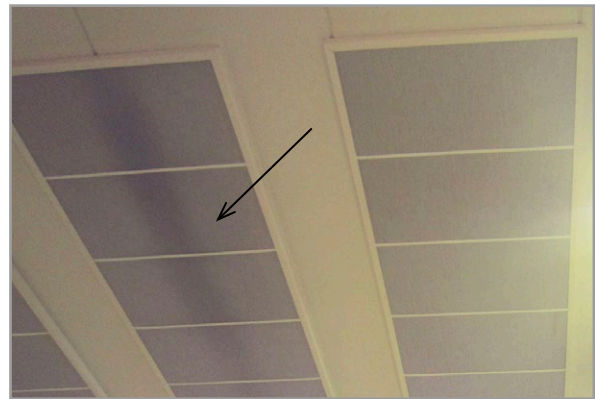
Sisäkatossa näkyvien vuotojälkien aiheuttaja voi olla muu kuin vesikatteen vuoto. Kuvassa 7.65 näkyvät vuotojäljet sisäkatossa ovat syntyneet aiemman vesikattokorjauksen yhteydessä. Tarkastus vesikatolla osoitti, että vesikate on verrattain uusi ja hyväkuntoinen. Henkilökunnan haastatteluissa selvisi, että korjaustyön aikana rajuilma oli viikonlopun aikana repinyt avattuina rakenteita suojanneita pressuja ja sadevesi oli päässyt rakenteisiin.



Kuva 7.63. Räystäälle muodostuneen jää- ja lumipadon aiheuttama vesilammikko.



Kuva 7.64. Lämpimän läpiviennin aiheuttama veden patoutuminen katolle ja esimerkitapauksen vaurioitumisperiaate. Valokuva: P. Laamanen, Vahanen Oy.



Kuva 7.65. Vasen kuva: valumajälkiä luokkahuoneen katossa. Vauriot olivat syntyneet vesikaton korjauksen yhteydessä. Huom. Kosteuden aiheuttamia jälkiä ei pidä sekoittaa ilmavuotojen aiheuttamiin tummentumiin (oikeanpuoleinen kuva, jälki katon akustointilevyssä ontelolaatan sauman kohdalla). Kuvat: P. Laamanen ja M. Pitkäranta, Vahanen Oy.

Loivien kattojen alapuolisissa tiloissa havaittuja vesivuotoja voi esiintyä myös katon rakennuskosteuden kuivumisvaiheessa, mitä ei tule sekoittaa vesikatteen vuotoihin. Lisäksi katon alapintaan voi kondensoitua sisäilman kosteutta esimerkiksi kylmäsilta-kohtissa.

Yläpohja

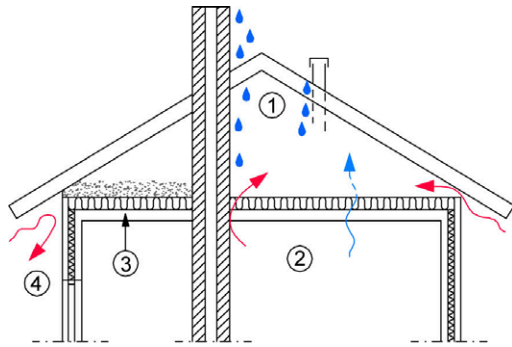
Yläpohjan vaurioitumista vesikatteen vuotamisen takia on käsitelty kohdassa *Vesikatto*.

Yläpohjarakenteiden kuntotutkimuksissa keskitytään ko. kattorakenteen kaikkiin oleellisiin toimintaan vaikuttaviin lämpö-, kosteus- ja virtaus-tekniisiin tekijöihin. Yläpohjan tuuletustilan kosteuspuoloisuus riippuu tuuletustilaan tulevasta ja sieltä poistuvasta sekä rakenteisiin sitoutuvasta tai rakenteiden luovuttamasta kosteudesta. Kosteuspitoisuuteen vaikuttavat tuuletustilan ja ulkoilman välinen lämpötilaero, ulkoilman kosteuspuoloisuus,

sisäilman kosteuden diffuusio ja konvektio sekä mahdollisista vesikattovuodoista aiheutuva kosteuslisä. Ulkoilman kosteus siirtyy yläpohjan tuuletustilaan pääasiassa konvektiolla tilan tuuletusilman mukana. Yläpohjarakenteisiin vaikuttavat kosteusrasitukset on esitetty kuvassa 7.66.

Kosteus siirtyy kylmiin rakenneseisiin diffuusiolla, jos yläpohja ei ole vesihöyrytiivis. Diffuusion kannalta yläpohjarakenteet toimivat ja vaurioituvat vastaavalla tavalla kuin ulkoseinät, ks. kohta 7.2.4.

Kosteuskonvektion aiheuttama vaurio syntyy yläpohjan tuuletustilaan, kun sisältä yläpohjarakenteen läpi tai rakenteen epätiiveyskohtien (kuva 7.67) kautta ullakolle esiintyy ilmavirtauksia ja kattorakenteen lämpötila on alle huoneen kriittisen lämpötilan. Ylimääräinen kosteus tiivistyy vesikattorakenteisiin ja jäätyy talvella. Sulaessaan jäätynyt vesi voi tippua yläpohjaan aiheuttaen paikallisen kosteusvaurioriskin. Lisäksi uusissa rakennuksissa rakennuskosteus voi muodostaa

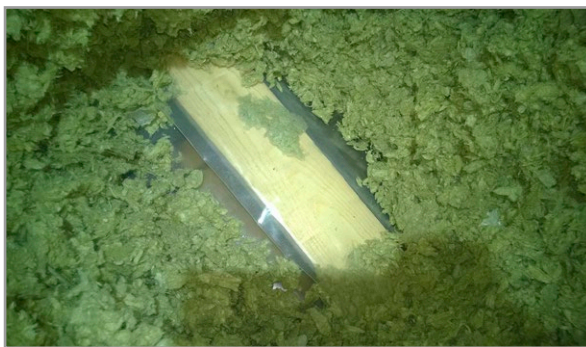


- 1 Vesikatto vuotaa epätiivivistä katteesta johtuen ja/tai läpivientien kohdalta
- 2 Sisäkosteus siirtyy kylmiin rakenteisiin diffuusiolla ja konvektiolla
- 3 Yläpohjan korkea rakennekosteus
- 4 Tuuletus toimii puutteellisesti, jos lämmöneristeet tukkivat tuuletusvälin

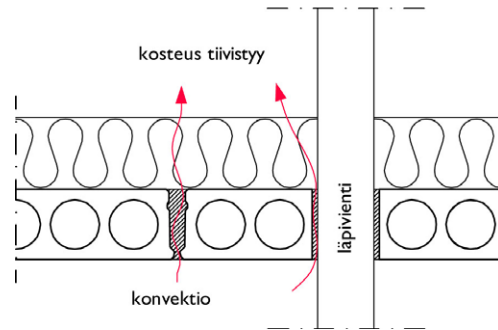
Kuva 7.66. Yläpohjan kosteusrasitukset.

merkittävän kosteusrasituksen. Kosteuskonvektion esiintymisen kannalta kriittiseksi muodostuu yläpohjarakenteen höyrönsulun (kuva 7.67) ja eri rakenneosien välisten liitosten ja läpivientien ilmanpitävyys (kuvat 7.68 ja 7.69). Sisäilman kosteus voi siirtyä ylipaineisesta sisätilasta konvektiolla myös ontelolaattojen välisten epätiivisti toteutettujen saumojen tai läpivientien kautta tuuletustilaan (kuva 7.68). Kuntotutkijan tulee arvioida, ovatko höyrönsulun saumat ja rakenteen läpiviennit ilmatiiviit ja onko yläpuolisen rakenteen tuulettavuus tiiveyteen nähden riittävä.

Harjakattoisessa rakennuksessa ilman mukana liikkuva kosteus kerääntyy harjalle katon korkeimpaan kohtaan. Tiivistynyt kosteus tippuu tai valuu



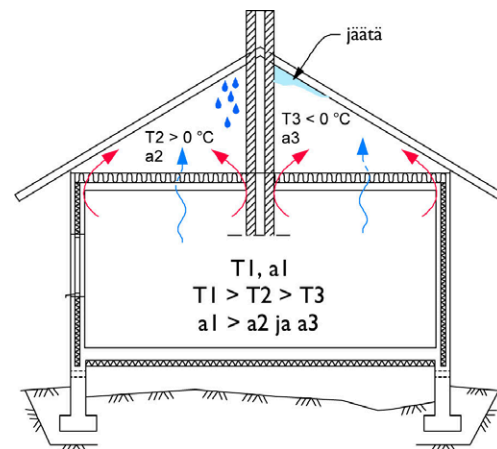
Kuva 7.67. Höyrönsulun jatkos limitettynä muttei teipattuna ylhäältäpäin puhallusvillaan tehdyn kuopan kautta katsottuna. Kuva: K. Viljanen, Vahanen Oy



Kuva 7.68. Ontelolaattarakenteisessa yläpohjassa kosteaa sisäilmaa voi siirtyä epätiivisti toteutettujen saumojen ja läpivientien kautta tuuletustilaan.

yläpohjaan sekä mahdollisesti sisätiloihin ja seinärakenteisiin, kuva 7.69. Huonosti tuuletetuissa tai tuulettamattomissa katoissa harjalle kertynyt kosteus voi aiheuttaa puurakenteiden home- tai jopa lahovaurioita.

Kylmän ullakon lämpötila laskee öisin ns. yön vastasäteilyn vaikutuksesta, ks. kappale 5.5. Kylminä, tyyninä öinä peltikatteen lämpötila voi laskea nopeasti jopa 10 °C kylmemmäksi kuin ulkolämpötila, jolloin kosteutta tiivistyy pellin alapintaan. Sama vaikutus syntyy, jos lumi pysyy katolla pitkään ulkolämpötilan noustua yli 0 °C. Vesikatolla oleva lumi toimii toisaalta lämmöneristeenä kylminä öinä, mutta toisaalta se voi pitää yläpohjan tuuletustilan lämpötilan alhaisempuna kuin ulkolämpötila lisäten vesikatteen sisäpuolista kondenssiriskiä. Yläpohjarakenteiden kosteuden sitomiskyky vaikuttaa osaltaan kosteuden tiivistymiseen pellin alapintaan siten, että kosteuskapasiteetin kasvaessa tiivistyminen vähenee.



Kuva 7.69. Kosteuden siirtyminen konvektiolla ullakkorakenteisiin. Kuvassa T on lämpötila ja a on ilman absoluuttinen kosteussisältö.



Kuva 7.70. Aluskatteen ja läpiviennin epätiivis liitos. Kuva: P. Räisänen, Vahanen Oy.



Kuva 7.71. Aluskatteen riittävä ulottuma seinälinjan ulkopuolelle. Kuva: K. Viljanen, Vahanen Oy.

Vanhoissa kattorakenteissa on tarkistettava aluskatteen olemassaolo ja sen toteutuksen oikeanlaisuus. Jos aluskate puuttuu tai se on puutteellisesti toteutettu, tulee arvioida onko tästä aiheutunut vaurioita rakenteille. Jos vesikaton läpivientejä ei ole tiivistetty huolellisesti, aluskatteen päällä virtaava vesi valuu läpiviennin vierestä ullakolle (kuva 7.70). Katteen kiinnityksessä käytetyt naulat ja ruuvit lävistävät usein aluskatteen.

Aluskatteen ulottuma tulisi olla vähintään ulkoseinälinjan ulkopuolelle (kuva 7.71). Muuten aluskatteen päällä valuva vesi voi ohjautua haitallisesti rakenteisiin.

Kosteusvaurioriskiinkin vaikuttaa yläpohjan tuuletusilman määrä ja sen kyky sitoa kosteutta. Yläpohjatila tuulettuu tuulen, lämpötilaerojen tai koneellisen tuuletusjärjestelmän aiheuttaman paine-eron avulla. Kuntotutkijan tulee arvioida,

tuulettuuko yläpohja riittävästi. Tuulen ja lämpötilaerojen avulla tuuletetun yläpohjan tuuletus voi olla riittämätön, jos

- tuuletusaukkoja ja/tai -rakoja on liian vähän tai ne ovat liian pienet
- tuuletusaukot tai -raot ovat tukossa (kuva 7.72)
- tuuletusvälit ovat liian ahtaat tai ne ovat tukossa (kuva 7.73)
- tuuletuksessa on katvealueita
- rakennus sijaitsee tuulelta suojaisessa paikassa,
- jolloin rakennuksen yli ei ole riittävää paineeroa, ks. kappale 5.5
- rakennuksen runkosyvyys on iso
- tuuletustila on liian matala
- tuuletustilan ja ulkoilman välinen lämpötilaero ja kattokaltevuus ovat pienet
- yläpohja on osastoitu.



Kuva 7.72. Vesikaton aluskatteen ja lämmöneristevillan välistä tuuletusväliä on yritetty kuvan kohteessa korjata laudan pätkillä. Kuva: P. Laamanen, Vahanen Oy.



Kuva 7.73. Yläpohjan lämmöneristeiden asennus kiinni aluskatteen on aiheuttanut yläpohjarakenteisiin kosteusvaurioita. Kuva: T. Manninen, Vahanen Oy.

Kuvan 7.72 esimerkissä lämmöneristeet tukkivat tuuletusvälin ja yläpohjan heikkoa tuulettavuutta on yritetty parantaa korjaamalla aluskatteen ja lämmöneriste villan välistä tuuletusväliä laudan pätkillä. Suunnitelmista poiketen tuuletus harjalla oli unohdettu rakentamisvaiheessa ja vesikatteen aluslaudoitus oli lahonnut.

Tuuletusilman kyky sitoa kosteutta riippuu ulkoilman suhteellisesta kosteudesta ja siitä, lämpekö tuuletusilma tuuletustilassa. Ilman lämmetessä tuuletusilman suhteellinen kosteus laskee ja kyllästysvajaus kasvaa lisäten vastaavasti tuuletusilman kykyä sitoa kosteutta. Päinvastaisessa tapauksessa tuuletusilman jäähtyessä tuuletus kostuttaa rakennetta.

Kuvassa 7.73 on esimerkki yläpohjarakenteen peruskorjauksen yhteydessä vanhojen sahanpuuristeiden päälle asennetun lisälämmöneristyksen aiheuttamasta kosteusvauriosta. Yläpohjan korjaus on toteutettu niin, että aluskatteen ja lämmöneristeiden väliin ei ole jäänyt tuuletusväliä. Jotta tällainen rakenne toimisi, tulisi aluskatteen olla vesihöyryä läpäisevä (tuulensuoja-aluskate), mutta nyt näin ei ollut. Vesihöyry oli kertynyt lämmöneristekerrokseen, jolloin lämmöneristeitä kannattelevat puurakenteet olivat paikoin lahonneet niin, että katto oli notkahtanut. Purkutöissä havaittiin yläpohjan lämmöneristeiden olevan märkiä. Aluskatteen alapinnassa havaittiin helmeileviä vesipisaroita.

Yläpohjien kosteusmittauksissa voidaan käyttää hetkellisiä tai jatkuvia mittauksia. Käytännössä mittaukset tehdään yleensä hetkellisinä, esimerkiksi kun katon lämmöneristeiden lämpötilaa ja kosteutta mitataan mittausanturilla. Hetkellisissä mittauksissa on vaikeutena arvioida mittaustulosta, sillä mittaustulos edustaa yksittäistä kohtaa katolla, yksittäistä kohtaa rakenteessa sekä lisäksi yksittäistä mittaushetkeä. Esimerkiksi loivan katon lämmöneristeiden suhteellinen kosteus voi muuttua jopa 40 %-yksikköä tunnissa auringonpaisteen osuessa katolle (Viljanen K., 2012).

Luotettavin hetkellinen yläpohjan kosteustason määrittäminen on kuivatus-punnituskoete, jossa katon lämmöneristeestä otetaan koko lämmöneristeiden korkeudelta näyte. Tällöin näyte edustaa koko rakenteen lämmöneristeiden korkeutta. Lisäksi näytteen sisältämä kosteus määrä [kg/m³] on helpommin analysoitavissa, sillä materiaalien sisältämä kosteus määrä muuttuu hitaammin kuin materiaalin huokosilman suhteellinen kosteus. Kattora-

kenteiden kosteusmittausten sijainti ja mittaustapa on aina suunniteltava huolellisesti etukäteen.

Kuntotutkijan tulee arvioida, onko yläpohjan lämmöneristeestä mitattu kosteus pitoisuus kohonnut ja jos on, voidaanko sen antaa kuivua ilman kuivatus toimenpiteitä siten, ettei tästä aiheudu kosteusvaurio- tai terveystarpeita.

7.2.6

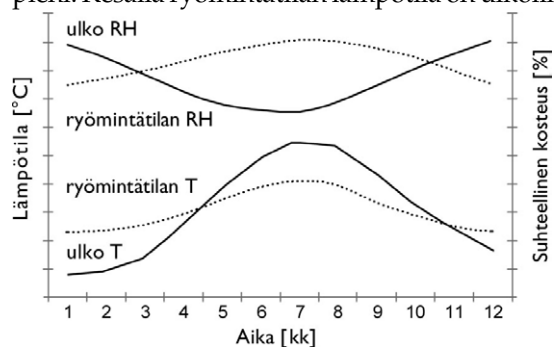
Maanvastaiset seinät, perustukset ja alapohja

A. Maanvastaisten rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta

Tuuletettu alustatila eli ryömintätila

Ryömintätiloissa (kuva 7.7 rakenne 9) ilman suhteellinen kosteus vaihtelee eri vuodenaikoina ulkoilmassa vallitsevien lämpö- ja kosteusolosuhteiden vaikutuksesta (kuva 7.74). Ryömintätilan olosuhteet muodostuvat monesta tekijästä, johon vaikuttaa mm. huonetiloja vasten olevan alapohjan lämmöneristävyyden, ryömintätilan tuulettavuuden, maapohjan kosteustuotto ja maan pintaosan sekä rakenteiden lämpötilan muutosten nopeus (terminen diffusiviteetti) ulkoilman lämpötilan muuttuessa.

Ryömintätila ja rakennuksen alla oleva maa ovat lämpötekniisesti hitaita, eli ryömintätilan ilman lämpötila muuttuu hitaammin kuin ulkolämpötila. Ryömintätilan keskellä muutosnopeus on pienempi kuin ulkoreunoilla. Talvella ryömintätila on yleensä lämpimämpi kuin ulkoilma ja ryömintätilaan virtaava ulkoilma kuivattaa ryömintätilaa. Tällöin ryömintätilan suhteellinen kosteus laskee, koska talvella ulkoilman absoluuttinen kosteus määrä on pieni. Kesällä ryömintätilan lämpötila on ulkoilman



Kuva 7.74. Periaatekuva ulkoilmalla tuuletetun ryömintätilan ilman ja ulkoilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden vaihtelusta vuoden aikana.

lämpötilaa alhaisempi. Kun kosteaa ulkoilmaa virtaa tuuletusaukkojen kautta viileään ryömintätilaan, ryömintätilan suhteellinen kosteus nousee.

Jos ryömintätilaa rajoittavat rakenteet ovat lämpöteknisesti hitaita, ryömintätilan tuuletuksen tehostaminen kesällä nostaa ryömintätilan kosteuspiitoisuutta, koska yhä enemmän lämmintä ja kosteaa ulkoilmaa virtaa ulkoilmaa kylmempään ryömintätilaan. Tämä voi johtaa ns. kesäkondenssiin, jossa ulkoilman kosteus tiivistyy talven jäljiltä kylmille pinnoille ja kastelee rakenteita. Tuuletuksen tehostaminen talvella kuivattaa ryömintätilaa, mutta myös jäähdyttää heikosti eristettyä lattiarakennetta. Ryömintätilan ja ulkoilman lämpötilojen ja suhteellisen kosteuden vaihtelu on esitetty kuvassa 7.74.

Hyvin tuulettuvassa ryömintätallassa, jossa ei ole liiallista maapohjan kosteustuottoa, ryömintätilan ilman suhteellinen kosteus on tyypillisesti välillä 60–80 %. On kuitenkin yleistä, että kesäaikaan ryömintätallassa suhteellinen kosteus vaihtelee 80–95 % välillä ja nousee hetkellisesti jopa 100 %:iin.

Ryömintätilan tuuletuksen suuruus riippuu tuuletusaukkojen tehollisesta yhteispinta-alasta ja niiden sijainnista perusmuurissa, tilan avoimuudesta ja mikroilmastosta. Ryömintätilojen tuuleduksesta on annettu ohjeita julkaisussa *RIL 107-2012. Rakennuksen veden- ja kosteudeneristysohjeet* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012). Ryömintätilan tuuletus ei voi kompensoida maapohjan voimakasta kosteustuottoa.

Ryömintätilan maapohjan kosteustuotto riippuu mm. pohjavedenpinnasta ja maa-aineksen kapillaarisuudesta. Maapohjan kosteustuottoa alentaa mahdollinen ryömintätilan pohjalle asennettu kapillaarisen vedennousun estävä rakennekerros, jona käytetään yleisesti sepeliä. Maapohjan kosteustuottoa rajoittamaan on myös käytetty muovikalvoa. Nykyisten ohjeistusten mukaan muovikalvon käyttämistä ei suositeta, mutta korjauskohteissa voidaan poikkeustapauksissa käyttää rei'itettyä muovikalvoa. Tällöin muovikalvon alapuolella ei saa olla mikrobivaurioituvaa orgaanista materiaalia (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012).

Ryömintätilan lämpötilaa voidaan jonkin verran nostaa lämmöneristämällä kylmä maapohja esimerkiksi kevytsoralla. Lämpötilan nousu laskee ryömintätilan suhteellista kosteutta kesäaikana. Samalla lämmöneristekerros alentaa maapohjan kosteustuottoa.

Maanpinnan kallistaminen rakennuksesta pois päin ja salaojitus ovat tärkeitä, jotta pintavedet ei-

vät siirry ryömintätilaan. Ryömintätilan puolella maapohjan kallistusten tulee estää veden lammi-koituminen maapohjalle.

Ääritapauksissa voidaan hyväksyä ryömintätaloissa em. ohjearvoja korkeampia kosteuspiitoisuuksia, jos kosteuslähteiden poistaminen on teknisesti sekä taloudellisesti vaikeasti toteutettavissa, alapohjarakenne on betonirakenteinen ja alapohja on ilmatiivis. Täysin ilmatiiviitä rakenteita on kuitenkin hyvin vaikea saavuttaa, joten ryömintätilan tulisi ensisijaisesti olla kosteusteknisesti toimiva.

Ryömintätilan ja huonetilan välinen alapohjarakenne

Alapohjarakenteissa tavanomainen kosteustaso riippuu ryömintätilan ja sisäilman olosuhteista sekä alapohjarakenteesta. Kosteustasot vaihtelevat merkittävästi ja hyväksyttävänä pidetty kosteustaso riippuu alapohjarakenteesta käytetyistä materiaaleista (kohta 6.2.3).

Betonirakenteisessa alapohjarakenteessa (kuva 7.7 rakenne 5) kosteuden tulee olla hygroskooppisella alueella eli suhteellinen kosteus on alle 98 %. Alapohjan alapinnassa tai sokkelin sisäpinnassa voi ajoittain olla jopa kondensoitunutta kosteutta. Tilanne saattaa olla hyväksyttävä, jos alapohjassa ei ole orgaanista, mikrobivaurioituvaa ainesta kuten vanhoja muottilautoja tai korkea kosteuspiitoisuus esiintyy lyhytaikaisesti. Alapohjarakenteen yläosassa suhteellisen kosteuden arvot vaihtelevat tyypillisesti n. 60–85 % välillä, riippuen mm. alapohjarakenteesta, rakennuksen iästä, käytetyistä pintamateriaaleista ja mahdollisesta lattialämmityksestä. Alapohjarakenteesta mitattujen kosteussisältöjen (g/m^3) pitäisi sijoittua ryömintätilan ja sisäilman keskimääräisten kosteussisältöjen välille. Betonirakenteiden päällystämistä ja eri päällysteille annetuista kosteusraja-arvoista on esitetty tarkempia ohjeita julkaisussa *Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen* (Merikallio T., ym., 2007).

Kantavan rakenteen yläpuolelta solumuovilla lämmöneristetyissä ryömintätalalaisissa betonialapohjissa rakenteen rakennuskosteus voi nostaa suhteellisen kosteuden korkeaksi lämmöneristeen ala- tai yläpinnassa. Tästä ei yleensä ole haittaa, koska olosuhteet mikrobikasvulle ovat epäedulliset betoni-solumuovi-betoni-rakenteissa mikäli eristetila on puhdas eikä sinne ole jäänyt rakennusjätteitä. Rakenteen on kuitenkin päästävä pitkällä aikavälillä kuivumaan ja alapuolella olevan ryömintätilan tulee olla kosteusteknisesti toimiva.

Puurakenteisissa alapohjissa (puinen kantava palkisto, ns. rossipohja) alapohjarakenteen sisäpinnan ilmatiiveys on yleisesti vaikeampi toteuttaa betonirakenteiseen alapohjarakenteeseen verrattuna. Ryömintätilan suhteellisen kosteuden tulee rajoittaa alle 80 %:iin, ettei ryömintätilaan muodostu mikrobikasvulle otollisia olosuhteita. Kosteudenkestävillä tuulensuojalevyillä voidaan sallia korkeampi ryömintätilan kosteuspuiteisuus.

Puualapohjissa rakenteen kosteusteknistä toimintaa voidaan tarvittaessa parantaa lämmöneristämällä alapohja alapinnastaan peittäen alapohjan kantavat puurakenteet.

Maanvastaiset alapohjat

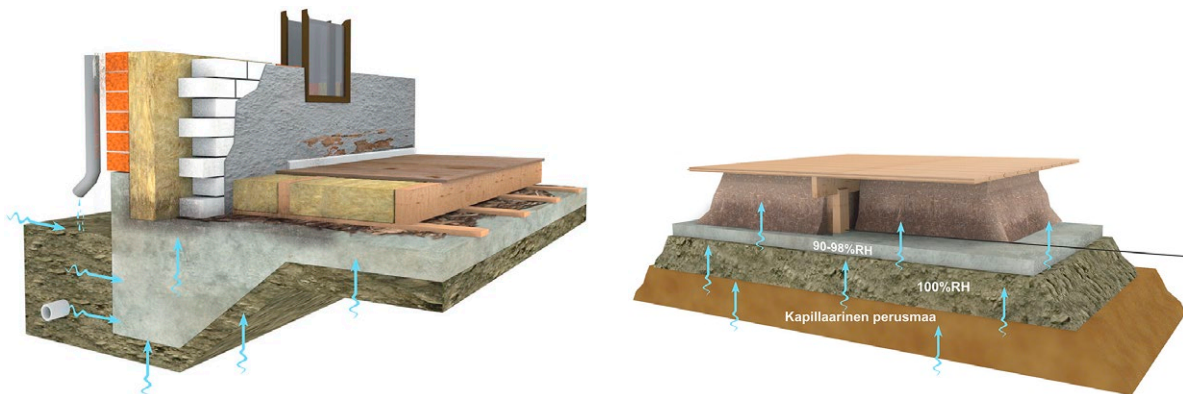
Maanvastaiset alapohjarakenteet (kuva 7.7 rakenne 7) saattavat olla kosketuksissa kapillaarisesti nousevaan maakosteuteen, jolloin alapohjan rakenteissa voi olla korkeita kosteuspuiteisuuksia (kuva 7.75). Perustusrakenteissa (kuva 7.7 rakenne 8) kuten paaluissa, anturoissa ja perusmuurien ulko-osissa voidaan toisaalta sallia jopa kapillaari-alueella olevia kosteuspuiteisuuksia. Kapillaarisesti nousevan kosteuden lisäksi muita mahdollisia syitä alapohjien korkeisiin kosteuspuiteisuuksiin ovat muun muassa rakennusaikainen kosteus, kosteuden siirtyminen maaperästä diffuusiolla, yläpuoliset vesivahingot, rakenteen sisäiset putkivuodot tai maaperässä olevat lämmönlähteet (mm. lämpimät putket). Vesihöyryn diffuusion suuruuteen vaikuttaa alapohjarakenteen ja alapuolisen sorastuksen välille syntyvien lämpötilaerojen suuruus. Mitä paksumpi lämmöneriste maanvastaisessa alapoh-

jassa on, sitä vähemmän maapohjasta kohdistuu vesihöyryn diffuusiota ylöspäin rakenteeseen.

Maakerros rakennuksen alla on ympäri vuoden noin + 10...+ 20 °C lämpötilassa. Maaperän huokosten suhteellinen kosteuspuiteisuus on tyyppillisesti hyvin lähellä 100 %:ia, vaikka pohjaveden pinnan tasoa hallittaisiin salaojituksella. Siten rakennuksen alla maaperässä on otolliset elinolosuhteet mikrobikasvulle. Maanvastaisen alapohjan alapuolisesta maakerroksesta mitatut korkeat suhteelliset kosteuspuiteisuudet ja mikrobimäärät eivät merkitse alapohjarakenteen kosteusvauriota. Tällöin kuntotutkijan on arvioitava, voiko maakerroksesta siirtyä sisäilmaan ilmanlaatua alentavia epäpuhtauksia.

Maanvastaisessa alapohjarakenteessa tulisi olla kapillaarikatkokerroksena, kuten tarkoitukseen sopiva, vähän hienoainesta sisältävä karkea sepelikerros, joka estää maaperän kapillaarisen kosteuden siirtymisen alapohjarakenteen pintaosiin tai ylipäätään haitallisesti alapohjarakenteeseen. Kapillaarikatkokeroksena toimii myös solumuovinen lämmöneriste. Toimivalla salaojituksella pyritään varmistamaan, ettei veden pinta nouse liiallisesti, jolloin maan kapillaarisesti siirtyvä kosteus voisi nousta korkeudelle, missä se voi aiheuttaa vaurioita alapohjarakenteen materiaaleissa.

Vanhoissa maanvastaisissa alapohjissa on käytetty maakosteuden hallinnassa muovikalvoa, joka voi sijaita maapohjan päällä, kiviainestäytön keskellä, lämmöneristeen alapuolella ja lämmöneristeen ja betonilaatan välissä. Uudisrakentamisessa ei nykyään yleensä käytetä höyrynsulkumuovia maanvastaisissa alapohjissa. Tämä perustuu toi-



Kuva 7.75. Maanvastaisia alapohjarakenteita. Vasemman puoleisessa kuvassa reunavahvistettu alapohjalaatta ja sen päälle koolattu mineraalivillalla lämmöneristetty puulattia. Oikean puoleisessa kuvassa laatan päälle koolattu sahanpurueristetty puulattia. Molemmissa tapauksissa vaurioita voi syntyä maakosteuden vaikutuksesta erityisesti lämmöneristekerroksen alaosaan. Kuva: Kosteus- ja hometal-

mintaperiaatteeseen, jonka mukaan muovikalvolla ei haluta rajoittaa kosteudensiirtymistä rakenteesta maahan tai päinvastoin.

Maanvastaisissa alapohjissa pintavesien pääsy rakenteeseen tai sen alapuoliseen maaperään on nykyään estetty sokkelin vierustan ja pohjamaan salaojituksella ja maanpinnan muotoilulla. Vanhoissa rakennuksissa ei välttämättä ole salaojitusta, mutta osa rakennuksista toimii hyvin tästä huolimatta.

Maanvastaisen betonilaatan yläosissa ei sallita korkeita kosteuspitoisuuksia, jos laatan päällä on koolattu puulattia tai rakenteeseen liittyy muita vaurioherkkiä materiaaleja. Samoin kosteusvaurioituvat lattian pintamateriaalit, kuten muovimatot, rajoittavat betonilaatan yläosassa sallituksi katsottavaa kosteustasoa. Maanvastaisten alapohjarakenteiden pintamateriaalien tulisi olla mahdollista kosteusrasitusta sietäviä ja mikäli mahdollista myös diffuusioavoimia (vesihöyryä hyvin läpäiseviä). Useimmat keraamiset laatoitukset, massalattiat ja vesihöyryä hyvin läpäisevät maalit kestävät kosteusrasitusta, jossa esimerkiksi muovilattiapäällyste voi vaurioitua. Useimpien mattoliimojen kriittisenä suhteellisen kosteuden arvona pidetään 85 % RH, mikä tarkoittaa, että suhteellinen kosteus mattopäällysteen alla liimassa ei saa pitkäksi aikaa nousta yli tämän arvon. Kriittinen kosteusraja-arvo päällystysvaiheessa on yleensä 85...90 % RH. Hyvin toimivissa maanvastaisissa rakenteissa kosteus tasaantuu muovimaton alla tason 80 % RH alapuolelle.

Maanvastaisen alapohjarakenteen kosteus- ja lämpötekniistä toimintaa on perusteellisemmin käsitelty julkaisussa *Maanvastaisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus* (Leivo V. ja Rantala J., 2002).

Maanvastaiset seinät

Maanvastaiset seinät (kuva 7.7 rakenne 10) on toteutettu yleensä betoni- tai harkkorakenteisina. Seinän ulkopinnassa voi olla esimerkiksi bituminen vedeneristyskerros, perusmuurilevy tai ns. toiminnallinen vedeneristys (mm. salaojittava lämmöneriste). Bitumikermeillä vedeneristetyissä tai perusmuurilevytetyissä seinissä lämmöneriste, yleensä solumuovi, on näiden kerrosten ulkopuolella.

Maanvastaisissa seinissä lämmöneristystä ei tulisi sijoittaa seinän sisäpuolelle, mutta usein näin on menetelty, erityisesti vanhemmissa rakennuksissa (kuva 7.76). Rakennratkaisuja on usean tyyppisiä. Eräs muunnelmä tästä on sisäpuolelta tiilivuorattu sementtilastuvilla- tai mineraalivillaeristeinen kellarinseinä. Tiilivuoratun lämmöneristetyn seinän tapauksessa suurin ongelma on tullut tiilimuurin ja lämmöneristeen ulottumisesta alapohjalaatan alapuolelle kosteisiin olosuhteisiin, jolloin lämmöneriste voi mikrobivaurioitua ja kosteutta nousta kapillaarisesti tiilimuuria pitkin ylöspäin.

Maanvastaisten seinärakenteiden sisäpinnan pintamateriaalien tulisi olla kosteusrasitusta kestäviä ja diffuusioavoimia. Tällaisia materiaaleja ovat esimerkiksi vesihöyryä hyvin läpäisevät ja kosteusrasitusta kestävät tasoitteet ja maalit.

Salaojittavalla vierustäytöllä, esim. sepelillä johdetaan vajovesi salaojiin. Vanhoissa rakennuksissa ei ole yleensä tehty vierustäyttöä salaojittavilla kerroksilla eikä asennettu salaojaputkia, mikä lisää rakenteiden kosteusrasitusta. Vanhat salaojat voivat olla tehty savitiilestä, joiden vedenpoistokyky ei vastaa nykyaikaista salaojaa. Hulevedet on toisaalta saatettu johtaa



Kuva 7.76. Harkkomuurattuja maanvastaisia seinä. Sisäpuolinen lämmöneriste voi vaurioitua erityisesti alaosastaan maakosteuden vaikutuksesta. Kuva: Kosteus- ja hometalkoot, 2012.

salaojaverkostoon, jolloin salaojien toimintakyky on heikompi kuin erillisissä järjestelmissä.

Harkkorakenteisissa kellarinseinissä harkkojen sisä- ja ulkopinnan slammaus lisää seinän vesitiiveyttä, ilmatiiveyttä ja lämmöneristävyttä. Ilman slammausta olevissa harkkorakenteissa tapahtuu hallitsemattomia ilmavirtauksia, mikä voi mm. siirtää ilman vesihöyryä rakenteisiin. Maanvastaisissa seinissä voi esiintyä ilmavuotoa myös alapohjarakenteen liittymän kautta.

Maanvastaisissa seinissä voi esiintyä kylmäsilta seinän maanpäällisessä osuudessa. Harkkoseinissä seinän yläosa toteutetaan nykyään usein eristeharkolla, jolloin em. kylmäsiltaa ei synny. Betonirakenteissa on voitu käyttää betonin ulkopuolista lämmöneristystä tai sandwich-tyyppistä lämmöneristystä vastaavaan tarkoitukseen. Maanpäällisen seinän osuuden tulisi olla lisäksi riittävän vesitiivis ja kosteudenkestävä, sillä pinta- ja sadevedet eivät saisi siirtyä rakennuksen sokkelista maanvastaiseen seinärakenteeseen.

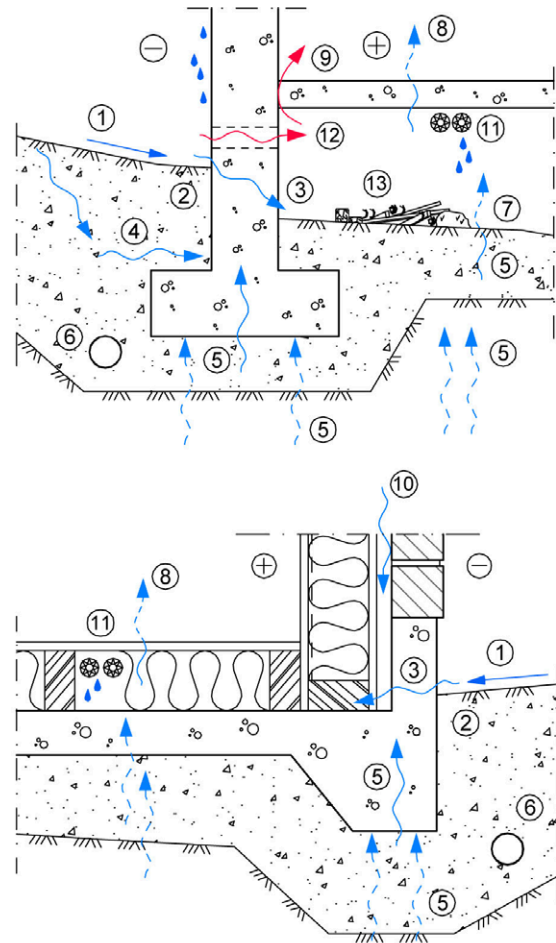
Maanvastaisten seinien kosteustekninen toiminta määräytyy paljolti maan kosteuden mukaan ja suunnittelussa oletetaan maan huokosilman suhteellisen kosteuden olevan 100 %. Diffuusion lisäksi kellarinseinissä muita kosteuslähteitä ovat sisäilman kosteus, rakennekosteus, maakosteus ja pintavesien valuminen maassa.

Maanvastaisten seinien tavanomainen kosteustaso vaihtelee riippuen mm. seinän vedeneristyskerroksen olemassaolosta tai sijainnista. Vanhoissa rakenteissa on käytetty betoniseinän sisäpuolista bitumisivelyä, jolloin vedeneristeen ulkopuolinen rakenne voi normaalitilanteessa olla jopa kapillaarikosteuden alueella. Maanvastaisten seinien tavanomainen kosteustaso on selvästi hygroskooppisella alueella, jos seinän ulkopuolinen vedeneristys ja alapohjan ja anturan kapillaarikatkot ovat toimivat. Hyvin toimivissa maanvastaisissa seinärakenteissa seinien sisäosien kosteus laskee 70 % RH tason alapuolelle. Jos maakosteus pääsee kapillaarisesti nousemaan seinään, seinän alaosan suhteellinen kosteus voi nousta jopa 90–100 %:iin.

Kellaritiloissa on usein puutteellinen ilmanvaihto, mikä nostaa kellarin ilman kosteuspitoisuutta. Tutkimuksissa on arvioitava kellarin ilman lämpötilan vaikutus tilan olosuhteisiin ja rakenteiden toimintaan. Kellarin lämmittäminen vaikuttaa alentavasti sisäilman ja myös seinän suhteelliseen kosteuteen.

B. Maanvastaisten rakenteiden vaurioitumisriskin arviointi

Perustusten yleisimmät kosteus- ja mikrobivaurioiden aiheuttajat on esitetty kuvassa 7.77. Vaurioitumisaste ja sen laajuus riippuvat kosteusrasituksesta



- 1 Pintavesien valuminen rakennukseen
- 2 Puutteellinen sadevesijärjestelmä
- 3 Pintaveden tunkeutuminen ryömintätilaan ja muihin rakenteisiin
- 4 Paineellisen veden tunkeutuminen ryömintätilaan ja muihin rakenteisiin
- 5 Veden kapillaarinen nousu rakennuspohjasta rakenteisiin
- 6 Salaoituksen puutteet
- 7 Ryömintätilan korkea kosteustuotto
- 8 Kosteuden siirtyminen diffuusiolla
- 9 Kosteuden siirtyminen konvektiolla
- 10 Sadeveden tunkeutuminen ylempien rakenteiden epätiiviyyskohtien kautta perustusrakenteisiin
- 11 Putkivuoto ryömintätilassa
- 12 Ryömintätilan riittämätön tuuletus
- 13 Rakennusjätteet ryömintätilassa

Kuva 7.77. Perustusrakenteiden yleisimmät kosteus- ja homevaurioiden aiheuttajat.

ja rakenneratkaisuista. Veden siirtyminen kapillaarisesti rakenteisiin maanvaraisissa lattiarakenteissa ja maakosketuksissa olevissa seinissä sekä veden lammikoituminen ryömintätilaan tai veden kapillaarinen nousu ryömintätilan maan pinnalle ovat yleisimmät ja vahingollisimmat maanvastaisten rakenteiden kosteus- ja homevaurioiden aiheuttajat.

Ryömintätilojen tarkastuksissa arvioidaan mm. ryömintätilan tuulettuvuutta, maapohjan kosteustasoa, rakenteiden pintojen kondenssia, mahdollisia mikrobiperäisiä hajuja, rakenteissa havaittavia homekasvustoja ja lahoa sekä orgaanisen aineen määrää ryömintätilassa. Lisäksi tutkimuksissa tulee tarvittaessa arvioida mittausten avulla alapohjan ilmatiiveyttä sekä ryömintätilan ja sisäilman välistä painesuhdetta.

Pintavesien valuminen rakennukseen

Pintavedet valuvat perustusrakenteisiin, jos maa viettää rakennukseen päin tai jos lähellä maan pintaa on rakennukseen päin viettävä kallio. Kuvassa 7.78 maa viettää rakennukseen päin. Vesien kerääntyminen sokkelin viereen on aiheuttanut valesokkelirakenteisen ulkoseinän alaosan kosteusvaurioitumisen. Puutteellisesta lattia- ja seinäliittymän ilmatiiveydestä johtuen kulkeutuu sisäilmaan epäpuhdasta ilmaa.

Maan pinta rakennuksen vieressä voi painua rakentamisen jälkeen, varsinkin jos sitä ei ole tiivistetty huolellisesti. Mitä pienempää maanpinnan kaltevuutta rakennuksesta pois päin käytetään, sitä huo-



Kuva 7.78. Rakennukseen päin viettävä maanpinta johtaa pintavedet sokkelin viereen. Kuva: J. Saarinen, Vahanan Oy.

lellisempää rakennustyön on oltava kaikilta osin, jotta sadevesi ei kulkeudu perustusrakenteisiin.

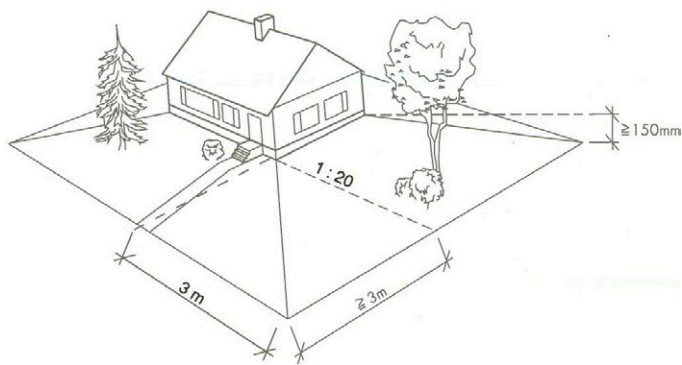
Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C2 *Kosteus. Määräykset ja ohjeet*. 1998 (RakMK C2-1998) sekä julkaisussa RIL 126-2009. *Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus* (Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry, 2009) suositeltava maan pinnan kaltevuus 3 m:n matkalla on 1:20. Suositellut maan pinnan kaltevuudet on esitetty kuvassa 7.79.

Kuvassa 7.80 on rakennuksen piha, jossa asfaltoitu ulko-oven edusta viettää rakennukseen päin.

Kuntotutkimuksessa voidaan arvioida rakennepiirustuksista tai sokkelinvierustaa kaivamalla, pääsevätkö pintavedet valumaan ulkopuolisen lämmöneristeen, perusmuurilevyn tai vedeneristeen taakse ja siten seinärakenteeseen.

Pihamaan rakennustyöt, kuten istutukset seinän vierellä ja asfaltointi voivat nostaa maan pinnan tasoa. Kuvassa 7.81 on esimerkki myöhemmin asfaltoidusta pihamaasta. Asfaltoinnin yhteydessä maan pinta nousi niin ylös, että ryömintätilan tuuletusaukot jäivät kokonaan tai osittain maan pinnan alle. Tämän vuoksi tuuletusaukkoihin asennettiin tuuletusputket, jolloin ryömintätilan tuuletus heikkeni suunnitellusta. Lisäksi maan pinnan nousu aiheutti sokkelin madaltumisen, jolloin seinärakenteen alaosan kosteusrasitus kasvoi alkuperäiseen verrattuna.

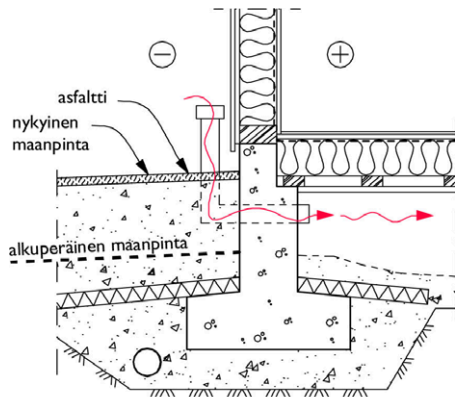
Maan pinnan noston lisäksi asfaltointi tekee maan pinnasta tiiviin. Asfaltin pinnalla vesi virtaa hyvin ja sen viettäessä rakennukseen päin pintavedet tunkeutuvat rakennukseen tai sen viereiseen ja alapuoliseen maahan.



Kuva 7.79. Maan pinnan kaltevuudet rakennuksen vieressä suositusten mukaan, Kuvan lähde: Ympäristöministeriö, 1999.



Kuva 7.80. Ikkunoiden alareuna on pihan maanpinnan alapuolella, ja ympäröivä maa viettää rakennukseen päin. Ratkaisu aiheuttaa kosteusvaurioriskin. Kuva: T. Lammi, Vahanen Oy



Maanpinnan noston takia tuuletusaukkoihin on asennettu tuuletuspaalut. Tuuletusaukon tehollisen pinta-alan pienentyminen heikentää ryömintätilan tuulettuvuutta.

Kuva 7.81. Pihan asfalttoinnista johtuvan maan pinnan nousun takia ryömintätilan tuuletusaukkoihin asennettuja tuuletusputkia. Esimerkkitapauksen vaurioitumisperiaate.

Puutteellinen sadevesijärjestelmä

Puutteellisen sadevesijärjestelmän aiheuttama kosteusrasitus voi kohdistua ulkoseinän ja julkisivun lisäksi perustusrakenteisiin. Kuvassa 7.82 sadevesien poisto katolta syöksytorveen ei ole vesitiivis, jolloin osa vedestä vuotaa suoraan seinärakenteeseen. Vastaava ilmiö voi esiintyä myös syöksytorven tukkeutuessa.

Kuvan 7.83 esimerkissä sadevesi roiskuu rakennuksen sokkeliin ja aiheuttaa kosteusrasituksen kellarin seinään. Syöksytorvi johtaa veden sadevesikaivoon, mutta kovalla sateella roiskuva vesi kastelee sokkelin/kellarin seinän.



Kuva 7.82. Puutteellinen katon vedenpoisto johtaa sadevedet tiilijulkisivuun. Kuva: J. Saarinen, Vahanen Oy.



Kuva 7.83. Vettä roiskuu seinälle ja kastelee kellarin seinää. Kuva: T. Väisänen, Vahanen Oy.

Sadevesi tulee johtaa syöksytorvesta maan pinnalla riittävälle etäisyydelle rakennuksesta (> 3 m) tai johtaa sadevesiviemäriin. Sadevesijärjestelmä ei saa yhdistää salaojitukseen. Sadeveden puutteellinen pois johtaminen rakennuksen vierustalta syöksytorven kohdalta on yleinen perustusrakenteiden ja seinän alaosan kosteusvaurioiden aiheuttaja.

Pintaveden tunkeutuminen ryömintätilaan ja rakenteisiin

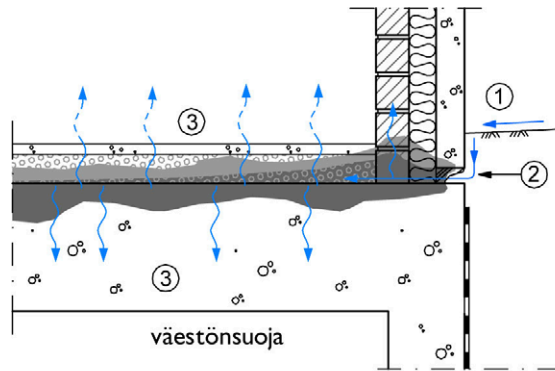
Rakennuksen vierelle valuva vesi tunkeutuu perustusrakenteisiin, jos niiden vedeneristys on puutteellinen tai jos rakenteessa on vuotokohtia. Kuvassa 7.84 on esitetty vaurion syntyminen väestönsuojan ja ensimmäisen kerroksen väliseen välipohjaan. Rakennuksen ulkopuolinen maanpinta viettää rakennukseen päin.

Paineellisen veden tunkeutuminen perustuksiin

Vedenpainetta esiintyy perustusrakenteissa, jos pohja- tai orsivedenpinnan taso on perustamistason yläpuolella tai salaojat ovat tukkeutuneet. Lisäksi vajovedestä voi aiheutua maan sulamisvaiheessa ja sulan maan aikana hetkellistä vedenpainetta rakenteisiin. Ensiksi mainitussa tapauksessa rakenteissa on oltava erityinen vedenpaine-eristys, ks. RT 83-11032. *Vedenpaineeristys* (Rakennustietosäätiö RTS, 2011). Vedenpaineen vaikutuksesta vesi tunkeutuu rakenteeseen tai sen läpi, jos vedeneriste on puutteellinen tai rakenteessa on vuotokohtia. Kuvassa 7.85 on kellarin seinä, jonka sisäpinnalle on valunut vajovettä halkeamien läpi. Seinässä ei ole vedeneristystä ja ulkopuolinen asfaloitu maan pinta viettää rakennukseen päin.

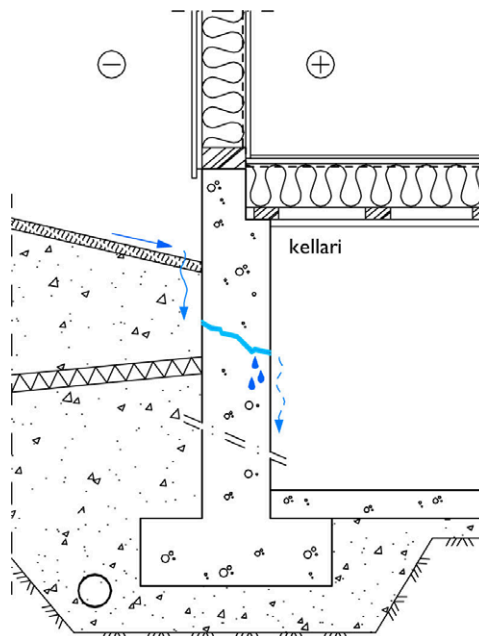


Kuva 7.85. Vuotava kellarin seinän halkeama ja esimerkkitapauksen periaate. Valokuva: E. Kauriinvaha, Vahanen Oy.



- 1 Rakennuksen ulkopuolella maanpinnan kallistus rakennukseen päin. Sade- ja sulamisvedet valuvat rakennuksen vierelle.
- 2 Betonisen ulkoseinän betonivaluun on jäänyt 50x100 mm lankun paloja (muottitukia), jotka menevät betonirakenteen läpi. Betoniin jääneet lankun palat lahoavat ja seinän vierelle valunut vesi pääsee syntyneistä aukoista valumaan väestönsuojan betonisen välipohjan päälle.
- 3 Betonisen välipohjan päälle valunut vesi imeytyy kapillaarisesti betoniin, tiiliseinään sekä kevytsoraan. Kevytsorasta vesi imeytyy betoniseen pintalaattaan ja vaurioittaa lattian pintamateriaaleja.

Kuva 7.84. Pintaveden aiheuttama kosteusvaurio väestönsuojan katossa. Kuvan lähde: Kurnitski J., ym., 1996.



Pintavedet valuvat rakennukseen päin kallellaan olevan tiiviin pintakerroksen päällä.

Veden kapillaarinen siirtyminen rakenteisiin

Vesi siirtyy kapillaarisesti maasta perustusrakenteisiin, jos niissä ei ole vedeneristystä tai muuta kapillaarisen siirtymisen katkaisevaa kerrosta. Rakenteeseen päässyt vesi leviää edelleen kapillaarisesti ja kosteusputoisuus kasvaa myös rakenteen sisäpuolella, ks. kuva 7.86.

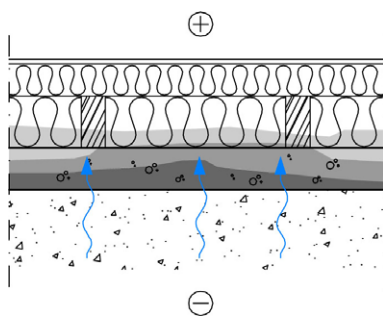
Maassa oleva vesi imeytyy betonilaattaan, joka on suoraan maata vasten, jos sen alapuolella ei ole riittävää kapillaarikatkoa, yleensä kapillaarisen nousun katkaisevaa sorakerrosta. Virheellinen kapillaarikatko on usein maanvaraisten lattiarakenteiden kosteusvaurioiden aiheuttaja. Tällöin kapillaarikatko puuttuu kokonaan tai se on liian ohut siinä tapahtuvaan veden kapillaariseen nousuun nähden. Kapillaarikatkon riittävyyttä ei voida luotettavasti arvioida pelkästään rakennepiirustusten perusteella tuntematta sorakerroksen kapillaarisia ominaisuuksia.

Rakennekosteusmittausten avulla voidaan arvioida maanvastaiseen alapohjarakenteeseen siirtyvän kosteuden määrää, siirtymissuuntaa, joka voi myös olla rakenteesta sorastukseen päin, siirtymistapaa ja tietojen perusteella voidaan arvioida kapillaarikatkokerroksen toimivuutta. Maanvastaisen alapohjarakenteen rakenneavauksella voidaan tarkastaa rakennetyyppi ja rakenteiden kunto. Rakenneavauksia tehtäessä on varottava vaurioittamasta lattialämmitysputkia.

Puutteellinen salaojaverkosto

Salaojaverkoston yleisiä puutteita ovat suunnitteluvirheet, asennusvirheet, rikkoutuminen, tukkeutuminen ja kunnossapitovirheet.

Suunnitteluvirheitä ovat muun muassa väärä korkeusasema ja sijainti vaakasuunnassa sekä salaojituksen puuttuminen kokonaan tai osittain,



Kuva 7.86. Kapillaarisen veden siirtymisen vaurioittama maanvarainen lattia.

esimerkiksi tarkastuskaivot puuttuvat. Yleensä rakennuksen ympärillä on oltava salaojitus. Hyvin vettä läpäisevillä alueilla, esimerkiksi läpäisevillä harjuilla, on mahdollista jättää salaojitus pois. Jos rakennuksen runkosyvyys on iso, salaoja voidaan tarvita myös rakennuksen keskialueille. Salaojituksen suunnittelusta on annettu ohjeet julkaisussa RIL 126-2009. *Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2009) ja RIL 107-2012 *Rakennuksen veden- ja kosteudeneristysohjeet* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012) sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C2 *Kosteus. Määräykset ja ohjeet. 1998* (RakMK C2-1998).

Salaojituksen asennusvirheitä ovat esimerkiksi väärä korkeusasema ja sijainti vaakasuunnassa, väärät kallistukset ja väärän tyyppisen maa-aineksen käyttö salaojituskerroksessa. Lisäksi verkoston asennustyö voi olla huolimaton yksityiskohtien osalta, esimerkiksi tarkastusputkia ei rakenneta ja salaojaputkia ei liitetä tarkastusputkiin tai salaojakaivoihin riittävän huolellisesti. Salaojissa liian jyrkät mutkat estävät huoltopuhdistukset.

Salaojaverkosto voi rikkoutua rakennusvaiheessa esim. rakennuksen vierustäytön ja pihatöihin liittyvien maatöiden yhteydessä. Maan epätasainen painuminen, tarkastusputkien ja salaojakai-vojen painuminen sekä maan routanousu voivat rikkoa salaojaverkosta rakennuksen käytön aikana. Salaojaverkosto voi tukkeutua esimerkiksi putkistoon kulkeutuneen hienon maa-aineksen, putkistoon tunkeutuneiden puun juurien ja roudan takia sekä rautapitoisen veden sakkautuessa. Lisäksi salaojaverkosto voi tukkeutua tarkastusputkiin päässeistä ja heitetyistä roskista ja muusta materiaalista. Verkoston tukkeuma voi olla putkistossa rakennuksen vieressä tai kauempana rakennuksen ja salaojavesien purkupaikan välillä.

Puutteellinen salaojaverkosto lisää perustusrakenteiden kosteusrasitusta. Kuntotutkimuksessa on aina tarkastettava koko salaojaverkosto, joka sisältää sekä rakennuksen ympärillä, että rakennuksen ja salaojavesien purkupaikan välillä olevat verkoston osat. Tarkastuksessa on otettava huomioon myös tonttialueen epätasaisen painumisen vaikutus salaojaverkoston toimintaan.

Kuvassa 7.87 on esimerkki rakennuskohteesta, jossa puutteellisen salaojaverkoston aiheuttamien kosteusvaurioiden takia jouduttiin rakentamaan uusi salaojaverkosto ja perustusrakenteiden vedeneristykset.



Kuva 7.87. Salaojajärjestelmän rakentaminen korjauskohteessa. Kuvassa näkyy rakennuksen viereinen kaivanto sekä siihen sijoitetut salaojaputket ja tarkastusputki sekä perusmuurin vedeneristys. Kuva: J. Ahokas, Vahanan Oy.

Kosteusrasitus veden diffuusiosta kellarinseinissä ja alapohjissa

Ryömintätilasta kosteus siirtyy kylmänä vuodenaikana diffuusiolla ryömintätilan yhteydessä oleviin kylmiin rakenteisiin, esimerkiksi ulkoilmaan rajoittuviin perusmuurin osiin. Sisäilman diffuusiolla siirtyvä kosteus aiheuttaa lisärasituksen ryömintätilallisiin ja maanvaraisiin perustusrakenteisiin.

Kuvassa 7.88 on lämmöneristämätöntä betoniperusmuuria vasten oleva vaurioitunut rossipohjan puukannattaja. Kuvassa 7.89 on kuvan 7.88 rakenteen laskennallinen kosteusjakauma ulkolämpötilalla + 5 °C.

Kuvan 7.89 laskentaesimerkissä puualapohjan kosteus on vaurion kannalta kriittisellä alueella betonista perusmuuria vasten olevissa osissa, joihin sisä- ja ryömintätilan kosteus siirtyy diffuusiolla pienemmän vesihöyrynpitoisuuden suuntaan.

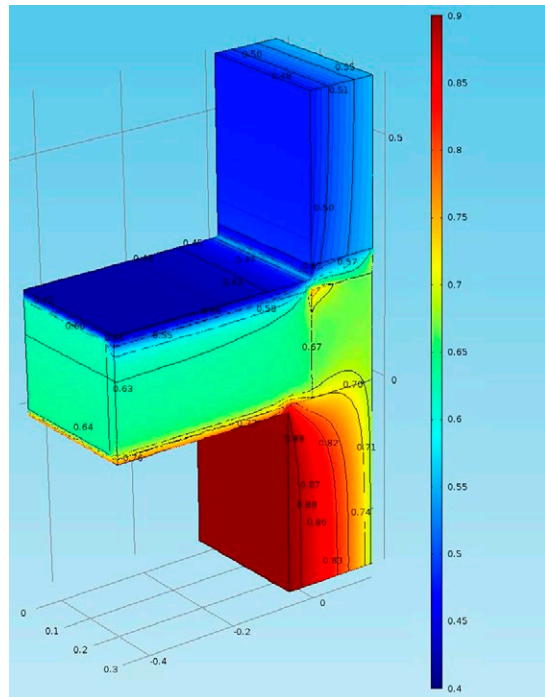


Kuva 7.88. Puualapohjan ja betoniperusmuurin vaurioitunut liitoskohta. Kuva: E. Kauriinvaaha, TKK, Talonrakennustekniikan laboratorio.

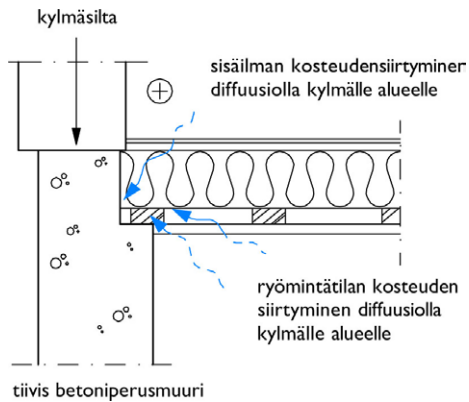
Kosteus kerääntyy tiiville ja kylmälle betonipinnalle, mikä on kyseessä olevien rakenteiden yleinen kosteusvaurioiden aiheuttaja, ks. kuva 7.90.

Maan ja maanvaraisen laatan alapinnan suhteellisen kosteuden oletetaan rakennesuunnittelussa olevan yleensä 100 %. Jos alapohjan lämmöneristys on asennettu betonilaatan yläpuolelle ja lattiapäällysteenä on alhaisen vesihöyryn läpäisevyyden omaava materiaali, kuten muovimatto, on betonilaatan yläpinnan suhteellinen kosteus tyypillisesti lähes 100 %. Tällöin laatan yläpuolella olevien rakenteiden kosteusrasitus on suuri ja erityisesti puurakenteet, esimerkiksi lattian koolaukset, ovat vaurioitumisalueella. Vanhoissa maanvastaisissa alapohjissa ei välttämättä ole lämmöneristystä betonilaatan alapuolella, vaan eristeet ovat kokonaisuudessaan maanvaraisen laatan yläpuolella. Jos tässä tilanteessa betonilaatan yläpinnassa on kosteuseristys, voi kosteina kesinä vesihöyry tiivistyä kosteuseristyksen yläpintaan.

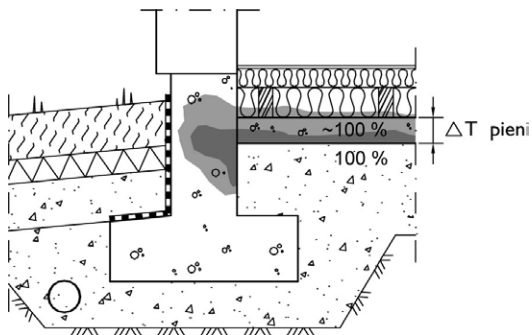
Ilmavuotojen rakenteita jäähdyttävä vaikutus voi myös lisätä diffuusiolla siirtyvää kosteutta kyseessä oleviin rakenteisiin. Kuvassa 7.91 on esitetty alapuolelta lämmöneristämättömän maanvaraisen laatan vaurioriskialueet.



Kuva 7.89. Esimerkki betoniperusmuuriin tuetun puualapohjan laskennallisesta suhteellisen kosteuden jakaumasta talvella, vrt kuvat 7.88 ja 7.90. Suhteellinen kosteus: punainen = 80–90 %, keltainen 65–80 % ja sininen 40–65 %. Ryömintätilassa 90 % RH, sisällä 40 % RH.



Kuva 7.90. Lämmöneristämätön perusmuuri toimii tiivinä ulkopintana ja kylmäsilta.



Kuva 7.91. Maanvarainen laatta, jossa ei ole alapuolista lämmöneristystä. Kosteus- ja homevaurioriskialueet on rasteroitu.

Maanvastaisen alapohjarakenteen mahdollisen höyrynsulkumuovin vaikutus rakenteen kosteustekniseen toimivuuteen arvioidaan tapauskohtaisesti.

Maanvastaisissa seinissä vesihöyryn diffuusion suunta voi vaihdella. Jos sisäpuolisessa lämmöneristyksessä kellarinseinässä on käytetty höyrynsulkua, voi vesihöyry kertyä rakenteeseen. Ilmattiivis solumuovilämmöneristys ja harkkomuuri ovat sisäpuolisena lämmöneristykseenä yleensä toimivampi rakenne kuin levytetty mineraalivilla.

Vanhoissa kellarinseinissä ei voida olla varmoja seinän pinnoitteiden laadusta. Vesihöyrytiivis pinnoite voi johtaa rakenteen kosteusvaurioihin erityisesti seinän ulkopuolisessa kosteusrasituksessa.

Kellarinseinän maanpäällinen kylmäsilta voi aiheuttaa sisäilman vesihöyryn tiivistymistä seinän sisäpinnalle, josta voi aiheutua lähinnä vähäistä haittaa kuten pinnan maalin vaurioitumista.

Sisäpuolelta lämmöneristetyin kellarinseinän tutkimuksissa voidaan tehdä rakenneavaus rakenteen varmistamiseksi ja arvioida aistinvaraisesti tai näytteenotolla onko seinärakenne vaurioitunut.

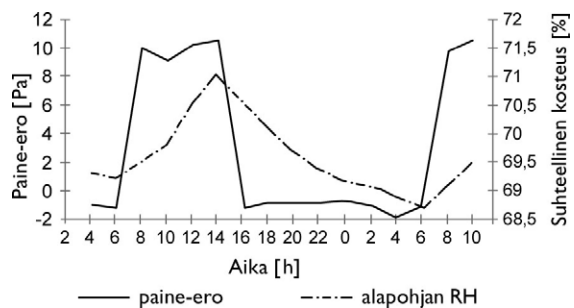
Kellarinseinien kosteustasoa voidaan tarkastella pintakosteusilmmaisimella ja tarvittaessa porareikämittauksella. Kohonneita kosteuspitoisuuksia voidaan myös havaita aistinvaraisesti seinän maali- ja tasoitepinnan vaurioina. Maanvastaisen seinärakenteen toimivaa vedeneristystä ei tule rikkoa ilman erityisen pätevää syytä. Tällöin on varmistettava, että avaus suljetaan tiiviisti, eikä rikkominen aiheuta kosteuden pääsyä rakenteeseen.

Kellarinseinien kosteustason arvioinnissa on huomioitava kosteuden kuivumismahdollisuus sisäilmaan ja maahan. Seinässä oleva kosteus kuivuu sisäänpäin diffuusiolla, jos rakenteen sisäpuolella ei ole vedeneristystä tai höyrynsulkua. Kellarinseinä voi kuivua myös ulospäin, jos rakenteessa on käytetty perusmuurilevyä tai pystysalaojana toimivaa lämmöneristettä.

Kosteuskonvektiorasitus perustusrakenteissa

Lämpimän tilan ollessa ylipaineinen kylmään tilaan verrattuna, ilman kosteus siirtyy konvektiolla vuotokohtien kautta rakenteiden kylmiin osiin, jolloin niiden suhteellinen kosteus nousee. Vuotokohtia ovat esimerkiksi läpiviennit, rakenteiden saumat ja höyry- ja/ tai ilmansulun rikkoutuneet kohdat sekä niiden puutteellisesti tehdyt liitokset. Rakennuksen paine-erot vaihtelevat paljon riippuen rakenteiden tiiviydestä, vuodenajasta, ulko-olosuhteista ja ilmanvaihtojärjestelmän käytöstä, ks. kappale 5.5.

Kuvassa 7.92 on ilmanvaihtolaitteiston aiheuttaman paine-eron vaihtelu tuulettun alapohjarakenteen yli vuorokauden aikana. Kuvassa on myös tuulettun alapohjan suhteellinen kosteus. Kun paine-ero on positiivinen, huonetila on ylipaineinen, ja ilman virtaussuunta on huonetilasta



Kuva 7.92. Ilmanvaihtolaitteiston aiheuttama paine-ero alapohjan yli ja kosteuskonvektion aiheuttama suhteellisen kosteuden muutos tuulettussa alapohjassa. Huonetila on ylipaineinen ryömintätilaan verrattuna, kun paine-ero on positiivinen. Lähde: TKK, Talonrakennustekniikan laboratorio.

ryömintätilaan päin ja kosteuskonvektio aiheuttaa viiveellä suhteellisen kosteuden kasvun alapohjassa. Kuvasta nähdään ilmanvaihtojärjestelmän käynnistyvän aamulla klo 6:00 ja sammuvan klo 14:00. Muina aikoina tiloissa on käynnissä ainoastaan ns. likaisten tilojen poistoilmanvaihto, josta johtuen huonetila muuttuu alipaineiseksi ryömintätilan suhteen. Ilmanvaihtojärjestelmän tuuloilman määrä on suhteessa poistoilman määrään liian suuri.

Kuvassa 7.93 on esitetty tapaus, jossa maanvastaisen kevytsoraharkkoseinän höyrynsulun epätiivisyys voi johtaa tilassa havaittavaan maakellarimaiseen hajuun tai sisäilman kosteuden kertymiseen rakenteeseen. Tällaisessa tapauksessa kosteuden kuivuminen on hidasta, johtuen sisäpinnan vesihöyrytiivistä alumiinipaperista ja ulkopinnan tuuletumattomasta maakerroksesta. Kevytsoraharkkon slammaus parantaa rakenteen ilmatiiveyttä.

Sadeveden tunkeutuminen ylempien rakenteiden epätiivisyyskohtien kautta perustusrakenteisiin

Aina kun kuntotutkimuksessa on todettu kattovuotoja, sadevesijärjestelmän vuotoja tai vuotoja julkisivussa, on erikseen varmistettava, että vesi ei kulkeudu painovoimaisesti myös perustusrakenteisiin. Tällöin perustusrakenteiden kosteusvaurioriski on suuri, jos rakennerratkaisujen perusteella on todennäköistä, että seinärakenteissa kulkeutuva vesi ei ohjautu ulos seinän ja perustusrakenteiden välisestä liitoksesta. Perustusrakenteissa vesi voi ohjautua muun muassa sokkelihalkaisuun, salaojasorakerrokseen tai alapohjarakenteeseen. Viimeksi mainitussa tapauksessa kosteusvauriot ovat yleensä laajimmat aiheuttaen kosteusvaurioriskin myös väliseinärakenteisiin.



Kuva 7.93. Saunan maanvastaisessa kevytsoraharkkoseinässä havaittu höyrynsulun epätiivisyyskohta seinän alaosassa. Kuva: K. Viljanen, Vahanan Oy.

Putkivuoto

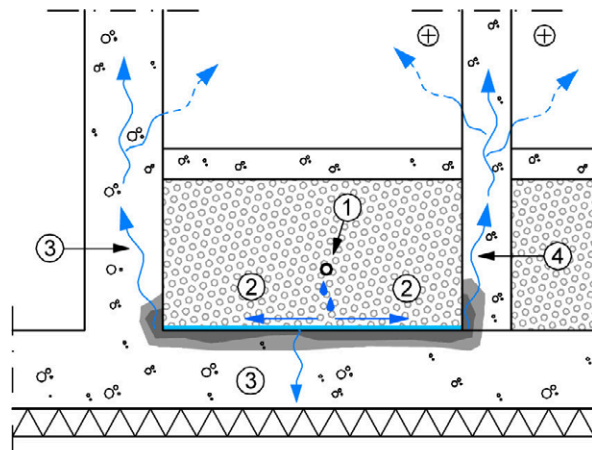
Alapohjarakenteeseen asennettujen putkien vesivuodot voivat vaurioittaa alapohjarakenteiden lisäksi seinärakenteita. Putket rikkoontuvat muun muassa iän myötä, jäätyksen, lämpöliikkeiden, rakennerratkaisujen tai rakenteiden painumisen takia. Kuvassa 7.94 suunnitteluratkaisu on vaurioitumisherkä. Ulkopinnaltaan suojaamaton vesiputki syöpyy kevytsorassa erittäin nopeasti. Betonilaa-talle valuva ja sinne jäävä vesi vaurioittaa väliseinän alajuoksua ja muiden rakenteiden alaosa.

Kuvassa 7.95 on esimerkki koolatun puulattian alla tapahtuneen vesivuodon aiheuttamista vaurioista puukoolauksiin. Puukoolaus on vaurioitunut päästään ylemmäs kuin keskiosasta, koska vesi imeytyy puuhun helpommin syiden suuntaan kuin syitä vastaan kohtisuoraan.

Erityisesti kaukalomaisessa betonialapohjarakenteessa vesivuoto voi aiheuttaa laajoja vaurioita, koska betonipinnalla vesi valuu pitkiä matkoja eikä pääse pois kaukalosta. Muovikalvo tai bitumisively laatan pinnassa edesauttavat veden siirtymistä.

Putken rikkoutumisen lisäksi putken virheellinen asennus voi aiheuttaa kosteusvaurion perustusrakenteeseen.

Kuvassa 7.96 on putkiliitos, jossa ylhäältä tulevaa pesualtaan viemärin päätä ei ole liitetty tiiviisti lattiasa olevaan viemäriin. Pesualtaan vesi vuotaa liitoksesta alapohjarakenteisiin.

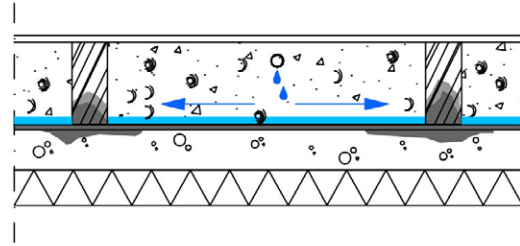


- 1 Syöpmisen aiheuttama putkivuoto
- 2 Veden virtaus betonilaa-talla
- 3 Kapillaarinen imeytyminen betonirakenteisiin
- 4 Kapillaarinen imeytyminen väliseinärakenteeseen

Kuva 7.94. Alapohjarakenteeseen upotettu vesiputki rikkoontuu suunnittelu- tai asennusvirheen takia ja vesivuoto vaurioittaa alapohjarakenteeseen liittyviä rakenteita.



Kuva 7.95. Alapohjarakenteessa tapahtuneen vesivuodon aiheuttama kosteusvaurio puukoolauksessa. Esimerkkitapauksen vaurioitumisperiaate.



Puun syyn suunnassa vesi imeytyy kapillaarisesti helpommin puuhun kuin syyn suuntaan kohtisuorassa suunnassa.



Kuva 7.96. Virheellisesti asennetun viemärin aiheuttama kosteusvaurio. Kuva: P. Sekki, Vahanan Oy.

Putkivaurion ollessa kosteusvaurion aiheuttaja on aina selvítettävä putkivaurion syy. Tämän perusteella arvioidaan koko putkiston kuntotutkimustarve, koska putkiston mahdollinen uusiminen vaikuttaa myös kosteusvaurioiden vaihtoehtoisten korjaustapojen valintaan. Putkistojen kuntotutkimuksiin liittyviä ohjeistuksia on annettu esimerkiksi julkaisussa *LVV-kuntotutkimusopas 2013* (Suomen LVI-liitto SuLVI ry, 2013).

Ryömintätilan ilman kosteus

Ryömintätilan ilman kohonnut kosteustaso voi aiheuttaa ryömintätilaan yhteydessä olevien materiaalien homevaurioitumista. Kosteustasoa tulee verrata materiaaliikohtaisiin homehtumisen mahdollistamiin olosuhteisiin.

Ryömintätilan hetkellistä lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa voidaan arvioida ryömintätilan lyhytkestoisilla olosuhdemittauksilla. Ryömintätilan pidempiaikaisen lämpö- ja kosteusteknisen

toiminnan varmistaminen tulee ensisijaisesti tehdä pitkäaikaisseurantamittauksina eri vuodenaikoina. Seurantamittausten yhteydessä tulee mitata samanaikaisesti ulkoilman olosuhteita, jotta mitaustuloksia osataan tulkita oikein. Erityisen tärkeää tämä on lyhytkestoisissa mittauksissa. Olosuhdemittauksien tuloksia verrataan ryömintätilaan kohdistuviin kosteusrasituksiin.

Ryömintätilan maapohjan korkea kosteustuotto

Ryömintätilan maapohjan kosteustuotto on korkea, kun tilassa on vapaata vettä tai ryömintätilan maan pinnalle siirtyy kosteutta kapillaarisesti. Jos ryömintätilan korkea kosteuspitoisuus johtuu edellä mainituista tekijöistä, tuuletuksen tehostaminen ei ole yleensä riittävä toimenpide varmistamaan perusrakenteiden kuivana pysymistä. Maapohjan korkea kosteustuotto on yleisin ryömintätilojen kosteusvaurioiden aiheuttaja.

Ryömintätilan maapohjaa tutkitaan kaivamalla maahan tutkimuskuoppa ja arvioimalla aistinvaraisesti maa-aineksen laatua (kapillaarisuus) ja kosteuspitoisuutta. Kosteat maakohdat näkyvät tummempina alueina ryömintätilan pohjalla.

Vaurio voi esiintyä ryömintätilan rakenteiden pinnoilla tai kosteus voi siirtyä rakenteisiin kapillaarisesti, diffuusiolla tai konvektiolla, jolloin vaurio voi esiintyä myös rakenteiden sisällä. Rakennatarkaisuista sekä huonetilan ja ryömintätilan painesuhteista riippuu, mikä kosteudensiirtoilmiö on vaurion kannalta merkittävin. Kuvassa 7.97 ryömintätilan vaurioitumisen merkittävin aiheuttaja on liian korkea maapohjan kosteustuotto. Ryömintätilan maatäyttö on hienorakeista hiekkaa



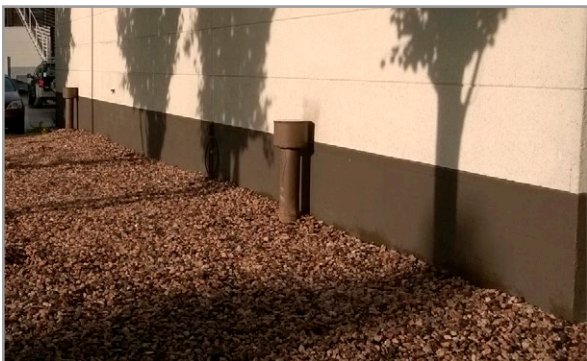
Kuva 7.97. Liian korkean kosteustuoton aiheuttama kosteus- ja homevaurio ryömintätilassa. Maatäyttö on hienorakeista hiekkaa joka mahdollistaa kosteuden siirtymisen kapillaarisesti maanpinnalle. Lisäksi ryömintätilan korkeus on matala ja tuulettuminen puutteellista. Kuva: P. Sekki, Vahanen Oy.

mahdollistaen kosteuden siirtymisen kapillaarisesti maan pinnalle.

Jos maapohjan kosteustuoton estoon on käytetty muovikalvoa, tulee ryömintätilan tutkimuksessa tarkastaa, onko muovikalvosta haittaa ryömintätilan toiminnalle, esim. onko muovin alla orgaanista pilaantuvaa materiaalia tai lammikoituuko muoville vettä.

Ryömintätilan riittämätön tuuletus

Ryömintätilan tuuletuksen riittävyttä arvioidaan rakenneratkaisujen sekä rakennuksen sisältä ja maaperästä tulevan kosteusrasituksen perusteella. Ryömintätilan kosteusrasitus minimoidaan rakennesuunnittelussa rakenneteknisin toimenpitein. Tuuletus on riittämätön, jos rakenneteknisistä toimenpiteistä huolimatta ryömintätilan kosteus-



pitoisuudet ovat korkeat. Riittämätön tuuletus voi rakenneratkaisusta riippuen koskea koko ryömintätilaa tai vain sen osaa.

Yleinen riittämättömän tuuletuksen syy on liian pieni tuuletusaukkojen pinta-ala ja tuuletusaukoissa käytettävät ritilät, verkot ja tuuletusputket, joiden vaikutusta ei ole otettu huomioon suunnittelussa. Ritilät, verkot ja tuuletusputket pienentävät ryömintätilan tuuletusaukon tehollista pinta-alaa. Tuuletusputken tehokkaaseen pinta-alaan vaikuttaa myös sen geometria.

Ryömintätilan tuuletusaukkojen epätasainen sijoittelu, tilaa rajaavat perusmuurit ja muut avoimen tilan katkaisevat rakenteet heikentävät paikallisesti tuuletusta. Kuvassa 7.98 on esitetty rakennuksen ryömintätilan tuuletusputkia ulkopuolelta.

Tuuletusaukkojen edessä tai läheisyydessä olevat esteet, kuten kasvit ja muut rakennukset, heikentävät ryömintätilan tuuletusta. Pinta-alaltaan ohjearvojen mukaisista tuuletusaukoista huolimatta ryömintätilan tuulettavuus voi olla riittämätön, jos mikroilmaston vaikutuksesta tilan yli vallitseva paine-ero on liian pieni. Kappaleessa 5.7 esitetyssä esimerkissä taloryhmän eri talojen tuulettavuudessa on yli 10-kertainen ero samalla tuulen nopeudella ja suunnalla.

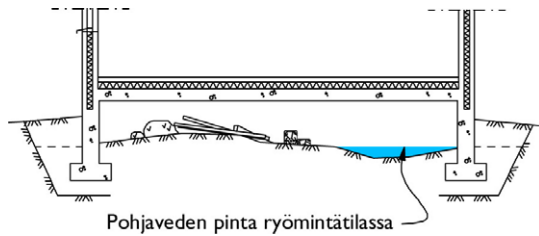
Koneellisesti tuuletetussa ryömintätilassa (koneellinen poisto tai tulo-poisto) tulee arvioida tuulettimien aiheuttama ilmanvaihtuvuus ryömintätilassa ja mahdollisten tuuletuksen ohjausperiaatteiden toimivuus. Koneellisen ilmanvaihdon tulisi niin ikään kattaa koko ryömintätila.

Rakennusjätteet

Homevaurioiden kannalta rakennusjätteillä tarkoitetaan perustusrakenteisiin rakennustyön aikana



Kuva 7.98. Ryömintätilan tuuletusputki. Vasemmassa kuvassa on putki ulkopuolelta ja oikeassa kuvassa on putken pää ryömintätilassa. Kuvat: J. Saarinen, Vahanen Oy



Kuva 7.99. Ryömintätila, jossa on rakennusjätettä ja esimerkkitapauksen vaurioitumisperiaate. Kuva: P. Räisänen, Vahanen Oy.



Kuva 7.100. Ryömintätila, johon on jätetty purettu muottilauditus. Kuva: P. Räisänen, Vahanen Oy.

jätettyjä rakenteisiin kuulumattomia rakennustarvikkeita sekä rakennuspaikalta puutteellisesti rai-vattua muuta kasvillisuutta, puun juuria ja kantoja. Orgaaniset rakennusjätteet ovat hyvä kasvualusta ja ravinnonlähde mikrobeille ryömintätilaisissa ja maanvaraisissa perustusrakenteissa.

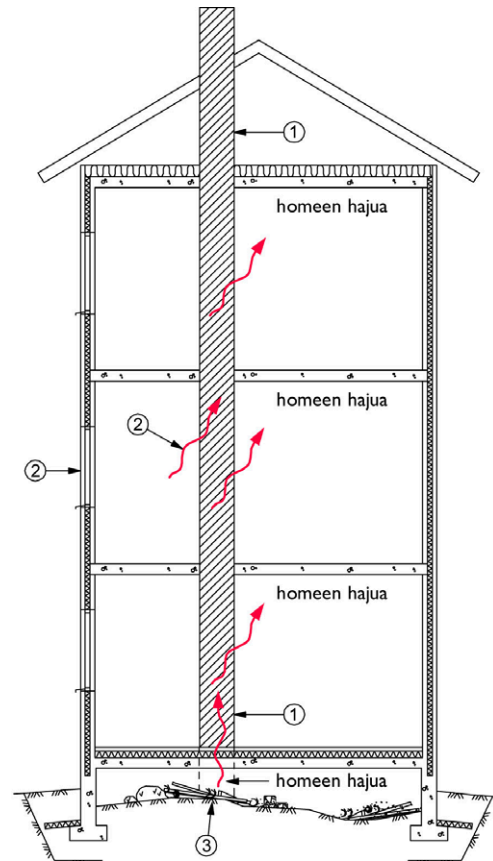
Kuvassa 7.99 on ryömintätila, jonka maapohjan päällä on runsaasti rakennusjätettä. Paikalla vale-tuissa betonirakenteissa voi olla myös purkamatto-mia muottilaudoituksia tai purettu muottilaudoi-tukset voivat olla ryömintätilassa, ks. kuva 7.100.

Mikrobiperäiset epäpuhtaudet voivat kulkeutua yläpuolisiin tiloihin ilmavuotokohtien kautta aihe-uttaen sisäilmahaittoja rakennuksessa. Haitallisten aineiden pääsy huonetiloihin riippuu rakennuk-

sen painesuhteista ja ilmavirtausreiteistä, ks. kohta *Maanvastaisten rakenteiden ilmatiiveys*.

Kuvassa 7.101 rakennusjätteestä leviää homeen haju LVIS-asennuskuilun kautta, koska rakennuk-sessa on selvä ilmavirtausreitti ryömintätilasta huonetiloihin, mutta hajun tulo huonetiloihin riip-puu rakennuksen painesuhteista. Rakennuksessa, jossa on koneellinen poistoilmavaihto, huonetila on alipaineinen sekä ryömintätilaan että ulkoil-maan verrattuna. Jos ryömintätilasta on virtaustek-ninen yhteys LVIS-asennuskuiluun, ryömintätilan homeinen ilma voi kulkeutua rakennuksen paine-suhteista riippuen ylempiin huonetiloihin. Koska painesuhteet rakennuksessa vaihtelevat ajallisesti paljon, ks. kappale 5.6, voivat vastaavasti hajuhait-tat vaihdella eri kerroksissa paljon.

Alapohjien mikrobiologisen kunnan arviointia on tarkasteltu enemmän kohdan 6.2.3 lopussa.



- 1 Epätiivis muurattu hormi, joka on ylipaineinen huonetilaan verrattuna
- 2 Ikkunan avaaminen voi muuttaa painesuhteet niin, että huoneilma virtaa hormiin
- 3 Ryömintätilassa homehtunutta rakennusjätettä

Kuva 7.101. Ryömintätilassa olevasta rakennusjätteestä vapautuva homeen haju kulkeutuu LVIS-asennuskuilun kautta huonetiloihin.

Maanvastaisten rakenteiden ilmatiiveys

Alapohjarakenteiden tulisi aina olla mahdollisimman ilmatiiviitä, sillä ne ovat kosketuksissa maahan, jossa on aina epäpuhtauksia. Mahdolliset alapohjarakenteisiin kohdistuvat kosteusrasitukset ja homevauriot lisäävät alapohjarakenteiden kautta sisäilmaan kohdistuvien ilmapuhtausongelmien haitallisuutta.

Alapohjarakenteen ilmatiiveys on lähtökohtaisesti betonilaattarakenteisissa alapohjissa parempi kuin ryömintätalaisissa puurakenteisissa rossipohjissa. Paikalla valettu betonilaatta on ilmatiiviimpi kuin elementtirakenteinen alapohja. Ontelolaatta-alapohjassa ilmavuotokohtia ovat elementtien valusaumat ja läpivientikohdat. Rossipohjassa höyryn- ja ilmansulun ilmatiiveys on ratkaiseva, minkä lisäksi tuulensuojamateriaali ja -kerroksen toteutus vaikuttaa rakenteen ilmatiiveyteen. Vanhoissa rakennuksissa ei yleensä ole alapohjan ja seinän liittymässä ilmatiiveyttä parantavia ratkaisuja kuten radonkaistoja. On myös huomioitava, että huokoisissa harkkoseinissä epäpuhtaudet ja hajut voivat tulla tilaan myös suoraan rakenteen läpi. Kuvassa 7.102 on alapohjan epätiivis läpivienti.

Maanvastaisten rakenteiden yhteydessä maakellarin haju on usein merkki rakenteiden ilmavuodoista, minkä lisäksi hajua voimistaa kellaritilojen puutteellinen ilmanvaihto.

Maanvastaisissa ja ryömintätalaisissa alapohjissa ilmatiiveyttä voidaan sisäilmateknisissä tutkimuk-



Kuva 7.102. Ryömintätilan puolelta kuvattu alapohjan epätiivis läpivienti. Betonisen alapohjan alapinnassa on homeetta. Kuva: P. Laamanen, Vahanan Oy.

sissa luotettavimmin testata syöttämällä merkkiainetta rakenteen alapuolelle ja tarkastelemalla virtaako merkkiaine rakenteen läpi. Tutkimuksissa on varmistuttava että huonetila on merkkiainekokeen aikana alipaineinen rakenteen alapuolen suhteen. Lisäksi maanvastaisissa rakenteissa merkkiaineen kulkeutuminen voi kestää pitkiä aikoja kaasun siirtäessä hitaasti maakerroksessa.

7.2.7

Välipohjat

A. Välipohjien lämpö- ja kosteustekninen toiminta

Mahdollisia syitä välipohjien (kuva 7.7 rakenne 11) korkeisiin kosteuspitoisuuksiin ovat muun muassa rakennusaikainen kosteus, vesivahingot tai rakenteen sisäiset putkivuodot tai ulkoseinien kautta tapahtuva kosteusrasitus. Alalaattapalkki-välipohjissa ja kaksoislaattarakenteissa olevat vesijärjestelmien putket ja orgaaniset lämmöneristeet lisäävät mikrobivaurioiden mahdollisuutta.

Vanhemmissa, yli kymmenen vuotta vanhoissa rakennuksissa kiviaineisten välipohjien kosteuspitoisuus lähestyy tasapainokosteustilaa ja voi olla lähellä huoneilman keskimääräistä kosteuspitoisuutta, eli vuodenajasta riippuen noin 40–60 % RH. Tämä riippuu hyvin voimakkaasti rakenteen pintojen vesihöyryvastuksesta, päällystyskosteuspitoisuudesta sekä rakenteen eri puolilla vallitsevista olosuhteista, erityisesti kosteuspitoisuudesta. Välipohjarakenteiden lämpötila on tyypillisesti tasaantunut huonelämpötilaan. Lattianpäällysteisiin kohdistuvaa kosteusrasitusta voidaan arvioida samoilla kriittisillä kosteusraja-arvoilla kuin alapohjarakenteissa, eli suhteellinen kosteus lattianpäällysteen alla liimatilassa ei saa nousta pitkäaikaisesti yli 85 % RH. Lattianpäällysteiden kriittinen kosteusraja-arvo on yleensä 85...90 % RH riippuen lattiamateriaalista. Betonisten välipohjien kosteusmittauksien, joita voi olla viiltomittaus, porareikämittaus tai näytepalamittaus, tuloksia verrataan em. raja-arvoihin.

Askelääneneristetyissä välipohjissa kosteuden päästessä lämmöneristekerrokseen, kosteus voi siirtyä lämmöneristeen alapuolisen betonilaatan päällä laajoille alueille. Kosteuden kuivuminen askelääneneristetyistä rakenteista on hidasta, mitä voidaan nopeuttaa esim. imupuhalluskuivauksella. Vähäisissä vuototapauksissa ei välttämättä ole

lattiamateriaalin kosteudenkestävyyden mukaan sekä kokemusperäisesti.

Betonirakenteisissa välipohjissa pintakosteuden arvioinnissa tulee huomioida välipohjien paksuimmat rakennekohdat, joissa betonin kosteustaso voi olla paikallisesti korkeampi. Tällaisia ovat esimerkiksi betonivälipohjan palkkien kohdat.

Kerroksellisten välipohjarakenteiden kosteusteknistä kuntoa tulisi yleensä tutkia rakenneavauksilla. Orgaaniset täyttömateriaalit voivat kosteusvaurioitua välipohjarakenteissa. Rakenneavauskohta tulee valita huolella oletetusta vaurioalimmasta kohdasta. Usein on tarpeellista tehdä rakenneavaus vähintään välipohjan keskeltä sekä ulkoseinäliittymästä. Ulkoseinän kohdalla tulisi tarkastella erityisesti välipohjan puukannattajien ja täyttömateriaalin kuntoa, sillä sisäilman vesihöyry saattaa tiivistyä kylmässä kohdassa täyttömateriaalin ja seinärakenteen välissä. Kuvassa 7.104 on 1950-luvulla rakennetun pientalon alalaattapalkkistoinen välipohjarakenne.



Kuva 7.104. Betoninen alalaattapalkkisto ja huonokuntoinen lat- tiakoolaus. Kuva: K. Viljanen, Vahanen Oy.



Kuva 7.105. Mikrobivaurioitunut linoleumimatto. Kuva: H. Tuovinen, Vahanen Oy.

Betonirakenteisiin välipohjiin soveltuvia tutkimus- periaatteita on kuvattu julkaisussa *Hyvät tutkimus- tavat betonirakenteisten lattioiden muovipäällysteiden korjaustarpeen arviointi* (Keinänen H., 2013).

Linoleumimatto voi kosteusrasituksen vaiku- tuksesta mikrobivaurioitua (kuva 7.105). Kuvan tapauksessa maton alta mitattiin 95–98 % suhteel- linen kosteus sekä havaittiin voimakas mikrobei- räinen haju. Maton orgaaninen juuttikangas toimii mikrobien ravintona.

Kuvan 7.106 kvartsivinyylilaatan alta mitattiin suh- teellinen kosteus 90–95 %. Laatta oli hajoavaa ja sen liima haisi pistävälle. Kosteus on kuljettanut kalk- kisuodosta laatan betonipintaan ja alustabetoni on kuivunut laattasaumoista muuta kohtaa nopeammin.

Muovimaton kunnan arvioinnissa voidaan tar- kastella mattoliiman väriä epäillyltä vaurioalueel- ta ja verrata tätä kuivan alueen väriin. Kuvassa 7.107 näkyy koeavaus vanhasta suoraan betoniin liimatusta muovimatosta. Liima oli värjäntynyt kostealla alueella.

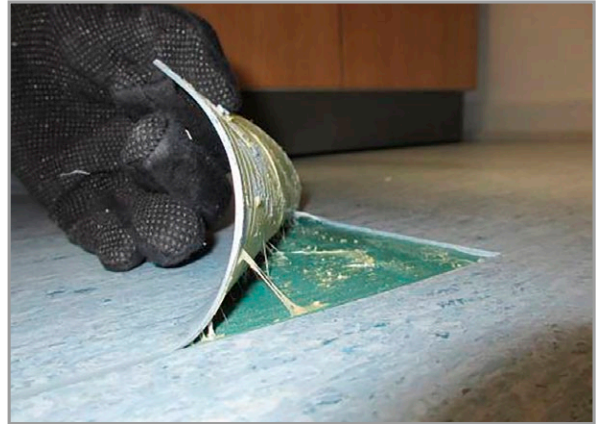
Mattoliiman väri ei aina kerro vauriosta. Mattoli- ma voi olla normaalin värinen mutta silti vaurioitu- nut kuten kuvassa 7.108. Matto oli asennettu vanhan vinyylilaatan päälle, jolloin liiman kosteus ei päässyt tasaantumaan ympäristöön. Liima oli avaushetkel- lä pari vuotta asennuksen jälkeen tahmeaa. Liiman tartunta voi toisaalta olla myös hyvä vaurioituneilla alueilla, vaikka yleissääntönä voidaan pitää heikon tartunnan indikoivan liiman vauriota.



Kuva 7.106. Poistettujen kvartsivinyylilaattojen alta paljastui kostea betoni. Kuva: H. Tuovinen, Vahanen Oy.



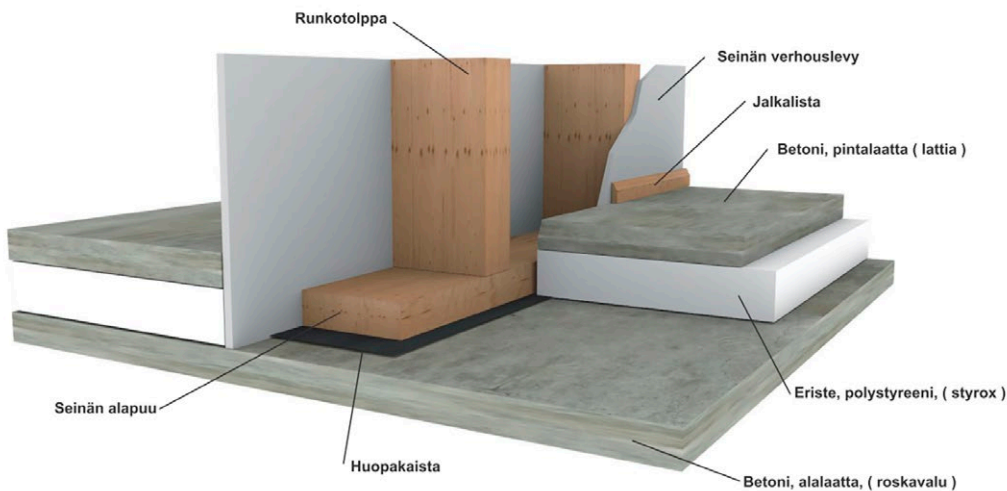
Kuva 7.107. Muovimatton kunnon tarkastuksessa havaittu värjäätynyt liima. Kuva: H. Tuovinen, Vahanen Oy.



Kuva 7.108. Muovimatton liima oli vaurioitunut liiallisesta kosteudesta. Kuva: H. Tuovinen, Vahanen Oy.

Vanhoissa alalaattapalkisto- ja kaksoislaattapalkistoväli pohjissa on käytetty materiaaleja, jotka voivat olla kosteusvaurioalttiita tai joista voi haihtua haitallisia yhdisteitä. Lämmöneristeenä on käytetty sahanpurua, -jauhoa, kutterinlastua, olkea, sammalta ja turvetta, minkä lisäksi rakenteessa on käytetty painokerroksena päällä esim. koksikuonaa. Alalaatan pinnassa voi olla bitumisively. Kuntotutkijan tulee arvioida, onko bitumisively vielä nykypäivänä haitallinen rakennuksen käyttäjille. Yleensä herkimmin haihtuvat PAH-yhdisteet

ovat näin vanhoista sivelyistä haihtuneet, mutta sisäilmasta voidaan silti mitata merkittäviä määriä PAH-yhdisteitä. Raskaimmat PAH-yhdisteet (esim. bentso(a)pyreeni) ovat edelleen vanhoissa sivelyissä, joten sivelyn kunto vaikuttaa sen sisäilmavaikutuksiin. Haitan arviointia varten voidaan ottaa PAH-ilmanäyte RT-kortin RT 20-11160. *Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet* (Rakennustietosäätiö RTS, 2014b) mukaisesti. Kohdassa 3.7.3 on käsitelty tarkemmin haitta-aineita osana kuntotutkimusta.



Kuva 7.109. Maanvastaisen alapohjalaatan päältä alkava puurakenteinen väliseinä. Kuva: Kosteus- ja hometalkoot, 2012.

Väliseinät

A. Väliseinien lämpö- ja kosteustekninen toiminta

Väliseinät (kuva 7.7 rakenne 6) ovat yhteydessä sisäilmaan, joten niiden tavanomainen suhteellinen kosteus on luokkaa 20–60 % vuodenajasta riippuen. Tämä pätee myös märkätilojen väliseiniin vedeneristeen taustasta eteenpäin.

Erikoistapauksena väliseinistä voidaan pitää huoneistojen välistä betonista väliseinää, jossa on märkätilat kummallakin puolella. Tässä tapauksessa märkätilavedeneristeiden vesihöyrynläpäisevyydestä johtuen, kosteus voi kohota betoniseinänsä haittaa aiheuttamatta tasolle, joka on yli 90 %.

Väliseinien kosteuspitoisuus voi olla paikallisesti kohonnut seinien alaosissa esimerkiksi kapillaarisesta maakosteudesta. Maata vasten perustetuissa väliseinissä kapillaarinen kosteus voi nousta tiiliseinissä ja muuratuissa rakenteissa tai niiden laastisaumoissa alapohjalaatan yläpinnan yläpuolelle.

Vanhoissa väliseinissä alaohjauspuu ja pystyrunko voi ulottua pintabetonilaatan alapuolelle (kuva 7.109). Väliseinä saattaa vaurioitua alaosaan, mikäli alaohjauspuun alta puuttuu erotuskaista ja/tai maaperästä nouseva kosteusrasitus on voimakasta. Myös uudemmissa alapuolelta lämmöneristetyissä maanvastaisissa betonialapohjissa väliseinien puurakenteet voivat ulottua betonilaatan yläpinnan alapuolelle.

Väliseinät voivat kastua myös esimerkiksi lattian pesuvesistä. Levyväliseinissä levytykset tulisi asentaa irti lattian pinnasta, jolloin vesi ei nouse kapillaarisesti rakenteeseen. Jossain tapauksissa väliseiniin voi päästä kosteutta yläpuolelta, jos esimerkiksi väliseinäasennuksia on tehty ennen vesikatton valmistumista tai vesikatossa on vuotokohtia. Levyväliseinät kuivuvat yleensä melko nopeasti sisäilmaan, koska niiden lämpötila on korkea ja levytetyt höyrynsuluttomat seinät ovat vesihöyryä läpäiseviä.

B. Väliseinien vaurioitumisriskin arviointi

Väliseinien alaosan kuntoa voidaan tutkia silmämääräisesti ja kosteustasoa pintakosteuskartoituksella, rakenteen lyhytkestoisella kosteusmittauksella ja sitä tarkentavilla alapohjarakenteen porareikämittauksilla. Levytettyihin väliseiniin voidaan myös tehdä rakenneavaus, missä arvioidaan silmämääräisesti rakenteen ja sen materiaalien kuntoa. Väliseinien ja alapohjan liitoksen ilmatiiveyttä voidaan tutkia merkkisavulla tai merkkiainelaitteella.

Pintarakenteista puiset jalka- ja kynnykslistat voivat vaurioitua liiallisesta lattian pesuvesien käytöstä. Listojen kuntoa voidaan arvioida silmämääräisesti ja samalla tarkastaa seinän alaosien kunto.

Kohonneen kosteuspitoisuuden haitallisuus tulee arvioida huomioiden itse väliseinän materiaalien ja pinnoitteiden sekä väliseinän viereisen alapohjan materiaalien vesihöyrynläpäisevyys ja kosteudenkestävyys.

LIITTEET

Liite I. Kyselylomakkeet

Lomake I: Käyttäjäkysely

1. Kuinka kauan olette työskennelleet tässä rakennuksessa? _____

2. Missä huonetilassa työskentelette pääasiallisesti? Tarkastakaa tilan numerointi raportin lopussa olevasta pohjapiirroksesta. _____

3. Työpisteenne sisäilman laatu:

Oletteko havainneet työpisteellänne:

- liian kylmää tai kuumaa lämpötilaa:

- Ei
- Kyllä, satunnaisesti
- Kyllä, jatkuvasti

- kylmiä lattia- tai seinäpintoja:

- Ei
- Kyllä, satunnaisesti
- Kyllä, jatkuvasti

- vedon tunnetta:

- Ei
- Kyllä, satunnaisesti
- Kyllä, jatkuvasti

- riittämätöntä ilmanvaihtoa:

- Ei
- Kyllä, satunnaisesti
- Kyllä, jatkuvasti

- tunkkaista huoneilmaa:

- Ei
- Kyllä, satunnaisesti
- Kyllä, jatkuvasti

- poikkeuksellisen kuivaa huoneilmaa:

- Ei
- Kyllä, satunnaisesti
- Kyllä, jatkuvasti

- poikkeuksellisia hajuja huoneilmassa:

- Ei
- Kyllä, satunnaisesti
- Kyllä, jatkuvasti

4. Oletteko havainneet ilmanvaihdossa muita puutteita?

- Ei
- Kyllä, missä? _____

5. Oletteko havainneet tiloissa vesivuotoja tai mahdollisia merkkejä kosteusvaurioista? Merkit voivat olla esimerkiksi tummumia, värimuutoksia tai pintamateriaalien irtoamista. Missä tiloissa merkkejä on havaittu? Ilmoittakaa tilan numero oheisen pohjapiirroksen mukaisesti. Voitte myös merkitä havainnot suoraan pohjapiirrokseen.

6. Oletteko havainneet tiloissa poikkeuksellisia hajuja sisäilmassa, kuten maakellarin hajua, viemäriin tai kemiallisiin materiaalipäästöihin viittaavaa hajua? Missä tiloissa? Ilmoittakaa tilan/tilojen numerot oheisen pohjapiirroksen mukaisesti. Voitte myös merkitä havainnot suoraan pohjapiirrokseen.

7. Epäilettekö sisäilman aiheuttavan teille haittaa? Mitä tiloja epäily koskee? Ilmoittakaa tilan/tilojen numerot oheisen pohjapiirroksen mukaisesti. Voitte myös merkitä havainnot suoraan pohjapiirrokseen.

8. Liittyvätkö sisäilman laadun ongelmat mielestänne johonkin erityiseen sääolosuhteeseen tai vuodenaikaan? Mihin? _____

9. Haluatteko antaa muuta palautetta lämpöolosuhteisiin, ilmanvaihtoon, kosteusvaurioihin tai sisäilman laatuun liittyen? _____

Kiitos vastauksistanne.

[Kyselyn loppuun liitetään rakennuksen pohjapiirros, johon kaikki tilat on numeroitu yksiselitteisesti.]

Lomake 2: Asukaskysely

1. Asunnon numero: _____

2. Kuinka kauan olette asuneet nykyisessä asunnossanne? _____

3. Kuinka monta henkilöä asunnossanne asuu?

4. Sisäilman laatu:

• Mikä on asuntonne lämpötila? _____ °C.

Onko lämpötila liian korkea/matala?

2. Oletteko havainneet asunnossanne:

- kylmiä lattia- tai seinäpintoja:

- Ei
 Kyllä, missä? _____

- vedon tunnetta:

- Ei
 Kyllä, missä? _____

- riittämätöntä ilmanvaihtoa:

- Ei
 Kyllä, missä? _____

- tunkkaista huoneilmaa:

- Ei
 Kyllä, missä? _____

- poikkeuksellisen kuivaa huoneilmaa:

- Ei
 Kyllä, missä? _____

5. Oletteko havainneet ilmanvaihdossa puutteita?

- Ei
 Kyllä, missä? _____

6. Huurtuvatko asunnossanne olo- tai makuuhuoneiden ikkunat talvella?

- Ei
 Kyllä, sisäikkunan pinta
 Kyllä, ulkoikkunan sisäpinta

7. Käytättekö ilmankostutinta asunnossanne?

- Ei
 Kyllä

8. Oletteko säätäneet asuntonne ilmanvaihtoventtiileitä?

- Ei
 Kyllä

9. Oletteko havainneet asunnossanne mahdollisia merkkejä kosteusvaurioista? Merkit voivat olla esimerkiksi tummumia, värimuutoksia tai pintamateriaalien irtoamista.

- Ei
 Kyllä, missä? _____

Mistä kosteusvauriot ovat johtuneet?

- Katto vuotanut
 Ikkunat vuotaneet
 Ulkoseinät vuotaneet
 Putket vuotaneet
 Laitevaurioista (esim. astianpesukone)
 Kosteus noussut maapohjasta seiniin/lattiaan
 Syistä, joita en osaa sanoa
 Muusta, mistä? _____

10. Oletteko havainneet asunnossanne poikkeuksellisia hajuja sisäilmassa, kuten maakellarin hajuja, viemäriin tai kemiallisiin materiaalipäästöihin viittaavaa hajua?

- Ei
 Kyllä, missä? _____

10. Epäilettekö sisäilman aiheuttavan teille haittaa?

11. Liittyvätkö sisäilman laadun ongelmat mielestänne johonkin erityiseen sääolosuhteeseen tai vuodenaikaan, mihin? _____

12. Haluatteko antaa muuta palautetta lämpöolosuhteisiin, ilmanvaihtoon, kosteusvaurioihin tai sisäilman laatuun liittyen? _____

Kiitos vastauksistanne.

Lomake 3: Isännöitsijälomake

Huoltohenkilökunnan haastattelu / kysely

1. Rakennus: _____

2. Onko rakennuksessa kosteusvaurioita? Missä tiloissa? Ilmoittakaa tilan/tilojen numerot oheisen pohjapiirroksen mukaisesti. Voitte myös merkitä havainnot suoraan pohjapiirrokseen.

- Ei
- Näkyvää hometta: _____
- Homeen hajua: _____
- Kosteita kohtia tai tummumia lattian päällysteissä: _____
- Kosteita kohtia tai tummumia seinissä: _____
- Kosteita kohtia tai tummumia katoissa: _____
- Pintarakenteiden irtoamista tai hilseilyä, missä huoneissa: _____
- Poikkeavia hajuja kuten maakellarin, viemärin tai kemiallisiin materiaalipäästöihin viittaavat hajut: _____
- Muuta, mitä: _____

Mistä kosteusvauriot ovat johtuneet?

- Katto vuotanut
- Ikkunat vuotaneet
- Ulkoseinät vuotaneet
- Putket vuotaneet
- Laitteaurioista (esim. astianpesukone)
- Kosteus noussut maapohjasta seiniin/lattiaan
- Syistä, joita en osaa sanoa
- Muusta, mistä? _____

3. Liittyvätkö kosteusvauriot ja sisäilman laadun ongelmat mielestänne johonkin erityiseen sääolosuhteeseen tai vuodenaikaan, mihin? _____

4. Kuinka usein rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmää huolletaan?

- Ei tarvitse huoltaa
- Vian sattuessa
- Säännöllisesti

5. Mitä mieltä olette rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän toiminnasta?

- Huono
- Kohtalainen
- Hyvä

Kommentteja ilmanvaihtoon liittyen: _____

6. Huurtuvatko rakennuksen ikkunat talvella?

- Ei
 - Kyllä, sisäikkunan pinta
 - Kyllä, ulkoikkunan sisäpinta
- Missä tiloissa? _____

7. Mitä peruskorjauksia tai muita korjauksia rakennuksessa on tehty ja milloin? _____

8. Onko rakennuksessa tehty jotakin seuraavista selvityksistä?

Kosteusmittauksia, missä? _____
Kuntoarvioita _____
Lämpökuvaus _____
Kuntotutkimuksia, mitä? _____
Mikrobitutkimuksia sisäilmasta tai materiaaleista, mitä? _____
Muita rakenteiden kuntoon tai sisäilman laatuun liittyviä tutkimuksia, mitä? _____

9. Huomautuksia ja lisätietoja:

Kiitos vastauksistanne.

[Kyselyn loppuun liitetään rakennuksen pohjapiirros, johon kaikki tilat on numeroitu yksiselitteisesti.]

Liite 2. Materiaalien tunnistaminen

Liitteessä 2 on käsitelty rakennusten sisäilma- ja kosteusteknisen kuntotutkimuksen toteuttamisen yhteydessä havaittavia materiaaleja, joita esiintyy erityisesti vanhemmissa rakennuksissa. Esiteltävät materiaalit ovat sellaisia, jotka voidaan tunnistaa aistinvaraisesti. Täten tässä yhteydessä ei käsitellä muun muassa erilaisia laasteja, tasoitteita eikä maaleja. Uudempia rakennusmateriaaleja on esitelty kattavasti julkaisun *RIL 255-1-2014 Rakennusfysiikka I. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset* luvussa 5 (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2014).

Liitteen 2 tarkoituksena on luoda kokonaiskuva tarkasteltujen materiaalien käyttöajankohdasta, käyttökohteista sekä käyttöön liittyvistä riskeistä sisäilman laadun kannalta. Materiaalien mahdollisia haitta-aineita on käsitelty tarkemmin kohdassa 3.7.3 sekä RT-kortissa *RT 20-11160. Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet* (Rakennustietosäätiö RTS, 2014b).

Eriste- ja tiivistemateriaalit

Asbestipitoiset materiaalit

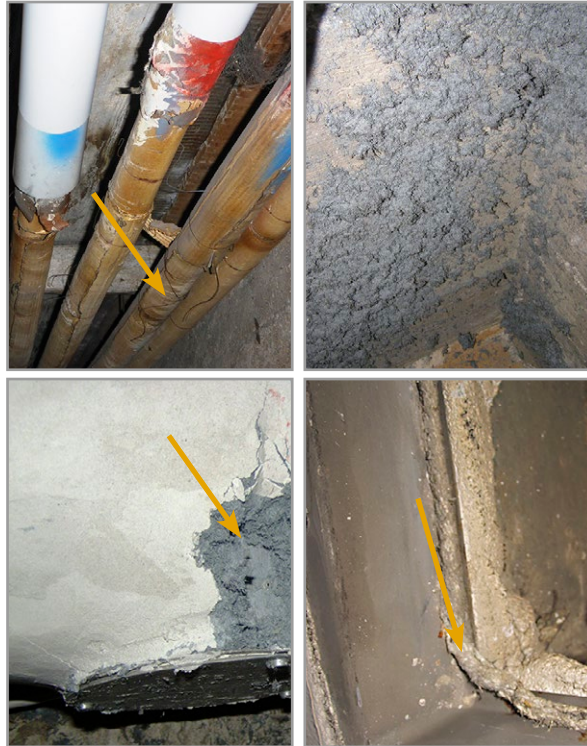
Kuvaus: Asbesti on palamaton, biologisesti hajojamaton kuitu. Pääosin muihin materiaaleihin sitoutuneena tai pinnoitettuna erilaisissa rakenteissa. Asbestipitoiset ruiskutettavat massat osittain sinisiä (krokidoliitti), eristemateriaalit ruskeita (amosiitti, antofylliitti) ja sementtituotteet, kitkapinnat ja tiivisteet valkoisia (krysotiili).

Käyttötarkoitus: Lämmön- ja paloeristeenä mm. ruiskumaaleissa, pahveissa, huovissa, kartongeissa. Ääneneristeenä pääsääntöisesti asbestisementtiselluloosana ja ruiskutettavana eristeenä. Lisäksi käytetty mm. putki-, varaaja- ja kattilaeristeissä, matto- ja bitumiliimoissa sekä massalattioissa ja laasteissa.

Käyttöajankohta: 1910-luvulta lähtien. Käytetty runsaasti 1960–1990. Ruiskutettava eriste kielletty 1976. Käyttöönottokielto voimassa vuodesta 1994 lähtien. Asbestia esiintyy edelleen yleisesti rakennuksissa.

Vaurioituminen/haitat: Rakennusaineessa kiinteästi sitoutuneena ollessaan kuidut eivät ole haitallisia. Ilmaan joutuessaan asbestikuidut ovat hienojakoisia, erittäin pieniä neulamaisia kuituja,

jotka voivat aiheuttaa hengitystiesairauksia. Erityisesti ruiskutettu eriste on itsessään irtonaista ja helposti pölyävää ja siten erityisen haitallista. Asbestipitoiset materiaalit on huomioitava aina rakenneavauksia suunniteltaessa ja tehdessä (ks. kohta 3.7.4).



Koksikuona

Kuvaus: Pääsääntöisesti tuhkamainen materiaali, mutta saattaa sisältää myös isoja rakeita. Koksikuonaa syntyy kivihiilen ja koksen polton sivutuotteena. Valmistusastioista on saattanut irrota materiaaliin myös asbestia.

Käyttötarkoitus: Täytemateriaalina ylä-, väli- ja alapohjissa sekä ulkoseinien lämmöneristeenä esimerkiksi tiilimuurin välissä. Koksikuonaa on käytetty myös kuonabetonin ja kipsilaastien lisäaineena (ks. mm. Luginomassa).

Käyttöajankohta: 1900-luvun alusta lähtien.

Vaurioituminen/haitat: Kuonan rikkiyhdisteet syövyttävät materiaalin yhteydessä olevia putki- ja rautaosia.



Korkki ("Antihyd", "Sorex", "Expansit")

Kuvaus: Pääsääntöisesti ruskea, levy- tai rouhemainen, luonnonkorkista valmistettu eriste. Lämmöneristeenä käytetyt levyt paisutettu eli ekspandoitu kuumentamalla. Levymäisessä eristetuotteessa sideaineena useimmiten bitumi. Levysten paksuudet pääsääntöisesti 20... 50 mm, mutta voi esiintyä myös muun paksuisena. Hyvä palonkesto (hiiltyy savuten, ei syty). Kiinnitetty betoniin esimerkiksi kuumabitumilla.

Käyttötarkoitus: Ulkoseinien, yläpohjien ja perustusten lämmöneristeenä. Puupuraa parempi ja kalliimpi lämmöneriste. Välipohjissa myös korkisilppuna.

Käyttöajankohta: 1800-luvulta alkaen. Runsain käyttö 1940-1950-luvuilla. Käyttö vähentynyt 1960-luvulla.

Vaurioituminen/haitat: Pitkäaikaisesti kosteudelle alttiissa rakenteissa toimii kasvualustana mikrobikasvustolle. Mikrobivaurioituneessa korkilevyssä on kosteana voimakas pistävä haju.



Olki ("Berger-levy", "OL-HA"-olkilevy)

Kuvaus: Olki, olkisilppu, erilliset rautalangalla kudotut ruokolevyt tai kuumapuristettuna pahvien väliin liimattu olkilevy. Olkilevyjä käytetty myös rappauksen alustana. Lattiarakenteissa olkieristeen seassa voi olla myös hiekkaa, turvetta tai sammalta. Osittain sideaineena on mahdollisesti käytetty bitumia.

Käyttötarkoitus: Ylä-, väli- ja alapohjan sekä ulkoseinän äänen- ja lämmöneristeenä.

Käyttöajankohta: 1800-luvulta 1950-luvulle asti. Yleinen 1900-luvun alussa.

Vaurioituminen/haitat: Orgaanisena materiaalina hyvä kasvualusta erilaisille mikrobeille kosteissa olosuhteissa.



Pinkopaperi, -pahvi, pahvitapetti, pahvilevy ("Tako-", ja "Lulosa"-tapetti, "Panka-dupplex", "Enso-" "Ensonit-", "Valkolit"-pahvilevy)

Kuvaus: Puuhiokkeesta rullaksi valmistettu paperi, joka on kasteltuna kiinnitetty ylä- ja alareunaan sekä nurkista pienillä nauloilla. Pinkopahvi kiinnitettiin pystysuuntaisina vuotina, tapetti yhtenäisinä seinän pituisina ja huoneen korkuisina kappaleina. Pahvilevyt on valmistettu useasta pahvikerroksesta ollen pääsääntöisesti 4,5...6 mm paksuja. Nykyinen pahvi toiselta puoleltaan valkoista, vanhemmat kokonaan ruskeita. Pahvi voidaan suoraan pintakäsitellä.

Käyttötarkoitus: Ilmansulkuna ulkoseinissä (pinkopahvi) ja kattorakenteissa (pinkopaperi) sekä ulkolaudoituksen taustana (pahvilevyt).

Käyttöajankohta: 1870-luvulta lähtien. Käytetty runsaasti 1960-luvulle asti. Pahvilevyt erityisesti 1920-1950-luvulla. Pinkopaperin valmistus lopetettu.

Vaurioituminen/haitat: Ei kestä jatkuvaa kosteutta. Löysty kosteudesta. Liian kireä kiinnitys alussa voi aiheuttaa paperin/pahvin repeilyä kuivumisen yhteydessä. Orgaanisena materiaalina hyvä kasvualusta erilaisille mikrobeille kosteissa olosuhteissa.



Sahanpuru, kutterilastu

Kuvaus: Osittain tai tiukkaan sullottua puu- ja sahatteellisuuden sivutuotteena saatua pueristettä. Usein sullottu rakenteeseen noin 250 mm korkuisina kerroksina.

Sahanpuruun on usein sekoitettu kutterinlastua (höyläkoneen lastuja), lasinsiruja tai kalkkia. Eristekerroksen päälle on usein asennettu esimerkiksi rakennusjätettä, kuivunutta laestimurua tai hiekkaa, korjatuissa kohteissa myös sellu- tai mineraalivillaa.

Käyttötarkoitus: Yläpohjan lämmöneristeenä ja ala- ja välipohjien sekä ulkoseinien lämmön- ja ääneneristeenä.

Käyttöajankohta: 1700-1950-luvulle asti. Yleinen 1920-1940-luvuilla. Käytetään edelleen jonkin verran.

Vaurioituminen/haitat: Orgaanisena materiaalina hyvä kasvualusta erilaisille mikrobeille kosteissa olosuhteissa. Saattaa sisältää puunsuoja-aineilla käsiteltyä puuta.



Selluvilla ("Ekovilla", "Termex")

Kuvaus: Erittäin hienojakoista, vaaleanharmaata selluloosaeristettä. Valmistettu pääsääntöisesti kierrätetystä sanomalehtipaperista. Voidaan asentaa märkäpuhalluksella. Käsitelty palonestobooringineraaleilla.

Käyttötarkoitus: Pääsääntöisesti puhallusvillana ylä-, ala- ja välipohjien sekä ulkoseinän lämmöneristeenä.

Käyttöajankohta: 1940-luvulta, valmistettu Suomessa 1970-luvulta lähtien. Edelleen käytössä.

Vaurioituminen/haitat: Erittäin pölyävää asennettaessa/purkaessa. Runsaassa kosteusrasituksessa homeenestoaineena toimiva boori saattaa huuhtoutua pois, jolloin voi toimia kasvualustana mikrobeille. Eristepölyn epäillään voivan aiheuttaa ärsytysoireita, mikäli pölyä pääsee runsaasti sisäilmaan esimerkiksi höyrynsulun puutteiden takia.



Sementtilastuvillalevy ("tojalevy", "Tojax")

Kuvaus: Paksu, puulastusta sementin ja kemiallisten lisäaineiden avulla sidottu eristelevy. Levyn paksuus yleensä 50 mm mutta myös muun paksuisia levyjä valmistettu. Levyn keskusta on tavallisesti reunaosia harvempaa. Levyssä tapahtuu pientä kosteuselämistä kuivumisen ja mahdollisen kastumisen yhteydessä. Kantavaan rakenteeseen sementtilastuvillalevy on yleensä kiinnitetty kalkkimenttilaastilla, naulaamalla tai bitumilla.

Käyttötarkoitus: Lämmöneristeenä ala- ja yläpohjissa, ulkoseinissä, sokkeleissa, askeläänieristeenä välipohjissa. Myös valumuottina ja rappauksen alustana (erityisesti puutaloissa). Akustointimateriaalina kattopinnoilla.

Käyttöajankohta: 1920-luvulta alkaen. Runsain käyttö 1940-1960-luvuilla. Valmistetaan edelleen.

Vaurioituminen/haitat: Kestää kosteutta ”puhtaita” puumateriaaleja paremmin, mutta jatkuvasa kosteusrasituksessa materiaalissa oleva puu homehtuu ja lahoaa. Akustointimateriaalina saattaa kerätä pölyä ja olla hankalasti siivottava.



Vaahtolasi, solulasi (”Foamglass”, ”Foamit”, ”Hasopor”)

Kuvaus: Harmaita kierrätyslasista puristettuja vaahtomaisia erillisiä murskepalasia (vaahtolasi, vaalean harmaa) tai levyjä (solulasi, tumman harmaa, sisältää lisäksi hiekkaa, dolomiittia, kalkkia sekä hiiltä). Valmistetaan kuumentamalla lasijauheen ja lisäaineiden muodostama massa (vaahtolasi hihnalla, solulasi muotitettuna). Jäähdytetään hitaasti (vaahtolasi halkeilee ja lopuksi murskaantuu). Solulasi leikataan jäähdytyksen jälkeen levyiksi. Pinnaltaan materiaalit ovat rakkulaisen epätasaisia. Ympäristöystävällisiä tuotteita.

Käyttötarkoitus: Vaahtolasia mm. lämmöneristeenä ja kapillaarikatkona. Solulasi lämmöneristysmateriaalina maanvastaisissa rakenteissa, ulkoseinissä sekä loivissa kattorakenteissa. Materiaaleilla on hyvä palon- ja kosteudenkesto. Kestävät hyvin myös vesihöyryä, kuumuutta ja puristusta.

Käyttöajankohta: Solulasia valmistettu USA:ssa 1930-luvulta ja 1960-luvulta lähtien myös Euroopassa. Solulasia ei valmisteta Suomessa. Vaahtolasia on valmistettu on valmistettu Euroopassa vuodesta 1982, ja Suomessa vuodesta 2011. Käytetään edelleen.

Vaurioituminen/haitat: Rikkoutuessaan solulasi haisee pistävälle materiaalin sisältämän rikkivedyn takia.



Tervapahvi ja -paperi

Kuvaus: Puutervalla käsitelty pahvi. 1900-luvun alkupuolella kyllästysaineena on ollut kivihiiliterva. Nykyisissä tervapapereissa on bitumikäsittely.

Käyttötarkoitus: Ilmansulkupaperina seinä-, lattia- ja kattorakenteissa, joskus myös esim. putkieristeen pinnassa.

Käyttöajankohta: 1870-luvulta lähtien. Valmistetaan edelleen.

Vaurioituminen/haitat: Vanhemmat materiaalit sisältävät PAH-yhdisteitä, joiden päästöt koskemattomana usein hyvin vähäisiä. Työstettynä päästöjen määrä nousee merkittävästi.



Tilkkeet ja riveet

Kuvaus: Lämmöneristeenä ja ilmapuotojen estämiseen käytettävä orgaaninen materiaali kuten olki sammal, turve, sahanpuru, pellava, pellavan kehruuajäte, hamppu, tai aikaisemmin puretut manillaköydet tai juuttisäkit (rive), sekä nautaeläimen karvoista huovutettu voilokki. Ulkopuolisissa osissa tilkkeet on usein tervattu (tervarive).

Käyttötarkoitus: Pääsääntöisesti kahden puun liitoksessa, esimerkiksi hirsien saumat, nurkkaliitokset sekä yleisesti myös ikkunoiden karmirakenteet.

Käyttöajankohta: 1950-luvulle asti. Mm. pellavanauhaa käytetään edelleen hirsirakennuksissa.

Vaurioituminen/haitat: Organaisena materiaalina hyvä kasvualusta erilaisille mikrobeille kosteissa olosuhteissa. Tilkkeet on saatettu tervata, jolloin niissä voi olla PAH-yhdisteitä.



Ureaformaldehydivaahtoeriste ("UFFI", "ureavaahto", "hölynpöly")

Kuvaus: Harts- ja kovetintliuoksesta valmistettu valkoinen, rakenteessa kovettuva vaahto. Asennettu ruiskuttaen. On saattanut kutistua runsaasti kuivuessaan. Hauras ja pehmeä materiaali. Koostumus vaihtelee.

Käyttötarkoitus: Eristemateriaalina erityisesti puuverhoiltujen purueristettyjen ulkoseinien jälkieristyksessä, sekä esimerkiksi ikkunakarmiliitoksissa. Käytetty erityisesti korjauskohteissa.

Käyttöajankohta: 1970-luvulle asti. Erityisen yleinen 1960–1970 luvuilla.

Vaurioituminen/haitat: Koostumus vaihdellut paljon. Saattaa haihtua olemattomiin pitkällä aikavälillä erityisesti kostuttuaan. Kastuessa vapautuu formaldehydiä. Kosteissa olosuhteissa voi homehtua. Pöly voi ärsyttää hengitysteitä.

Turve ja sammal ("Wisu-levy", "Silenda")

Kuvaus: Sellaisenaan eristemateriaalina rakenteissa. Eristekerroksen alla yleensä tuulensuojakerros (esimeriksi tuohi/sanomalehtikerros) sekä päällä painotäytteenä hiekkaa tai kuivunutta laastinpurua. Erilliset turvetuotteet sisältäneet asfalttitervaa (turvepehku) tai bitumia (turvelevy).

Käyttötarkoitus: Ylä- väli- ja alapohjien äänen- ja lämmöneristeenä. Turvepehku erityisesti tiili- ja betonirunkoisissa taloissa myös ulko- ja väliseinissä.

Käyttöajankohta: 1800-luvulta lähtien 1950-luvulle asti. Yleinen 1920-1930-luvuilla.

Vaurioituminen/haitat: Organaisena materiaalina hyvä kasvualusta erilaisille mikrobeille kosteissa olosuhteissa.



Kookoseristeet

Kuvaus: Kookospähkinän kuiduista erilaisilla sidosaineilla muodostettu eriste.

Käyttötarkoitus: Pääsääntöisesti käytetty muissa kuin rakennustuotteissa. Rakennustuotteissa havaittu lämmöneristeenä tai askeläänieristeenä esimerkiksi kiinniommeltuna tervapaperiin, (vastavaa valmistettu mineraalivillatuotteista 1960-luvulla). Harvinainen.

Käyttöajankohta: 1950-luvulla, mahdollisesti muillakin vuosikymmenillä.

Vaurioituminen/haitat: Organaisena materiaalina hyvä kasvualusta erilaisille mikrobeille kosteissa olosuhteissa.



Piimaa ("A-massa", "Eristys 3", "Eristys 1")

Kuvaus: Väriltään kullanuskea tai valkoinen maalaji. Materiaalissa sekoitettuna usein hiekkaa, savea, kalkkia tai orgaanista ainesta, joista orgaaninen aine on usein poistettu polttamalla ennen käyttöä. Materiaali kestää hyvin kuumuutta. Muokatut materiaalit voivat sisältää asbestia.

Käyttötarkoitus: Käytetty lämmön- ja ääneneristysmateriaalina sellaisenaan tai levyiksi tai harkoiksi muokattuna. Lämmöneristeenä vesikattilakoneiden ja lämpökeskusten putkistoissa sekä lämmityskattiloissa ja lämminvesivaraajissa käytetty usein 2...5 mm paksuisina kerroksina eristeen kokonaispaksuuden ollessa noin 20...50 mm. Yleensä eristekerroksen päälle on asennettu harsokangas, joka pintamassattu ja maalattu. Lisäksi piimaata on käytetty lisäaineena esimerkiksi sementissä.

Käyttöajankohta: 1900-luvun alkupuolisko.

Vaurioituminen/haitat: Saattaa sisältää asbestia. Piimaa on herkästi pölyävää. Ks. Asbestipitoiset materiaalit.



Veden- ja kosteudeneristeet

Bitumi

Kuvaus: Musta, luonnon asfaltista tai maaöljystä tislamalla valmistettu eristemateriaali. Voidaan esimerkiksi sivellä rakenteen pintaan. Eri materiaaleihin lisätynä parantaa materiaalin kosteudensietoa. Talonrakennuksessa käytetty materiaali pehmenee korkeissa lämpötiloissa (noin 70... 120°C). Yleensä pintamateriaalin alla, jolloin sitä ei voi netta rikkomatta havaita.

Käyttötarkoitus: Veden- ja kosteudeneristeenä sekä erilaisten paperi-, pahvi- ja levytuotteiden side- tai kyllästysaineena.

Käyttöajankohta: 1800-luvun lopulta. Käytetään edelleen.

Vaurioituminen/haitat: Ennen vuotta 1987 valmistetut kosteuden- ja vedeneristykset saattavat sisältää asbestia. Vanhoissa eristyksissä käytetty myös PAH-yhdisteitä sisältävää kivihiilitervaa. Huom. vanhoja varastoja saatettu käyttää valmistuksen lopettamisen jälkeenkin.



Kivihiiliterva, -piki

Kuvaus: Kivihiiliterva on kivihiilen koksauksen (kuivatuslauksen) nestemäinen sivutuote. Jatkoituslaue korkeassa lämpötilassa tuottaa kovaa tai jähmeää massaa, kivihiilipikeä. Väriltään ruskeanmustaa. Haju tunnusomainen. Osittain sisältänyt sideaineena myös asbestia. Kivimäinen piki pehmenee korkeissa lämpötiloissa (noin 50... 60 °C). Voi olla pintamateriaalin alla, jolloin sitä ei voi pintakerrosta rikkomatta havaita.

Käyttötarkoitus: Puunsuojana (terva), kosteuden- ja vedeneristeenä lattiarakenteissa, muura- tuissa seinissä sekä tiilisaumoissa (piki).

Käyttöajankohta: 1800-luvulta lähtien ainakin vuoteen 1950 asti.

Vaurioituminen/haitat: Kivihiiliterva ja -piki sisältävät kreosoottia joka antaa materiaalille tunnusomaisen pistävän, tervamaisen hajun ("rata-pölkyn haju"). Rakenteita purettaessa ilmaan vapautuu haitallisia hiukkasmaisia ja kaasumaisia ainesosia, mm. PAH-yhdisteitä. Päästöt koskemattomista vanhoista rakenteista usein hyvin vähäisiä mutta työstettynä päästöjen määrä nousee merkittävästi. Rikkoutuneen pinnan päästöt havaitaan usein hajuna huoneilmassa.



Käyttöajankohta: 1800-luvun lopulta 1900-luvun alkuun saakka sisätiloissa.

Vaurioituminen/haitat: Valmistuksessa käytetty jäteöljyä. Voi sisältää öljyhiilivetyjä, PAH-yhdisteitä ja metalleja. Ks. kivihiiliterva ja -piki.



Huopaeristeet ("Galvano", "Osmo"-kattohuopa, "Semptal", "Ruberoid", "Icopal", "Karhu", "Villadrit")

Kuvaus: Musta, muutaman millimetrin paksuinen mattomainen tuote. Alun perin kivihiilitervalla kylästettyjä, myöhemmin usein bitumoituja. Vesikatolla huovan päällä sirotekerros (voi sisältää asbestia). Jos sirotea huovan molemmiin puolin, materiaalilla on hyvä palonkestokyky (murskehuopa).

Käyttötarkoitus: Vesikatteena, maanvastaisten rakenteiden vedeneristeenä, kapillaarikatkona ja vedenohjaimena rakenteissa.

Käyttöajankohta: 1880-luvun lopulta. Valmistetaan edelleen.

Vaurioituminen/haitat: Vanhoissa tuotteissa asbestia sekä kivihiilitervalla kylästetyissä tuotteissa PAH-yhdisteitä.

Valuasfaltti ("pirunpoika")

Kuvaus: Luonnonasfaltin tai kivihiilitervan/-pien ja hiekan seos. Tiiviinä mustana asfalttikerroksena pintamateriaalin alla, jolloin sitä ei voi ainetta rikkomatta havaita. Yleensä noin 1... 20 cm paksu kerros. Kivihiilitervan ja hiekan seosta on kutsuttu "pirunpojaksi".

Käyttötarkoitus: Perusmuurin sekä kellaritilojen, kylpyhuoneiden ja keittiön lattioiden vedeneriste. 1800-luvun lopulla ja 1900-luvun alussa tummanharmaana massana suoraan lattiapinnoitteena ja jalkalistoina.



Rakennuslevyt

Kipsikartonkilevy ("Kipsoniitti", "Gyproc", "Gipsonit", "Knauf")

Kuvaus: Kipsikiven ja rikinpoistoprosessin ylijäämäkipsimassasta valmistettu levy, jonka molemmille puolille on yleensä liimattu pahvi-/kartonkipinnat. Rakenteissa yleensä vähintään saumat tasoitettu ja pinta maalattu/tapetoitu/laatoitettu. Paloturvallinen.

Nykyaikaisen kipsikartonkilevyn edeltäjiä ovat mm. luginomassa-, riksi- ja kokoliittilevyt sekä muurauskappaleet.

Käyttötarkoitus: Erityisesti seinä- ja kattorakenteiden sisäverhouslevy.

Käyttöajankohta: 1920-luvulta alkaen. Nykyään hyvin yleinen materiaali.

Vaurioituminen/haitat: Kuivien tilojen kipsilevyt huonosti kosteutta kestäviä. Mikroбивaurioituu pahvipinnastaan helposti. Kasvustoa syntyy myös levyn kipsimassaan.



Kokoliitti

Kuvaus: Kookospähkinän kuiduista, kipsistä ja hiekasta valmistettu levy, jonka toisella puolella on aaltouritus (rappauksen alusta). Yleensä ympäröity. Kookoskuitujen tarkoitus on parantaa kipsin lujuutta, sitkeyttä sekä eristyskykyä.

Käyttötarkoitus: Pääsääntöisesti verhouslevynä väliseinissä, mutta myös puuvälipohjien kattopinna.

Käyttöajankohta: 1900-luvun alkupuolelta. Nykyisen kipsilevyn edeltäjä.

Vaurioituminen/haitat: Mikroбивaurioituu jatkuvassa kosteusrasituksessa.



Kuitusementtilevy ("Mineriitti", "Eterniitti", "Vartti"-, "Tuplavartti"-kate, "Luja", "Karaatti")

Kuvaus: Kova, sementistä ja kuitumaisesta vahvikeaineesta valmistettu levy. Hyvä mekaaninen- ja palonkesto.

Käyttötarkoitus: Ulkoverhouslevynä ja vesikatemateriaalina. Myös sisäpuolisissa rakenteissa mm. märkätilojen seinälevynä.

Käyttöajankohta: 1920-luvulta alkaen. Asbestipitoisia 1990-luvun alkupuolelle, sen jälkeen käytetty muita vahvikeaineita.

Vaurioituminen/haitat: Hyvin kosteutta kestävä, ei mikroбивaurioituu helposti. Sisältää yleisesti asbestia, mikä on huomioitava aina rakenneavauksia suunniteltaessa ja tehdessä.



Luginomassaseinä ("Kananpaskaseinä", "Kanasen seinä", "Lugino"-levy)

Kuvaus: Kipsistä, hiekasta, koksikuonasta ja sideaineesta valmistettu massa, joka rapattiin lauta-muottia vasten tai valettiin muottilautojen väliin. Seinäpinta oli rapattava ennen pinnoittamista tai tapetoimista. Myöhemmin myös erillisiä muuratavia kappaleita. Seinäpaksuus pääsääntöisesti 50...70 mm. Murtopinnasta koksikuona havaitaan selkeinä mustina kappaleina.

Käyttötarkoitus: Pääsääntöisesti kuivien tilojen väliseinärakenteena, mutta myös ilmanavien seinärakenteena.

Käyttöajankohta: Pääsääntöisesti 1900–1950. Muuraukappaleet 1920-luvulta lähtien.

Vaurioituminen/haitat: Kestää hyvin kosteutta. Siirtää kosteutta ympäröiviin rakenteisiin ja pinnoitteisiin.



Lattianpäällysteet ja -pintarakenteet

Linoleumi eli korkkimatto

Kuvaus: Lattianpäällyste, joka valmistetaan pääosin kasviperäisistä tuotteista (korkki- ja puujauhe, pellavaöljy ja hartsi) sekä pigmentti- ja kalkkikivi-jauheesta. Moderneissa linoleumeissa voi olla polyuretaanipinnoite. Asennetaan liimaamalla. On hyvin kulutuksen kestävä. Usein marmorikuvioinen. Paksuus 2...4 mm. Vanhemmat päällysteet olleet pääsääntöisesti rullatuotteita. Linoleumin erottaa muovimatosta mm. päällysteen alapinnassa olevasta juuttiverkosta ja tunnusomaisesta hajusta. Matto on saatettu asentaa myös lumppuhuovan päälle.

Linoleumi tulee erottaa lattioiden muovipäällysteistä, joiden vaurioituminen kosteuden vaikutuksesta aiheuttaa erityyppisiä päästöjä. Huom. linoleumi on eri tuote kuin pääosin korkista valmistettu ns. korkkilattia, jonka pinnassa on erotettavissa luonnonkorkin rakenne.

Käyttötarkoitus: Lattianpäällysteenä asunnoissa ja erilaisissa julkisissa tiloissa.

Käyttöajankohta: 1910-luvulta. Erityisen yleinen 1930-luvulla. Valmistetaan edelleen.

Vaurioituminen/haitat: Saattaa sisältää asbestia tai metalleja. Materiaalilla on voimakas ominaisuus. Hajotessaan vapauttaa sisäilmaan mm. aldehydejä, joilla on matala hajukynnys. Orgaani-

senä materiaalina hyvä kasvualusta erilaisille mikrobeille kosteissa olosuhteissa. Väärä pintakäsittely pilaa materiaalin, jolloin pinnasta irtoaa vaaleaa, ärsyttävää pölyä.



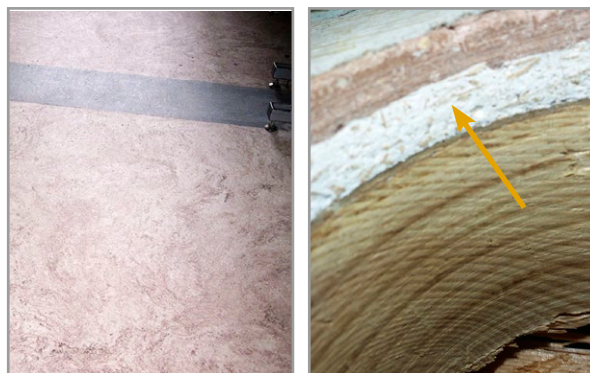
Magnesiamassa ("B-panssarimassa", "C-panssarimassa", "panssarimassa", "kevytpäällysteiden alusmassa", "Kimmo", "Sorel-sementti", "Finnlon")

Kuvaus: Kovaa kulutusta kestävä, magnesiitista ja täyteaineesta valmistettu massalattia. Täyteaineena mm. talkkia, korkkijauhoa, sahajauhoa ja asbestia. Käytetty yleensä julkisissa tiloissa.

Käyttötarkoitus: Betoni-, teräs- tai puulattian päällä oleva vaalea tai valkoinen tasoitekerros esimerkiksi linoleumimattojen alla. Lattianpinnoitteenä yksivärisenä tai kuvioituna, tai erillisinä valmislaattoina.

Käyttöajankohta: Pääsääntöisesti 1930–1970-luvuilla.

Vaurioituminen/haitat: Sisältää magnesiumkloridia, joka syövyttää metalleja, kuten esimerkiksi lattian putkiläpivientejä. Asbestipitoisena materiaalina magnesiamassa on huomioitava aina käyttöajankohdan lattioiden rakenneavauksia suunniteltaessa ja tehdessä.



Vinyylilaatta ("Finnflex"- ja "Flex"-laatat, "Hovi-laatta")

Kuvaus: Liimaamalla kiinnitetty, laatoista muodostettu lattiapäällyste. Laattojen koko yleensä 250x250 mm tai 300x300 mm.

Käyttötarkoitus: Kuivien tilojen lattiapinnoitteena ala- ja välipohjissa.

Käyttöajankohta: 1950-luvulta lähtien. Valmistetaan edelleen.

Vaurioituminen/haitat: 1980-luvun loppuun asti vinyylilaatat sisälsivät yleisesti asbestia. Kiinnityksessä käytetty aikaisemmin bitumiliimaa (musta, kuvassa vasemmalla), joka saattaa sisältää myös asbestia, toisin kuin myöhemmin käytetyt mattoliimat (keltaiset). Asbestipitoiset materiaalit on huomioitava aina rakenneavauksia suunniteltaessa ja tehdessä.



Kivimateriaalit

Kevytsora, kevytsorabetoni ("Leca", klinkkeribetoni)

Kuvaus: Kevytsora on savesta sintraamalla valmistettuja paisutettuja rakeita, jotka voidaan sitoa sementillä harkoiksi, laatoiksi tai elementeiksi. Palamaton, kestää hyvin säävaihteluita.

Käyttötarkoitus: Kevytsoraa käytetään irrallisena mm. vesikatolla lämmöneristeenä ja kapillaarikatkona sekä lämmöneristeenä maapohjassa. Kevytsorabetonia käytetään elementteinä ja harkkoina mm. perustuksissa ja ulkoseinärakenteissa esim. lämmöneristyskerroksena.

Käyttöajankohta: 1950-luvulta lähtien. Edelleen käytössä.

Vaurioituminen/haitat: Kostean lisää rakenteessa olevien teräsosien ja putkien korroosioriskiä. Kevytsoran sekaan joutunut puru ja muu orgaaninen rakennusjäte homehtuu herkästi kosteissa rakennesoissa.



Kevytbetoni, höyrykarkaistu kevytbetoni "Siporit", "Siporex", "Cellit", "Solux", "Betocel", "kaasubetoni", "vaahdotbetoni")

Kuvaus: Pääsääntöisesti vaalean harmaata, lähes valkoista materiaalia, jota voidaan helposti työstää esim. sahaamalla. Perusraaka-aineet ovat sementti ja hiekka, masuunikuona sekä kalkki, vesi ja alumiinijauhe. Huokokset muodostuvat alumiinijauheen kemiallisen reaktion kautta. Höyrykarkaistaan korkeassa lämpötilassa ja höyrypaineen alla painekattilassa.

Käyttötarkoitus: Ulko- ja väliseinissä kantavana rakenteena tai lämmöneristeenä, harkkoina tai erilaisina elementteinä. Myös ylä- ja alapohjissa sekä esimerkiksi ikkunan ylityspalkkeina. Paloseinissä ja -muureissa hyvän palonkeston takia.

Käyttöajankohta: 1930-luvulta lähtien. Edelleen käytössä.

Vaurioituminen/haitat: Höyrykarkaisemattomissa tuotteissa kosteuselämistä. Voimakas kosteuseläminen voi aiheuttaa halkeilua. Höyrykarkaistuna siirtää kosteutta kapillaarisesti betonia nopeammin. Mikrobivaurioituu pinnastaan betonia herkemmin. Materiaalissa toisinaan tunnusomainen imelä haju.



Lähteet

- Palomäki E. ja Työterveyslaitos, 1993. Rakennusmateriaalit ja terveys. Rakennustieto Oy, Helsinki.
- Kaila P., 1997. Talotohtori. Rakentajan pikku jättiläinen. WS Bookwell Oy, Porvoo.
- Rakennustietosäätiö RTS, 2014. RT 20-11160 Haitta-ainetutkimus, Rakennustuotteet ja rakenteet. Rakennustieto Oy, Helsinki.
- Siikanen U., 1996. Rakennusaineoppi. Rakennustieto Oy, Helsinki.
- Neuvonen P., 2006. Kerrostalot 1880-2000 – arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen. Rakennustieto Oy, Tampere.
- Neuvonen P., Mäkiö E. ja Malinen M., 2002. Kerrostalot 1880-1940. Rakennustieto Oy, Tampere.
- Wegelius E. A., 1952. Talonrakennustekniikan käsikirja 2. Kustannusosakeyhtiö Kirjamies, Helsinki.

Litteen 2 valokuvat

Vahanan Oy: J. Antila, J. Komulainen, T. Manninen, M. Pitkäranta, K. Mod, J. Saarinen, E. Salo, V. Sandström, J. Sievola, R. Sutela, J. Säntti, P. Wahlfors, S. W. Vou. Indoor Quality Service Oy: A. Puhka.

Liite 3. Tutkimussuunnitelman malli

Tutkimussuunnitelma. Sisäilma- ja kosteustekninen kuntotutkimus

Keskuskoulu X
B- ja C-osat

1 Yleistiedot

1.1 Kohde

Keskuskoulu X
Osoite

1.2 Tilaaja

Kiinteistönomistaja Kunta X
Osoite

Yhteyshenkilö NN, sähköpostiosoite

1.3 Suunnitelman tekijä

Oy Kuntotutkimus Ab
Osoite

Yhteyshenkilö NN, sähköpostiosoite

1.4 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kattavasti Keskuskoulu X:n sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä. Tilojen käyttäjille loppuvuodesta 2015 tehdyn kyselytutkimuksen perusteella tiloissa epäillään sisäilmanlaatuun liittyviä ongelmia. Tutkimusten perusteella laaditaan korjaustoimenpidesuosituksia kohteen korjaussuunnittelun lähtötiedoiksi.

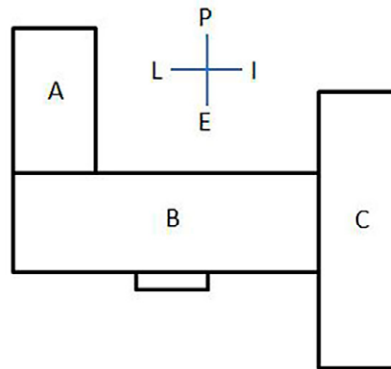
1.5 Lähtötietoaineisto

Tutkimussuunnitelmaa varten on ollut käytettävissä seuraava lähtötietoaineisto:

- Havainnot kohteessa katselmuskäynnillä 27.8.2015, Oy Kuntotutkimus Ab
- Kiinteistön kuntoarvio, 10.10.2001, Kartoitus Oy
- Sisäilmastokysely, 10.5.2016, Työterveyslaitos
- Tilaajan toimittamia alkuperäisiä ARK-, RAK- ja LVI-piirustuksia
- Tilaajan toimittamia peruskorjauksen aikaisia ARK-, RAK- ja LVI-piirustuksia

1.6 Kohteen kuvaus

Keskuskoulu X on rakennettu 1950-luvulla (osa B), ja laajennettu 1970-luvulla (osa C) ja 1990-luvulla (osa A). B- ja C-osat on peruskorjattu vuonna 1990 laajennusosa A:n rakentamisen yhteydessä. Rakennuksessa on kahdesta neljään maanpäällistä kerrosta. Lisäksi B- ja C-osilla on kellarikerros. Kantavat rakenteet ovat betonia ja tiiltä. Alapohjana on maanvarainen betonilaatta. Välipohjat ovat B-osalla betonirakenteisia alalaattapalkistoja, C-osalla ja A-osalla ontelolaattarakenteiset. Ulkoseinät ovat B-osalla tiili-villa-tiili- ja A- ja C-osalla betoni-villa-tiili -rakenteiset. Julkisivut ovat puhtaaksimuuratut. Vesikate on rivipeltikate. Kuvassa 1 on esitetty paikannuspiirros, johon on merkitty rakennuksen osat A, B ja C.



Kuva 1. Paikannuspiirros, johon on merkitty rakennuksen osat A, B ja C. Tutkimukset rajoittuvat osiin B ja C. Kuva viitteellinen, ei mittakaavassa.

2 Tutkimuksen sisältö

Tutkimuksen tavoitteena on määrittää aistivaraisen menetelmien ja mittauksien, rakenneavausten sekä materiaalinäytteiden analysoinnin avulla rakenteet, jotka sisäilman laadun parantamiseksi on korjattava. Lisäksi tutkitaan ilmanvaihto, joka on merkittävä sisäilmaston laatuun vaikuttava tekijä. Tarkemmat tutkimukset, mittaukset ja rakenneavaukset kohdennetaan tutkimuksen alussa tehtävän kartoituksen havaintojen, sekä keväällä 2015 tehdyn sisäilmastokyselyn tulosten perusteella. Tutkimusselostuksessa esitetään johtopäätösten ja toimenpi-

desuosittelujen lisäksi vaihtoehtoja suositeltavista korjaustavoista ja käytettävistä materiaaleista.

Tutkimus sisältää keskuskoulurakennuksen osien B ja C tiloissa seuraavat tehtävät:

Rakenteet ja sisäilma

- Ennen kenttätutkimusten aloittamista tutustutaan tilaajan toimittamiin vanhoihin suunnitelmiin (ARK, RAK ja LVIS) sekä aiempiin tutkimuksiin. Suunnitelmista selvitetään kohteeseen suunnitellut rakenteet, niiden suunniteltu toiminta ja riskikohdat sekä muut lähtötiedot kenttätutkimuksia varten.
- Tehdään kaikkien tilojen aistinvarainen tarkastus ja riskikohtien pintakosteuskartoitus, jonka yhteydessä kirjataan mm. näkyvät kosteusvauriot ja muut havaitut rakennuksen sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät.
- Tehdään putkikanaalien ja ryömintätilojen tarkastus, niiltä osin kuin ne ovat tarkastusluukkujen ja kevyiden rakenneavausten kautta tarkastettavissa. Mahdollisesti tarvittavista raskaammista rakenneavauksista sovitaan erikseen.
- Selvitetään ulkovaipan ulkopinnan (vesikatto ja julkisivut) vesitiiviyspuutteet aistinvaraisesti siinä laajuudessa kun tarkastus on sääolosuhteet huomioiden mahdollista toteuttaa. Julkisivun kuntoa tarkastetaan aistinvaraisesti niiltä osin kuin ilman henkilönostinta on mahdollista.
- Arvioidaan piha-alueiden kaltevuutta ja sadevedenpoistoa aistinvaraisesti niiltä osin kun tähän vuoden aikaan on mahdollista.
- Selvitetään ulkoseinien ja ala-, väli- ja yläpohjien rakennetyypit rakenneavauksin niiltä osin kun asiakirjatarkastelun ja aistinvaraisten havaintojen perusteella on tarpeen.
- Varaudutaan suorittamaan ns. viiltomittauksia lattiapäällysteen alapuolisen kosteuspitoisuuden määrittämiseksi (noin x-x kpl mittauskohtia) sekä tarvittaessa rakennuskosteusmittauksia rakenteen sisältä ns. porareikämittausmenetelmällä (noin x-x kpl mittauskohtia). Lisäksi rakenteista otetaan tarvittaessa lyhytaikaisia suhteellisen kosteuden mittauksia.
- Liimattavien lattianpäällysteiden kuntoa arvioidaan ensisijaisesti aistinvaraisesti viiltomittauksen yhteydessä.

- Sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) ja muiden kemiallisten epäpuhauksien näytteiden tarve arvioidaan erikseen kuntotutkimuksen muiden havaintojen perusteella. Mahdollisten näytteiden ottamisesta ja määrästä sovitaan tilaajan kanssa erikseen.
- Selvitetään arvioitujen riskikohtien kunto rakenneavauksin.
- Otetaan tarvittavassa laajuudessa materiaalinäytteitä mikrobianalyysiä varten (noin x-x kpl näytteitä, mahdollisista lisänäytteistä sovitaan erikseen).
- Arvioidaan tilojen siivouksen tasoa ja pölyisyyttä, sekä selvitetään yläpölykertymien määrät aistinvaraisesti.
- Tarkastellaan huonepölyn koostumusta ja tilojen kuitu- ja hiukkaslähteitä pintapölynäytteiden SEM- ja alkuaineanalyysillä (noin x-x kpl näytteitä).
- Selvitetään huonetilojen ilman mineraalivillakuitujen pitoisuutta kahden viikon laskeumanäytteillä (noin x-x kpl näytteitä).
- Ullakkotilojen kosteusteknistä kuntoa selvitetään ullakkotiloista tehdyillä aistinvaraisilla havainnoilla ja yläpohjarakenteeseen tehdyistä rakenneavauksista
- Selvitetään ulkoseinien ja ala-, väli- ja yläpohjien liittymien ja läpivientien ilmatiiveyttä merkkisavun avulla sekä tarvittaessa merkkiainetekniikalla. Merkkiainekokeita varaudutaan tekemään noin x-x rakenteseen. Mahdollisista lisätutkimuksista sovitaan erikseen.
- Rakennuksen painesuhteita, sisäilman radonpitoisuutta, hiilidioksidipitoisuutta ja kosteus- ja lämpöolosuhteita seurataan pistokoeluontoisesti jatkuvatoimisena noin 1–2 viikon kestoisena seurantamittauksena (paine-erologgereita x-x kpl, CO₂-loggereita x-x kpl, olosuhdeloggereita x-x kpl, radonmonitoreja x-x kpl).

Ilmanvaihto

- Tarkastetaan tutkimuksen kohteena olevia tiloja palvelevien ilmanvaihtokoneiden kunto, puhtaus ja käyntiajat.
- Arvioidaan tuloilmakanavien puhtautta pistokoeluonteisesti tarkastusluukkujen kautta ja päätelaitteiden takaa.

- Tehdään tilojen tulo- ja poistoilmamäärien tarkistusmittauksia pistokoeluontoisesti noin 10–15 % tutkituista tiloista.
- Arvioidaan ilmamäärien suunnitelmien mukaisuutta ja riittävyttä sekä tilojen ilmanjakoa suhteessa tilojen käyttöön.
- Määritetään ilmavirtausten suuntaa ja paine-eroja sisätiloissa merkkisavun avulla.

Tutkimusselostus

- Sekä sisäilma- ja kosteustekninen tutkimus että ilmanvaihtotutkimus raportoidaan yhdessä tutkimusselostuksessa. Tutkimusselostuksessa esitetään tehdyt tutkimukset, havainnot, tulokset, tulosten tarkastelut sekä johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset korjaussuunnittelun lähtötiedoiksi.
- Tutkimustulokset käydään läpi tilaajan kanssa ja esitellään erillisellä käynnillä tilojen käyttäjille.

Tutkimussuunnitelmaan liittyvissä asioissa lisätietoja antaa Kunto Tutkija p. 044 123 5678.

Espoossa 1.9.2016

Kunto Tutkija
Oy Kuntotutkimus Ab

Liite 4. Raporttimalli ja esimerkkejä kuntotutkimuksista

Kosteus- ja sisäilmateknisen kuntotutkimusraportin pohja

Kansilehti / Otsikko

- Esimerkiksi: Tutkimusselostus, Kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus
- Kohteen nimi ja raportin päiväys, tutkimuksen tehneen yrityksen nimi

Tiivistelmä [pituus yleensä enintään 1 x A4, lyhyissä raporteissa ei tarpeen]

- Tutkimuksen tarkoitus
- Tehdyt tutkimukset ja mittaukset
- Tärkeimmät havainnot
- Johtopäätökset ja toimenpidesuosituksset.

Sisällysluettelo [lyhyissä raporteissa ei tarpeen]

1. Yleistiedot

- Tutkimuskohde
- Tutkimuksen tilaaja ja kiinteistönomistaja, jos eri kuin tilaaja
- Tutkimuksen tekijä ja vastuhenkilö(-t)
- Tutkimuksen tarkoitus / tavoite
- Tutkimuksen ajankohta
- Muut mahdolliset tahot

2. Kohteen yleiskuvaus [Lyhyt kuvaus kohteen perusominaisuuksista]

- Rakennusvuosi ja mahdollinen peruskorjausvuosi
- Käyttötarkoitus
- Tärkeimmät runko- ym. rakenneratkaisut ja -materiaalit sekä ilmanvaihtojärjestelmän tyyppi
- Pohja- tai paikannuskuva, mahdollinen tutkimusalueen rajaus
- Tiedossa olevat sisäilmaongelmat

3. Lähtötiedot [Tilajalta saatu tausta-aineisto, tai maininta, jos ei saatavilla]

- Lista asiakirjoista, mm. huoltokirja, aiemmat selvitykset, pääpiirustukset, rakennepiirustukset, korjaustyöselostukset, sähköpostitse saadut tiedot (otsikko, tekijä, päiväys)
- Maininta suullisista tietolähteistä (esim. teknisen henkilökunnan haastattelut) ja saadut tiedot.

- Mahdollinen yhteenveto lähtötietojen (yleensä aiempien tutkimusten) tuloksista

4. Tutkimusmenetelmät

- Pienessä tutkimuksessa voidaan esittää omana kappaleenaan. Laajoissa tutkimuksissa erillisenä liitteenä, johon viitataan tekstissä.
- Menetelmien ryhmittely tutkitun ilmiön mukaan, esim. kosteusmittaukset, ilmapäämäämittaukset, paine-eromittaukset, ilmavuo- ja tiiveysmittaukset, rakenneavaukset jne.
- Kuntotutkijan itse tekemät mittaukset: mittauskalusto, toimintaperiaatteet, mahdolliset käyttöasetukset, kalibroinnit sekä tulosten tulkintaperusteet, mahdolliset rajoitukset, tulosten tulkinnassa käytetyt viitearvot / ohjeet.
- Laboratorioanalyysit: käytetty näytteenottovälineistö, näytteenotto, näytteiden kuljetus, laboratorioanalyysimenetelmät ja niiden rajoitukset, käytetyt asiantuntijalaboratoriot ja tarvittaessa maininta näiden laatujärjestelmistä tai sertifiointeista (esim. Finasertifiointi), tulosten tulkinnassa käytetty viitearvo / ohje.
- Rakenneavaukset: maininta tekijästä (tutkija itse / ulkopuolinen yritys), avausten koko karkeasti, suojaustapa.

5. Rakenneteknisten tutkimusten tulokset

- Kattavissa kosteus- ja sisäilmateknisissä kuntotutkimuksissa havainnot, johtopäätökset ja toimenpidesuosituksset esitetään rakenneosittain. Näiden lisäksi raportin lopussa esitetään yhteenveto suositeltavista toimenpiteistä.
- Suppeammassa selvityksessä eri rakennosien havainnot esitetään peräkkäin mahdollisine mittaustuloksineen, sitten erillisissä kappaleissa johtopäätökset sekä toimenpidesuosituksset.
- Esimerkki kappaleista kattavassa tutkimuksessa:

5.1 Alapohja ja maanvastaiset seinät

5.1.1 Rakenne

- Tarkasteltu rakenneosia kuvataan luettelomalla rakennekerrokset ja -paksuudet
- Liittymien ja detaljien osalta käytetään tarvittaessa kuvia (valokuvat, otteet suunnitelmista tai piirretään kuva)
- Suunnitelmien mukaisuus ja poikkeamat

5.1.2 Havainnot ja mittaustulokset

- Havainnot tekstiin ja ydinasiat mielellään myös pohjakuvaan, joka sijoitetaan tekstin joukkoon tai liitteeksi
- Rakenteen kunto, tekniset puutteet, tarvittaessa poikkeamat määräyksistä ja ohjeista
- Kosteusvauriot, mikrobikasvustot, haitta-aineet, poikkeavat hajut
- Mittaustulokset (kosteus, mikrobit, materiaaliemissiot jne.) taulukkoon, tekstiin tai pohjakuvaan, mitta- ja näytteenottokohdat pohjakuvaan
- Mittaus- ja näytteenottoehtien tarkka sijainti rakenteessa
- Tekstin joukkoon liitetään havainnollistavia kuvia. Erityisesti:
 - yleiskuvat
 - vauriojäljet ja muut puutteet
 - rakenneavaukset

5.1.3 Johtopäätökset ja toimenpideehdotukset

- Päätelmät rakenneosan kunnosta sekä vikojen ja vaurioiden syistä
- Riskiarvio (arvio havaittujen poikkeamien sisäilmavaikutusten suuruudesta ja todennäköisyydestä, käyttäjien altistumisesta epäpuhtauksille, sekä muita riskeistä)
- Toimenpiteitä edellyttävät puutteet, viat ja vauriot, toimenpidealueet
- Suositellut (vaihtoehtoiset) korjausperiaatteet ja niiden kiireellisyys
- Korjaussuunnittelussa huomioon otettavat muut seikat
- Epäselviksi jääneet asiat, mahdolliset lisätutkimustarpeet

5.2 Julkisivut, ulkoseinät, ikkunat ja ovet [kuten edellä]

5.3 Välipohjat, väliseinät ja pintarakenteet [kuten edellä]

- Huom. Myös putkikanaalit ja -tunnelit, talotekniikkakulut, umpinaiset ontelot esim. portaiden alla

5.4 Yläpohjat ja vesikatot [kuten edellä]

5.5 Piha-alueet [kuten edellä]

6. LVI-järjestelmien tutkimusten tulokset

6.1.1 Ilmanvaihto- / LVI-järjestelmän kuvaus

6.1.2 Tilojen ilmanjako ja ilmamäärät

6.1.3 Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus

6.1.4 Johtopäätökset ja toimenpideehdotukset

7. Sisäilman olosuhde- ja epäpuhtausmittausten tulokset

7.1.1 Paine-ero

7.1.2 Hiilidioksidipitoisuus

7.1.3 Sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteuspitoisuus

7.1.4 Epäpuhtausmittaukset (esim. mineraalivillakuidut, mikrobit, VOC:it ym.)

7.1.5 Radon

7.1.6 Johtopäätökset ja toimenpideehdotukset

8. Muiden selvitysten tulokset

- Tutkimuksen osana tehdyn käyttäjäkyselyn, oirekyselyn tai sisäilmastokyselyn tulokset ja niiden johtopäätökset
- Muut selvitykset ja niiden johtopäätökset

9. Yhteenveto tärkeimmistä suositeltavista toimenpiteistä

- Lista tärkeimmistä suositeltavista toimenpiteistä
- Järjestetään laajuuden, kustannusten ja/tai kiireellisyyden mukaan

10. Päiväys ja allekirjoitukset

- Raportti päivätään toimituspäivän mukaan. Raportin allekirjoittaa tutkimuksista ja johtopäätöksistä vastaava henkilö tai henkilöt.

Liitteet

1. Käytetyt tutkimusmenetelmät
Pienessä tutkimuksessa käytetyt tutkimusmenetelmät voidaan esittää varsinaisen tekstin osana. Laajoissa tutkimuksissa erillisenä liitteenä, johon viitataan tekstissä.
2. Pohjakuva, johon on merkitty mitta- ja näytteenottoaikat
3. Pohjakuva, johon on merkitty tärkeimmät havainnot
4. Laboratorion alkuperäiset analyysivastaukset
5. Mahdolliset muut liitteet, esimerkiksi tarkempia mittaustuloksia

Esimerkkejä kuntotutkimuksista

Esimerkki 1. Asuntoon liitetty oireilu ja sisäilmaselvitys

Lähtötilanne ja toimeksianto

Noin 25 vuotta vanhan kerrostalon alimman kerroksen asunnossa esiintyi ajoittain hajua ja koettiin asunnon sisäilmaan liittyvää oireilua. Tehtävänä oli selvittää asunnon sisäilmanlaatua heikentävät tekijät ja mahdollisten vikojen tai vaurioiden korjaustavat. Tilaajan (isännöitsijä) kanssa sovittiin lähtötietoselvityksen, silmämääräisen katselmoinnin ja riskiarvion teosta sekä asukkaan haastattelusta. Työstä tehtiin kirjallinen sopimus, jossa määriteltiin mm. työn sisältö, vastuuhenkilö, kustannusarvio (työmenekkiarvio, tuntiveloitus), toimitusaika ja muut sopimusehdot. Mahdollisista rakenteita rikkovista kuntotutkimuksista päätettiin sopia erikseen katselmoinnin havaintojen perusteella.

Lähtötiedot

Asiakirjat. Kohteesta saatiin tekniseltä isännöitsijältä kattavat rakennepiirustukset, joista selvitettiin rakennetyypit ja rakenteisiin liittyvät riskit. Tutkittu rakennus oli kirjahyllyrunkoinen täyselementtitalo. Ulkoseinät olivat tiililaattapintaisia betonisandwich-elementtejä, lämmöneristeenä uritettu mineraalivilla, huoneiston sisäiset väliseinät kipsilevyä puurangalla, ala- ja välipohjat ontelolaattaa. Alapohja oli asunnon kohdalla tuulettuva ja alapuolelta lämmöneristetty solumuovilla. Rakennuksessa oli koneellinen poistoilmanvaihto, joka ei ollut asuntokohtaisesti säädettävissä.

Haastattelut. Ennen käyntiä haastateltiin kohteen isännöitsijää, jolta saatiin tieto, että asunnon astianpesukoneen poistoletku oli vuotanut muutamia vuosia aiemmin, mutta vuoto oli todennäköisesti ollut pienialainen ja lattianpäällyste oli uusittu kastuneella alueella. Vahingosta tai sen korjauksesta ei ollut saatavilla kirjallista dokumentaatiota. Asukasta haastateltiin puhelimitse ennen katselmointia. Asukkaan mukaan asunnossa oli ollut ajoittain aistittavissa epämääräistä, poikkeavaa hajua. Useampi henkilö oli kokenut asunnossa hengitysteiden ja silmien ärsytysoireita, jotka helpottivat asunnosta poissa ollessa. Asukas kertoi että keittiön vuotovahinko oli korjattu vaihtamalla lattianpäällysteet hyvin pieneltä alalta pesukoneen ympäriltä ja epäili että korjaus on tehty huonosti.

Alustava riskiarvio

Suunnitelmien perusteella rakenteisiin ei todettu liittyvän erityisiä riskejä, vaan riskien arvioitiin liittyvän alkuperäisen rakennustyön toteutuksen huolellisuuteen, rakenteiden ikääntymiseen ja tilojen käyttöön. Astianpesukoneen vuodon korjauslaajuus arvioitiin mahdollisesti riittämättömäksi. Tilojen käyttäjien kokemat hajut ja oireet saattoivat viitata mm. mikrobivaurioihin tai muovimattojen vaurioitumiseen mutta niiden perusteella ei voitu päätellä ongelman aiheuttajaa tai sijaintia.

Tutkimus

Katselmointi ja mittaukset

Katselmointikäynnin ajankohta sovittiin isännöitsijän ja asukkaan kanssa. Käynnillä asunto tarkastettiin aistinvaraisesti ja pintakosteudenosoittimella. Keittiön vanhan vuotoalueen ympäristössä tarkastettiin kalustelevyjen ja kevytrakenteisten väliseinien alaosat ja irrotettiin jalkalistoja ja sokkelilevyjä tätä varten, rakenteita kuitenkin rikkomatta. Ulkopuolelta tutkittiin julkisivun elementtisaumojen sekä ikkuna-, ovi- ja parvekeliittymien toteutus ja vesitiiveys, sekä arvioitiin sokkelien ja alapohjan kosteusrasitusta ja tuulettuvuutta maastonmuotojen, sadevedenohjauksen, sokkelien ja salaojajärjestelmän havainnoinnilla. Asunnon painesuhteet mitattiin lyhytkestoisena mittauksena ulkovaipan yli rakennuksen molemmin puolin (kadun- ja sisäpihan puolelta) sekä asunnosta porrashuoneeseen. Lisäksi tarkastettiin ilman liikesuunta ja arvioitiin karkeasti ilmavirran voimakkuutta ilmanvaihdon pääte-elimillä merkkisavun avulla.

Havainnot ja mittaustulokset

Pintojen ja sisäilman laadun aistinvarainen arvio.

Asunnossa ei ollut havaittavissa kosteusrasituksen tai mikrobivaurioihin viittaavia poikkeamia. Sisäilmassa ei katselmoinnin aikana todettu poikkeavaa hajua. Asunto oli yleisilmeeltään siisti ja hyväkuntoinen, ja pinnat olivat hyvin tarkastettavissa.

Alapohja. Asunnon lattianpäällysteenä oli laminaatti, joka oli irti ruuvatun kynnyksen alta tehdyn havainnon perusteella asennettu vanhan muovimaton päälle. Keittiön vuotovahingon korjauslaajuutta tai vanhan muovimaton kuntoa ei kyetty päättämään rakenteita rikkomatta. Lattioissa ei todettu poikkeavia pintakosteudenosoittimen lukemia. Pintakosteuskartoitus rajoittui märkätiloi-

hin, sillä laminaatin läpi ei voida todeta betonirakenteen kosteutta, ellei rakenne ole todella märkä.

Ulko- ja väliseinät. Ulkoseinien alaosissa ja märkätilojen seinissä ei pintakosteudenosoittimella tutkittuna todettu poikkeamia. Seinien alaosissa keittiön vuotovahingon mahdollisella vaikutusalueella ei myöskään jalkalistojen takana ollut merkkejä vaurioista, kuten materiaalien värinmuutoksia tai kipsilevyn tai tasoitteen pehmenemistä.

Ilmanvaihto ja paine-eromittaus. Poistoilman pääte-elimet sijaitsivat keittiössä, kylpyhuoneessa ja wc:ssä. Ilman liike pääte-elimillä oli voimakasta ja oikeaan suuntaan. Tuloilma tuli ikkunoiden rakoveintiin kautta. Venttiilit olivat auki ja puh-taat ja asukas oli tietoinen niiden asianmukaisesta käytöstä. Asunnon paine-ero ulkovaipan yli oli - 12 ... - 14 pascalia (pa) ja porraskäytävään - 5 pa. Sää-olosuhteet olivat tutkimuksen aikaan tynnet, joten tuuli ei vaikuttanut mittaustuloksiin.

Ulkopuoliset havainnot. Rakennus sijaitsi loivassa rinteessä, asunto alarinteen puolella. Asunnon lattiapinta oli noin + 15 ... + 60 cm maanpinnan tason yläpuolella ja asunnon alapuolella oli oletettavasti tuulettuva alustatila. Tuuletusaukkoja ei havaittu eikä tilaan ollut pääsyä. Julkisivuilla ei todettu vesitiiveyspuutteita, ja ikkunapellitykset olivat asianmukaiset. Elementtisaumojen kittaukset olivat jonkin verran kovettuneet, mutta edelleen eheät.

Johtopäätökset

Asunnossa ei kuntoarviotoimin ollut osoitettavissa mahdollisen sisäilmaongelman aiheuttajaa. Vanha mahdollisesti kastunut muovimatto ja tuulettumaton alustatila kuitenkin muodostivat mahdollisen riskin. Alustatilan tuulettavuus arvioitiin puutteelliseksi, eikä tilan siisteydestä saatu tietoa. Asunto oli lisäksi melko voimakkaasti alipaineinen, mikä lisäsi rakenteiden kautta tulevien ilmapuotojen riskiä.

Toimenpidesuosituksukset

- Ei korjaustoimenpiteitä
- Lisätutkimukset:
 - Keittiön laminaatin purku ja vanhan muovimaton kunnan tarkastus
 - Alustatilan avaus ja valokuvaus sokkeliin porattavien tarkastusaukkojen kautta
 - Tarvittaessa merkkiainetutkimus alustatilasta sisäilmaan

Tutkimus raportoitiin kirjallisena ja toimitettiin tilaajalle. Johtopäätökset käytiin läpi puhelimitse ja keskusteltiin jatkotutkimuksista.

Jatko

Esitettyjen lisätutkimusten teosta ja kustannuksista sovittiin sähköpostitse. Rakenteiden avaamisen ja sulkemisen kuntotukijan ohjeiden mukaisesti hoiti taloyhtiön käyttämä saneerausliike.

Jatkotutkimusten tulokset

Keittiön laminaatti purettiin ja muovimatto tarkastettiin. Muovimaton todettiin olevan vanha mutta vaurioitumaton ja vuodon jälkeisen korjauksen arvioitiin olleen riittävä. Sokkeliin tehtiin timanttikoralla kaksi alustatilan tarkastusaukkoa, joiden kautta havaittiin puutteellisesti sepelöidyllä maapohjalla orgaanista rakennusjätettä. Tilan tuulettusta ei ko. rakennusosalla ollut järjestetty asianmukaisesti, mistä syystä kosteus ja hajoavan rakennusjätteen tuottamat epäpuhtaudet kertyivät alustatilan ilmaan. Tilan ilmassa vallitsi selvä mikrobiperäinen haju. Asunnossa tehtiin lattianpäällysteen purkamisen yhteydessä merkkiainekoe, jossa merkkiainetta syötettiin alustatilan ja sen kulkeutumista tutkittiin asunnon puolella tunnustimen avulla. Ulkoseinän ja alapohjan liitoksessa todettiin selviä ilmapuotoja rakennuksen toisella julkisivulla.

Toimenpiteet

Alustatilaan järjestettiin pääsy rakentamalla sokkeliin kulkuluukku. Tilasta siivottiin rakennusjäte ja maanpinnan sepelöintiä parannettiin. Alustatilaan järjestettiin asianmukainen tuuletus sokkeliin porattujen tuuletusaukkojen kautta. Ulkoseinä-alapohjaliitos tiivistettiin ilmapuotojen takia lattia-laminaatin ollessa irrotettuna. Koska varsinainen epäpuhtauslähde oli poistettu, tiivistys oli varmentava toimenpide. Lisäksi asukas päätti poistattaa vanhan muovimaton laminaatin alta ja asentaa kokonaan uuden lattianpäällysteen. Taloyhtiön hallituksen päätöksellä rakennuksen muut vastaavat alustatilan tarkastettiin ja niihin tehtiin parannuksia tarpeen mukaan.

Tiedotus ja seuranta

Isännöitsijä tiedotti asukkaalle tutkimusten johtopäätöksistä ja tarvittavista toimenpiteistä ja sopi tutkimusten ja korjausten aikatauluista. Asukasta pyydettiin seuraamaan asunnon koettua sisäil-

manlaattua korjausten jälkeen, ja ilmoittamaan isännöitsijälle tilanteesta noin 2 kk kuluttua korjausten valmistumisesta. Asukkaan antaman tiedon mukaan poikkeavia hajuja ei ollut korjauksen jälkeen esiintynyt.

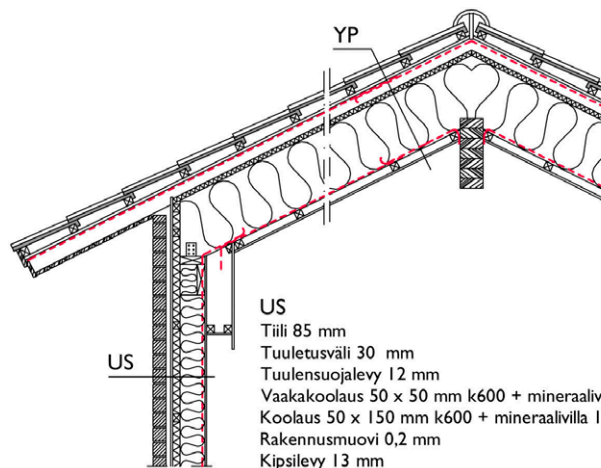
Esimerkki 2. Tiedossa oleva kosteusvaurio

Lähtötilanne ja toimeksianto

Noin neljä vuotta vanhassa omakotitalossa esiintyi talvisin kattovuotoja. Tehtävänä oli selvittää vuotojen syy, rakenteiden sisällä mahdollisesti olevat kosteusvauriot ja laatia korjaustapaehdotus. Tilaajan (talon omistaja) kanssa sovittiin lähtötietoselvityksen, riskiarvion ja vesikaton ja yläpohjan kuntotutkimuksen teosta. Työstä tehtiin kirjallinen tarjous, jossa määriteltiin mm. työn sisältö, vastuuhenkilö, kustannusarvio (työmenekkiarvio, tuntiveloitus), toimitusaika ja muut sopimusehdot. Työ tilattiin sähköpostilla tarjouksen mukaisesti.

Lähtötiedot

Asiakirjat. Kohteesta hankittiin pääpiirustukset ja vesikaton rakennepiirustus. Vesikaton rakennepiirustus on esitetty kuvassa 1. Rakennus oli harjakattoinen ja rakennuksessa oli vinot vesikaton suuntaiset sisäkatot. Vesikatteena oli betonikattotiili. Rakennesuunnitelmien mukaan aluskatteen ja lämmöneristeiden väliin oli suunniteltu 70 mm:n tuuletusväli. Rakennesuunnittelija oli lisännyt kattorakenteen rakennelikkauksiin tekstin ”huolehdittava tuuletusvälin tuulettuminen harjalta”.



US
Tiili 85 mm
Tuuletusväli 30 mm
Tuulensuojalevy 12 mm
Vaakakoolaus 50 x 50 mm k600 + mineraalivilla 50 mm
Koolaus 50 x 150 mm k600 + mineraalivilla 150 mm
Rakennusmuovi 0,2 mm
Kipsilevy 13 mm

Haastattelut. Talon asukas kertoi asuneensa talossa kaksi vuotta. Molempina talvina vesikatto oli vuotanut. Vuotoja oli tapahtunut 2...3 kertaa talven aikana pitkien pakkaskausien jälkeisillä suoja-aikavälillä. Viimeisimmät vuodot oli havaittu edellisellä viikolla, ja ne olivat olleet laajimpia siihen mennessä.

Riskiarvio

Rakennesuunnitelmat ja asukkaan kuvaamat vuodot viittasivat kattorakenteessa tapahtuvaan vesihöyryn tiivistymiseen. Arviota tuki kohteeseen tutustuminen paikan päällä. Rakennuksen harjalla ei ollut näkyvissä rakennesuunnitelmissa mainittua tuuletusvälin tuuletusjärjestelyä. Rakennuksen sisäpuolella, verhokoteloiden takana oli ruskeita veden valumajälkiä. Pintakosteudenosoittimella tutkittuna poikkeavia lukemia todettiin toisella kattolappeella ja verhokoteloissa.

Tutkimus

Kenttätutkimukset

Tutkimuksessa avattiin vesikatetta ja yläpohjan lämmöneristeitä neljästä kohdasta; molemmilta alaräystäiltä, harjalta ja keskilappeelta. Tutkimus tehtiin tammikuussa. Todettiin seuraavaa:

- Aluskatteena oli vesihöyryä läpäisemätön aluskatemuovi.
- Aluskatemuovi roikkui paikoin kiinni lämmöneristysvilloissa.
- Aluskatemuovin alapinnassa oli toisella lappeella ja harjalla ohut 1...3 mm:n jääkerros. Aluskatemuovi oli paikoitellen jäänyt kiinni lämmöneristevilloihin. Harjalla aluskate oli käännetty harjan yli siten, että lämmöneristeen ja aluskatemuovin väli ei tuulettunut harjalta.

YP

Betonikattotiili
Ruoteet 50 x 50 mm k375
Tuuletusrima 19 x 50 mm
Aluskatemuovi
Kertopuupalkit 57 x 500 mm k900
tuuletusväli 70 mm
tuulensuojavilla 30 mm
mineraalivilla 400 mm
Rakennusmuovi 0,2 mm
Alusrimat 50 x 50 mm
Paneeli 18 x 120 mm

Kuva 1. Vesikaton rakennepiirustus.

- Rästystäällä seinärakenteen höyrinsulku-muovi oli käännetty ensin kertopuisia kat-tokannattajia vasten. Tämän jälkeen oli asen-nettu höyrinsulku kattoon.
- Katon höyrinsulun limitys oli tehty aloit-taen höyrinsulun asennus harjalta, jolloin höyrinsulun päällä kulkeva vesi kulkeutuu verhokoteloihin saakka.
- Höyrinsulun tiiviys oli toisen lappeen osal-ta puutteellinen. Limitykset olivat paikoin vain n. 10 cm ja ne oli teipattu tavallisella pakkausteipillä, joka oli irronnut. Muovin laitoja kääntämällä voitiin tähytää verho-kotelojen sisälle.
- Toisella lappeella ja harjalla höyrinsulun limitys oli n. 40 cm ja teippaus asianmukai-nen. Verhokotelojen sisällä näkyi ruskeita veden valumajälkiä. Rakennusmateriaaleis-sa ei muutoin ollut kosteuden jättämiä vär-jäytyksiä, eikä yläpohjarakenteiden sisällä ollut homeeseen viittaavaa hajua.
- Huoneiston sisällä ja ulkopuolella tehtiin kosteus- ja lämpötilamittaukset. Tulokset olivat normaalit.

Johtopäätökset

Vesikaton höyrinsulun epätiiviyiskohtien kautta vesihöyryä pääsee huoneilmasta yläpohjaraken-teisiin. Yläpohjan epätiiviyys korostuu paneelika-ton ansiosta. Levyrakenteinen katto olisi tiiviimpi. Tuuletus lämmöneristekerroksen ja tiiviin aluska-temuovin välissä ei toimi johtuen liian pieneksi suunnitellusta tuuletusvälistä, liikaa roikkuvasta aluskatteesta ja harjalta puuttuvista tuuletusvent-tiileistä tai muusta vastaavasta harjan tuuletusjär-jestelystä.

Vesihöyry tiivistyy aluskatemuovin kylmään alapintaan. Suojasäällä jää sulaa, tippuu muovi-kalvolle ja valuu verhokotelon kautta huonetilaan. Vesivuodoista tehdyn aistinvaraisen tarkastuksen perusteella rakenteiden sisälle ei ole vielä syntynyt homevaurioita. Korjaustyöt tulisi tehdä seuraavan kesän aikana.

Toimenpidesuosituks

Vesikate ja aluskate puretaan. Vesikattokannattaji-en päälle kiinnitetään 50 mm x 50 mm korotussoi-rot, joilla parannetaan tuuletusväliä tuulensuojan ja aluskatteen välissä. Uusi vesihöyryä läpäisevä aluskate asennetaan. Harjalle järjestetään har-jansuuntainen tuuletuskanava ja tuuletusventtii-leitä. Vanhat tuuletusrimat, ruoteet ja kattotiilet asennetaan paikoilleen. Vaurioituneella lappeella verhokotelot ja sisäverhouspaneelit irrotetaan ja höyrinsulkumuovi teipataan tiiviiksi. Samalla tarkastetaan villojen kunto lappeella.

Vesikatteen korjauksen aikana tehdään vaurioit-tumattomalle lappeelle yläkautta lisää koeavauk-sia, joissa mineraalivillat poistetaan höyrinsulku-muoviin asti. Jos korjauksen aikana löytyy tai on aihetta epäillä, että rakenteissa on epänormaalia mikrobikasvustoa, ko. materiaalit uusitaan tai tee-tetään tarvittavat mikrobiselvitykset alan laborato-riossa. Verhokotelot avataan ja kosteuden vaurioit-tamat kipsilevyt uusitaan. Seinän ja katon höyrin-sulku tiivistetään verhokotelon sisältä. Kosteuden vaurioittamat sisäseinien pintarakenteet uusitaan.

Liite 5. Termien selitykset

Asumisterveysasetus. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus STMa 545/2015 asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista, säädetty TSL:n 32 §:n ja 49 d §:n nojalla, voimassa 15.5.2015 alkaen.

Homekasvusto: Ks. Mikrobikasvusto.

Homevaurio: Ks. Mikrobivaurio.

Katselmus: Katselmus on rakennuksen tai tietyn rakennusosan aistinvarainen, rakenteita rikkomaton yleiskatsaus tai tarkastus, joka tehdään yleensä ilman tutkimusvälineitä. Katselmuksesta laaditaan muistio, joka voi sisältää jatkotoimenpide-ehtotuksia.

Kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus: Kosteus- ja sisäilmateknisessä kuntotutkimuksessa tutkitaan tarkasti kosteusvaurioituneet tai sellaisiksi epäillyt rakenteet sekä muut sisäilmanlaatuun mahdollisesti vaikuttavat rakenneosat, materiaalit ja talotekniset tekijät sekä mahdolliset muut sisäilmanlaatuun vaikuttavat tekijät. Tutkija analysoi kaikki tutkimustulokset ja niiden merkittävyyden tapauskohtaisesti ottaen huomioon rakennuksen kokonaisuutena. Tutkija esittää toimenpide-ehdotukset analysoinnin perusteella. Tutkimuksesta laaditaan tutkimusselostus, joka sisältää tutkimustulokset, analyysit ja toimenpide-ehdotukset.

Kosteusvaurio: Kosteusvaurio tarkoittaa liiallisesta tai pitkäaikaisesta kosteudesta aiheutuvaa materiaalin tai rakenteen kosteussietokyvyn ylitymistä tai ominaisuuksien muuttumista siten, että rakenne tai rakenteen osa tulee korjata tai vaihtaa (RIL250-2011). Vaurioituneen materiaalin ulkonäkö, lujuus, tekninen toimivuus ja / tai terveydelliset ominaisuudet ovat oleellisesti heikentyneet. Kosteusvaurio ei aiheuta välttämättä mikrobivaurioita. Kosteusvaurion eteneminen mikrobivaurioksi riippuu siitä, kuinka kauan mikrobikasvulle otolliset olosuhteet (kosteus ja lämpötila) vallitsevat sekä kastuneista rakennusmateriaaleista, jotka ovat ravintona mikrobeille.

Kuntoarvio: Kuntoarvio on menettely, jolla arvioidaan rakennuksen kunto pääosin aistinvaraisesti. Apuna voidaan käyttää rakennetta rikkomattomia tutkimusvälineitä, esimerkiksi pintakosteusilmainsinta. Kuntoarviossa selvitetään kiinteistön tilojen, rakennusosien, taloteknisten järjestelmien ja ulkoalueiden kunto aistinvaraisesti, arvioidaan kiinteistön korjaustarvetta ja laaditaan pitkän tähtäimen kunnossapitosuunnitelma (PTS). Kuntoarviossa tarkastellaan myös sisäolosuhteita ja energiataloutta. Kuntoarvio päivitetään tai uusitaan yleensä viiden vuoden välein. Kuntoarvion sisältö ja suoritus on kuvattu ohjekorteissa KH 90-00535 ja KH 90-00501. Vrt. kuntotutkimus ja kuntokatselmus.

Kuntokatselmus: Kuntokatselmus muistuttaa kuntoarviota, mutta on sitä suppeampi rakennuksen kunnon tarkastus. Katselmuksen sisältö määritellään tapauskohtaisesti. Yleensä katselmuksella päivitetään aiemmin tehtyä kuntoarviota. Katselmuksen tekee yleensä yksi henkilö.

Kuntotutkimus: Kuntotutkimus on menetelmä, jossa tutkitaan rakenteiden tai rakennukseen kuuluvien järjestelmien kunto käyttäen aistinvaraisten havaintojen, mittauksen ja kuvausten lisäksi rakenteita rikkovia tutkimus- ja mittaustekniikoita sekä tehdään rakenneavauksia. Kuntotutkimus voi kohdistua tiettyihin rakenteisiin, vesi- ja viemärijärjestelmiin, ilmanvaihtojärjestelmiin ja sisäilmaan vaikuttaviin tekijöihin. Vrt. kuntoarvio ja kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus.

Käyttäjäkysely: Tilan käyttäjille tai tekniselle henkilökunnalle tehty kysely, jolla kartoitetaan rakennuksessa havaittuja puutteita ja poikkeamia. Vrt. sisäilmastokysely.

Merkittävä kosteus- ja homevaurio: voidaan määrittää sellaiseksi vähäistä laajemmaksi rakenteelliseksi viaksi, jonka seurauksena haitallinen altistuminen kosteusvaurioituneista rakenteista ja materiaaleista vapautuville kemiallisille, fysikaalisille ja biologiselle (mm. mikrobiperäisille) epäpuhtauksille on todennäköistä, minkä perusteella korjaustarve voidaan arvioida kiireelliseksi altistumisen vähentämiseksi tai pois-

tamiseksi. Kosteus- ja homevaurion määrittäminen merkittäväksi ei ole pelkästään tekniseen tarkasteluun perustuva, vaan sen pitää sisältää myös altistumisen todennäköisyyden arviointi, jotta terveydellinen ulottuvuus saadaan mukaan (Reijula ym. 2012). Vaurio voi olla merkittävä myös sen aiheuttaman rakenteen mekaanisen lujuuden heikkenemisen takia, joka voidaan todeta pelkästään teknisen arvion perusteella.

Mikrobikasvu: Mikrobikasvu tarkoittaa mikrobien kasvua ja määrän lisääntymistä tutkitussa materiaalissa. Käytetään usein mikrobikasvuston synonyyminä.

Mikrobikasvusto: Mikrobikasvusto tarkoittaa mikrobiesiintymää, joka on syntynyt homeiden tai muiden mikrobien alettua kasvaa tarkastellussa rakenteosassa/ materiaalilla. Kasvuston syntyminen on mahdollista, kun mikrobikasvulle otolliset olosuhteet (riittävä kosteus, lämpötila ja ravinteet) vallitsevat riittävän kauan. Riittävän ajan pituus vaihtelee päivästä kuukausiin olosuhteista riippuen. Kasvustoksi katsotaan myös viljelykelvoton, vanha mikrobiesiintymä, joka on syntynyt mikrobikasvun tuloksena. Mikrobikasvusto todetaan yleensä mikrobipitoisuuden perusteella (viljely tai muu menetelmä) tai näkyvän kasvun pohjalta (silmin näkyvä / mikroskopia).

Mikrobivaurio: Home- tai muu mikrobikasvu katsotaan vaurioksi, jos kasvustoa esiintyy niin paljon tai sellaisessa paikassa, että se heikentää materiaalin teknisiä tai esteettisiä ominaisuuksia tai siitä voi aiheutua hajuja tai terveydelle haitallisia päästöjä sisäilmaan. Rakenteen sisäpuolisissa rakenteissa tai ulkovaipan sisäosissa esiintyviä mikrobikasvustoja pidetään yleensä vaurioina todennäköisen sisäilmayhteyden takia.

Mittaaja: Mittaaja on henkilö, joka suorittaa tietyn mittauksen tutkijan tai tilaajan toimeksiannon mukaisesti. Mittaaja ei yleensä analysoi tulosta ja tee toimenpide-ehdotusta. Vrt. tutkija.

Sisäilmamittaus: Sisäilmamittaus on sisäilman laadun mittaus, joka sisältää mittauksen suorittamisen (esim. lämpötila, suhteellinen kosteus, hiilidioksidipitoisuus, radon) tai ilmanäytteen ottamisen ja analysoinnin (esim. mikrobi, VOC, pölyt) sekä mittaustulosten kirjoittamisen.

Sisäilmaryhmä: Eri alojen asiantuntijoista ja tilan käyttäjien edustajista koostuva työryhmä, jonka

tehtävänä on kohteissa on suunnitella ja koordinoita sisäilmaongelmien ratkaisuprosessia sekä arvioida selvitysten tuloksia tarvittavine toimenpiteineen. Sisäilmaryhmä suunnittelee ja huolehtii myös prosessin aikana tapahtuvan viestinnän eri osapuolille. Lisäksi useissa kunnissa ja suurissa organisaatioissa on koordinoiva sisäilmaryhmä, jolla on yleensä etenkin ohjauksellisia tehtäviä, kuten selvitys- ja viestintäohjeiden laatimista ja kouluttamista sekä prosessien seuranta.

Sisäilmastokysely: Sisäilmastokysely on työntekijöille tehty kirjallinen kysely, jolla selvitetään käyttäjien kokemuksia sisäympäristön fysikaalisista viihtyvyystekijöistä, työjärjestelyistä ja -tyytyväisyydestä sekä koetuista oireista. Useimmat kyselyt pohjautuvat ns. Örebro-kyselyyn.

Terveyshaitta: Terveyshaitta on merkittävä, haitallinen terveysvaikutus. Terveystensuojelulain mukaan terveyshaitta on ympäristössä olevasta tekijästä tai olosuhteesta aiheutuva sairaus tai sairauden oire. Terveystensuojelulain terveyshaitaksi katsotaan myös altistuminen terveydelle haitalliselle aineelle tai olosuhteelle siten, että sairauden tai sen oireiden ilmeneminen on mahdollista.

Terveysvaikutus: Terveysvaikutus on ympäristössä olevan tekijän tai olosuhteen aiheuttama vaikutus terveydelle.

Tutkija: Tutkija on henkilö, joka tekee tutkimussuunnitelman ja tutkimuksen, analysoi tulokset ja tekee toimenpide-ehdotukset. Tutkijan apuna voi olla mittaajia. Vrt. Mittaaja.

Vastuullinen tutkija: Suuremmista, yleensä sisäilmaongelmaisista kohteista ja niiden selvityksistä vastaava kuntotutkija. Myös "selvityshankkeen vetäjä" tai "selvitysvaihetta johtava asiantuntija". Vastuullinen tutkija suunnittelee, koordinoi ja tulkitsee sisäilma- ja kosteustekniset kuntotutkimukset ja vetää yhteen eri erikoisalojen asiantuntijoiden selvitykset sisäilmaongelman kannalta. Vastuullisen tutkijan lisäksi kohteessa voi olla tutkijoita ja mittaajia, joilla on hoidattavana osa-alueeseen riittävä pätevyys.

Vauriomekanismi: Vauriomekanismi on fysikaalisesta ilmiöstä johtuva tapa, jolla vesi tai kosteus kulkeutuu rakenteeseen aiheuttaen kosteusvaurion.

- Adan O., Samson R. (toim.), 2011. Fundamentals of mold growth in indoor environments and strategies for healthy living. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Hollanti.
- Alenius H., Haahtela T., Hakulinen A. ym., 2007. Majvik II -suositus: Kosteusvauriomikrobeihin liittyvien oireiden selvittely. Suomen Lääkärilehti 62 (2007): 7, s. 654–664.
- Asikainen V. ja Peltola S., 2008. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. Opetushallitus.
- Aurola R. ja Välikylä T. (toim.), 2009. Asumisterveysopas. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen (STM:n oppaita 2003:1) soveltamisopas. Ympäristö ja Terveys-lehti.
- Ayerst G., 1969. The effects of moisture and temperature on growth and spore germination in some fungi. Journal of stored products research, 5(2).
- Björkholtz D., 2002. Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka, 3. painos. Rakennustieto Oy.
- Flannigan B., Samsom R. A., Miller J. D., 2011. Microorganisms in Home and Indoor Work Environments. Diversity, Health Impacts, Investigation and Control. Second Edition. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Yhdysvallat.
- Gunschera J., Fuhrmann F., Salthammer T. ym., 2004. Formation and emission of chloroanisoles as indoor pollutants. Environ Sci Pollut Res Int, 11(3).
- Hagentoft C.-E., 2001. Introduction to Building Physics. Studentlitteratur, Lund, Ruotsi.
- Hellgren U., Palomäki E., Lahtinen M., Riuttala H., Reijula K., 2008. Complaints and symptoms among hospital staff in relation to indoor air and the condition and need for repairs in hospital buildings. SJWEH Suppl 2008;(4)
- Hens H., 2012. Building Physics – Heat, Air and Moisture: Fundamentals and Engineering Methods with Examples and Exercises, 2. painos.
- Härkönen K., 2012. Vaurioitumattomien lattiapintamateriaalien referenssitiedon kartuttaminen bulk-emisiotutkimuksilla. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu.
- Ilmatieteen laitos, 2009. Suomen tuuliatlas. www.tuuliatlas.fi [28.8.2016]
- Johansson P., 2014. Determination of the Critical Moisture Level for Mould Growth on Building Materials. Rapport TVBH-1020 Lund. Väitöskirja. Lundin Yliopisto, Rakennusfysiikan osasto. Lund, Ruotsi.
- Järnström H., 2005. Muovimattopinnoitteisen lattiarakenteen VOC-emisiot sisäilmaongelmatapauksissa. VTT Publications 571. Lisensiaattitutkimus. VTT.
- Järnström H., 2007. Reference values for building material emissions and indoor air quality in residential buildings. VTT Publications 672. Väitöskirja. VTT.
- Kaila P., 1997. Talotohtori. Rakentajan pikku jättiläinen. WS Bookwell Oy.
- Kattoliitto ry, 2013. Toimivat Katot 2013. Suomen Rakennusmedia Oy.
- Keinänen H., 2013. Hyvät tutkimustavat betonirakenteiden lattioiden muovipäällysteiden korjaustarpeen arviointiin. Opinnäytetyö. Itä-Suomen yliopisto, koulutus- ja kehittämisskeskus Aducate.
- Kokko E., Ojanen T., Salonvaara M. ym., 1999. Puurakenteiden kosteustekninen toiminta. VTT tiedotteita 1991. VTT.
- Korpi A., 2001. Fungal Volatile Metabolites and Biological Responses to Fungal Exposure (Mikrosientien haihtuvat aineenvaihduntatuotteet ja homealtistuksen biologiset vasteet). Kuopion yliopiston julkaisuja 129. Luonnontieteet ja ympäristötieteet. Väitöskirja. Kuopion yliopisto.
- Korpi A., Järnberg J., Pasanen A.-L., 2006. The Nordic Expert Group for Criteria Documentation of Heaath Risks from Chemicals: 138. Microbial volatile organic compounds (MVOCs). Arbetslivsinstitutet, Arbete och Hälsa 2006:13.
- Kosteus- ja Hometalkoot, 2012. Tunnista ja tutki riskirakenteen -opetusmateriaali. Yhteistyössä Insinööritoimisto Savora Oy. Tulostettavissa: www.hometalkoot.fi/guides.
- Kosteus- ja hometalkoot, 2015a. Päätäjän homeopas. Kohti terveitä taloja ja kannattavaa kiinteistönpitoa. Yhteistyössä: Sosiaali- ja terveysministeriö ja Suomen Kuntaliitto. Tulostettavissa: www.hometalkoot.fi/guides.
- Kosteus- ja hometalkoot, 2015b. Tilaajan ohje sisäilmaongelman ratkaisemiseen asunto-osakeyhtiössä. (Myös RT-kortti RT 18-11144, 2014). Tulostettavissa: www.hometalkoot.fi/guides.
- Kosteus- ja homevauriot –verkkokurssi. Duodecim Oppiportti. Kustannus Oy Duodecim. <http://www.oppiportti.fi/op/dvk00010>. Julkaistu 19.8.2014.
- Kovanen K., Heimonen I., Laamanen J. ym., 2006. Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt - Altistuminen, mittaminen ja tuotetestaus. VTT Tiedotteita 2360. VTT.
- Kurnitski J., Pasanen P., Matilainen M., Hyttinen M., Asikainen V., 1999. Ryömintätilan kosteus ja mikrobit. Raportti B62. Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto.
- Kurnitski J., Vilkki R., Jokiranta K., Kettunen A.-V., Hejazi-Hashemi, S. 1996. Koulujen sisäilmasto ja kosteusvauriot. Talonrakennustekniikan laboratorion julkaisu 58. Teknillinen korkeakoulu, LVI-tekniikan ja talonrakennustekniikan laboratoriot.
- Lahtinen M., Ginström A., Harinen S. ym., 2010. Selätä sisäilmastokiista – viesti viisaasti. Työterveyslaitos.
- Lappalainen S., Reijula K., Tähtinen K. ym., 2016. Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen. Työterveyslaitos.
- Lehtinen T., 1989. Tiilijulkisivupintaisten seinärakenteiden sateenpitävyyden kehittäminen; seinärakenteiden rakenevaihtoehdot ja rakennusfysikaalinen toiminta. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Rakennetekniikan laitos.
- Lehtinen T. ja Viljanen M., 1989. Tiilijulkisivuisen seinärakenteen toiminnan varmistaminen viistosadetta vastaan. Talonrakennustekniikan laboratorion julkaisu 16. Teknillinen Korkeakoulu.
- Lehtinen T. ja Viljanen M., 1996. Tiilirakenteiden kapillaarinen kosteudensiirtyminen sisätiloihin rajoituvissa rakenteissa. Talonrakennustekniikan laboratorion julkaisu 44. Teknillinen korkeakoulu.
- Leivo V. ja Rantala J., 2002. Maanvastaisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus. Julkaisu 120. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan osasto.
- Leivo V. ja Rantala J., 2006. Maanvastaisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus. Julkaisu 139. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan osasto.

- Lindberg R., Wahlman J., Suonketo J. ja Paukku E., 2002. Kosteusvirta-tutkimus. Julkaisu 119. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan osasto.
- Lorentzen J., Juran S., Nilsson M. ym., 2016. Chloroanisoles may explain mold odor and represent a major indoor environment problem in Sweden. *Indoor Air* 26(2).
- Magan N. ja Lacey J., 1984. Effect of temperature and pH on water relations of field and storage fungi. *Transactions of the British Mycological Society* 82.
- Merikallio T., Niemi S. ja Komonen J., 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Betonitieto Oy.
- Metiäinen P., 2012. VOC-yhdisteiden tulkinta asumisterveys tutkimuksissa. *Ympäristö ja Terveys -lehti* 5-6/2012.
- Mäkinen-Kiljunen S. ja Mussalo-Rauhamaa H., 2001. Huonepölyn maitoallergeenipitoisuus. Työsuojelurahaston projekti nro 98322. Loppuraportti.
- Neuvonen P., Mäkiö E. ja Malinen M., 2002. Kerrostalot 1880-1940. Rakennustieto Oy.
- Neuvonen P., 2006. Kerrostalot 1880-2000 – arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen. Rakennustieto Oy.
- Nevander L. ja Elmarsson B., 2011. *Fukthandbok - Praktik och teori*. 3. painos. Svensk Byggtjänst, Tukholma, Ruotsi.
- Ojanen T., Peuhkuri R., Viitanen H., Lähdesmäki K. ja Vinha J., 2009. Vaihtelevien olosuhteiden mallinnus ja sen vaikutus homeen kasvuriskin arviointiin. Teoksessa: Vinha J. ja Lähdesmäki K. (toim.). *Rakennusfysiikka 2009*. Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut. Seminaarijulkaisu 2. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.
- Palomäki E., 1993. Rakennusmateriaalit ja terveys. Työterveyslaitos ja Rakennustieto Oy.
- Pessi A-M., Suonketo J., Pentti M. ja Rantio-Lehtimäki A., 1999. Betonielementtijulkisivujen mikrobiologinen toimivuus. 3. painos. 101. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikka.
- Pietarinen V-M., Tähtinen K., Lappalainen S., ym., 2015. Altistumisen arviointi sisäilmaston laatuun vaikuttavien tekijöiden perusteella. Sisäilmastoseminaari 2015, SIY Raportti 33. SIY Sisäilmastieto Oy.
- Prezant B., Weekes D. ja Miller J. D., 2008. Recognition, Evaluation, and Control of Indoor Mold. American Industrial Hygiene Association. Fairfax, Yhdysvallat.
- Putus T., 2014. Home ja terveys. Kosteusvauriohomeiden, hiivojen ja sädesienten esiintyminen sekä terveyshaitat. Suomen ympäristö- ja terveysalan kustannus Oy.
- Rautiala S., Pasanen A-L., Nevalainen A., Husman T., Kalliokoski P. 1997. Rakennustyöntekijöiden mikrobialistuminen ja altistumisen vähentäminen rakennusten purku- ja korjaustöissä. Työsuojelujulkaisu 4. Sosiaali- ja terveysministeriö, Työsuojeluosasto.
- Reiman M., Kujanpää L., Juntila S. ym., 2005. Rakennusten kosteusvaurioita kuvastava mikrobisto. *Ympäristö ja Terveys-lehti* 8/2005.
- Salmela A., 2014. Käyttäjäkokeuksia Mycometeristä (Itä-Suomen Yliopisto). Esitelmä Asumisterveys tutkimuksia tekevien laboratorioden neuvottelupäivillä 12.3.2014.
- Salonen H. (toim.), 2011. Toimiston sisäilmaston tutkiminen. Työterveyslaitos.
- Salonen H., Lahtinen M., Lappalainen S. ym., 2014. Kosteus- ja homevauriot – Ratkaisuja työpaikoille. Työterveyslaitos.
- Schleibinger H., Laussmann D., Bornehag C.G., Eis D. ja Rueden H., 2008. Microbial volatile organic compounds in the air of moldy and mold-free indoor environments. *Indoor Air* 18(2).
- Siikanen U., 2014. Rakennusfysiikka, Perusteet ja sovelluksia. Rakennustieto Oy.
- Siikanen U., 1996. Rakennusaineoppi. Rakennustieto Oy.
- Sisäilmayhdistys ry, 2008. Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Julkaisu 5.
- Suomen Betonitieto Oy ja Lattian- ja seinäpäällysteliitto ry, 2007. Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet. Betonikeskus ry.
- Suomen LVI-liitto SuLVI ry, 2013. LVV-kuntotutkimusopas 2013. Opas lämmitys-, vesi- ja viemäriverkostojen kuntotutkimuksiin. Yhteistyössä Kosteus- ja hometalkoot. Tulostettavissa: <http://www.hometalkoot.fi/guides>.
- Suomen LVI-liitto SuLVI ry, 2016. Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien ja laitteiden kuntotutkimusmenetelmä (SuLVIn IV-kuntotutkimus): ohjeet ja raporttimallit, versio 1/2016. Tulostettavissa: <http://www.sulvi.fi/ajankohtaista/projektit/iv-kuntotutkimushanke/>.
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2000. RIL 107-2000. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet.
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2009. RIL 126-2009. Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus.
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011a. RIL 201-1-2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4.
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011b. RIL 250-2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen.
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012. RIL 107-2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet.
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2014. RIL 255-1-2014. Rakennusfysiikka I. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset.
- Säteilyturvakeskus, 2014. Sisäilman radon. Säteilyturvakeskus STUK.
- Säteri J., Jyske P. ja Majanen A., 1990. Rakennusten ilmanvaihtuvuuden integroivan merkkiaiemittausmenetelmän kehittäminen. Raportti 27. Teknillinen korkeakoulu, LVI-tekniikan laboratorio.
- Tuomi T., Lappalainen S., Laaja T., Hovi H. ja Svinhufvud J. (toim.), 2012. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden (TVOC) tavoitetasot teollisten työympäristöjen yleisilmassa. Tavoitetaso TY-1-2012. Työterveyslaitos.
- Työterveyslaitos, 2014. Työterveyslaitoksen käyttämiä viitearvoja sisäympäristön ongelmien tunnistamisessa toimistoympäristöissä. Päivitetty 18.3.2014. Tulostettavissa: http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/Sivut/default.aspx.
- Työterveyslaitos, 2016a. Bulk-emissioiden viitearvot eri materiaalityypeille. Päivitetty 14.3.2016.
- Työterveyslaitos, 2016b. Ohje siivoukseen ja irtaimiston puhdistukseen kosteus- ja homevauriokorjausten jälkeen. Yhteistyössä Kosteus- ja hometalkoot ja Suomen JVT- ja Kuivausliikkeiden Liitto ry.

- Työterveyslaitos, 2016c. Kooste toimistoympäristöjen epäpuhtaus- ja olosuhdetasoista (rakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto), joiden ylittyminen voi viitata sisäilmasto-ongelmiin. Päivitetty 10.6.2016.
- Tähtinen K. ja Lappalainen S., 2016. Tilaajan ohje sisäilmasto-ongelman selvittämiseen. Työterveyslaitos. Yhteistyössä Kosteus- ja homealkoot. Tulostettavissa: http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/Documents/Tilaajan_ohje_sisailmasto-ongelman_selvittamiseen.pdf.
- Vepsäläinen M., Pyy O., Sjölund M. ym., 2016. Pilaantuneen maa-alueen kunnostushankkeen tilaaminen. Suomen Ympäristökeskuksen Raportteja 1 | 2016. Suomen Ympäristökeskus.
- Viihinen H., 2004. Betonin ja siihen liittyvien materiaalien homeutumisen kriittiset olosuhteet - betonin homeenkestä. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. ISBN 951-38-6558-4 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>).
- Viljanen K., 2012. Katon polyvinyylidikloridikatteen kosteusteknisen toiminnan tarkastelu kenttäkokeella ja laskennallisesti. Diplomityö. Aalto-yliopisto, insinööri-tieteiden korkeakoulu.
- Vinha J., Valovirta I., Korpi M., Mikkilä A. ja Käkelä P., 2005. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona. Tutkimusraportti 129. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan osasto.
- Vinha J., 2007. Hygrothermal Performance of Timber-Framed External Walls in Finnish Climatic Conditions: A Method for Determinating the Sufficient Water Vapour Resistance of the Interior Lining of a Wall Assembly. Väitöskirja. Tampereen teknillinen yliopisto.
- Ympäristöministeriö, 1997a. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. Ympäristöopas 28.
- Ympäristöministeriö, 1997b. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjaus. Ympäristöopas 29.
- Ympäristöministeriö, 2014. Pilaantuneen alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta. Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014.
- Sosiaali- ja terveysministeriö, 2003. Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. Tulostettavissa: www.stm.fi/julkaisut/hyvinvointi/lista/2003/kaikki
- STMa 268/2014. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus haitalliseksi tunnetuista pitoisuuksista. Annettu Helsingissä 26 päivänä maaliskuuta 2014. Saatavissa sähköisesti osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140268>
- STMa 545/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista (, asumisterveysasetus). Annettu Helsingissä 23 päivänä huhtikuuta 2015. Saatavissa sähköisesti osoitteessa <https://www.edilex.fi/saadoks-kokoelma/20150545.pdf>
- STMp (944/92). Sosiaali- ja terveysministeriön päätös asuntojen huoneilman radonpitoisuuden enimmäisarvoista. Annettu Helsingissä 21 päivänä lokakuuta 1992.
- Säteilyasetus (1512/1991). Saatavissa sähköisesti osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1991/19911512>
- TsL 763/1994. Terveydensuojelulaki 763/1994. Annettu Helsingissä 19 päivänä elokuuta 1994. Saatavissa sähköisesti osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1994/19940763>
- TTL 738/2002. Työturvallisuuslaki 738/2002. Annettu Helsingissä 23 päivänä elokuuta 2002. Saatavissa sähköisesti osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>
- VNa 715/2001. Valtioneuvoston asetus kemiallisista teki-
jöistä työssä. Annettu Helsingissä 9 päivänä elokuuta 2001. Saatavissa sähköisesti osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2001/20010715>
- VNa 205/2009. Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. Annettu Helsingissä 26 päivänä maaliskuuta 2009. Saatavissa sähköisesti osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090205>
- VNa 798/2015. Valtioneuvoston asetus asbestityön turvallisuudesta. Annettu Helsingissä 25 päivänä kesäkuuta 2015. Saatavissa sähköisesti osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150798>
- VNp 1406/1993 Valtioneuvoston päätös henkilönsuojaimista. Annettu Helsingissä 22 päivänä joulukuuta 1993. Saatavissa sähköisesti osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1993/19931406>
- VNp 1407/1993. Valtioneuvoston päätös henkilönsuojainten valinnasta ja käytöstä työssä. Annettu Helsingissä 22 päivänä joulukuuta 1993. Saatavissa sähköisesti osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1993/19931407>
- VNp 793/1999. Valtioneuvoston päätös henkilönsuojain-
nosturilla ja haarukkatrukilla. Annettu Helsingissä 8 päivänä heinäkuuta 1999. Saatavissa sähköisesti osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1999/19990793>
- 2013/59/Euratom. Neuvoston direktiivi 2013/59/
Euratom turvallisuutta koskevien perusnormien vahvistamisesta ionisoivasta säteilystä aiheutuvilta vaaroilta suojelemiseksi (Council directive basic safety standards, BSS-direktiivi). Euroopan unionin virallinen lehti, L 013, 17. tammikuuta 2014.

Lait, asetukset, määräykset, päätökset ja ohjeet

- Asbestilaki 684/2015. Laki eräistä asbestipurkutöitä koskevista vaatimuksista. Annettu Helsingissä 22 päivänä toukokuuta 2015.
- MRL 132/1999. Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999. Annettu Helsingissä 5 päivänä helmikuuta 1999. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1999/19990132>
- RakMK C2-1998. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa C2 Kosteus. Määräykset ja ohjeet. 1998. Ympäristöministeriö.
- RakMK D2-2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet. 2012. Ympäristöministeriö.
- Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. Ohje 8/2016. Tulostettavissa <http://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys>

Ohjekortit ja standardit

- International Organization for Standardization, 2011. ISO 16000-6:2011. Indoor air - Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS or MS-FID.
- International Organization for Standardization, 2013. ISO 16000-21:2013. Indoor air – Part 21: Detection and enumeration of moulds – Sampling from materials.
- Nordtest, 1998. NT Build 484. Building materials: Emission of volatile compounds – On-site measurements with Field and Laboratory Emission Cell (FLEC).
- Rakennustietosäätiö RTS, 1990. KH 90-00138. Puurakenteiden lahottajasienet ja -bakteerit.
- Rakennustietosäätiö RTS, 2003. RT 14-10775. Sisäilman ammoniakkipitoisuuden määrittäminen.
- Rakennustietosäätiö RTS, 2007. KH 90-00394. Kuntotarkastus asuntokaupan yhteydessä. Suoritusohje.
- Rakennustietosäätiö RTS, 2008. KH-90-00403. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot.
- Rakennustietosäätiö RTS, 2009a. Ratu 82-0347. Asbestiasisältävien rakenteiden purku. Menetelmät.
- Rakennustietosäätiö RTS, 2009b. RT 21-10978. Puutavara. Sahattu, höylätty ja jatkojalosteet.
- Rakennustietosäätiö RTS, 2010. RT 14-10984. Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen.
- Rakennustietosäätiö RTS, 2011. RT 83-11032. Vedenpaineneristys.
- Rakennustietosäätiö RTS, 2012a. KH 90-00501. Liike- ja palvelukiinteistön kuntoarvio. Kuntoarvioijan ohje.
- Rakennustietosäätiö RTS, 2012b. RT 81-11099. Radonin torjunta.
- Rakennustietosäätiö RTS, 2013. KH 90-00535. Asuinkiinteistön kuntoarvio. Kuntoarvioijan ohje.
- Rakennustietosäätiö RTS, 2014a. RT 20-11159. Haitta-ainetutkimus. Tilaajan ohje.
- Rakennustietosäätiö RTS, 2014b. RT 20-11160. Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet.
- Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto ry, 2007. LVI 39-10409. Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastus. Ilmanvaihdon parannus- ja korjausratkaisut.
- Rakennustietosäätiö RTS ja Talonrakennusteollisuus ry, 2011a. Ratu 82-0381. Kivihiihipeä sisältävien rakenteiden purku. Osastointimenetelmä. Menetelmät.
- Rakennustietosäätiö RTS ja Talonrakennusteollisuus ry, 2011b. Ratu 82-0382. PCB:tä ja lyijyä sisältävien saumausmassojen purku. Menetelmät.
- Rakennustietosäätiö RTS ja Talonrakennusteollisuus ry, 2011c. Ratu 82-0383. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purku.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2000. SFS-EN 13829. Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method (ISO 9972:1996, modified).
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2004. SFS-EN 374-1. Kemikaaleilta ja mikro-organismeilta suojaavat käsitteet. Osa 1: Sanasto ja vaatimukset.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2006a. ISO 16000-9:2006. Indoor air – Part 9. Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing – Emission test chamber method.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2006b. SFS-EN ISO 16000-10. Indoor air. Part 10: Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing. Emission test cell method (ISO 16000-10:2006).
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2007a. SFS-ISO 10382. Soil quality -- Determination of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls -- Gas-chromatographic method with electron capture detection.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2007b. SFS-ISO 14154. Soil quality – Determination of some selected chlorophenols – Gas-chromatographic method with electron-capture detection.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2007c. SFS-ISO 18287. Soil quality. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) - Gas chromatographic method with mass spectrometric detection (GC-MS).
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2008. SFS-EN 1097-5. Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 5: Kosteuspitoisuuden määrittäminen kuivaamalla lämpökaapissa.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2011a. SFS-EN 1991-1-4. Rakenteiden kuormat. Osa 1–4. Yleiset kuormat. Tuulikuormat.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2011b. SFS-EN ISO 13982-1/A1. Protective clothing for use against solid particulates. Part 1: Performance requirements for chemical protective clothing providing protection to the full body against airborne solid particulates (type 5 clothing). Amendment 1 (ISO 13982-1:2004/ Amd 1:2010).
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2011c. SFS-EN ISO 16703. Soil quality. Determination of content of hydrocarbon in the range C10 to C40 by gas chromatography (ISO 16703:2004).
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2012. SFS 5994. Siivouksen tekninen laatu. Mittaus- ja arviointijärjestelmä (INSTA 800:2010).
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2014a. SFS-EN 12341. Ambient air. Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM10 or PM2,5 mass concentration of suspended particulate matter.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2014b. SFS-EN 14039. Jätteiden karakterisointi. Hiilivetyjen (C10–C40) pitoisuuden kaasukromatografinen määrittäminen.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2015. SFS-EN 12599. Rakennusten ilmanvaihto. Ilmastointi- ja ilmavaihtojärjestelmien luovutukseen liittyvät testimenetellyt ja mittausmenetelmät. (Korvaa SFS 5512).

KUVAILEHTI

<i>Julkaisija</i>	Ympäristöministeriö Rakennetun ympäristön osasto		<i>Julkaisu-aika</i> Syyskuu 2016	
<i>Tekijä(t)</i>	Toim. Miia Pitkäranta			
<i>Julkaisun nimi</i>	Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus			
<i>Julkaisusarjan nimi ja numero</i>	Ympäristöopas 2016			
<i>Julkaisun teema</i>	Rakennettu ympäristö			
<i>Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut</i>				
<i>Tiivistelmä</i>	<p>Kosteusvauriot ovat yleisiä sisäilmaongelmien aiheuttajia, mutta sisäilmaongelmia aiheuttavat myös muut, kosteudesta riippumattomat tekijät. Tästä syystä sisäilmaongelman ratkaisu edellyttää tyypillisesti hyvää kokonaisuuden hallintaa, jossa otetaan huomioon paitsi erilaisten kemiallisten ja mikrobiologisten altisteiden mahdollisuus, myös tilojen käyttöön, fysikaalisiin olosuhteisiin ja ilmanvaihtoon liittyvät tekijät.</p> <p>Oppaan tarkoituksena on toimia oppikirjana ja ohjeena kosteus- ja mikrobivaurioiden ja rakennusten sisäilmaongelmien kanssa tekemisissä oleville kuntotutkijoille ja muille asiantuntijoille. Opas antaa käytännön ohjeita rakennusalan ammattilaisille kosteus- ja homevaurioituneiden tai muuten sisäilmaongelmaisten rakennusten kuntotutkimusten suunnittelusta, tekemisestä ja tutkimustulosten analysoinnista ja raportoinnista.</p> <p>Oppaassa kuvataan tärkeimmät sisäilman laatua heikentävät tekijät ja niiden tutkimusmenetelmät. Sisäympäristön fysikaalisista olosuhteista tarkastellaan ainoastaan kosteutta ja lämpötilaa, jotka liittyvät kiinteästi rakennusten kosteus- ja lämpötekniiseen toimivuuteen ja koettuun sisäilman laatuun. Valaistuksen ja melun vaikutuksia ei sen sijaan tarkastella.</p> <p>Oppaan ensimmäinen luku käsittelee kuntotutkimusten roolia sisäilmaongelmaisen rakennuksen korjausprosessissa, kuntotutkimuksen tilaamista ja mm. kuntotutkijan pätevyysvaatimuksia. Luvuissa 2–4 esitetään kuntotutkimuksen suunnittelun ja toteutuksen vaiheet ja sisältö sekä annetaan ohjeita hyvän kuntotutkimusraportin kirjoittamiseen. Luvuissa 5–6 perehdytään eri rakennusosien rakennusfysikaalisen toiminnan perusteisiin, rakenteiden kosteustekniiseen käyttäytymiseen, rakennusten mikrobiologiaan ja mikrobikasvun edellytyksiin. Luvussa 7 esitetään vaurioitumisen arviointiperusteet rakennuksen iän, rakenneratkaisujen pitkäaikaiskestävyydestä saatujen kokemusten ja laskennallisten analyysien perusteella. Oppaan liitteisiin on koottu täydentävää tietoa, kuten kyse-lylomakkeiden malleja ja mallit kuntotutkimussuunnitelmasta ja -raportista. Liitteissä on kuvattu myös erityisesti vanhemmissa rakennuksissa tyypillisesti käytettyjä rakennusmateriaaleja, joita voidaan tunnistaa aistinvaraisesti.</p>			
<i>Asiasanat</i>	Rakentaminen, rakennus, kosteusvaurio, homevaurio, sisäilmaongelma, kuntotutkimus, kuntotutkimusraportti, rakennusfysiikka			
<i>Rahoittaja/toimeksiantaja</i>	Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto, rakennukset ja rakentaminen			
	ISBN 978-952-11-4625-1 (nid.)	ISBN 978-952-11-4626-8 (PDF)	ISSN 1238-8602 (pain.)	ISSN 1796-167X (verkkoj.)
	<i>Sivuja</i> 234	<i>Kieli</i> suomi	Luottamuksellisuus julkinen	
<i>Julkaisun myynti/ jakaja</i>	Julkaisu on saatavana internetistä: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/ Myynti: www.rakennustieto.fi			
<i>Julkaisun kustantaja</i>	Rakennustieto Oy			
<i>Painopaikka ja -aika</i>	Hansaprint Oy, Turenki 2016			

PRESENTATIONSBLAD

<i>Utgivare</i>	Miljöministeriet Avdelningen för den byggda miljön	<i>Datum</i> September 2016		
<i>Författare</i>	Red. Miia Pitkäranta			
<i>Publikationens titel</i>	Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus (Konditionsundersökning av byggnaders inomhusluft och fuktteknik)			
<i>Publikationsserie och nummer</i>	Miljöhandledning 2016			
<i>Publikationens tema</i>	Byggd miljö			
<i>Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt</i>				
<i>Sammandrag</i>	<p>Fuktskador är en vanliga orsak till problem med inomhusluft, men problemen orsakas också av andra faktorer utan koppling till fukt. Därför krävs det vanligtvis att problem med inomhusluft hanteras på ett övergripande sätt. Förutom eventuell kemisk och mikrobiologisk exponering beaktar man då också lokalanvändningen, fysikaliska förhållanden och faktorer som rör ventilationen.</p> <p>Syftet med handboken är att vara en lärobok och anvisning för konditionsgranskare som arbetar med fukt- och mikrobskador och med byggnader med dålig inomhusluft samt för övriga sakkunniga. Handboken ger yrkesmän i byggbranschen instruktioner om hur man planerar och utför konditionsundersökningar av fukt- och mögelskadade byggnader eller byggnader som har andra problem med inomhusluften. I handboken ges också instruktioner om hur man analyserar och rapporterar resultaten från undersökningen.</p> <p>I handboken beskrivs de viktigaste faktorerna som försämrar kvaliteten på inomhusluften och metoder för att undersöka dem. Av inomhusmiljöns fysikaliska förhållanden granskas endast fukthalt och temperatur, eftersom de har en stark koppling till byggnaders fukt- och värmetekniska funktionalitet och till den upplevda kvaliteten på inomhusluften. Däremot granskas inte effekter av belysning eller buller.</p> <p>I handbokens första kapitel behandlas bland annat konditionsundersökningens roll i renoveringen av byggnader med dålig inomhusluft, hur man beställer en konditionsundersökning och kompetenskrav för konditionsgranskare. I kapitlen 2–4 presenteras de olika skedena och innehållet i planeringen och genomförandet av en konditionsundersökning med tips om hur man skriver en god undersökningsrapport. I kapitlen 5–6 fördjupar man sig i grunderna för olika byggnadsdelars byggnadsfysikaliska funktioner, konstruktioners fukttekniska egenskaper, byggnaders mikrobiologi och förutsättningarna för mikrobiell tillväxt. I kapitel 7 presenteras bedömningsgrunderna för skador baserade på byggnadens ålder, erfarenheter av byggnadslösningarnas hållbarhet över tid och kvantitativa analyser. I guidens bilagor har man samlat ihop kompletterande information såsom modeller för frågeformulär, planer och rapporter för konditionsundersökningen. Dessutom beskrivs vanliga byggnadsmaterial, i synnerhet sådana från äldre byggnader, som man kan känna igen genom sinnesförmåelser.</p>			
<i>Nyckelord</i>	Byggnad, byggnad, fuktskada, mögelskada, problem med inomhusluft, konditionsundersökning, konditionsundersökningsrapport, byggnadsfysik			
<i>Finansiär/ uppdragsgivare</i>	Miljöministeriet, avdelningen för den byggda miljön, enheten för byggnader och byggande			
	ISBN 978-952-11-4625-1 (hft.)	ISBN 978-952-11-4626-8 (PDF)	ISSN 1238-8602 (print)	ISSN 1796-167X (online)
	<i>Sidantal</i> 234	<i>Språk</i> Finska	<i>Offentlighet</i> Offentlig	
<i>Beställningar/ distribution</i>	Publikationen finns tillgänglig på internet: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/ Försäljning: www.rakennustieto.fi			
<i>Förläggare</i>	Rakennustieto Oy			
<i>Tryckeri/tryckningsort och -år</i>	Hansaprint Oy, Turenki 2016			

DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Ministry of the Environment Department of the Built Environment		<i>Date</i> September 2016	
<i>Author(s)</i>	Ed. Miia Pitkäranta			
<i>Title of publication</i>	Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus (Building moisture and indoor air quality assessment)			
<i>Publication series and number</i>	Environment Guide 2016			
<i>Theme of publication</i>	Built environment			
<i>Parts of publication/ other project publications</i>				
<i>Abstract</i>	<p>Moisture damage is a common cause of indoor air problems, but such problems are also caused by factors other than moisture. It is for this reason that solutions for indoor air problems typically require comprehensive management, which takes into consideration not only the possibility of exposure to various chemicals and microbiological agents, but also factors related to building use, physical conditions and ventilation.</p> <p>The purpose of the guide is to serve as a compendium and instruction book for condition assessors and other experts dealing with moisture and microbial damage and indoor air problems in buildings. The guide provides professionals with practical instructions on how to plan and carry out building condition assessments, as well as analyse and report their results, when dealing with moisture and mould damage or other indoor air problems.</p> <p>The guide describes the key factors that contribute to a deterioration in indoor air quality as well as the assessment methods used for them. Analysis of the physical conditions of the indoor environment focuses only on moisture and temperature, which are inextricably linked to the function of moisture and thermal properties in a building and the perceived quality of indoor air. The impact of lighting and noise is not, however, analysed.</p> <p>The first chapter of the guide discusses the role of a condition assessment in the remediation process of a building suffering from indoor air problems, ordering a condition assessment and, for example, the qualification requirements of a condition assessor. Chapters 2–4 deal with the planning and execution phases and content of a condition assessment and provide guidelines on how to write a proper condition assessment report. Chapters 5–6 address the physical principles of various building structures, the technical moisture behaviour of structures, the microbiology of structures and conditions for microbial growth. Chapter 7 presents the assessment criteria for damage based on the age of the building, experiences with the longevity of structural solutions and computational analyses. Supplementary information, such as sample questionnaires and a sample condition assessment plan and report, are found in the guide appendix. The appendix also contains descriptions of commonly used building materials, particularly in older buildings, which can be identified organoleptically.</p>			
<i>Keywords</i>	Construction, building, moisture damage, mould damage, indoor air problem, condition assessment, condition assessment report, structural physics			
<i>Financier/ commissioner</i>	Ministry of the Environment, Department of the Built Environment, buildings and construction			
	ISBN 978-952-11-4625-1 (pbk.)	ISBN 978-952-11-4626-8 (PDF)	ISSN 1238-8602 (print)	ISSN 1796-167X (online)
	<i>No. of pages</i> 234	<i>Language</i> Finnish	<i>Restrictions</i> For public use	
<i>For sale at/ distributor</i>	The publication is available on the internet: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/ For sale at: www.rakennustieto.fi			
<i>Financier of publication</i>	Rakennustieto Oy			
<i>Printing place and year</i>	Hansaprint Oy, Turenki 2016			

Kosteus- ja mikrobivaurioista johtuvat rakennusten sisäilmaongelmat aiheuttavat merkittäviä terveydellisiä haittoja ja suuria kansantaloudellisia kustannuksia. Tämän vuoksi kosteus- ja mikrobivaurioiden korjaaminen ja sisäilmaongelmien poistaminen on tärkeää.

Kosteus- ja mikrobivaurioituneen tai muuten sisäilmaongelmaisen rakennuksen kuntotutkimus on oleellinen osa korjaushanketta. Kuntotutkimuksella selvitetään ongelmien ja vaurioiden syyt, jotta rakennuksen korjaamiseksi osataan valita oikeat korjausmenetelmät.

Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus -opas on oppikirja ja ohje kosteus- ja mikrobivaurioiden ja rakennusten sisäilmaongelmien parissa työskenteleville kuntotutkijoille ja muille asiantuntijoille. Opas antaa käytännön ohjeita rakennusalan ammattilaisille kosteus- ja mikrobivaurioituneiden tai muuten sisäilmaongelmaisten rakennusten kuntotutkimusten suunnittelusta, toteutuksesta sekä tutkimustulosten analysoinnista ja raportoinnista.

Oppaassa kuvataan tärkeimmät sisäilman laatua heikentävät tekijät ja niiden tutkimusmenetelmät. Sisäympäristön fysikaalisista olosuhteista tarkastellaan kosteutta ja lämpötilaa, jotka liittyvät kiinteästi rakennusten kosteus- ja lämpötekniseen toimivuuteen ja koettuun sisäilman laatuun. Lisäksi oppaassa käsitellään mm. aiheeseen liittyvää lainsäädäntöä, kuntotutkimuksen tilaamiseen liittyvää ohjeistusta sekä kuntotutkimusten tekijöiden pätevyysvaatimuksia ja pätevyöitymistapoja.



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

Julkaisun myynti:
www.rakennustieto.fi

ISBN 978-952-11-4625-1 (nid.)
ISBN 978-952-11-4626-8 (PDF)
ISSN 1238-8602 (pain.)
ISSN 1796-167X (verkkoj.)