MILJÖHANDLEDNING 2016

Byggnadens fukt- och inomhusmiljötekniska konditionsundersökning

Red. Miia Pitkäranta



SUNDA LOKALER 2028, MILJÖMINISTERIET

MILJÖHANDLEDNING 2016

Byggnadens fukt- och inomhusmiljötekniska konditionsundersökning

Red. Miia Pitkäranta

SUNDA LOKALER 2028, MILJÖMINISTERIET

SUNDA LOKALER 2028

Sunda lokaler 2028-programmet, miljöministeriet

MILJÖHANDLEDNING 2016

Omslagsbild: YHA-Kuvapankki / Mauri Mahlamäki
Omslagsbilden är illustrativ, byggnader som visas i den har inget samband med ämnet

Publikationen finns på Internet:
https://tilatjaterveys.fi/ohjelma/oppaita-ja-selvityksia

FÖRORD

Handboken Byggnadens fukt- och inomhusmiljötekniska konditionsundersökning är avsedd att fungera som lärobok och handledning för konditionsundersökare och andra experter som arbetar med fukt- och mikrobskador samt inomhusluftproblem i byggnader. Handboken ger praktiska anvisningar till yrkespersoner inom byggbranschen om planering, genomförande, analys och rapportering av konditionsundersökningar i byggnader som har fukt- och mikrobskador eller andra inomhusluftproblem.

Handboken har uppdaterats utifrån Miljöministeriets publikation från 1997 Ympäristöopas 28 – Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. Fuktskador är en vanlig orsak till inomhusluftproblem, men problem orsakas även av faktorer som inte är relaterade till fukt. Av denna anledning förutsätter lösningen av ett inomhusluftproblem i regel god förmåga att hantera helheten, där man beaktar förutom olika kemiska och mikrobiologiska exponeringar, även andra faktorer som berör användning av lokalerna, fysikaliska förhållanden och ventilation. I den uppdaterade handboken har man haft som mål att beskriva de viktigaste faktorerna som försämrar inomhusluftens kvalitet samt metoderna för att undersöka dem. Av de fysikaliska förhållandena i inomhusmiljön behandlas endast fukt och temperatur, eftersom dessa är nära kopplade till byggnaders fukt- och värmetekniska funktion och upplevelsen av inomhusluftens kvalitet. Inverkan av belysning och buller behandlas däremot inte.

Det första kapitlet i handboken behandlar konditionsundersökningens roll i reparationsprocessen av en byggnad med inomhusluftproblem, beställning av konditionsundersökning och bl.a. kompetenskrav för konditionsundersökare. I kapitel 2–4 presenteras planerings- och genomförandefaserna för konditionsundersökningen, och det ges anvisningar för hur man utformar en bra undersökningsrapport. I kapitel 5–6 behandlas grunderna för olika byggnadsdelars byggnadsfysikaliska funktion, konstruktionernas fuktttekniska beteende, byggnaders mikrobiologi samt förutsättningarna för mikrobtillväxt. Kapitel 7 presenterar kriterierna för skadebedömning baserat på byggnadens ålder, erfarenheter av konstruktionslösningars långtidshållbarhet och beräkningsmässiga analyser. I handbokens bilagor finns kompletterande material.

Uppdateringen av handboken gjordes av Vahanen-bolagen:

Ledning och styrning av projektet:
Pekka Laamanen, DI
Miia Pitkäranta, FT, RTA (Expert på hälsoriktigt byggande)

Texter:
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, VVS-tekniker
Sami Niemi, DI
Miia Pitkäranta, FT, RTA
Jarmo Saarinen, DI
Virpi Sandström, DI
Hanna Tuovinen, DI, RTA
Klaus Viljanen, DI

Ritningar och diagram: Kyösti Nieminen, planeringsassistent

Uppdateringsarbetet med handboken handleddes av en styrgrupp bestående av experter:

Pertti Heikkinen, konditionsundersökare för byggnadsdelar	Insinööritoimisto Savora Oy
Virpi Hienonen, enhetschef	Finlands fastighetsförbund rf
Sari Hilden, fastighetschef	Helsingfors stads lokalcentral
Jenni Hupli, chefsjurist	Finlands fastighetsförbund rf
Anne Hyvärinen, enhetschef, ledande forskare	Institutet för hälsa och välfärd
Helmi Kokotti, ledande expert	Suomen Sisäilmakeskus Oy
Juha Krankka, utbildningschef	Rakennusteollisuuden Koulutuskeskus Rateko
Jukka-Pekka Kärki, verkställande direktör,	Sisäilmatalo Kärki Oy
RTA Hannu Kääriäinen, lektor	Oulun seudun ammattikorkeakoulu Oy
Teppo Lehtinen, byggnadsråd, enhetschef	Miljöministeriet
Teija Meklin, forskningsdirektör	Mikrobioni Oy
Pertti Metiäinen, överinspektör	Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira
Katja Outinen, överingenjör	Miljöministeriet
Vesa Pekkola, konsultativ tjänsteman	Social- och hälsovårdsministeriet
Juhani Pirinen, sektordirektör, TkT	FCG Suunnittelu ja Tekniikka Oy
Jukka Riikonen, specialsakkunnig, investeringar	Senatfastigheter
Peter Ström, direktör	Talokeskus Yhtiöt Oy
Hannu Viitanen, FT, docent	Aalto-universitetet

Följande parter lämnade utlåtande om uppdateringsprojektets manuskript: A-Insinöörit Suunnittelu Oy, Allergi- och astmaförbundet rf/Andningsförbundet rf, Asumisterveysliitto AsTe ry, Affärsverket Esbo lokaler, FISE Oy, Granlund Oy, Helsingfors stads byggnadstillsyn, Insinööri Studio Oy, Insinööritoimisto Kärkimaa Oy, Rakennuspojat Lasanen Oy, Rakennustieto Oy, Ramboll Finland Oy, Suomen Sisäilmakeskus Oy, Suomen LVI-liitto SuLVI rf, Sweco Asiantuntijapalvelut Oy, Sweco Rakennetekniikka Oy, Sweco Talotekniikka Oy, Institutet för hälsa och välfärd, Arbetshälsoinstitutet/Regionala arbetshälsoinstitutet i Kuopio ja Wise Group Finland Oy.

Miljöministeriet tackar alla som har bidragit till det lyckade slutresultatet. Ministeriet riktar ett särskilt tack till de författare som har ansvarat för handbokens texter, för ett väl genomfört och krävande uppdateringsarbete.

Helsingfors juni 2016

Katja Outinen, överingenjör
Miljöministeriet

Tillägg 2/2026:
Den svenska översättningen av handboken har granskats och vikts 2025–2026. Översättningen beställdes av Sunda lokaler 2028-programmet. Till handboken har fogats några anmärkningar om den gällande lagstiftningen och nya instruktionskorter osv. men alla finska texter i bildar och diagram har inte översatts till svenska.
Helsingfors februari 2026
Katja Outinen, byggnadsråd, miljöministeriet

INNEHÅLL

Förord 3

1 Från konditionsundersökning av en byggnad med inomhusluftproblem till lyckade reparationer 9

1.1 Lagstiftning 9

1.2 Beställning av konditionsundersökning 10

1.3 Kompetenskrav för den som utför konditionsundersökningar 14

1.4 Faktorer som försämrar inomhusluftens kvalitet 16

1.5 Från konditionsundersökning till lyckade reparationer 18

2 Undersökningsplan 22

2.1 Allmänt 22

2.2 Skeden i konditionsundersökningen 23

2.3 Utgångsuppgifter 24

2.3.1 Dokumentation 24
2.3.2 Boende- och användarenkäter 25
2.3.3 Intervjuer med byggare och planerare 25

2.4 Preliminär riskbedömning 26

2.4.1 Dokumentgranskning 26
2.4.2 Platsbesök för utarbetande av undersökningsplan 27

2.5 Utarbetande av undersökningsplan i olika utgångslägen 27

2.5.1 Förhandsutredning 27
2.5.2 Känd plötslig fuktbelastning 28
2.5.3 Känd fukt- eller mikrobskada 29
2.5.4 Avvikande situation, allmän misstanke, lukt eller symptom hos lokalens användare 29
2.5.5 Kemikalieskador 30
2.5.6 Kommande grundrenovering 31

2.6 Val av undersökningsmetoder 31

2.6.1 Grunder för val av undersöknings- och mätmetoder 32
2.6.2 Ändamålsenliga mät- och undersökningsmetoder 32
2.6.3 Tidpunkt och varaktighet för mätningar 36

2.7 Val av mätutrustning och deras tillförlitlighet 39

3 Undersökningens genomförande 41

3.1 Kontroll av konstruktionernas utförande 41

3.1.1 Kontroll och dokumentation av konstruktionstyper 41
3.1.2 Identifiering av material 41
3.1.3 Identifiering av materialegenskaper 42

3.2 Bedömning av konstruktionernas skick 42

3.2.1 Kontrollistor per byggnadsdel 42
3.2.2 Konstruktionsöppningar 47
3.2.3 Mikrobiologisk analys av materialprover 50

3.3 Fuktmätningar 55

3.4 Ytfuktkartläggning 55

3.4.1 Noggranna mätningar av den relativa fukthalten i konstruktioner 56
3.4.2 Riktgivande mätningar av den relativa fukthalten i konstruktioner 58
3.4.3 Noggranna mätningar av fukthalten i material 59
3.4.4 Riktgivande mätningar av fukthalten i material 59
3.4.5 Dokumentering av fuktmätningar och bedömning av resultatens tillförlitlighet 59

3.5 Undersökning av konstruktioners täthet och transport av föroreningar 60

3.5.1 Mätning av tryckförhållanden i byggnaden ... 60
3.5.2 Termografering ... 60
3.5.3 Spårgasmätningar ... 61
3.5.4 Spår- och renröksundersökningar ... 62
3.5.5 Vattentäthetsprov ... 63
3.5.6 Bestämning av byggnadsmantelns täthet och luftläckagetalet q50 ... 63
3.6 Mätningar av inomhusluftförhållanden och inomhusluftens föroreningar ... 63
3.6.1 Inomhusluftens relativa fuktighet och temperatur ... 63
3.6.2 Inomhusluftens koldioxidhalt ... 64
3.6.3 Mikrober i inomhusluften ... 65
3.6.4 Partiklar, damm och fibrer ... 67
3.7 Undersökningar av kemiska föroreningar ... 69
3.7.1 Flyktiga organiska föreningar (VOC) ... 69
3.7.2 Andra gasformiga föroreningar ... 76
3.7.3 Skadliga ämnen ... 78
3.7.4 Undersökning av skadliga ämnen som en del av konditionsundersökningen ... 80
3.8 Kontroll av ventilationssystemet ... 84
3.8.1 Kontroll av ventilationssystemets funktion ... 85
3.8.2 Kontroll av ventilationssystemets renhet ... 85
3.8.3 Mätning av luftmängder ... 87
3.8.4 Mätning av tryckförhållanden ... 88
3.9 Undersökarens arbetssäkerhet ... 90
4 Undersökningsrapport ... 93
4.1 Undersökningsrapportens innehåll ... 93
4.2 Presentation av undersökningsresultat, analys och riskbedömning ... 97
4.2.1 Presentation av undersökningsresultat ... 97
4.2.2 Analys av undersökningsresultat och riskbedömning ... 97
4.2.3 Slutsatser och åtgärdsförslag ... 100
4.3 Inledning av reparationsprojektering ... 101
4.4 Betydelsen av konditionsundersökningens resultat för byggnadens användningssätt och livscykel ... 102
5 Konstruktioners fuktttekniska beteende ... 103
5.1 Vattnets tillstånd ... 103
5.2 Fukt i luften ... 104
5.3 Vattnets bindning i byggmaterial ... 105
5.3.1 Hygroskopisk jämviktsfuktighet ... 106
5.3.2 Kapillär jämviktsfukt ... 107
5.3.3 Vattenaktivitet ... 108
5.4 De vanligaste fuktkällorna ... 108
5.5 Fukttransport i konstruktioner ... 113
5.5.1 Transport av vatten genom kapillärsugning och gravitation ... 113
5.5.2 Fukttransport genom diffusion ... 115
5.5.3 Fukttransport genom konvektion ... 117
5.5.4 Värmeöverföringens inverkan på konstruktioners fuktttekniska beteende ... 119
5.6 Byggnadens tryckförhållanden och lufttäthet ... 120
5.6.1 Betydelsen av byggnadens tryckförhållanden och lufttäthet på konstruktionernas funktion och inomhusluftens kvalitet ... 120
5.6.2 Vind ... 121
5.6.3 Skorstenseffekt ... 122
5.6.4 Ventilation ... 123
5.6.5 Samverkande effekt av vind, skorstenseffekt och ventilation på tryckförhållandena ... 124

5.7 Mikroklimat ... 125

5.7.1 Mikroklimatets inverkan på konstruktionernas funktion ... 125
5.7.2 Vind ... 125
5.7.3 Solstrålning ... 126

6 Mikrobtillväxt och -skador i konstruktioner ... 129

6.1 Mikrobiologi i byggnader ... 129

6.1.1 Mikrober och mikrobiell tillväxt i byggnader ... 129

6.2 Mikrobers krav för tillväxt ... 132

6.2.1 Fuktighet och temperatur ... 132
6.2.2 Materialets betydelse ... 135
6.2.3 Bedömning och simulering av mikrobtillväxt ... 139

6.3 Kännetecken för mikrobtillväxt och -skador ... 140

6.3.1 Synlig mikrobiell påväxt på inre ytor eller i konstruktioner ... 140
6.3.2 Avvikande mikrobhalt och artsammansättning i inomhusluften, mögellukt, jordkällarlik, unken lukt ... 141
6.3.3 Symtom hos personer som vistas i utrymmet ... 142

6.4 Identifiering av mikrobtillväxt och -skada ... 143

6.5 Mikrobiella föroreningars transport till inomhusluften ... 143

6.6 Faktorer som inverkar på skadligheten av en mikrobiell påväxt ... 144

6.7 Rapportering av mikrobiella fynd ... 147

6.7.1 Materialprover ... 147
6.7.2 Inomhusluftprover ... 147

7 Konstruktioners värme- och fuktteknikska funktion och bedömning av skaderisk ... 149

7.1 Fuktnivåer i konstruktioner ... 150

7.2 Konstruktioners skador ... 154

7.2.1 De vanligaste fuktskadorna i byggnader ... 154
7.2.2 Byggnadsmaterialens åldrande ... 154
7.2.3 Inre ytor ... 156
7.2.4 Ytterväggar ... 157
7.2.5 Yttertak och vindsbjälklag ... 178
7.2.6 Väggar, grundkonstruktioner och bottenbjälklag mot marken ... 185
7.2.7 Mellanbjälklag ... 200
7.2.8 Mellanväggar ... 204

Bilagor ... 205

Bilaga 1. Enkätblanketter ... 205

Bilaga 2. Identifiering av material ... 208

Bilaga 3. Mall för undersökningsplan ... 219

Bilaga 4. Rapportmall och exempel på konditionsundersökningar ... 222

Bilaga 5. Termförklaringar ... 228

Referenser ... 231

Kuvailulehti ... 235

Presentationsblad ... 236

Documentation page ... 237

1 Från konditionsundersökning av en byggnad med inomhusluftproblem till lyckade reparationer

1.1 Lagstiftning

De sanitära förhållanden som gäller för byggnader samt bostads- och arbetsutrymmen föreskrivs i *markanvändnings- och bygglagen* (132/1999, MarkByggL)[1], *hälsoskyddslagen* (763/1994) och *arbetarskyddslagen* (738/2002), samt i förordningar och föreskrifter som har utfärdats med stöd av lagarna och i kompletterande anvisningar som preciserar dem.

Om byggnaders allmänna hälsosamhet, säkerhet och användbarhet föreskrivs i markanvändnings- och bygglagen (132/1999), i 12 § (Målen för styrningen av byggandet), 117 § (Krav beträffande byggande), 117 a–g § (väsentliga tekniska krav), 125 § (Bygglov), 131 § (Ansökan om bygglov) och 166 § (Underhåll av byggnader). Enligt 166 § i markanvändnings- och bygglagen ska en byggnad och dess omgivning hållas i sådant skick att den uppfyller kraven på hälsosamhet, säkerhet och användbarhet. Om skyldigheten att underhålla byggnaden försummas, kan kommunens byggnadstillsynsmyndighet bestämma att byggnaden ska repareras. Innan en uppmaning om reparation ges, kan byggnadstillsynsmyndigheten, för att utreda de uppenbart nödvändiga reparationsåtgärderna med hänsyn till byggnadens hälsosamhet och säkerhet, kräva att byggnadens ägare inlämnar en utredning om byggnadens skick, utarbetad av en kvalificerad person. Enligt miljöministeriets förordning om planer och utredningar som gäller byggande (Mmf 216/2015) ska utredningar om byggnadens skick, som används som utgångsuppgifter för reparations- eller ändringsarbeten, med beaktande av byggprojektets art och omfattning, innehålla i tillräcklig omfattning uppgifter om följande faktorer och eventuella skador som anknyter till dem: 1) konstruktionernas bärighet och byggnadens stabilitet; 2) fuktbalans för byggnadsdelarna och övrig byggnadsfysikalisk funktion; 3) inomhusluftens hälsosamhet i byggnaden; 4) andra omständigheter som anknyter till byggnadens säkerhet och sundhet; 5) tillämpade utredningsmetoder och uppgifter om den som gjort utredningen; 6) redogörelse av byggnadens särdrag och byggnadshistoriskt betydande omständigheter; 7) uppgifter om tidigare utförda reparationer och ändringar. Enligt 150 c § i MarkByggL han byggnadstillsynsmyndigheten i vissa fall rätt att kräva ett utlåtande av en oberoende och kvalificerad sakkunnig om huruvida den planerade lösningen eller byggåtgärden uppfyller föreskrivna krav.

Om sanitära krav på bostäder och andra vistelseutrymmen (bl.a. daghemslokaler, skolor och läroanstalter, barnhem, äldreboenden) föreskrivs i hälsoskyddslagens (763/1994) 26 § (Sanitära krav på bostäder och andra vistelseutrymmen) och 27 § (Sanitär olägenhet i bostad och annat vistelseutrymme). Enligt 26 och 27 § i hälsoskyddslagen ska inomhusluftförhållandena i dessa utrymmen vara sådana att de inte orsakar hälsoolägenhet för personer som vistas där. Om det i en bostad eller något annat vistelseutrymme förekommer buller, vibrationer, lukt, ljus, mikrober, damm, rök, för mycket värme eller kyla, fukt, strålning eller andra därmed jämförbara faktorer i den omfattning att detta kan medföra sanitär olägenhet för den som vistas i bostaden eller utrymmet, ska åtgärder för att utreda, avhjälpa eller begränsa olägenheten och de faktorer som föranlett den vidtas utan dröjsmål.

[1] Den nya bygglagen (751/2023) trädde i kraft den 1 januari 2025.

Enligt hälsoskyddslagen (763/1994) kan hälsoskyddsmyndigheten utföra kontroller och låta utföra mätningar, provtagningar och andra utredningar för att klarlägga misstanken om sanitär olägenhet samt uppmana eller föreskriva fastighetens ägare att utföra nödvändiga reparationer för att undanröja den sanitära olägenheten. I den s.k. *förordningen om boendehälsa*[2] (SHMf 545/2015) som utfärdats med stöd av hälsoskyddslagen samt i *tillämpningsanvisningen* om den (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016) föreskrivs närmare om verksamheten för utomstående sakkunniga som hälsoskyddsmyndigheter använder, undersökningsmetoder, tillämpade åtgärdsgränser samt om kompetenskrav för utomstående sakkunniga. Kompetenskrav för utomstående sakkunniga behandlas närmare nedan i kapitel 1.3.

Som utgångspunkt är fastighetens ägare den part som ansvarar för byggnadens användbarhet. Å andra sidan är lokalens innehavare (t.ex. delägare eller hyresgäst) skyldig att använda och underhålla lokalerna på ett ändamålsenligt sätt och anmäla observerade missförhållanden som är på fastighetsägarens ansvar. Innehavaren kan också genom sitt agerande skapa ett reparationsbehov eller en sanitär olägenhet, i det fallet ligger ansvaret för att undanröja olägenheten, eller de kostnader detta medför, hos innehavaren.

Vid bedömning av byggnadens sanitära förhållanden ingår det typiskt i konditionsundersökarens uppgifter att utreda vilka källor till föroreningar det finns i byggnaden, om användarna av byggnaden kan exponeras för föroreningarna, och hur höga halterna är. Konditionsundersökaren kan, utifrån det fastställda skicket av byggnaden och rådande omständigheter, rekommendera fortsatta åtgärder för att kontrollera olägenheten eller exempelvis föreslå ändringar i användningen av lokalerna. Konditionsundersökaren drar dock inga slutsatser om sanitär olägenhet. Beslut om eventuell existens av en sanitär olägenhet enligt *hälsoskyddslagen* fattas av kommunens hälsoskyddsmyndighet, baserat på samtliga erhållna undersökningsresultat och ett övergripande övervägande.

Om hälsorelaterade krav på arbetsplatser och om bl.a. arbetsgivarens ansvar och företagshälsovårdens roll föreskrivs i *lagen om företagshälsovård* (1383/2001) och *arbetarskyddslagen* (738/2002). Frågor i anslutning till byggnaders sundhet behandlas direkt eller indirekt också i *lagen om bostadsköp* (843/1994), *lagen om bostadsaktiebolag* (1599/2009), *konsumentskyddslagen* (38/1978) och *skadeståndslagen* (412/1974).

Uppdaterade versioner av Finlands lagstiftning finns tillgängliga i den elektroniska Finlex-tjänsten (www.finlex.fi).

2 Social- och hälsovårdsministeriets förordning om sanitära förhållanden i bostäder och andra vistelseutrymmen samt om kompetenskrav för utomstående sakkunniga *(SHMf 545/2015),* utfärdad med stöd av 32 § och 49 d § i hälsovårdslagen, gällande från och med 15.5.2015. I fortsättningen ”förordningen om boendehälsa”.

1.2

Beställning av konditionsundersökning

Nedan ges anvisningar till beställaren för att inleda och beställa en utredning av inomhusluften eller en konditionsundersökning.

Beställaren har ofta en aktiv roll under konditionsundersökningar och utredningar.

Fastighetsägaren är ansvarig för byggnadens säkerhet och användbarhet, och därför är det i allmänhet en representant för fastighetsägaren som beställer konditionsundersökningen, såsom en disponent, teknisk disponent eller fastighetschef. I bostadsaktiebolag är beställaren vanligtvis bolagets styrelse eller disponenten med fullmakt från styrelsen. I egnahemshus är det vanligen fastighetsägaren själv som beställer undersökningen. När det gäller arbetsplatsfastigheter är arbetsgivaren ansvarig för arbetsmiljöns hälsosamhet och säker, och därför kan också en representant för arbetsgivaren fungera som beställare och samordnare av undersökningarna. Genomförandet av undersökningar och praktiska arrangemang ska dock alltid överenskommas med fastighetsägaren.

I större objekt bör beställaren utse en person som fungerar som huvudsaklig kontaktperson gentemot den ansvariga konditionsundersökaren. Beställaren måste även ha klart för sig vem som ansvarar för beslutsfattande och koordinering, för informering om undersökningsresultaten samt för inledande och uppföljning av reparationsåtgärder i de olika faserna av ett projekt för att åtgärda inomhusluftproblem.

Ur konditionsundersökarens perspektiv har beställaren en mycket viktig roll som förmedlare av information i utredningarna. I det inledande skedet bör beställaren delta i insamlingen av nödvändig bakgrundsinformation och förmedla kontaktuppgifter till personer med kännedom om fastigheten, såsom servicebolag, och ge dessa tillstånd att lämna information. Att få tillgång till väsentliga

utgångsuppgifter redan i början av undersökningen är avgörande för att kunna rikta undersökningarna rätt och undvika onödiga undersökningar. Under undersökningens gång bör beställaren informera användarna om undersökningarna och de praktiska arrangemangen kring dem, eller alternativt tydligt överlåta informationsansvaret till konditionsundersökaren.

Konditionsundersökningsprojektet leds av en ansvarig undersökare.

Beställaren ska utse en ansvarig konditionsundersökare för det fukt- och inomhusmiljötekniska utredningsarbetet (även ”ledare för utredningsprojekt” eller ”sakkunnig som leder utredningsfasen”), som har tillräcklig kompetens för arbetet (se kapitel 1.3). Vid val och upphandling av den som ska genomföra konditionsundersökningen bör följande faktorer beaktas:

- kompetens verifierad genom certifiering eller på annat sätt
- erfarenhet och referenser
- exempelrapporter
- tillgänglig undersökningsutrustning
- leveranskapacitet.

Den ansvariga undersökaren som utsetts för utredningen deltar i att anlita övriga eventuella experter och mättekniker, koordinerar undersökningarna och sammanställer och tolkar mät- och undersökningsresultaten och ansvarar för rapporteringen, inklusive åtgärdsförslag. Den ansvariga undersökaren deltar även i själva genomförandet av undersökningarna, åtminstone i de inledande kartläggningarna, och ansvarar för att göra undersökningsplanen. Vid mindre objekt utför den ansvariga undersökaren vanligtvis de praktiska undersökningarna, mätningarna samt rapporteringen ensam eller tillsammans med ett arbetspar.

Det bästa resultatet uppnås vanligtvis när samma undersökare ansvarar för utredningarna vid ett objekt med inomhusluftproblem, allt från inledningsfasen ända fram till uppföljningen efter åtgärderna. Eftersom en annan aktör eller person kan ansvara för åtgärdsplaneringen, är det mycket viktigt att resultaten av konditionsundersökningen gås igenom vid ett gemensamt möte tillsammans med personen som planerar åtgärderna vid inledningsfasen av åtgärdsplaneringen, samt vid behov under planeringsskedet. Att använda den ansvariga undersökaren även för kvalitetssäkring under reparationsskedet, samt för uppföljning och inspektioner under garantitiden, är i regel fördelaktigt.

En omfattande konditionsundersökning kan genomföras i två etapper.

För större byggnadsobjekt kan konditionsundersökningen utföras i två etapper. Detta rekommenderas speciellt i svårbedömda byggnader med flera olika problem, om det tidigare har gjorts flera utredningar och/eller reparationer i objektet, och det finns skriftlig dokumentation att tillgå.

I det första steget görs en översiktlig genomgång av objektet och man sätter sig in i bakgrundsmaterialet, inklusive byggnadsritningar, tidigare undersökningar och användarenkäter. Vid behov kan en ny enkät riktas till användarna, särskilt om ingen sådan gjorts tidigare eller om det har gått flera år sedan den senaste enkäten. Baserat på detta skrivs en sammanfattning och en specificerad undersökningsplan. I det andra steget genomförs konditionsundersökningen enligt planen. Detta tillvägagångssätt förhindrar onödiga upprepade undersökningar och ger en helhetsbild av byggnadens tillstånd. Själva undersökningsarbetet kan dessutom enklare konkurrensutsättas med hjälp av undersökningsplanen. Ibland kan sannolika orsakerna till problemen och reparationsbehoven identifieras redan i det första steget. I det fallet kan det vara mer ändamålsenligt att först åtgärda kända skador och brister och sedan utvärdera om inomhusluftens kvalitet förbättras.

I vissa fall kan det under konditionsundersökningens fältarbeten framkomma omständigheter som kräver till exempel mer omfattande konstruktionsöppningar än planerat eller krävande provtagningar som avviker från de vanliga undersökningsmetoderna. Då kan det vara nödvändigt med tilläggsarbeten i undersökningen. Tilläggsarbeten och deras kostnadseffekter bör avtalas med beställaren innan arbetet utförs. Vanligtvis definieras en enhetsprislista för tilläggsarbeten redan i anbudsskedet.

Vid beställning av konditionsundersökning är det viktigt att all information och beställarens behov förmedlas till dem som ska utföra arbetet. Det är i regel rekommenderat att ordna ett gemensamt möte där till exempel offerten eller undersökningsplanen gås igenom tillsammans och preciseras vid behov. På så vis säkerställs att väsentlig information om byggnaden och beställarens önskemål överförs och beaktas vid undersökningen.

Anvisningar riktade till beställaren vid utredning av inomhusmiljöproblem ges bland annat i följande publikationer:

- Anvisning till bostadsaktiebolag (styrelse och disponenter): *Tilaajan ohje sisäilmaongelmien ratkaisemiseen asunto-osakeyhtiössä. Kosteus- ja hometalkoot, 2015b.*

- Anvisning för arbetsplatser (fastighetsägare, disponenter): *Tilaajan ohje sisäilmasto-ongelman selvittämiseen. Tähtinen K. ja Lappalainen S., 2016.*
- Anvisning för kommunala beslutsfattare: *Päättäjän homeopas. Kohti terveitä taloja ja kannattavaa kiinteistönpitoa.* Kosteus- ja hometalkoot, 2015a.

Arbetsgruppen för inomhusluft koordinerar och informerar på arbetsplatser.

Vid omfattande och långvariga inomhusluftproblem på arbetsplatser är en konditionsundersökning ofta en del av en bredare process för utredning av inomhusmiljön. För detta ändamål rekommenderas det att bilda en arbetsgrupp för inomhusluft. Arbetsgruppen bör bestå av representanter för arbetsgivaren, arbetstagarna, arbetarskyddet, företagshälsovården och fastighetsägaren, samt den ansvariga undersökaren som anställts för att göra utredningarna och vid behov andra sakkunniga. Om det gäller till exempel en skolbyggnad, bör arbetsgruppen även inkludera representanter för skolhälsovården och hälsovårdsmyndigheten samt eventuellt representanter för föräldrarna. Processen för att lösa inomhusluftproblem beskrivs närmare i Arbetshälsoinstitutets anvisning *Tilaajan ohje sisäilmasto-ongelman selvittämiseen* (Tähtinen K. och Lappalainen S., 2016). Anvisningar och praktiska exempel på hur kommunikationen kan hanteras finns i Arbetshälsoinstitutets guide *Selätä sisäilmastokiista - viesti viisaasti* (Lahtinen M., m.fl., 2010).

Undersökningsrapporten överlämnas till och presenteras för beställaren.

När resultaten från konditionsundersökningen och rapporten är färdiga rekommenderas det att de genomförda undersökningarna, erhållna resultaten och åtgärdsförslagen gås igenom i ett möte mellan beställaren och den ansvariga undersökaren. På så sätt säkerställs att undersökningsresultaten, tolkningarna och eventuella osäkerhetsfaktorer förmedlas tydligt till beställaren.

När resultaten har behandlats med beställaren tas de upp i arbetsgruppen för inomhusluft, om en sådan finns (se ovan). Därefter informeras lokalernas användare om resultaten. Som med allt konsultarbete är även det som resulterar från en konditionsundersökning (resultaten och rapporten) beställarens egendom.

Konditionsundersökaren har därmed i regel inte rätt att överlämna undersökningsresultat till exempel direkt till lokalernas användare, utan information och eventuell distribution av rapporter ska avtalas separat med beställaren. Den nuvarande lagstiftningen definierar inte användarnas rätt att ta del av utredningar gällande lokalernas hälsosamhet, med undantag för vissa myndighetsrapporter (t.ex. bostadsinspektionsrapport som hälsoskyddsinspektör upprättat), som enligt lagen är offentliga handlingar. Även rapporter från undersökningar som beställts av offentliga aktörer, såsom kommuner, om sina fastigheter är offentliga handlingar. Hälsovårdsmyndigheter (utredningar gällande offentliga lokaler och bostäder) samt arbetarskyddsmyndigheter (utredningar gällande arbetsplatser) har enligt lagen rätt att få tillgång till dokument och utredningar som är väsentliga för hälsoskyddet. Även i samband med brottsutredningar har myndigheterna rätt att få tillgång till dokument och utredningar i anslutning till ärendet. När man överväger användarnas rätt till information bör man komma ihåg att fastighetsägaren enligt lag har skyldighet att se till att fastigheten är hälsosam och säker att använda. Detta innebär att fastighetsägaren måste vidta nödvändiga åtgärder för att åtgärda de skador och brister som upptäckts i konditionsundersökningen, eller vid behov begränsa användningen av lokalerna om åtgärderna av någon anledning inte kan genomföras inom rimlig tid.

Det är i allmänhet ändamålsenligt att konditionsundersökaren presenterar undersökningens resultat och slutsatser för lokalernas användare vid ett separat informationstillfälle. Vid samma tillfälle informerar vanligtvis fastighetsägarens representant om fortsatta åtgärder och deras tidtabell. Om det gäller en arbetsmiljö, rekommenderas att även en representant från företagshälsovården deltar för att besvara användarnas frågor gällande hälsofrågor. Eftersom det i praktiken är omöjligt att gå igenom undersökningarna i detalj under informationstillfället, är det starkt rekommenderat att lokalernas användare får ta del av undersökningsrapporten i förväg. På så sätt kan eventuella oklarheter tas upp och behandlas under informationsmötet. Beroende på situationen kan flera informationsmöten ordnas, till exempel i daghem eller skolor, separat för personer som ansvarar för fastigheten, personal och barnens föräldrar.

1.3

Kompetenskrav för den som utför konditionsundersökningar

Genomförande av en fukt- och inomhusmiljöteknisk konditionsundersökning förutsätter mångsidigt kunnande och erfarenhet.

Att genomföra fukt- och inomhusmiljötekniska utredningar förutsätter specialkompetens. Identifiering av skador och brister som försämrar inomhusluften kräver att undersökaren har god kännedom om de konstruktionstyper, tekniska lösningar för VVS, byggmaterial och riskkonstruktioner som är typiska för olika byggnadsperioder. För att kunna klarlägga orsakerna till skador kräver att konditionsundersökaren förstår byggnadsfysikens värme- och fukttransportfenomen samt hur dessa kan leda till konstaterade fuktskador. Undersökaren måste ha kunskap om egenskaperna hos en normal och avvikande inomhusmiljö samt om typiska föroreningar och metoderna för att undersöka och mäta dem. Undersökaren ska kunna sätta mätresultaten från inomhusluftmätningar i relation till observationer av konstruktionernas skick samt till exempel förekomsten av skadliga ämnen, mikrobiologiska och kemiska föroreningskällor, och koppla dessa till byggnadsteknisk data och observationer. För att förstå föroreningarnas spridning och påverkan på inomhusluften krävs förståelse för hur olika ventilationssystem fungerar, samt för betydelsen av tryckförhållanden och luftläckagevägar i byggnaden. I svåra byggnader med flera problem ökar betydelsen av samarbete och kommunikation mellan olika aktörer, och konditionsundersökaren har ofta en central, koordinerande roll i projektet. Då är det viktigt att kunna kommunicera väl, inklusive riskkommunikation. Eftersom arbetsuppgifterna är mycket mångsidiga och omfattande, har praktisk erfarenhet en stor betydelse för att utveckla yrkeskompetensen.

De sakkunnigas kompetens kan påvisas genom ett kompetens-, testnings- eller personcertifieringsförfarande utfört av en oberoende part.

Utbildningsbakgrunden och kompetensen hos de personer som utför fukt- och inomhusmiljötekniska konditionsundersökningar varierar i dagsläget mycket. Under de senaste åren har kompetensnivån bland undersökare och möjligheten att påvisa kompetens genom certifieringssystem utvecklats och förenhetligats. I utvecklingsprojekten inom programmet fukt- och mögeltalko har det definierats krav på grundutbildning och arbetserfarenhet för sakkunniga som utför olika slags konditionsundersökningsuppgifter, samt innehållet i de nödvändiga kunskapskraven.

I hälsoskyddslagen (763/1994) specificeras kompetenskraven och uppgifterna för utomstående sakkunniga som myndigheterna använder.

Hälsoskyddsmyndigheterna kan som stöd för sin egen tillsyn använda utomstående sakkunniga för att utföra undersökningar och utredningar. Den utomstående sakkunniga ska ha tillräcklig kompetens för att utreda faktorer som kan orsaka sanitär olägenhet. Undersökningar, utredningar och mätningar samt provtagningar ska dessutom utföras på ett tillförlitligt sätt och med ändamålsenliga metoder. När en konditionsundersökare agerar som utomstående sakkunnig, genom att utföra undersökningar och utredningar åt hälsoskyddsmyndigheten, tillämpas bestämmelserna om straffrättsligt tjänsteansvar. Konditionsundersökaren måste då vara opartisk, ekonomiskt och verksamhetsmässigt oberoende, och på den sakkunniges förfaringssätt tillämpas lagen om offentlighet i myndigheternas verksamhet (621/1999, ”offentlighetslagen”). Detta innebär att undersökningsrapporterna som lämnas till myndigheten blir offentliga handlingar, med undantag för sådana uppgifter som klassats som sekretessbelagda. Detta bör beaktas redan när undersökningsrapporten utarbetas. Även om tjänsteansvar gäller endast när konditionsundersökaren fungerar som en utomstående sakkunnig åt hälsoskyddsmyndigheten, utgör opartiskhet och andra principer för god förvaltning kännetecken för högkvalitativ verksamhet även i andra sammanhang.

I bilaga 3 till den s.k. *förordningen om boendehälsa* (SHMf 545/2015) som har utfärdats med stöd av hälsoskyddslagen (763/1994), definieras kompetenskraven för utomstående sakkunniga som kan anlitas av hälsoskyddsmyndigheterna. Kraven på utbildning och arbetserfarenhet anges separat för:

1. experter på hälsoriktigt byggande (RTA)
2. experter på inomhusluft
3. konditionsgranskare med kunskap om fuktskador.

De mest omfattande kraven på kunnande gäller experter på hälsoriktigt byggande, vars arbete fokuseras på att utreda och lösa inomhusmiljöproblem orsakade av både byggnadstekniska och andra faktorer. Alla experter som nämns i bilaga 3 till förordningen om boendehälsa (SHMf 545/2015) ska känna till de viktigaste inomhusmiljöfaktorerna och deras källor, mät- och provtagningsmetoder samt föroreningarnas åtgärdsgränser. En expert på hälsosamt byggande ska kunna leda processen för utredning av inomhusluftproblem och kunna utnyttja specialisters tjänster. Personen ska kunna tolka mätresultat och sammanfatta resultaten från fukt- och inomhusmiljötekniska undersökningar av byggnader, samt kunna rapportera resultaten skriftligt och muntligt samt informera om dem. Kompetensen för en expert på inomhusluft har tyngdpunkten på undersökning av föroreningar i inomhusmiljön, medan kompetensen för en konditionsgranskare har tyngdpunkten på teknisk undersökning av byggnaden. Personer med dessa senare kompetenser kan verka som utomstående sakkunniga antingen tillsammans (vid mångfacetterade problemobjekt som kräver tvärvetenskaplig utredning) eller separat (antingen vid utredning av inomhusluft eller en byggnadsteknisk konditionsundersökning). En expert på inomhusluft ska kunna tolka mätresultat och sammanfatta resultaten från inomhusmiljöundersökningar i bygganden, och kunna rapportera skriftligt och muntligt samt informera om dem. En konditionsgranskare ska kunna tolka resultaten från inomhusmiljöundersökningar i samband med resultaten från sin egen tekniska konditionsundersökning, samt kunna rapportera skriftligt och muntligt samt informera om dem. En konditionsundersökare av fuktskador förutsätts ha en examen inom byggbranschen (husbyggnad). En expert på hälsosamt byggande med en examen inom husbyggnad kan även verka som konditionsundersökare av fuktskador. En sådan person ska kunna utarbeta preliminära reparationsplaner och känna till specialåtgärderna som hör till åtgärdandet av inomhusmiljöproblem.

Ovan nämnda krav gäller utredningar som hälsoskyddsmyndigheterna låter utomstående sakkunniga utföra i bostäder och andra vistelseutrymmen som är avsedda för andra än enbart arbetstagare (bl.a. daghem, skolor och läroanstalter, barnhem, äldreboenden). Dessa kompetenskrav lämpar sig dock även som urvalskriterier vid val av ansvarig konditionsundersökare i undersökningar där ingen myndighetspart är inblandad. Kompetens för fukttekniska konditionsundersökare som inte grundar sig på författningar (a-klass) verifieras för närvarande av FISE Ab, som även verifierar kompetensen för konditionsgranskare med kunskap om fuktskador.

Personcertifikaten för experter på hälsosamt byggande samt, som nya behörigheter, även för experter på inomhusluft beviljas av VTT Expert Services Ab (från 2018 Eurofins Expert Services Ab).

I fukt- och inomhusmiljötekniska utredningar utnyttjas vid behov experter inom olika områden.

Utöver ovan nämnda sakkunniga anlitas vid behov specialsakkunniga i konditionsundersökningar och i utarbetandet av åtgärdsförslag (t.ex. experter inom hälso- och sjukvården, byggnadsfysikalisk planering, VVS-planering, mikrobiologi, kemi) samt andra experter från olika delområden. I större byggnadsobjekt är det ofta nödvändigt att utföra en omfattande konditionsundersökning av ventilationssystemen, vilket kräver specialkompetens inom VVS-branschen. Mättekniker och experter vars yrkeskompetens för närvarande kan påvisas genom en bedömning av en oberoende part är bl.a.:

- konditionsundersökare för värme-, vatten- och avloppssystem (VVS)
- ventilationsmätare
- konditionsundersökare (betongkonstruktioner, murade konstruktioner)
- experter på asbest och skadliga ämnen (AHA)
- termofotografer för byggnader
- mätare av byggnaders täthet
- mätare av konstruktioners fuktighet
- miljöprovtagare.

Behörigheter för konditionsundersökare av betongkonstruktioner och murade konstruktioner samt värme-, vatten- och avloppssystem verifieras av FISE Oy. Behörigheter för ventilationsmätare verifieras av Finlands VVS-förbund SuLVI rf. Behörigheter för experter på skadliga ämnen, personal som utför termofotografering, samt mätning av täthet och fukt verifieras genom personcertifiering av VTT Expert Services Oy. Verifiering av behörighet för miljöprovtagare sker genom certifiering av Finlands miljöcentral SYKE.

I denna handbok används i regel benämningen ”konditionsundersökare” (på finska: kuntotutkija) om personer som utför undersökningar. Kompetenskravet för en konditionsundersökare beror på den aktuella uppgiftens karaktär och omfattning. Konditionsutredarens roll har beskrivits tidigare i kapitel 1.2.

Arbetserfarenhet är en viktig del av att uppnå behörighet.

Att samla praktisk arbetserfarenhet är av stor betydelse för att uppnå behörighet. Arbetserfarenheten bör skaffas genom att delta i konditionsundersökningsprojekt tillsammans med en erfaren undersökare. Den erfarna undersökaren fungerar i början som ansvarig undersökare i projekten och senare som granskare av undersökningsplaner och undersökningsrapporter. Särskilt i början, och även senare om arbetets omfattning tillåter, rekommenderas det starkt att fältundersökningar utförs i arbetspar, så att kunskapen inom olika delområden överförs effektivt till den nybörjande undersökaren. Arbetserfarenhet inom planering av reparationer av fuktskador är till stor fördel i arbetet som konditionsundersökare, speciellt vid utarbetande av åtgärdsförslag. För externa experter som anlitas av hälsoskyddsmyndigheter (expert på hälsosamt byggande, expert på inomhusluft, konditionsgranskare med kunskap om fuktskador) är kravet på arbetslivserfarenhet minst tre år av uppgifter gällande undersökning av byggnaders kondition och sanitära olägenheter.

1.4

Faktorer som försämrar inomhusluftens kvalitet

Flera faktorer påverkar den upplevda kvaliteten på inomhusluften. I det finländska byggnadsbeståndet förekommer fukt- och mikrobskador relativt ofta, och dessa bedöms vara en betydande orsak till problem med inomhusluften. Problem med inomhusluften kan dock även orsakas av andra faktorer som är oberoende av konstruktionernas fukt- och mikrobskador. Exempel på sådana faktorer är termiska och fuktmässiga förhållanden, t.ex. för varm och torr rumsluft eller drag, brister i ventilationssystemet, olika kemiska och partikulära materialutsläpp samt dammighet. Ofta kan flera faktorer tillsammans förklara det upplevda problemet med inomhusluften. Till exempel kan tryckskillnaden som uppstår vid mekanisk ventilation, och de läckluftflöden detta ger upphov till, på ett kritiskt sätt förstärka transporten av föroreningar från gamla konstruktioner till inomhusluften. Generellt sett förstärker en otillräcklig ventilation olägenheterna från andra faktorer. De vanligaste faktorerna som försämrar inomhusluftens kvalitet presenteras i tabell 1.1.

Tabell 1.1. De vanligaste faktorerna som försämrar inomhusluftens kvalitet och de olägenheter och symtom de ger upphov till.
Källa: Pitkäranta och Puhka, 2013, redigerad.

Förorening eller annan olägenhet	Vanlig källa/orsak	Olägenhet/symtom
Allergener	Hus- och sällskapsdjur, pollen, kemikalier, kvalster, mikrobiell påväxt	Allergisk snuva, ögon-, astma- och hudsymtom
Ammoniak	Fuktskador på material, avlopp, sällskapsdjur, rökning	Luktolägenheter, irritationssymtom
Asbestfibrer	Många olika byggmaterial	Ökad cancerrisk, asbestos
Formaldehyd	Fuktskador på spånskivor m.fl. material, inredningsprodukter, textilier och rengöringsmedel	Luktolägenheter, irritationssymtom, kontaktallergi, ökad risk för cancer.
Koldioxid (CO_2)	Människor, sällskapsdjur, bristfällig ventilation	Hög koncentration indikerar otillräcklig ventilation i förhållande till lokalernas användning. Vid mycket höga koncentrationer trötthet, huvudvärk.
Kolmonoxid (kolos, CO)	Eldstäder, trafik	Kolmonoxidförgiftning, död genom kvävning
Störande lukter	Fuktskador på material, luftläckage från konstruktioner, material, kemikalier, användare	Irritationssymtom, obehag
Låg luftomsättning	Bristfällig ventilation, fel i ventilationssystem, brister i luftfördelning	Symtom och obehag på grund av ansamling av föroreningar
Alltför stort undertryck över byggnadens yttre mantel	Alltför stora frånluftsmängder i förhållande till tilluftsflödena	Transport av föroreningar från konstruktioner till inomhusluften
Torr inomhusluft	Kall och torr uteluft	Irritationssymtom på hud och slemhinnor, ökad symtomkänslighet
Temperatur, för låg eller hög, drag	Brister och feljusteringar av värme- och ventilationssystem, ytstrålning, luftläckage	Dålig komfort, ökad sjukbenägenhet
Mikrober och deras ämnesomsättningsprodukter	Fukt- och mikrobskador, luftläckage från konstruktioner, föroreningar i ventilationskanaler i fuktiga delar av systemet	Irritation i andningsvägar, astma, allergiska sjukdomar, ökade infektioner i andningsvägar, allmänna symtom
Ozon	Luftrenare, kopieringsmaskiner	Irritationssymtom i andningsvägarna Förstärker effekten av allergener
PAH-föreningar	Gamla fuktisoleringar, stenkolstjära, brandtillfällen	Luktolägenheter, ökad risk för cancer
PCB	Byggmaterial, bl.a. fogmassor och färger, värmeöverföringsvätskor	Ökad cancerrisk
Fina partiklar	Utomhusluft (industri, trafik), tobaksrök, kopieringsmaskiner, fuktskador, småskalig förbränning, ljus och eldstäder	Trivselolägenheter, sjukdomar i hjärta och andningsorgan, astma
Radon	Grunden, bottenfyllning i byggnaden	Ökad risk för lungcancer
Industriella mineralullsfibrer	Värme- och ljudisoleringsmaterial i konstruktioner och ventilationssystem	Irritationssymtom i ögon och andningsvägar
VOC-föreningar (flyktiga organiska föreningar, eng. volatile organic compounds)	Fuktskador, byggmaterial, inredningsmaterial, textilier, tvättmedel, kosmetika, människor och sällskapsdjur	Irritationssymtom, astma
Oljekolväten	Byggmaterial (bl.a. gjutasfalt), oljeskador i konstruktioner och i marken under byggnaden	Luktolägenheter

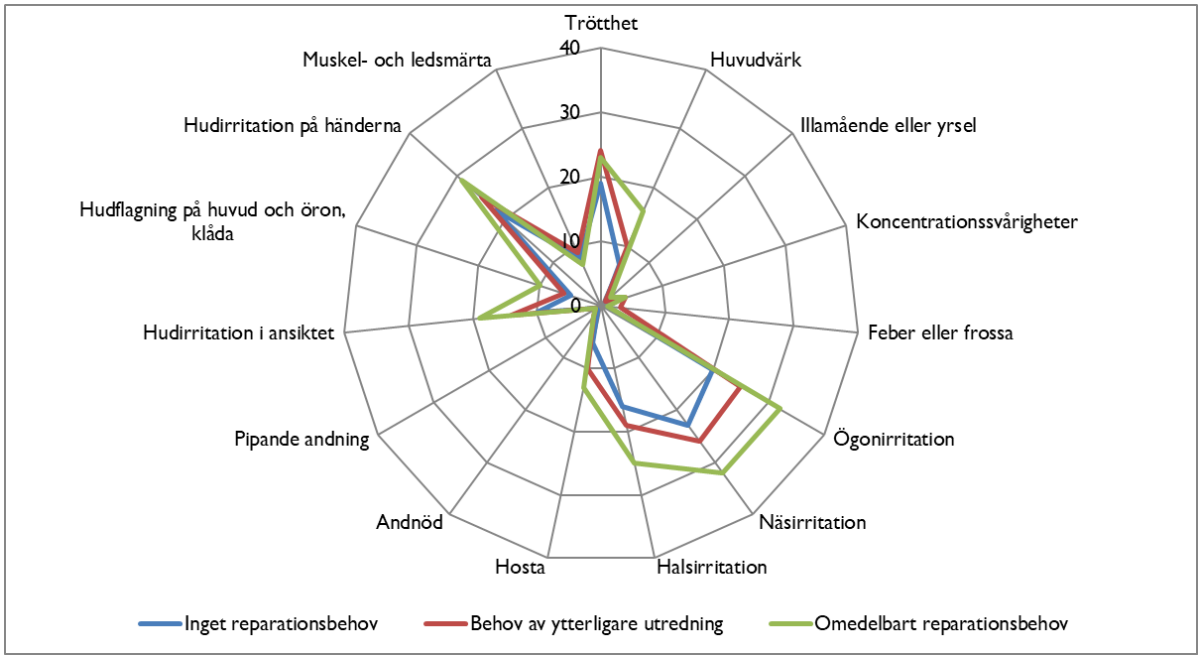


Bild 1.1. Symtom som sjukhusanställda (n = 3 200) kopplade till inomhusluften i förhållande till skicket på deras arbetsutrymmen. I de utrymmen där sakkunniga hittade omedelbara reparationsbehov rapporterade de anställda oftare symtom kopplade till inomhusluften jämfört med utrymmen där det inte fanns reparationsbehov. Bildkälla: Hellgren U., m.fl., 2008.

De olägenheter som upplevs i byggnader är ofta kopplade till gamla och/eller bristfälligt utförda/underhållna/reparerade konstruktioner och fastighetstekniska system. Sambandet mellan byggnadens kondition och reparationsbehovet samt användarnas välbefinnande illustreras av resultaten från en studie utförd i finländska sjukhusbyggnader; hos dem som arbetade i utrymmen som krävde omedelbara reparationer konstaterades tydligt fler byggnadsrelaterade symtom jämfört med dem som arbetade i utrymmen som var i gott skick (bild 1.1).

Att symtom uppträder eller förvärras i byggnaden, och att de försvinner eller lindras när man inte är där, stöder kraftigt sannolikheten för att byggnadens inomhusluftproblemen är orsaken till symtomen.

1.5

Från konditionsundersökning till lyckade reparationer

Konditionsbedömning eller konditionsundersökning?

Med konditionsbedömning avses ett förfarande där man utan att bryta konstruktionerna, huvudsakligen med sensoriska metoder, bedömer skicket på fastighetens utrymmen, byggnadsdelar, hustekniska system och utomhusområden, samt bedömer fastighetens reparationsbehov och upprättar en långsiktig underhållsplan. I konditionsbedömningen granskas också inomhusförhållandena och energihushållningen. Konditionsbedömningen uppdateras eller förnyas med fem års intervall.

Till skillnad från konditionsbedömningen utförs konditionsundersökningen med den noggrannhet som krävs för att fastställa konstruktionernas verkliga skick, reparationsbehov och reparationsmetoder.

Vid en konditionsundersökning är det typiskt nödvändigt att använda metoder som innebär ingrepp i konstruktionerna. Vid en inomhusmiljöteknisk konditionsundersökning undersöks i detalj fuktskadade eller misstänkt fuktskadade konstruktioner samt andra byggnadsdelar och fastighetstekniska faktorer som eventuellt kan påverka inomhusluftens kvalitet. Även lösörets roll som en eventuell orsak till inomhusluftproblem beaktas.

Fukt- och inomhusmiljötekniska konditionsundersöknings- och reparationsprojekt inleds ofta efter att användare har rapporterat problem med inomhusluften eller observerat läckage eller skador, och syftar till att återställa byggnaden till ett tekniskt och hälsomässigt skick som betjänar användningsändamålet.

Förutom i redan konstaterade problemsituationer har det visat sig nödvändigt att kartlägga riskfaktorer för inomhusluftens kvalitet även i projektplaneringsfasen för grundrenoveringar, eftersom förändringar som typiskt genomförs vid grundrenoveringar, såsom ändringar i ventilationen och lokalernas användningssätt, kan göra att byggnadsdelar som tidigare fungerat felfritt blir riskkonstruktioner ur inomhusluftssynpunkt.

Förloppet av ett renoveringsprojekt för en byggnad med inomhusluftsproblem visas i bild 1.2.

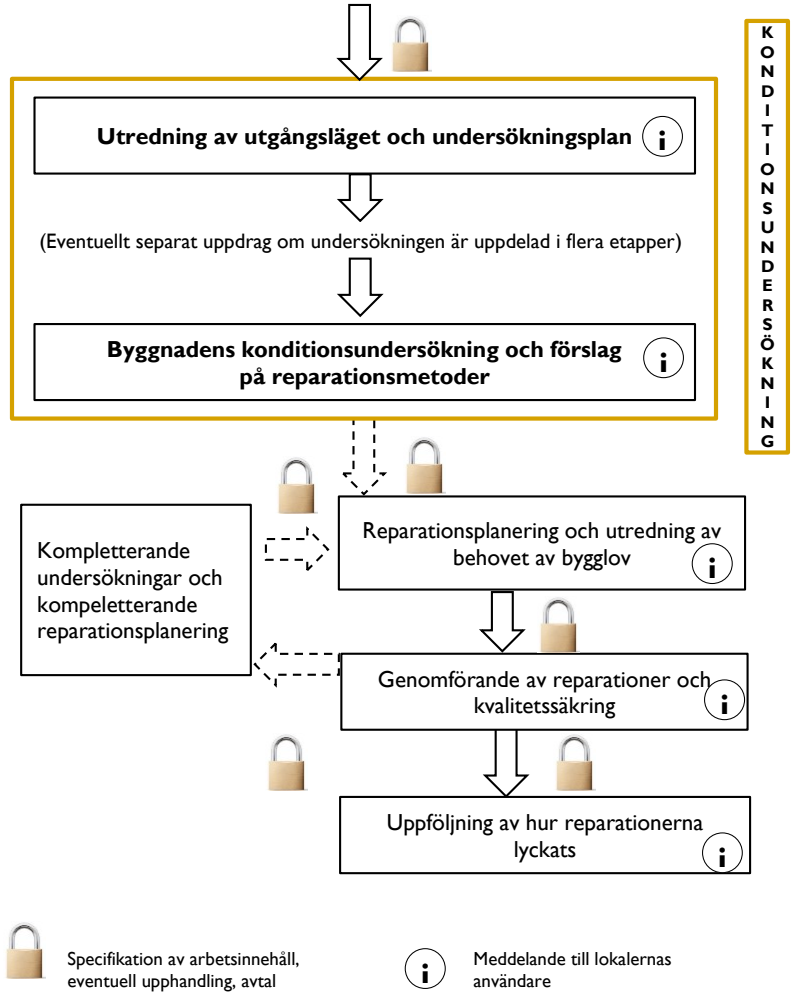


Bild 1.2. Förloppet av ett renoveringsprojekt för en byggnad med inomhusluftsproblem. I uppdragsfasen bör särskild uppmärksamhet fästas på att definiera uppdraget (arbetets innehåll). Information, särskilt att informera lokalernas användare om undersökningarna och reparationerna, utgör en viktig del av projektet. I planeringsskedet av renoveringsprojektet bör det beaktas att reparations- och ändringsarbeten som uppenbart kan inverka på säkerheten för dem som använder byggnaden eller på byggnadens sanitära förhållanden kräver bygglov (MarkByggL 125 §).

Konditionsundersökningens omfattning och innehåll varierar beroende på utgångsläget.

Omfattningen och förloppet av en konditionsundersökning varierar beroende på utgångsläget. Om det vid utgångsläget till exempel är känt att det finns oåtgärdade fukt- och mögelskador, eller om en plötslig vattenskada har inträffat, kan undersökningarna i regel enkelt fokuseras på rätt konstruktioner redan i början av konditionsundersökningen. Om orsaken till problemet är uppenbar, skadan eller felet är enkelt och tydligt avgränsat och omfattningen kan på ett tillförlitligt sätt fastställas redan vid det första platsbesöket, kan reparationen av skadorna ibland påbörjas utan mätningar och särskild reparationsplanering, baserat på de reparations- eller underhållsanvisningar som ges i konditionsundersökningsrapporten. Beställaren måste dock se till att det finns tillräcklig dokumentation av de utförda reparationerna, till exempel i byggnadens servicebok. Innan reparationsarbeten påbörjas ska dock behovet av eventuellt bygglov utredas.

Vanligtvis måste skadans läge, orsak och omfattning samt bland annat ventilationens funktion utredas genom dokumentgranskning, riskbedömning och undersökningar och mätningar på plats. Fall där till exempel användarnas symtom eller avvikande lukt i lokalerna tyder på ett inomhusluftproblem, men där fukt- eller mögelskador eller andra sannolika orsaker till problemet inte är kända, kan kräva omfattande undersökningar innan en eventuell olägenhetsfaktor kan påvisas och lokaliseras.

Det är ofta motiverat att kombinera en fukt- och inomhusmiljöteknisk konditionsundersökning med till exempel en grundlig konditionsundersökning av VVS-system, yttertak och fasader. Typiskt behövs det också undersökningar av skadliga ämnen.

Konditionsundersökningar fungerar som verktyg för hantering av byggnadens livscykel.

Även vid planering av andra reparationer än sådana som krävs på grund av fuktskador eller inomhusluftproblem är det viktigt att undersöka byggnadens skick tillräckligt grundligt. Som underlag för planeringen av grundrenoveringsprojekt är det rekommenderat att byggnaden undersöks med avseende på skador och brister som kan utgöra risker för inomhusluften, så att dessa risker kan åtgärdas i samband med renoveringen.

Enligt markanvändnings- och bygglagen kan även myndigheten i bygglovsskedet kräva en utredning om byggnadens skick (MarkByggL 131 §). Resultaten av konditionsundersökningarna dokumenteras i byggnadens servicebok, som är det viktigaste verktyget för hantering av byggnadens livscykel.

Konditionsundersökningen utgör grunden för reparationsplaneringen.

Konditionsundersökningen fungerar som underlag för reparationsplaneringen. Utifrån undersökningsrapporten utarbetas separata, tillräckligt detaljerade reparationsplaner där de konstruktioner som ska repareras, rivas och förnyas beskrivs, liksom eventuella förändringar i utförandet av de nya konstruktionerna, samt reparationsmetoder och material. I förslagen till reparationssätt ges typiskt några alternativa reparationsmetoder och de fördelar och risker dessa är förknippade med. Planen innehåller dessutom vanligtvis anvisningar för praktiska genomförande av reparationerna och arrangemangen kring detta. I detta skede kan man även ta ställning till fukt- och dammhantering på byggarbetsplatsen samt till rutiner för kvalitetssäkring av reparationsarbetet. I reparationsprojektets planeringsfas bör det beaktas att reparations- och ändringsarbeten som uppenbart kan inverka på säkerheten för dem som använder byggnaden eller på deras sanitära förhållanden kräver bygglov (MarkByggL 125 §).

Målet med reparationerna är att göra byggnaden hälsosam och tekniskt fungerande.

Målet med reparationen av en byggnad med inomhusluftproblem är att återställa byggnaden i sådant tekniskt och sanitärt skick som motsvarar dess användningsändamål. Avsikten är dock inte att göra en gammal byggnad till en ny. Ibland måste man trots reparationer ändra en byggnads användningsändamål eller begränsa användningen, om byggnaden till exempel på grund av skyddsbestämmelser inte kan repareras tillräckligt grundligt. Vid reparation avlägsnas skadat material och andra föroreningskällor, och konstruktioner och fastighetstekniska system repareras på ett sätt som förhindrar att skadorna upprepas. Omsorgsfull planering av nya konstruktionslösningar är särskilt viktigt vid reparation av fuktteknisk krävande konstruktioner.

Flexibilitet och möjlighet att justera eller utöka reparationsplanen är ofta nödvändiga under reparationsskedet.

Särskilt vid reparationer av omfattande objekt med mångfacetterad byggnads- och reparationshistoria uppstår det ofta, i takt med att arbetena fortskrider, överraskningar och situationer som kräver ytterligare undersökningar och ändringar eller komplettering av reparationsplanerna. Detta bör man förbereda sig på redan i reparationsplaneringsskedet med en tillräckligt flexibel tidplan och budget. Konditionsundersökaren bör, i den mån det är möjligt, i sin rapport ange till exempel osäkerheter gällande skadornas omfattning, så att man kan förbereda sig på mer detaljerade undersökningar.

Uppföljning av att reparationerna lyckats kan göras på flera olika sätt.

Om fukt- och mikrobskador samt andra faktorer som försämrar inomhusluftens kvalitet har kartlagts på ett tillförlitligt sätt, kan man anta att korrekt utförda reparationer av dessa problemområden löser byggnadens inomhusluftproblem. Ur ett tekniskt perspektiv grundar sig uppföljningen av reparationernas resultat på noggrann planering av rivnings- och reparationsarbetena, på att arbetena utförs i enlighet med planerna samt på övervakning av utförandet. Rivnings- och reparationsarbetena besiktigas och dokumenteras steg för steg. Vid bedömning av hur genomförandet lyckats används lämpliga kvalitetssäkringsmetoder.

Som ett verktyg för att bedöma hur reparationerna lyckats kan man även använda en enkät om inomhusklimat och symptom bland användarna, som genomförs i undersökningarnas inledande skede och upprepas efter att reparationerna har slutförts. Inomhusluftmätningar kan användas som ett riktgivande verktyg för att påvisa förbättrad inomhusluftkvalitet. Det ska dock beaktas att mätresultat inte kan på ett tillförlitligt sätt bekräfta eller utesluta förekomsten av inomhusmiljörelaterade olägenheter. Både mätningar och enkäter bör i regel genomföras vid samma årstid som de undersökningar som utfördes före reparationen, för att säkerställa jämförbarhet.

2 Undersökningsplan

2.1 Allmänt

Konditionsundersökningen inleds med att beställaren av undersökningen tar kontakt. Kontakten leder ofta till ett första platsbesök, utifrån vilken objektet och konditionsundersökningens omfattning kan preliminärt bedömas.

Ibland är orsaken till inomhusluftproblemet så enkel och uppenbar att problemet kan kartläggas på ett tillförlitligt sätt redan utifrån de väsentliga utgångsuppgifterna som framkommit, till exempel under det första telefonsamtalet och genom iakttagelser gjorda vid platsbesöket. Ett sådant fall kan till exempel vara när objektet är ett småhus vars konstruktioner är typiska för byggtidpunkten. Närmare uppgifter om konstruktionerna och andra bakgrundsinformation gås vanligen igenom på plats, till exempel tillsammans med småhusets ägare eller disponent. I sådana fall behövs inte nödvändigtvis någon mer detaljerad undersökningsplan, även om det vid platsbesöket kan framkomma behov av ytterligare undersökningar, till exempel behov av att göra konstruktionsöppningar, fuktmätningar eller provtagningar.

Konditionsundersökning av ett större objekt, till exempel en äldre skolbyggnad, inleds vanligtvis med en klarläggning av utgångsläget, ett platsbesök och en preliminär riskbedömning. Utifrån dessa utarbetas vanligen en undersökningsplan, som fungerar som underlag för ett avtal om eller en beställning av konditionsundersökning, och på vars grund kostnaderna för konditionsundersökningen uppskattas. Eftersom arbetsinsatsen i dessa fall är betydligt större än för mindre objekt, rekommenderas det att parterna skriftligen kommer överens om undersökningsplanen och de tillhörande besiktningsbesöken inklusive kostnader innan förberedande åtgärder påbörjas.

Om beställaren vill låta göra en detaljerad undersökningsplan och utnyttja planen för upphandling av konditionsundersökningen, bör detta meddelas den konditionsundersökare som gör planen redan vid det första kontakttillfället.

Den arbetstid som krävs för att utarbeta en undersökningsplan varierar avsevärt. Vanligtvis måste man reservera cirka 1/2–2 arbetsdagar för en mindre undersökning, till exempel i situationer där undersökningen är avgränsad till ett visst utrymme eller en viss byggnadsdel. För att utarbeta en undersökningsplan för en medelstor skol- eller kontorsbyggnad går det typiskt åt flera arbetsdagar. Den tid som reserverats för att utarbeta planen inkluderar både den arbetstid som används för att besiktiga objektet, inklusive resor, och den tid som går åt för att göra en preliminär riskbedömning samt för att upprätta den skriftliga planen. Den tid som krävs varierar dock mycket beroende på planens detaljnivå och presentationssätt samt objektets karaktär. Till exempel kan det ta betydligt längre tid, än vad som anges ovan, för att utarbeta undersökningsplaner för till exempel äldre byggnader som renoverats och/eller byggts ut i flera etapper, speciellt om man under planeringsskedet behöver gå igenom ett omfattande bakgrundsmaterial.

Ibland kan undersökningarna, till exempel av kostnadsskäl, planeras att genomföras i etapper, så att man först undersöker de mest sannolika problemområdena som identifierats utifrån riskbedömningen. Utifrån dessa resultat bedöms de gjorda observationernas betydelse för inomhusluftens kvalitet. Om det konstateras att problemets orsak inte har kunnat fastställas tillräckligt väl, utökas undersökningarna till exempel till andra byggnadsdelar, eller så genomförs vid behov uppföljande mätningar eller provtagningar. ***Vid en etappvis genomförd konditionsundersökning*** baseras de fortsatta undersökningarna i nästa etapp således alltid på resultaten från den föregående etappen.

Undersökningsplanen bör innehålla alla åtgärder och undersökningsmetoder som är väsentliga för att utreda orsaken och omfattningen av fukt- och mögelskador. En väl utformad undersökningsplan presenterar dessutom objektets grundläggande uppgifter, bakgrundsinformation om undersökningarna samt en företeckning över det tillgängliga bakgrundsmaterialet. En allmän mall för undersökningsplanen visas i bilaga 3. Vid användning av mallen bör man dock beakta olika utgångslägen och beställarens behov.

2.2 Skeden i konditionsundersökningen

Konditionsundersökningens skeden och förlopp framgår av bild 2.1. Konditionsundersökningen utgör en väsentlig del av byggnadens reparationsprojekt. Hela förloppet av ett reparationsprojekt har redovisats ovan i kapitel 1.5.

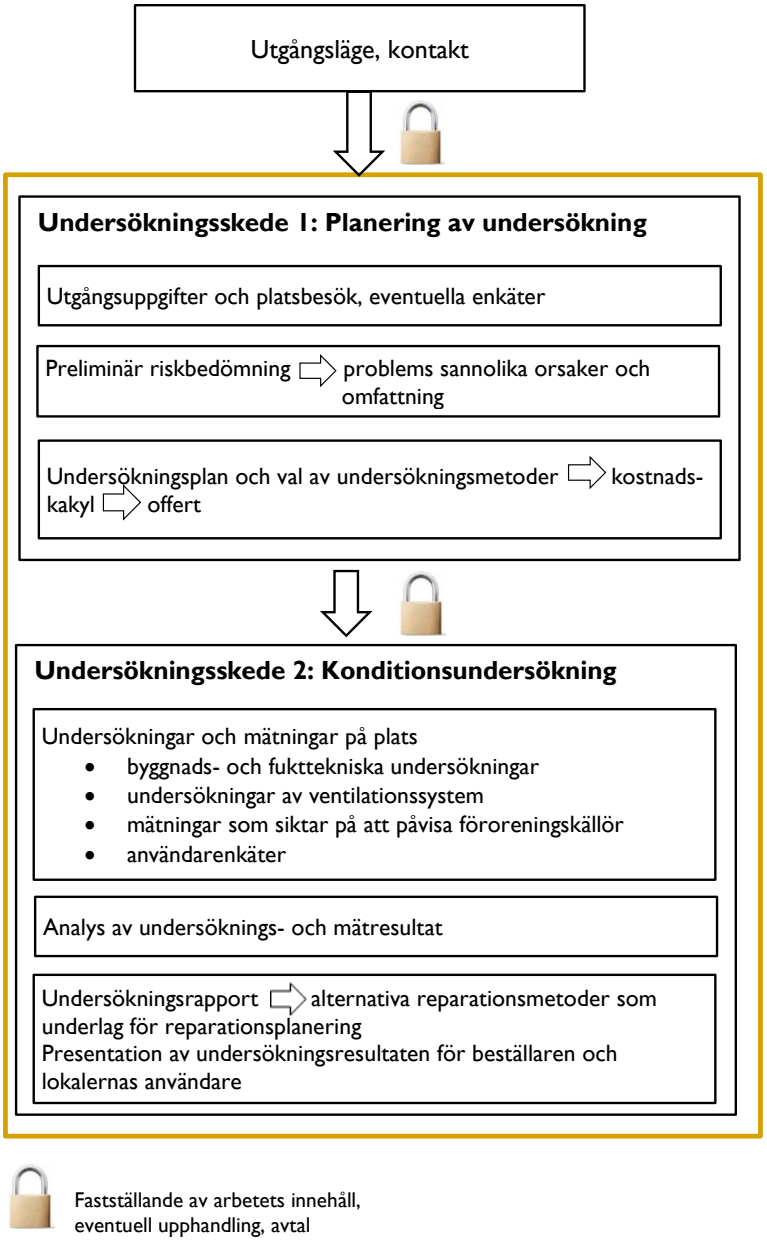


Bild 2.1. Skeden och förloppet för en konditionsundersökning av en byggnad med inomhusluftproblem.

2.3

Utgångsuppgifter

Utgångsuppgifter är alla de uppgifter som är relevanta för att bedöma och fastställa orsakerna för och omfattningen av fukt- och mikrobskador samt andra eventuella inomhusluftproblem. Utgångsuppgifter samlas i den omfattning som behövs och dokumenteras i undersökningsrapporten. De viktigaste uppgifterna försöker man sätta sig in i redan då man utformar undersökningsplanen, och mer detaljerat gås de igenom i inledningsfasen av själva undersökningarna. Noggrann genomgång av utgångsuppgifterna i början av undersökningsprojektet är mycket viktig. Både beställaren och konditionsundersökaren bör reservera tillräckligt med tid för detta. Ofta leder detta till kostnadsbesparingar i själva fältundersökningsskedet, eftersom undersökningarna då kan riktas mot de mest sannolika problemområdena.

I besvärliga och utdragna fall med inomhusluftproblem i stora fastighetsobjekt kan det ibland vara nödvändigt att noggrant gå igenom tidigare gjorda utredningar och andra utgångsuppgifter och att skriva en sammanfattning av deras slutsatser som stöd för undersökningsplanen. Detta underlättar för beställaren och andra läsare av rapporten att få en överblick över speciellt långvariga och etappvis genomförda undersökningar där flera olika parter har deltagit i. Om de tidigare undersökningarna har varit omfattande bör den skriftliga sammanfattningen och dess fakturering avtalas separat och skriftligt med beställaren.

I de följande avsnitten beskrivs de viktigaste typerna av utgångsuppgifter.

2.3.1

Dokumentation

Som utgångsuppgifter för konditionsundersökningen behövs objektets dokumentation. Dessa tillhandahålls vanligtvis av arbetets beställare, eller så kommer man överens med beställaren separat om hur de ska anskaffas. Om det behövs handlingar för det aktuella objektet från myndigheter är det oftast ändamålsenligt att den som utför undersökningen också skaffar handlingarna. På så sätt kan man undvika att skaffa ritningar som inte behövs för undersökningen och spara in på kopieringskostnader. De dokument som används som utgångsuppgifter ska förtecknas i undersökningsplanen och arkiveras för eventuella fortsatta utredningar. Exempel på dokument som fungerar som utgångsuppgifter är:

Ursprungliga ritningar och kompletteringar

- huvudritningar
- byggnadsritningar (arkitektritningar)
- konstruktionsritningar
- VVS-ritningar
- arbetsbeskrivningar
- rumsförteckningar
- resultat av geotekniska undersökningar

Tidigare undersökningar och utredningar

- servicebok
- tidigare utarbetade reparationsplaner
- tidigare reparationer och ombyggnader
- tidigare konditionsbedömningar och konditionsundersökningar
- tidigare utredningar av byggnadshistorien
- tidigare asbestkartläggningar, kartläggningar av skadliga ämnen och undersökningar av skadliga ämnen
- tidigare miljötekniska utredningar
- tidigare användarenkäter och intervjuer
- handlingar från hälsoskyddet
- disponentintyg och andra handlingar som producerats under fastighetsskötseln

Byggtidshandlingar och andra dokument relaterade till reparationer

- dokumentation från byggskedet
- byggdagbok och kontrollplan
- tillsynsprotokoll
- protokoll från byggmöten
- bygglovshandlingar och myndighetskontroller

Vid nybyggnadsprojekt är viktiga utgångshandlingar ofta även byggplatsplaner, såsom en fukthanteringsplan samt tillhörande tillsynsprotokoll och fraktsedlar för material. Dokument från byggtiden, såsom byggplatsplaner, finns vanligen tillgängliga i byggherrens arkiv.

Vid renoveringsobjekt är i sin tur bygg- och konstruktionsritningar från byggtiden viktiga utgångsuppgifter, men även ritningar och planer som rör tidigare reparationer. För äldre objekt är det vanligtvis svårt att få tillgång till byggskedets ritningar, och beställaren har inte nödvändigtvis direkt tillgång till dem. I sådana fall kan ritningar sökas till exempel i byggnadstillsynens arkiv.

De konstruktioner som anges i utgångsuppgifterna kontrolleras alltid i möjligaste mån för att säkerställa att de överensstämmer med ritningarna.

2.3.2

Boende- och användarenkäter

För den preliminära riskbedömningen samlas observationer om byggnadens problem från boende, användare och servicepersonalen. Informationen används för att bilda en övergripande bild av situationen. I sin enklaste form kan enkäten bestå av en snabb intervju med lokalens användare och teknisk personal. I större objekt är det ändamålsenligt att genomföra en skriftlig enkät, antingen på papper eller digitalt. Det finns två typer av enkäter, användarenkäter samt inomhusklimat- och symtomenkäter

1. Enkäter till användare och servicepersonal

En begränsad enkät, med tyngdpunkt på de tekniska observationer som användare och servicepersonal gjort om byggnaden, kan konditionsundersökaren genomföra själv. I enkäten efterfrågas inga uppgifter om symtom som användaren upplevt, men man kan på en allmän nivå be om uppgifter om utrymmen som upplevs som problematiska. Dataskydd och skyddet för personlig integritet bör uppmärksammas särskilt om användarna eller servicepersonalen i enkäten lämnar uppgifter gällande sin personliga hälsa. Som utgångspunkt besvaras enkäter anonymt. I användarenkäter kan man använda till exempel de formulärmallar som presenteras i bilaga 1, i tillämpliga delar. I bilaga 1 finns också ett enkätformulär för disponenter eller fastighetsskötare. En metod som konstaterats vara bra är att bifoga byggnadens planritning till enkäten, där användarna kan markera sina observationer. Varje utrymme i planritningen ska numreras eller namnges tydligt och entydigt. Respondenten kan antingen markera sina observationer direkt på en utskriven ritning, som sedan skannas och bifogas som en bilaga till svaret, eller ange platsuppgifter i enkätsvaren utifrån ritningens numrering.

Med enkäten utreds bland annat följande:

- vattenskador som inträffat och tidpunkterna för dessa
- observationer gjorda under ovanliga väderförhållanden
- synliga fuktskador och avvikande lukter
- observationer av utrymmen med bristfällig luftkvalitet eller andra brister
- användarvanor
- serviceåtgärder i byggnaden
- genomförda reparationer
- genomförda grundrenoveringar

2. Inomhusklimat- och symtomenkät

En inomhusklimat- och symtomenkät fokuserar på användarnas upplevelse av inomhusluftens kvalitet, deras sjukfrånvaro och symtom som kopplas till byggnaden. Det rekommenderas att symtomenkäter endast görs för grupper med 20 personer eller fler. Vanligast är att symtomenkäter genomförs på arbetsplatser för anställda (t.ex. Arbetshälsoinstitutets inomhusklimatenkäter) eller i skolor för elever (t.ex. Institutet för hälsa och välfärds symtomenkäter). Alla inomhusklimatenkäter som också kartlägger användarnas sjukfrånvaro och symtom som kopplas till byggnaden ska genomföras av organisationer där resultaten hanteras av en yrkesperson inom hälso- och sjukvården, vanligtvis företags- eller skolhälsovården. Yrkespersonen inom hälso- och sjukvård har också som uppgift att bedöma vilken plats de angivna symtomen gäller, till exempel hemmet, arbetet eller fritidsmiljöer. All given information behandlas konfidentiellt. De flesta inomhusklimatenkäter grundar sig på den s.k. Örebroenkäten. Utifrån de inomhusklimat- och symptomprofiler som framkommer i enkäten kan man få information om eventuell orsak till problemen och dess läge, och på så sätt rikta undersökningarna mot till exempel en viss del av byggnaden. Genom att genomföra enkäter både före och efter reparationsåtgärderna kan man bedöma hur åtgärderna har påverkat användarnas upplevelse av inomhusluftens kvalitet.

De uppgifter som har erhållits genom boende- och användarenkäten och som är relevanta med tanke på inomhusklimatproblemet dokumenteras i undersökningsrapporten. Resultaten från inomhusklimat- och symptomenkäten redovisas vanligtvis i sammanfattad form i undersökningsrapporten.

2.3.3

Intervjuer med byggare och planerare

Genom intervjuer med byggare och planerare utreds bland annat förändringar som har gjorts under bygg- eller reparationsarbeten i konstruktioner som är viktiga ur fukt- och mögelskaderisksynpunkt. Förändringarna har kanske inte uppdaterats i ritningar eller arbetsbeskrivningar, men i byggdagböcker eller byggmötesprotokoll kan det finnas anteckningar om ändringar i planerna. Ändringar som gjorts under byggtiden har ofta haft som syfte att uppnå en mer kostnadseffektiv lösning eller en tekniskt enklare arbetsmetod. Dessa ändringar kan dock ha lett till uppkomsten av skadorna.

Om det finns tillgång till en korrekt ifylld byggdagbok och tillsynsprotokoll kan man genom intervjuer med byggare också få reda på fukt- och mögelskaderisker som orsakats av exceptionella väderförhållanden under byggtiden och eventuella brister i väderskyddet. Dessa faktorer kan redan under byggtiden ha lett till uppkomsten av fukt- och mögelskador.

2.4

Preliminär riskbedömning

Med en preliminär riskbedömning identifierar man sannolika skaderisker i konstruktionerna, skadornas orsaker och sådana konstruktioner som ska ägnas speciell uppmärksamhet i konditionsundersökningen. Riskbedömningen grundar sig på **utgångsuppgifter** (genomgång av dokumentation och intervjuer samt eventuellt användarenkäter) samt ett **platsbesök vid det undersökta objektet**. Vid behov inhämtas, utifrån riskbedömningen, ytterligare handlingar och kompletterande intervjuer med byggnadens användare, servicepersonal, planerare, byggare och/eller ägare. En väl genomförd riskbedömning ger en bild av konditionsundersökningens omfattning och bidrar även till att undvika onödiga mätningar och undersökningar.

2.4.1

Dokumentgranskning

Granskning av dokument görs vanligtvis av planerna från olika planeringsområden. Planerna omfattar planeringsområdets olika ritningar, förteckningar, beräkningar samt skriftliga handlingar såsom arbetsbeskrivningar och utredningar. Utifrån planerna bedöms om konstruktionerna är fungerande eller om det i byggnaden finns detaljer med tydlig risk för fukt- och mögelskador. Konstruktionernas byggnadsfysikaliska funktion och risken för fukt- och mögelskador kan bedömas utifrån byggnadens eller konstruktionernas ålder, erfarenheter av olika konstruktionslösningars långtidshållbarhet eller beräkningsanalyser. I mer komplexa fall kan byggnadsfysikaliska beräkningsanalyser vara det enda sättet att fastställa orsaken till fukt- och mögelskadan och säkerställa att rätt reparationsmetoder väljs. Det finns beräkningsanalyser av olika nivåer: enkla modeller och mer komplexa beräkningsmodeller.

När det gäller en känd, plötslig vattenskada, till exempel släckvatten från en eldsvåda eller ett rörläckage, bedöms konstruktionernas känslighet för fukt- och mögelskador utifrån ritningarna. Dessutom utreds, i den omfattning som behövs, möjligheterna för vattnet att sprida sig i konstruktionerna både i vertikal och horisontell riktning. Uppgifter om eventuellt redan utförda torkåtgärder och reparationer dokumenteras och beaktas.

Konstruktionerna som presenteras i byggnads- och konstruktionsritningarna bedöms kritiskt utifrån deras byggnadsfysikaliska funktion. Särskild uppmärksamhet fästs vid följande:

- Finns ritningarna (till alla delar)? Beskrivs fukt- och vattenisoleringar i ritningarna eller arbetsbeskrivningarna?
- Har det gjorts upp detaljritningar?
- Är konstruktionen utsatt för markfukt i för stor omfattning?
- Finns risk för luftläckage i konstruktionen?
- Samlar konstruktionen upp regnvatten eller annat vatten?
- Finns dränering? Uppgifterna kan också finnas i VVS-planerna.
- Är konstruktionen arbetstekniskt så svår att utföra att det finns skäl att misstänka att utförandet har misslyckats?
- Innehåller konstruktionen material som på grund av sin ålder utgör skaderisk, och har dessa material redan bytts ut?
- Kräver konstruktionen service- eller underhållsåtgärder, och har dessa åtgärder utförts?

I VVS-planerna kontrolleras bland annat följande:

- placeringen av vattenledningar, avloppsrör och värmeledningsrör i konstruktionerna
- vattenledningarnas, avloppsrörens och värmeledningsrörens ålder
- värmeisoleringar på rör och kanaler
- dränering, uppgifterna kan också finnas i konstruktionsplanerna
- luftomsättning i olika utrymmen
- inställningar för ventilationen (inställningsprotokoll)
- ventilationens driftlägen och deras sannolika inverkan på byggnadens tryckförhållanden
- luftens kontrollerade och okontrollerade flödesvägar i konstruktionerna och byggnaden.

Vid granskning av planerna kan man där det är tillämpligt även använda byggnadsdelsvisa kontrollistor, se punkt 3.2.1.

2.4.2

Platsbesök för utarbetande av undersökningsplan

Oavsett undersökningens utgångsläge bör man alltid genomföra ett separat platsbesök inför utarbetandet av undersökningsplanen, där objektets utrymmen granskas ytligt i den omfattning som avtalats med beställaren. Vid större objekt eller där undersökningsunderlaget är oklart ger platsbesöket en överblick av objektets skick, material och konstruktionslösningar, och preciserar därmed utgångsuppgifterna för utarbetande av undersökningsplanen. I samband med platsbesöket kan även objektets användare, ägare eller servicepersonal intervjuas. Inför platsbesöket rekommenderas det att bekanta sig med tillgängliga ritningar för objektet.

I samband med platsbesöket bör experterna också bedöma byggnaden som en helhet. Om ingen konditionsbedömning har utförts kan byggnadens ägare ha en helt felaktig uppfattning om byggnadens skick. Konditionsundersökaren bör föreslå de utredningar som hen anser vara nödvändiga för byggnadens ägare, om andra byggnadstekniska brister än sådana som är kopplade till inomhusluftproblem upptäcks. Platsbesöket ger också ytterligare information om huruvida det finns behov av att anlita experter från olika fackområden (se avsnitt 1.3).

2.5

Utarbetande av undersökningsplan i olika utgångslägen

Utgångspunkterna för en konditionsundersökning varierar från kartläggning av skador som orsakats av en akut vattenskada till undersökning av komplexa inomhusluftproblem i stora fastigheter. De vanligaste utgångspunkterna framgår nedan i bild 2.2.

I avsnitt 2.5.1–2.5.6 ges anvisningar för att utarbeta en undersökningsplan i olika typer av utgångslägen. Ordningen på de föreslagna undersökningarna och mätningarna kan variera beroende på skadans karaktär.

2.5.1

Förhandsutredning

Behovet av en fukt- och inomhusmiljöteknisk konditionsundersökning fastställs ofta utifrån observationer från en tidigare gjord förhandsutredning.

En förhandsutredning kan vara:

- en grundläggande konditionsbedömning av byggnaden utförd enligt anvisningskortet *KH 90-00535. Asuinkiinteistön kuntoarvio. Kuntoarvioijan ohje* (Rakennustietosäätiö RTS, 2013, sv. Bygginformationsstiftelsen, ny version RT 103003)
- en grundläggande konditionsbedömning av byggnaden utförd enligt anvisningskortet *KH 90-00501. Liike- ja palvelukiinteistön kuntoarvio. Kuntoarvioijan ohje* (Rakennustietosäätiö, 2012a, ny version RT 103097)

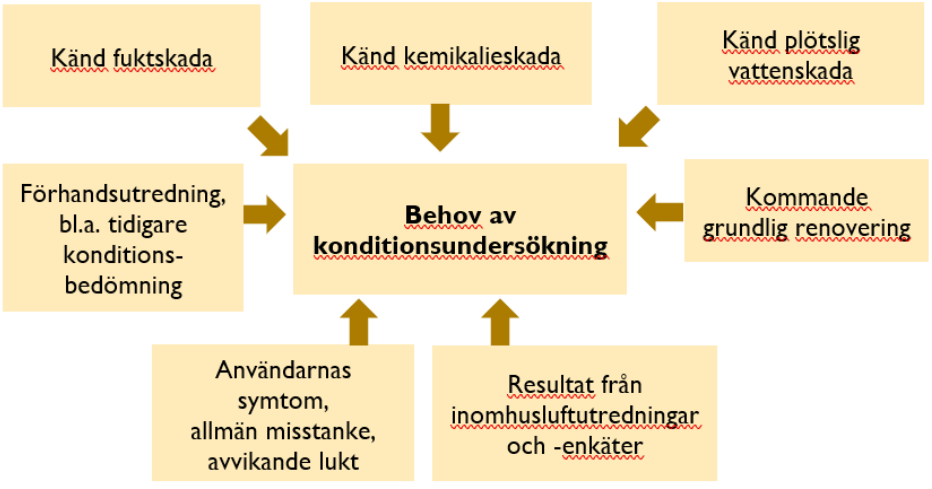


Bild 2.2. Utgångslägen för konditionsundersökning av en byggnad med inomhusluftproblem.

- en besiktning utförd enligt anvisningskortet *KH 90-00394. Kuntotarkastus asuntokaupan yhteydessä. Suoritusohje* (Rakennustietosäätiö RTS, 2007)
- aktiv uppföljning av byggnadens skick av fastighetens användare och servicepersonal
- förebyggande, regelbundet återkommande konditionsbesiktning av fastigheten utförd av fastighets- eller servicebolag
- preliminär riskbedömning där byggnadens fuktteknikska risker har kartlagts med hjälp av ritningar, boende- och användarenkät samt sensorisk granskning
- sammanfattande rapport erhållen ur fastighetsförvaltningssystemet

Om det i förhandsutredningen har framkommit tydliga fukt- och mikrobskador eller risker för fukt- och mikrobskor inne i konstruktionerna, fortsätter man enligt förfarandet för konstaterad fukt- eller mikrobskada (avsnitt 2.5.3). Om det i förhandsutredningen har uppkommit en misstanke om inomhusluftproblem, till exempel på grund av lukt eller symtom hos byggnadens användare, fortsätter man enligt avsnitt 2.5.4.

2.5.2

Känd plötslig fuktbelastning

En känd plötslig fuktbelastning kan till exempel vara ett rörläckage, en översvämning eller släckvatten. I konditionsundersökningen fastställs fuktskadans omfattning och de omedelbara reparationsåtgärderna som krävs. Dessa åtgärder omfattar bland annat rivning och torkning av konstruktioner för att förhindra att byggmaterialen möglar. Fuktskadan kartläggs genom sensorisk granskning och fuktmätningar så snart som möjligt efter läckaget. Konstruktioner öppnas i den omfattning som behövs. I samband med reparationsalternativen presenteras även möjliga förbättringar av konstruktioner eller system för att förhindra att den inträffade skadan, till exempel ett rörläckage, upprepas.

Mögelbildning i byggmaterial i samband med en plötslig vattenskada kan i regel förhindras genom att utföra nödvändiga rivningsarbeten som främjar uttorkning och genom att inleda effektiva torkåtgärder tillräckligt snabbt. Den tid det tar för mikrobiell påväxt att utvecklas beror på fuktnivån, temperaturen och materialet (se kap 6). Vid avloppsvattenläckage kan det vara nödvändigt att genom analys av fekala bakterier avgöra om det vatten som påträffats i till exempel bottenbjälklaget är avloppsvatten eller markfukt.

Undersökningsplanens innehåll och använda mätmetoder

Definition av målen
- fastställa omfattningen av fuktskadan

Utgångsuppgifter
- inträffad fukt- eller vattenskada och hur den har yttrat sig
- tidpunkt för skadan och dess varaktighet
- nödvändiga ritningar och andra handlingar

Preliminär riskbedömning
- Konstruktionerna (material och utförande) fastställs inom det område som blivit utsatt eller möjligen utsatt för fukt.
- Vattnets möjliga vägar inne i konstruktionerna bedöms utifrån ritningar och på plats.
- Risken för mikrobtillväxt och andra fuktskaderisker för konstruktioner som blivit våta eller möjligen blivit våta bedöms.

Möjliga undersökningsmetoder
- sensoriska observationer utan att förstöra konstruktioner
- fukt- och temperaturmätningar
  - på konstruktioners ytor
  - inne i konstruktioner
- öppning av konstruktioner, sensorisk inspektion av konstruktionerna och vid behov mikrobiologisk analys av materialprover

Efter ett akut läckage bör omfattningen av det fuktpåverkade området kartläggas snabbt och noggrant genom fuktmätningar innan konstruktionerna har hunnit torka upp i någon större grad. Om undersökningarna inleds först veckor eller månader efter läckaget, då konstruktioner åtminstone till en del har torkat, blir det betydligt svårare att kartlägga de fuktutsatta och skadade konstruktionsdelarna och det kräver ofta ett stort antal konstruktionsöppningar.

Skadans omfattning och behovet av uttorkning utreds vid analysen av undersöknings- och mätresultaten. Baserat på resultaten presenteras alternativa metoder för rivning, torkning och reparation av konstruktionerna. Alla undersökningsresultat som är relevanta för att fastställa skadans omfattning presenteras i undersökningsrapporten. Efter avslutade undersökningar är det viktigt att omedelbart påbörja torknings- och rivningsarbeten.

2.5.3

Känd fukt- eller mikrobskada

Ett fall med känd fukt- eller mikrobskada kan vara en situation där fukt- och/eller mikrobskadan är känd, men omfattningen och orsaken är okänd, eller att det råder olika uppfattningar om orsaken till fukt- och mikrobskadan och det krävs en konditionsundersökning för att lösa tvisten.

Undersökningen inriktas initialt på de konstruktionsdelar som man vet är skadade. Om undersökningsresultaten tydligt visar att skadan är mer omfattande än beräknat eller att det även finns skador i andra byggnadsdelar, utvidgas undersökningen i motsvarande grad. Omfattningen av mikrobskador fastställs vid behov genom mikrobiella analyser av materialprov i laboratorium.

Undersökningsplanens innehåll och mätmetoder som används

Definition av målen

- fastställa orsakerna till fukt- och mikrobskadan
- fastställa omfattningen av fukt- och mikrobskadan

Utgångsuppgifter

- bruks- och underhållsanvisning (servicebok) och annan information som framkommit under fastighetsskötseln
- nödvändiga ritningar och andra byggrelaterade handlingar
- uppgifter från boende, användare och servicepersonal om problem i byggnaden som tyder på fukt- och mikrobskador

Möjliga undersökningsmetoder

- sensoriska observationer utan ingrepp i konstruktionerna
- boende- och användarenkäter
- konstruktioner öppnas i behövlig omfattning
- fukt- och temperaturmätningar, till exempel
  - av inomhusluft
  - av utomhusluft
  - på konstruktionernas ytor
  - inne i konstruktionerna
  - i kryputrymme
  - i vindsbjälklagets ventilationsutrymme
- lokalisering av luftläckage i byggnadens mantel
- mätning av tryckskillnaden över den undersökta konstruktionen
- provtagning och mikrobiologiska analyser i laboratorium

Orsaken till fukt- och mikrobskadan och dess omfattning samt behovet av uttorkning av konstruktioner fastställs i samband med analysen av resultaten från undersökningar och mätningar. Baserat på resultaten föreslås alternativa metoder för rivning, torkning och reparation av konstruktionerna. Alla undersökningsresultat som är relevanta för att fastställa skadans orsak och omfattning presenteras i undersökningsrapporten.

2.5.4

Avvikande situation, allmän misstanke, lukt eller symptom hos lokalens användare

När byggnadens användare uppvisar symptom som tyder på problem med inomhusluften, när det förekommer avvikande lukter i byggnaden eller när inomhusluftmätningar har påvisat avvikelser, genomförs en konditionsundersökning för att fastställa orsakerna till och omfattningen av problemen. En allmän misstanke kan komma i fråga också om en känd fukt- eller mikrobskada har reparerats, men byggnadens användare fortfarande upplever symtom. Oftast misstänks orsaken till symtom och avvikande lukter vara mikrobskador, men orsaken kan även vara till exempel kemiska emissioner från inredning eller byggnadsmaterial, utsläpp av skadliga ämnen i gamla byggnadsmaterial eller som på annat sätt hamnat i konstruktionerna, eller lukter som tränger in från angränsande lokaler. Bakomliggande orsaker är ofta även bristfällig ventilation samt till exempel hög rumstemperatur.

Allmänna fall av inomhusluftproblem kan kräva omfattande undersökningar innan orsaken till problemet kan påvisas och lokaliseras. Utifrån platsbesöket och den preliminära riskbedömningen bedöms vilka potentiella risker som är förknippade med konstruktionslösningarna, materialen och ventilationssystemet. Med hjälp av dessa uppgifter utarbetas en undersökningsplan och lämpliga undersökningsmetoder väljs. Identifiering av orsaken/orsakerna till problemet kräver nästan undantagslöst byggnadstekniska mätningar, konstruktionsöppningar, mätningar av luftomsättningen och/eller mikrobiologiska analyser. Mätning av föroreningar i inomhusluften kan vara motiverat som stöd för att bedöma exponeringen hos de användare som uppvisar symtom.

Undersökningsplanens innehåll och mätmetoder som används

Definition av målen

- lokalisera eventuella fukt- och mikrobskador samt utreda omfattning, orsaker och påverkan på inomhusluften
- utreda material som avger kemiska emissioner
- utreda förekomst och källor till avvikande damm och fibrer
- bedöma ventilationssystemets renhet och funktion

Utgångsuppgifter

- Rapporter, mätresultat och åtgärdsförslag från hälsoskyddsmyndigheter eller annan aktör som genomfört undersökningar av föroreningar i inomhusluften
- nödvändiga ritningar och andra byggnadshandlingar
- information från boende, användare och servicepersonal om problem och observationer i byggnaden som tyder på fukt- och mikrobskador

Preliminär riskbedömning

- Baserat på ritningar, platsbesök och boende- och användarenkäter bedöms de mest sannolika källorna till problemen, så att undersökningarna kan inriktas på rätt sätt.
- Identifiering av så kallade riskkonstruktioner är viktigt om det inte finns några synliga skador.
- Vid behov används beräkningsanalys för att identifiera kritiska konstruktionslösningar eller så bedöms behovet för beräkningsanalyser som stöd vid tolkning av resultaten.
- Risker relaterade till ventilationssystemet bedöms utifrån systemets ålder, service- och reparationshistoria och observationer från lokalens användare.

Möjliga undersökningsmetoder

- boende- och användarenkäter.
- sensoriska observationer utan att förstöra konstruktioner
- identifiering av brister i yttermantelns vattentäthet
  - viktigt bland annat för att kunna rikta invändiga konstruktionsöppningar rätt.
- konstruktioner öppnas vid behov
  - riskområden
  - kontroll av huvudkonstruktionstyperna för att skapa en översiktsbild av varje konstruktionsdels utförande och skick
- fukt- och temperaturmätningar
  - av inomhusluft
  - av utomhusluft
  - på konstruktioners ytor
  - inne i konstruktioner
  - i krypgrunden
  - i vindsbjälklagets ventilationsutrymme
- identifiering av luftläckageställen i innerskalet av byggnadens yttermantel
- mätningar av tryckskillnaden över konstruktion som eventuellt innehåller föroreningar
- bestämning av luftomsättningen
- undersökning av ventilationssystemets renhet och funktion
- mikrobiella analyser av materialprov
- mätningar av föroreningar i inomhusluften, emissionsundersökningar av ytor och material
- undersökningar av skadliga ämnen i inomhusluft och material

Baserat på resultaten föreslås nödvändiga åtgärder och alternativa metoder för rivning, torkning och reparation av konstruktionerna. Alla resultat som är relevanta för utredningen av skadans orsak och omfattning presenteras i undersökningsrapporten.

2.5.5

Kemikalieskador

De vanligaste orsakerna till kemikalieskador är fel eller funktionsstörningar i tekniska system samt olyckor som beror på lokalernas användningsändamål. När en skada inträffar utreds först vilka produkter/kemikalier som har kommit ut i konstruktionerna. I det *kemikaliespecifika säkerhetsdatabladet* (MSDS = Material safety data sheet) eller i Säkerhets- och kemikalieverket Tukes kemikalieproduktregister (www.ketu.fi/ - ny address kemidigi.fi) finns uppgifter om kemikalier och de ämnen de innehåller.

Utifrån de uppgifter som erhålls från säkerhetsdatabladet eller kemikalieproduktregistret ska en preliminär riskbedömning göras av om kemikalien påverkar lokalernas användningssäkerhet och om den kan skada konstruktionerna. I oklara fall rekommenderas det att kontakta produktens/kemikaliens tillverkare eller importör för mer information.

Om de föreningar som kemikalien innehåller misstänks utgöra risker, måste de kontaminerade konstruktionerna i regel rivas, eller kapslas in om rivning inte är möjligt. Kemikaliehalterna i konstruktionerna kan oftast fastställas genom analys av materialprover. Det rekommenderas att för materialprovtagningen använda en provtagare som är specialiserad på undersökningar av skadliga ämnen. Analyslaboratorier behöver tillgång till säkerhetsdatabladet och uppgifter om hur låg bestämningsgränsen för analysmetoden måste vara, för att kunna välja eller utveckla lämplig analysmetod. För att förbättra analysens tillförlitlighet bör man om möjligt även skicka ett prov av den kemikalie som orsakat skadan till laboratoriet. Många materialtillverkare har också beredskap för att analysera halterna av sina egna produkter i materialprover.

2.5.6

Kommande grundrenovering

Syftet med en grundrenovering är att avsevärt förlänga byggnadens livslängd. Detta görs genom att förnya eller reparera de byggnadsdelar och fastighetstekniska system som har nått slutet av sin tekniska livslängd. Samtidigt utförs ofta planlösningsförändringar, förändring av lokalernas användningsändamål och en omfattande förnyelse av ytskikt. Behov, omfattning och metoder för reparationerna fastställs under grundrenoveringens planeringsfas, bl.a. genom konditionsundersökningar. I detta skede definieras också de åtgärder som krävs för att garantera en god kvalitet på inomhusluften i den renoverade byggnaden. Kostnadsmässigt betydande reparationer som berör inomhusluftkvaliteten är bl.a.:

- byte av värmeisolering och eventuella ångspärrar i den yttre manteln i samband med omfattande tak- och fasadrenoveringar, samt tätning av manteln om isoleringen har omfattande mikrobskador eller är förorenad.
- byte av äldre fukt- och värmeisolering i källarens väggar mot mark samt ombyggnad av konstruktionerna så att de fungerar byggnadsfysikaliskt korrekt.
- fastighetens energirenoveringar.

I projektplaneringsskedet bör man också beakta att de ändringar som görs i konstruktionerna, och speciellt i ventilationssystemet, vid en grundrenovering kan förändra konstruktioner som tidigare fungerat felfritt till riskkonstruktioner ur inomhusluftsynpunkt. Ett typiskt exempel på detta är äldre mellanbjälklag med kvarvarande formsättningsbrädor eller olika slags isolerings- och fyllnadsmaterial, där de ingående föroreningarna kan orsaka problem med inomhusluften efter en renovering, trots att inga problem förekom före renoveringen. Vanligtvis beror uppkomsten av problem på förändringar i konstruktionens täthet och tryckförhållandena över konstruktionen.

I en konditionsundersökning som görs som underlag för en grundrenovering utreds genom konstruktionsöppningar, mätningar och provtagningar utförande, byggnadsfysikalisk funktion och skick hos de konstruktioner som är tänkta att bevaras. Byggnadstillsynen kan i byggtillståndsskedet kräva en utredning om byggnadens skick i dessa avseenden (MarkByggL 132/1999, 131 § och miljöministeriets förordning om planer och utredningar som gäller byggande, utfärdad den 12 mars 2015, 10 §, samt motsvarande anvisning MM3/601/2015, stycke 3.2). I projektplaneringsskedet för en grundrenovering görs vanligen även en omfattande undersökning av skadliga ämnen. I planeringsskedet är det dessutom rekommenderat att bestämma huvuddragen i åtgärderna för renhållning och fukthantering på byggarbetsplatsen under byggtiden.

2.6

Val av undersökningsmetoder

Undersökningsmetoderna väljs utifrån utgångsläget (kapitel 2.5) och den preliminära riskbedömningen (kapitel 2.3). Baserat på dessa uppgifter görs ett mer detaljerat val av konstruktioner och områden som ska undersökas, vilka metoder som ska användas, när undersökningarna ska utföras samt exempelvis mätperiodernas längd. Beroende på situation och undersökningsmetod kan det bli aktuellt att genomföra jämförande undersökningar på områden som antas vara oskadade. Icke-förstörande undersökningar genomförs alltid först, och vid behov verifieras fynden med till exempel fuktmätningar i konstruktionerna eller öppning av konstruktioner. Valet av metoder påverkas väsentligt av de begränsningar som byggnadens användning och konstruktionerna medför. Dessa kan till viss del hanteras genom att välja mättidpunkt i förhållande till när reparationerna inleds. Mätuppställningen får inte förändra konstruktionernas byggnadsfysikaliska beteende.

Konditionsundersökaren ska känna till metoderna för att mäta och utreda olika riskfaktorer.

Det är inte alltid möjligt för ett enskilt företag som erbjuder undersökningstjänster att själv utföra samtliga undersökningar och mätningar som anges i undersökningsplanen. I sådana fall kan dessa beställas från andra tjänsteleverantörer. I offerten som baseras på undersökningsplanen ska det specificeras vilka delar av den övergripande undersökningen som beställs som externa tjänster. Externa tjänster kan vara till exempel kontroll av ventilationens funktion, spårgasmätningar, fuktmätningar i konstruktioner eller termofotografering. Konditionsundersökaren ska endast utföra och låta utföra sådana mätningar vars resultat hen kan analysera, eller om undersökningen beställts av tredje part, tolka som en del av undersökningshelheten.

Vid undersökningar som gäller bostadsutrymmen och deras hälsosamhet rekommenderas det att använda myndighetsgodkända metoder och förfaranden enligt *förordningen om boendehälsa* (SHMf 545/2015) och *Anvisning för tillämpning av förordningen om boendehälsa* (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016). I de fall där förordningen och tillämpningsanvisningen inte behandlar en viss faktor kan även *Anvisning om boendehälsa* (Social- och hälsovårdsministeriet, 2003) och *Asumisterveysopas* (Aurola, R. och Välikylä, T., 2009) tillämpas. Dessutom pågår utarbetandet av en laboratoriehandbok för de mät- och provtagningsmetoder som anges i förordningen om boendehälsa. Förordningen och anvisningarna är förpliktande för hälsoskyddsmyndigheterna och de utomstående sakkunniga som myndigheterna anlitar (se avsnitt 1.3).

Metoder som lämpar sig för bedömning av lokaler av kontorstyp finns bland annat i Arbetshälsoinstitutets publikationer: *Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen* (Arbetshälsoinstitutet, 2016) och *Kooste toimistoympäristöjen epäpuhtaus- ja olosuhdetasoista (rakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto), joiden ylittyminen voi viitata sisäilmasto-ongelmiin* (Arbetshälsoinstitutet, 2016c).

2.6.1

Grunder för val av undersöknings- och mätmetoder

Metoderna för mätning av fysikaliska förhållanden och föroreningar i inomhusluften, liksom metoder förundersökning av emissioner eller skadliga ämnen i material, ska vara validerade och/eller allmänt accepterade för aktuellt undersökningsändamålet. Som stöd för tolkning av undersöknings- och mätresultat ska det finnas tillgång till allmänt accepterade anvisningar och/eller tillämpliga referensvärden att tillgå. Antalet mätpunkter väljs från fall till fall.

Av kostnadsskäl är mätningarnas omfattning ofta begränsad. Man måste då vara medveten om den osäkerhet i resultatet som ett alltför litet antal mätningar eller provtagningar medför.

Den mätutrustning som används ska vara i gott skick och korrekt kalibrerad. I undersökningsplanen anges för ändamålet lämpliga undersöknings- och mätmetoder för följande helheter:

- byggnads- och fukttekniska undersökningar
- undersökningar av ventilationssystem
- undersökningar som utreder föroreningskällor och mätningar av inomhusluftens kvalitet.

2.6.2

Ändamålsenliga mät- och undersökningsmetoder

Typiska byggnads- och fukttekniska undersökningar är bl.a.:

- sensorisk granskning och kartläggning av ytfuktvärden i alla utrymmen som undersöks, inklusive utrymmen utanför brukslokalerna.
- utvändig granskning av byggnaden
- kontroll av konstruktionernas utförande och skick genom konstruktionsöppningar, inklusive nödvändiga analyser av byggnadsmaterialprov
- mätningar inne i konstruktionerna
- mätningar av luft- och värmeläckage
- mätningar i ventilerade byggnadsdelar
- mätningar av markens egenskaper
- kontroll av dräneringens och dagvattensystemets funktion
- övriga specialområden.

I avsnitten nedan förklaras närmare vid vilka tillfällen de viktigaste undersökningsmetoder kan användas. Undersökningarnas genomförande och metoderna beskrivs närmare i kapitel 3.

Sensorisk granskning och kartläggning av ytfukt

Vid en konditionsundersökning genomförs alltid, utan undantag, en sensorisk granskning av utrymmena. Som hjälpmedel används ytfuktmätare och vid behov även spårrök och tryckdifferensmätare. Vid den sensoriska granskningen beaktas bland annat följande:

- ytskikt, deras skick och ålder
- synlig fukt och mikrobiell påväxt, mögelskador, eventuella rötskador
- mögellukt och andra lukter

- riskabla konstruktionslösningar
- luftläckage
- luftomsättning
- ventilers placering och funktion
- förekomst och placering av kanaler, schakt, rörkulvertar, hålrum m.m.
- ändringar i förhållande till planerat
- felaktiga användningsvanor
- brister i underhåll och skötsel
- emissioner från byggnadsmaterial eller förvarade saker
- yttemperaturer.

En ytfuktkartläggning utförs alltid åtminstone på yttermantelns riskområden (bl.a. bottenbjälklag mot mark, nedre delar av ytterväggar, nedre delar av innerväggar som når ner till grunden och områden av mellanbjälklag intill ytterväggen) och i närheten av vattenuttag.

Även byggnadsdelar inne i byggnaden men utanför brukslokalerna, såsom vindsutrymmen, kryputrymmen, utrymmen under trappor samt rörkulverter och -gångar, bör alltid kontrolleras vid en mer omfattande konditionsundersökning.

Byggnadens utvändiga granskning

Det är också mycket viktigt att göra en sensorisk granskning på utsidan av byggnaden. Brister i yttertakets och fasadernas vattentäthet samt brister i avledning av regn- och ytvatten är typiska orsaker till problem och måste identifieras.

Genom att undersöka dräneringens funktion och vid behov utföra kontrollmätningar kan man bedöma fuktbelastningen från marken mot grundkonstruktionerna. Dräneringens funktion kan bedömas utifrån hur väl de ursprungliga planerna stämmer och dräneringssystemets skick. Det rekommenderas att åtminstone översiktligt kontrollera om dränerings- och dagvattensystemet existerar och i vilket skick de är. Om det vid den preliminära riskbedömningen eller i samband med observationer på plats upptäcker betydande brister som kan vara kopplade till ett bristfälligt fungerande dränerings- och dagvattensystem, ska systemets skick undersökas grundligt, t.ex. genom filmning av systemet.

Konstruktionsöppningar och materialprovtagning

Metoder som används:

- borrning, sågning, bilning; lösgörning av plattsättning, plåtbeklädnad m.m.
- Sensorisk granskning av konstruktioners inre delar, identifiering av material, dokumentering av konstruktionstyper och detaljer
- Vid behov materialprovtagning från öppnade konstruktioner:
  - mikrobanalys
  - analys av skadliga ämnen: asbest, PAH, PCB, oljekolväten, klorfenoler, tungmetaller
  - bestämning av emissioner av flyktiga organiska föreningar (VOC) från material
  - bestämning av emissioner av andra föreningar ur materialprov (bl.a. ammoniak, formaldehyd)

Varför och när görs det?

- När det vid invändig granskning observeras avvikelser som tyder på skador inne i konstruktionen.
- Om det finns misstanke om felaktigt utförande, riskkonstruktioner (t.ex. falsk sockel) eller känt vattenläckage.
- Särskilt i äldre byggnader rekommenderas det att kontrollera att huvudkonstruktionstyperna överensstämmer med ritningarna, åtminstone genom provborrning och inspektion med endoskop.
- Skador på material kan ofta konstateras sensoriskt, men i oklara fall laboratorieanalyser ofta nödvändiga.

Fuktmätning i konstruktioner

Metoder som används:

- borrhålsmätning
- provbitsmätning
- snittmätning
- torkning-vägning av materialprov
- kortvariga fuktmätningar inne i konstruktionen, oftast i isoleringsutrymmet
- mätning av materialets fukthalt med s.k. stiftmätare

Varför och när görs det?

- När det finns misstanke om att en viss byggnadsdel kan vara utsatt för onormal fuktbelastning. Mätningar görs i riskområden, där det kan förekomma höga fukthalter, och i ett referensområde där man förväntar sig normalförhållanden.

- När man vill utreda konstruktionens fukttekniska funktion.
- Mätpunkterna väljs ut utifrån sensorisk granskning, ytfuktkartläggning och granskning av konstruktionstyperna.
- Fuktmätningar kan utföras som riktgivande mätningar om man är medveten om metodens mätnoggrannhet och den accepteras.
- Avvikelser som observeras i ytfuktkartläggningen kontrolleras med fuktmätningar i konstruktionen.

Undersökning av täthet och transport av föroreningar

Metoder som används:
- mätning av tryckförhållanden
- termofotografering
- spårgasmätning
- undersökningar med spår- och renrök
- vattentäthetsprov
- bestämning av byggnadsmantelns täthet och luftläckagetal q50

Varför och när görs det?
- När det misstänks att föroreningar inne i konstruktionerna transporteras till inomhusluften på grund av otätheter i konstruktionerna och/eller undertryck.
- När man vill lokalisera riskpunkter för luftläckage och fuktkonvektion.
- Bedömning av föroreningstransport förutsätter alltid mätning av tryckförhållandena över konstruktionen, eftersom de påverkar mängden luftläckage. En långtidsmätning under 1–2 veckor rekommenderas.
- För att bedöma hela byggnadens luftläckagerisker ska tryckskillnader mätas inom områden som betjänas av olika delar av ventilationssystemet, samt från olika väderstreck och våningar, eftersom tryckskillnadens storlek påverkas förutom av ventilationen även av vind, temperaturskillnader och den naturliga skorstenseffekten.
- Termofotografering används för att upptäcka värme- och luftläckage då temperaturskillnaden mellan inne och ute är tillräckligt stor och utomhusförhållandena är gynnsamma för mätning, vanligen vintertid. Termofotografering används särkilt vid utredningar, när man vill bedöma underhållsbehovet för konstruktionerna eller förbättra fastighetstekniska system. Fuktskador kan upptäckas med termofotografering endast i speciella fall där förhållandena är lämpliga.
- En värmekamera kan även användas i samband med andra undersökningar, till exempel för att lokalisera värmekablar och för kvalitetssäkring under byggskedet.
- Spårgasmätningar är lämpliga när man behöver lokalisera exakta platser för luftläckage i konstruktioner och luftläckagens storlek. Dessutom kan spårgasmätningar användas som kvalitetssäkringsmetod under byggtiden.
- Spårrök används vanligtvis som stöd för sensoriska observationer vid bedömning av luftflödens riktningar och styrkor.
- Ren rök kan även användas för att undersöka tätheten för stora utrymmen, till exempel genom att släppa in rök i bottenbjälklaget och se om läckage kan observeras till exempel i byggnadsdelens fogar. Ren rök kan även användas för att undersöka rummets luftfördelning och luftens rörelser.
- Vattentäthetsprov utförs typiskt på byggnadsdelar som kräver vattentäthet (bassänger, yttertak, altaner).
- Bestämning av luftläckagetalet q50 görs vanligen för att upprätta energicertifikat för en nybyggnad. I samband med täthetsmätningar kan mer exakta luftläckagepunkter lokaliseras, till exempel med hjälp av värmekamera.

Mätningar av inomhusluftförhållanden och inomhusluftens föroreningar

Metoder som används:
- mätning av relativ fuktighet och temperatur
- mätning av koldioxidhalt
- mätning av kolmonoxidhalt
- mätning av kväveoxidhalter (NO_2)
- mätning av partikelhalter (totala mängden svävande partiklar dvs. TSP, PM_{10} och $PM_{2,5}$)
- mikrobiologiska prover från inomhusluften
- mätning av damm och fibrer
- bestämning av halten lättflyktiga organiska föreningar (VOC) i inomhusluften
- bestämning av andra gasformiga föroreningar i inomhusluften
  - ammoniak, formaldehyd, radon
- bestämning av skadliga ämnen i inomhusluften (eller i damm)
  - asbest, PAH, PCB, oljekolväten, klorfenoler, metaller

Varför och när görs det?

- Mätningar av inomhusluftsklimatet (temperatur och relativ fuktighet) är grundläggande mätningar i en konditionsundersökning och genomförs även i samband med andra mätningar, till exempel vid fuktmätningar i konstruktioner. Mer omfattande mätningar av klimatförhållandena kräver långvariga mätningar, vars resultat kan användas för att bedöma bland annat fukttillskottet inomhus, temperaturförhållanden och fastighetstekniska systemens funktion. Innan man påbörjar långtidsmätningar eller provtagningar rekommenderas det alltid att grovt kontrollera luftflödet vid ventiler, till exempel med hjälp av spårrök, samt mäta tryckskillnader över byggnadens yttermantel med en kortvarig mätning.
- Koldioxidhalten mäts typiskt i situationer där man vill bedöma ventilationens tillräcklighet under lokalens användning. Vid val av antal mätningar och mätpunkter bör man beakta bland annat lokalernas användning och belastning samt ventilationens kapacitet. Lokalens användning kan ha ändrats från den ursprungliga funktionen. Koldioxidhalten ger en god indikation på upplevd instängdhet, mängden emissioner från människor och fukttillskottet från användarna till inomhusluften. Rekommendationen är att utföra mätningarna som långtidsmätningar under minst flera dygn.
- Kolmonoxid och/eller kväveoxider mäts när man misstänker att förbrännings- eller avgaser från förbränningsprocesser (t.ex. uppvärmning, fordon, andra maskiner med förbränningsmotorer) läcker in i inomhusluften. Kolmonoxid kan också ansamlas i dåligt ventilerade träpelletsförråd och transporteras genom konstruktionerna till angränsande utrymmen.
- Mätning av partikelhalter i inomhusluften kan behövas när:
  - det misstänks finnas betydande partikelkällor i utrymmet
  - det misstänks att betydande mängder partiklar tränger in till utrymmet utifrån på grund av otillräcklig filtrering av tilluften eller av annan orsak.
- Mikrobiologiska prover från inomhusluften är inte en undersökningsmetod som används i första hand, utan avsikten med proverna är att komplettera andra undersökningsmetoder. Med dessa prover kan man, under vissa förutsättningar, bedöma den mikrobiologiska kvaliteten på inomhusluften vid provtagningstillfället. Resultatet kan ge information om en eventuellt avvikande inomhusluftkvalitet och kan bidra med att lokalisera mikrobkällan till en viss byggnadsdel.
- Mätning av damm och fibrer används när:
  - det finns misstanke om avvikande damm- och fiberkällor i konstruktionerna eller ventilationssystemet baserat på användarnas symtom
  - man vill utreda sammansättningen och ursprunget för observerat damm
  - man vill fastställa om städnivån i byggnaden är tillräcklig i förhållande till hur snabbt dammbildning sker
  - man vill kontrollera om dammhanteringen under renoveringsarbeten har varit tillräcklig
- Mätning av VOC-halter i inomhusluften utförs om det till exempel på grund av avvikande lukt och/eller upplevda symtom finns skäl att misstänka att onormala mängder eller slag av föreningar avges eller transporteras från byggnadsmaterialen till inomhusluften. Det bör noteras att VOC-undersökningar inte omfattar alla möjliga gasformiga föroreningar och normalt inte är en tillräcklig metod i sig för att verifiera en inomhusluftolägenhet eller skada.
- Mätning av andra gasformiga föroreningar utförs vid behov, vanligtvis endast när utgångsuppgifterna ger anledning att misstänka deras närvaro. Till exempel mäts radonhalten i inomhusluften på områden med radonrisk eller när man misstänker att det finns en radonkälla i byggmaterialen. I radonområden tyder förhöjda radonhalter i inomhusluften på otätheter i bottenbjälklagskonstruktionen, vilket även kan innebära att andra markföreningar tränger in i inomhusluften.
- Mätningar av skadliga ämnen ur inomhusluft och/eller damm kan vara nödvändigt om:
  - byggnadens uppförandetid eller annan bakgrundsinformation ger skäl att misstänka att byggnadsmaterial innehåller ämnen klassificerade som skadliga, som kan påverka inomhusluften under användning, exempelvis trasiga rörisoleringar eller skivmaterial som innehåller asbest i inomhusmiljö, samt PAH-föreningar som avges från äldre vattenisoleringsskikt.

- det finns anledning att misstänka att damm med skadliga ämnen har spridits utanför rivningsområdet vid arbete med material som innehåller sådana ämnen
- det är känt eller misstänks att kemikalieolyckor inträffat under byggnadens livstid, till exempel läckage från oljecisterner.

Kontroll av ventilationssystemet

Metoder som används:

- kontroll av systemets funktion, skick och renhet
  - ventilationsaggregat, kanaler, ventiler och andra delar av systemet
  - överensstämmelse med planer
- mätning av luftflöden (särskilt för att säkerställa att tilluftsflödet är tillräckligt)
- kontroll av inställningar och driftstider
- kartläggning av källor till industriella mineralullsfiber
- mätning av tryckförhållanden
- mätning av inomhusluftens koldioxidhalt

Varför och när görs det?

- Speciellt i äldre byggnader rekommenderas det att alltid göra en grundläggande undersökning av ventilationssystemet i samband med en fukt- och inomhusmiljöteknisk konditionsundersökning, eftersom bristfällig ventilation ofta förvärrar inomhusluftproblem som orsakas av andra faktorer.
- Kontroll av ventilationssystemets renhet bör utföras om människor som vistas i byggnaden får symtom som tyder på inomhusluftproblem, om konstruktioner är nedsmutsade i närheten av ventiler eller när ett nytt eller reparerat system tas i bruk.
- Luftflöden behöver mätas när lokalens användning har ändrats från det ursprungliga, när inomhusluften upplevs som instängd eller när höga koldioxidhalter har uppmätts i lokalen.
- Mätning av tryckskillnader i samband med ventilationsundersökningar kan klarlägga om ventilationssystemet fungerar enligt plan och i enlighet med sitt användningsändamål, och inte utsätter byggnaden för alltför stort övertryck (med undantag för byggnader konstruerade för övertryck såsom ishallar), eller alltför stort undertryck. Den bästa bilden av tryckskillnaderna fås genom att utföra långtidsmätningar.
- Koldioxidmätningar görs i samband med ventilationsundersökningar, såvida sådana inte har gjorts i samband med inomhusluftmätningar (se mätningar av inomhusluftförhållanden och inomhusluftens föroreningar).

2.6.3

Tidpunkt och varaktighet för mätningar

Tidpunkten och varaktigheten för mätningarna påverkar tillförlitligheten i analysen av mätresultaten. Ju kortare mätperioden är, desto noggrannare måste tidpunkten för mätningen väljas och desto mer kunskap krävs det om inomhusmiljöns och konstruktionernas byggnadsfysikaliska funktion för att säkerställa att mätningen är representativ och, vad gäller konstruktionsmätningar, avspeglar konstruktionens verkliga beteende under de mest kritiska förhållandena ur fuktskade- och övriga riskperspektiv.

Byggnadens användning, tiden på dygnet och årstiden påverkar mätresultaten. Effekten av dessa faktorer på olika konstruktioner, fukttransportmekanismer och föroreningskällor måste därför vara kända för att mätresultaten ska kunna analyseras korrekt. Lämpliga längder på mätperioder för olika fysikaliska faktorer kan i grova drag delas in på följande sätt:

- krav som mätutrustningen ställer: den kortaste mätperioden är den tid som utrustningen behöver för att stabilisera sig i mätsituationen (t.ex. fuktmätningar)
- krav som tiden på dygnet ställer: den kortaste mätperioden är ett dygn (t.ex. inomhusluftens koldioxidhalt, inomhusluftförhållanden och tryckskillnader)
- krav som byggnadens normala användning ställer: mätperiodens längd är, beroende på byggnadens användningsändamål och driftstiderna för mekanisk ventilation, 1–7 dygn (t.ex. övervakning av tryckskillnader)
- krav som ställs av årstiderna: flera mätperioder under olika årstider, med hänsyn till när skadan eller problemet visar sig (t.ex. mätning av fukt och klimatförhållanden)

Vid tillämpning av riktgivande längder på mätperioder kan man utifrån mätresultaten bedöma den längd på mätperioden som behövs för att försäkras om rätt skademekanism.

Tidpunkt

Fysikaliska faktorer

Byggnaders fukttekniska beteende påverkas av yttre och inre förhållanden såsom temperatur, relativ fuktighet, vind och solstrålning. Till exempel varierar utetemperaturens och den relativa fuktighetens nivå, variationer och förändringshastigheter mellan olika årstider. I bild 2.3 visas ett exempel på variationer i utomhustemperatur och relativ fuktighet. Under vintern är temperaturen låg och den relativa fuktigheten hög, samtidigt som variationerna och ändringshastigheterna vanligen är små. Under våren och sommaren är variationerna och ändringshastigheterna vanligen stora. Utomhusförhållandenas variation beskrivs närmare i avsnitt 6.3.

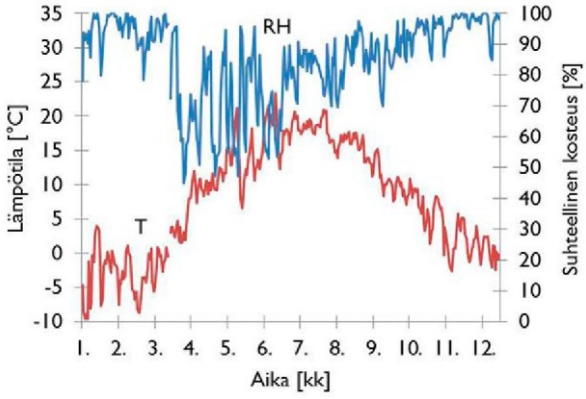


Bild 2.3. Exempel på variationer i utomhusluftens förhållanden under ett års tid vid en mätplats nära havet i huvudstadsregionen Bild: Vahanen Oy.

På grund av de små variationerna i utomhusförhållandena och den låga temperaturen är vintern en mer pålitlig tid att mäta det fuktttekniska beteendet för en byggnad och konstruktioner. Analysen av mätresultat från mätningar under vintern är i regel enklare. På sommaren orsakar solstrålningen vanligtvis kraftiga dygnsvariationer, både i utomhusluften och i de konstruktioner som ligger bakom ytor uppvärmda av strålningen. Analysen av mätningar som gjorts under perioder med stora variationer i klimatförhållanden kräver i allmänhet användning av mer avancerade och krävande analysmetoder.

Bild 2.4 visar ett exempel på mätresultat för temperatur och relativ fuktighet vid anslutningen mellan bottenbjälklag och grundmur under ett års mätperiod.

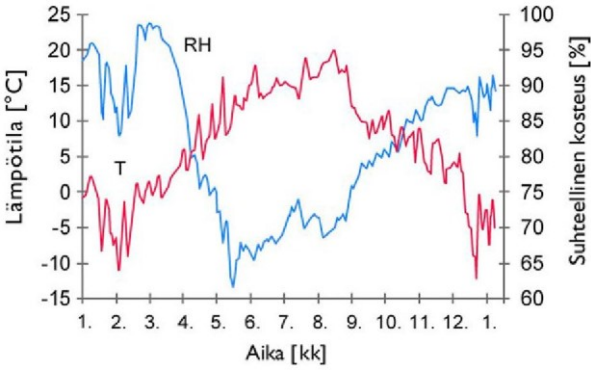


Bild 2.4. Temperatur och relativ fuktighet vid anslutningen mellan bottenbjälklag och grundmur under ett års mätperiod. TKK, Talonrakennustekniikan laboratorio. Bild: Miljöministeriet 1997a.

Exemplet i bild 2.4 visar hur stora skillnaderna i konstruktionens förhållanden kan vara mellan olika årstider. I exempelfallet varierar den relativa fuktigheten från sommarens 62 % till vinterns 98 %, vilket bör beaktas vid analys av kortvariga mätresultat. Även andra faktorer som kan påverka mätresultaten måste beaktas, till exempel kan ventilationssystemet orsaka en förändring av tryckförhållandena, vilket snabbt kan förändra den relativa fuktigheten i bottenbjälklaget.

Årstidens inverkan på konstruktionen beror på konstruktionslösningen, konstruktionens placering i byggnaden och dess värme- och fuktttekniska egenskaper. Årstidens betydelse för val av mättidpunkt beror på den sannolika orsaken till fukt- och mikrobskadan enligt följande:

- om skadans orsak är fukt transporteras genom diffusion eller fuktkonvektion, är den rekommenderade mättidpunkten vanligen den kalla årstiden
- om skadans orsak är kapillär transport av vatten från marken, är den rekommenderade mättidpunkten när grundvattennivån är som högst; tidpunkten beror på hur regn- och torrperioder ligger i tid.
- om skadans orsak är vatten som transporteras pga. gravitationen, är den rekommenderade mättidpunkten den varma årstiden och regnperioder samt, för grund- och källarkonstruktioner, under tjällossningen.

- om orsaken till skadan är en plötslig vattenskada har årstiden ingen betydelse.

Om flera av ovan nämnda faktorer påverkar uppkomsten av konstruktionens skador, och man vill genomföra mätningarna samtidigt, måste man vid valet av mättidpunkt göra en kompromiss för någon av fukttransportmekanismerna. Detta kan delvis beaktas genom beräkningsanalyser.

Inomhusluftens föroreningar

Som utgångspunkt mäts inomhusluftens föroreningar under förhållanden som motsvarar lokalens normala användning. Då återspeglar mätresultatet de exponeringsnivåer som personer i lokalen utsätts för. Rörelse i lokalen påverkar bland annat uppvirvling av sedimenterat damm och höjer i allmänhet till exempel halterna av partikulära föroreningar. Vid bedömning av föroreningar som härstammar från konstruktionerna avlägsnas felkällor som uppenbart försvårar tolkningen av resultaten. Sådana är till exempel jordiga eller mögliga livsmedel vid mikrobmätningar, eller parfymer, luftrenare och rengöringskemikalier vid VOC-mätningar.

Vid mätning av inomhusluftens föroreningar bör även följande faktorer beaktas:

- Byggnadens och ventilationssystemets varierande användning under olika tider på dygnet och olika veckodagar påverkar halten av föroreningar i inomhusluften. Provtagning bör göras under normala användningsförhållanden.
- Under växtsäsongen (vår, sommar och framför allt höst) är halten av mikrobsporer i utomhusluften mycket hög, vilket gör det svårare att dra slutsatser och kan göra det omöjligt att observera avvikande mikrober i inomhusluften.
- Kemiska emissioner från material påverkas av luftens fuktighet och temperatur, och till exempel VOC-halterna i inomhusluften är lägre under vintern.

Varaktighet

Längden på mättiden för byggnadsfysikaliska mätningar påverkas av bl.a.:

- om mätningarna kan utföras under den årstid som är optimal för fukttransportmekanismen
- konstruktionernas värme- och fuktekniska tröghet
- den sannolika skademekanismen.

Om mätningarna utförs under den årstid som är optimal med avseende på fukttransportmekanismen, kan man i regel använda korta mätperioder. I annat fall måste mätperioden vara så lång att resultaten kan analyseras på ett tillförlitligt sätt. Som stöd vid granskning av resultaten kan man vid behov använda beräkningsanalyser, där resultaten från de utförda mätningarna utgör ingångsdatan.

I massiva konstruktioner, till exempel betong- och tegelkonstruktioner, sker temperatur- och fukt förändringar långsamt, vilket möjliggör korta mätperioder. I lätta konstruktioner, till exempel träkonstruktioner, måste mätperioden vara tillräckligt lång.

Av skademekanismerna orsakar fuktkonvektion och gravitationsdriven vattenrörelse snabba temperatur- och fuktförändringar i konstruktionerna, vilket förlänger den nödvändiga mätperioden. Å andra sidan, eftersom byggnadens tryckförhållanden har stor inverkan på fuktkonvektionen, kan en förlängning av mätperioden inte helt kompensera för betydelsen av den optimala årstiden, i detta fall vinter, för mätningarnas tillförlitlighet.

Längden för kontinuerliga mätperioder är vanligtvis 1–7 dygn och i vissa fall även längre. Kortvariga mätningar används med eftertanke och deras tillförlitlighet bedöms när resultaten granskas. Till exempel är den tryckskillnad över en konstruktion som orsakas av ett mekaniskt ventilationssystem i praktiken oberoende av årstiden, men kan variera betydligt under dygnet De tryckskillnader som då uppstår över konstruktionerna kan variera med upp till tiotals Pascal. I bild 2.5 visas resultaten från mätningar av tryckskillnader mellan ett inomhusutrymme och krypgrund under en veckas mätperiod. Rummet har övertryck när tryckskillnaden är positiv. Under arbetsdagen har rummet övertryck i förhållande till krypgrunden och undertryck under övriga tider. Mätresultaten i bild 2.5 visar också veckoslutet 25–26.5 då rummet hade undertryck.

Det bör observeras att i exempelfallet skulle slutsatserna om byggnadens byggnadsfysikaliska funktion vara felaktiga om tryckskillnaden endast mättes momentant under arbetsdagen eller under ett enda dygn.

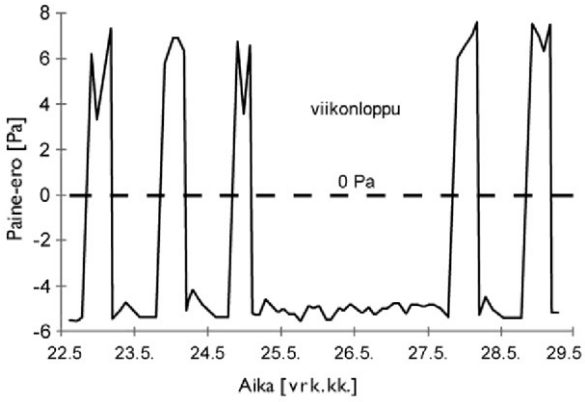


Bild 2.5. Tryckskillnaden mellan inomhusutrymme och krypgrund under en vecka. Inomhusutrymmet har övertryck i förhållande till krypgrunden när tryckskillnaden är positiv.

Vid val av mätperiod för föroreningar i inomhusluften är en lång insamlingstid att föredra för att utjämna variationerna i föroreningshalterna. Insamlingstiden begränsas dock av flera faktorer. En typisk faktor är provtagningsutrustningens egenskaper. Till exempel sjunker uppsamlingskapaciteten hos en Andersen 6-sekvensimpaktor, som används vid mikrobmätningar av inomhusluft, efter 10–15 minuters provtagning på grund av att odlingsplattornas yta torkar. Provtagningstiden begränsas också av praktiska arrangemang på undersökningsplatsen samt av kostnadsskäl; flera timmars provtagning ökar kostnaderna, till exempel på grund av behovet av parallella provtagningsinstrument. Eftersom provtagningsutrustning oftast inte kan lämnas obevakade vid provtagningsplatsen, tillkommer även kostnader för provtagarens närvaro och ”väntetid” vid provtagningen. Enskilda mätningar av inomhusluften visar endast situationen vid mättillfället och ger inte ett tillförlitligt underlag för att dra slutsatser om inomhusklimatet.

Långtidsmätningar

Byggnadsfysikaliska mätningar som görs i samband med konditionsundersökningar kan vara kortvariga, riktgivande engångsmätningar, eller långvariga lagrande mätningar, så kallad dataloggning. Långtidsmätningar utförs typiskt av bland annat luftens temperatur och relativa fuktighet, inomhusluftens koldioxidhalt, radonhalt (riktgivande mätning) och tryckskillnader.

Utrustningar för långtidsmätningar har en givare eller sensor för den storhet som mäts och lagring av uppgifterna (t.ex. datalogger). Numera finns även trådlösa monitoreringssystem och dataloggrar på marknaden.

Mätresultaten samlas in i elektronisk form och överförs till dator. Mätresultaten kan behandlas till exempel med kalkylprogram. Maximal längd på mätperioden beror på lagringsintervallet och minneskapaciteten.

2.7

Val av mätutrustning och deras tillförlitlighet

Vid planering av en undersökning strävar man efter att välja mätmetoder som är tillräckligt tillförlitliga för att fastställa orsaken till skadan, vilket också gör det möjligt att beakta ekonomiska faktorer på bästa sätt. Undersökaren bör ha en mångsidig och tillräckligt omfattande utrustning för att kunna utföra ändamålsenliga mätningar i tillräckligt stor omfattning. Om konditionsundersökaren inte har tillgång till lämplig mätutrustning, utförs mätningarna som externa tjänster. Onödiga eller felaktiga mätningar ska aldrig utföras bara för att någon mätutrustning finns tillgänglig. Valet av mätutrustning och mätmetod samt grunderna för valet av mätpunkter ska också beskrivas i rapporten.

Den nödvändiga mätnoggrannheten påverkas av komplexiteten hos det fenomen som ska utredas och betydelsen av mätresultatet. Det bör beaktas att även med de mest noggranna mätinstrumenten fås inte tillräckligt noggranna resultat om mätningen utförs på fel sätt. Å andra sidan kan ibland även mycket grova metoder ge tillräcklig information. Vid val av mätutrustning beaktas också den mätta storhetens eventuella förändringshastighet, varvid man väljer antingen engångsmätning, upprepad mätning vid flera tidpunkter eller kontinuerlig mätning, beroende på syftet.

Ett mätresultat innehåller nästan alltid en viss grad av osäkerhet. Detta innebär att mätresultatet, på grund av mätinstrumentet eller metoden, provtagningen eller analysen av proverna, kan avvika från den verkliga halten eller nivån hos den uppmätta storheten. För att mätresultatet ska vara så korrekt som möjligt måste mätningar och provtagningar utföras enligt anvisningarna. Noggrannheten och tillförlitligheten hos mätningen kan förbättras med parallella mätningar (detta minskar slumpmässigt mätfel orsakat av mätinstrumentet och mättillfället) och genom att upprepa mätningen på olika platser eller vid olika tidpunkter (detta minskar den mätta storhetens onoggrannhet på grund av lokal och tidsmässig variation).

Inte ens genom att upprepa mätningarna kan man minska systematiska fel som orsakas av till exempel okalibrerad mätutrustning eller av att mätningen konsekvent utförs på ett felaktigt sätt.

Konditionsundersökaren bör känna till den använda mätutrustningens mätprincip och de osäkerhetsfaktorer som är förknippade med den, så att resultaten kan analyseras korrekt (se även avsnitt 4.2.2). Mätaren bör kunna bedöma mätningens riktighet under mätningens gång. Till exempel ska riktigheten av tryckskillnadsmätningens riktning vid behov kontrolleras med spårrök. Mätresultatet jämförs alltid med de randvillkor som konstaterats under mätningen, eller till exempel jämförs fuktmätningsresultat från olika djup med varandra.

Mätutrustning ska underhållas och kalibreras enligt tillverkarens anvisningar. Tillverkarna anger nödvändiga kalibreringsförfaranden i dokumentationen för produkten. Kalibrering av mätutrustning utförs vanligen hos en extern aktör, såvida inte den som utför mätningarna har egen lämplig kalibreringsutrustning för att uppnå tillräcklig noggrannhet. Mätutrustningens funktion och noggrannhet kan påvisas med ett kalibreringsintyg. Mätaren ska mellan kalibreringarna bedöma utrustningens stabilitet genom att till exempel regelbundet placera fuktmätningssensorer i samma fukthalt och jämföra avläsningarna mellan sensorerna. Utrustning som fungerar avvikande ska tas ur bruk och skickas för kalibrering eller service.

3 Undersökningens genomförande

Vid undersökningar som gäller bostadsutrymmenas hälsosamhet är det rekommenderat att använda metoder som är godkända av myndigheterna och förfaranden som anges i *förordningen om boendehälsa* (SHMf 545/2015) och *Anvisning för tillämpning av förordningen om boendehälsa* (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016). Till den del någon faktor inte nämns i förordningen och tillämpningsanvisningen kan även *Anvisning om boendehälsa* (Social- och hälsovårdsministeriet, 2003) och *Asumisterveysopas* (Aurola, R. och Välikylä, T., 2009) tillämpas. Dessutom pågår utarbetandet av en laboratoriehandbok för de mät- och provtagningsmetoder som anges i förordningen om boendehälsa. Förordningen och anvisningarna är förpliktande för hälsoskyddsmyndigheter och utomstående sakkunniga som myndigheterna anlitar (se avsnitt 1.3).

Metoder som lämpar sig för bedömning av kontorsliknande utrymmen finns bland annat i Arbetshälsoinstitutets publikationer: *Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen* (Arbetshälsoinstitutet, 2016) och *Kooste toimistoympäristöjen epäpuhtaus- ja olosuhdetasoista (rakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto), joiden ylittyminen voi viitata sisäilmasto-ongelmiin* (Arbetshälsoinstitutet, 2016c).

3.1

Kontroll av konstruktionernas utförande

3.1.1

Kontroll och dokumentation av konstruktionstyper

Innan undersökningar utförs på plats klarläggs de konstruktionsskikt som ska undersökas så långt som möjligt utifrån de ritningar som finns tillgängliga som utgångsuppgifter.

Det bör noteras att alla konstruktionstyper inte nödvändigtvis framgår ur de nyaste ritningarna, varför det är viktigt att även ha tillgång till de ursprungliga planerna. Om ritningar inte finns tillgängliga måste konstruktionstyperna kontrolleras på plats genom konstruktionsöppningar. Överensstämmelsen mellan ritningarna och konstruktionernas utförande kontrolleras enligt behov även genom observationer från byggnadens in- och utsida samt genom konstruktionsöppningar för att kunna bedöma konstruktionernas fysikaliska funktion och materialens skadestatus.

Konstruktionstypernas material och skikttjocklekar redovisas som ett eget avsnitt i undersökningsrapporten. Dessutom bör det i undersökningsrapporten anges i vilka utrymmen och på vilka platser eventuella kontroller har utförts, samt vilka observationer och avvikelser från ritningarna som konstaterats vid konstruktionsöppningarna.

3.1.2

Identifiering av material

Identifiering av byggnadsmaterial i samband med en konditionsundersökning är viktigt för att kunna bedöma konstruktionens värme- och fuktttekniska funktion, skadekänslighet, eventuella materialemissioner och skadliga ämnen samt möjligheten att reparera konstruktionsdelen och reparationsmetoderna. Identifiering av material grundar sig i allmänhet på byggnadstiden, materialets utseende, användningsändamål, konditionsundersökarens erfarenhet och referenslitteratur.

Som stöd för identifiering av material finns i bilaga 2 beskrivningar av mer sällsynta byggnadsmaterial som använts under tidigare decennier. I slutet av bilagan finns en lista på referensverk som kan användas som stöd vid undersökning av ovanligare material och äldre konstruktioner.

En omfattande presentation av nyare byggnadsmaterial finns i publikationen *RIL 255-1-2014. Rakennusfysiikka I. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset* kapitel 5 (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2014, sv. Finlands byggnadsingenjörers förbund rf).

Identifiering av material som innehåller skadliga ämnen är en väsentlig del av planeringen av reparations- och rivningsarbeten. Det finns mängder med olika byggnadsmaterial som innehåller skadliga ämnen och det kan vara mycket utmanande att identifiera och analysera materialen. Därför bör man i mera omfattande reparationsprojekt låta en sakkunnig expert göra en undersökning av skadliga ämnen redan i projektplaneringsskedet. Utifrån en professionell undersökning av skadliga ämnen kan man planera rätt lösningar för att hantera flyktiga och dammande skadliga ämnen, precisera frågor som rör arbetssäkerheten och styra sorteringen och slutförvaringen av det rivningsavfall som uppstår. I RT-kortet *RT 20-11160. Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet - Tutkijan ohje* (Bygginformationsstiftelsen RTS, 2014; ny version RT 103501) finns en omfattande lista över byggnadsmaterial med skadliga ämnen, inklusive produktnamn och anvisningar för beställning av analys.

3.1.3

Identifiering av materialegenskaper

Vid en konditionsundersökning är det viktigt att känna till materialens grundläggande egenskaper, eftersom dessa utgör grunden för att kunna bedöma konstruktionens byggnadsfysikaliska funktion. Vanliga materialegenskaper är bl.a. värmeledningsförmåga, ånggenomgångsmotstånd, luftgenomsläpplighet, materialets jämviktsfukthalt och kapillaritet samt motståndskraft mot mikrober. Mer information om bedömning av materialegenskaper finns bland annat i publikationerna *RIL 255-1-2014. Rakennusfysiikka I. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2014), *RIL 250-2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011b; ny version RIL 250-2020), *Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona* (Vinha J., m.fl., 2005), samt i publikationerna *Kosteusvirtatutkimus* (Lindberg R., ym., 2002) och *Fukthandbok* (Nevander L., och Elmarsson B., 2011) samt materialleverantörernas mätningsmaterial.

Materialegenskaper mäts främst i samband med undersökning av bärande konstruktionsdelar och fasader. I en fuktteknisk konditionsundersökning utreds närmast fyllnadsjordens kapillaritet och kornstorleksfördelning. Med hjälp av dräneringsskiktets tjocklek, kapillära egenskaper och kornstorlek kan man bedöma hur vattnets kapillära stigning påverkar konstruktionens fuktttekniska funktion och risken för fuktskador. Bestämning av stighöjden är ett tillförlitligare sätt att bedöma dräneringsgrusets kapillaritet än enbart bestämning av kornstorleksfördelning.

Noggrann mätning av fyllnadsjordens egenskaper är endast sällan nödvändigt, eftersom man i äldre byggnader kan få en bra bild av markens fuktbelastning på konstruktionen genom mer detaljerade konstruktionsfuktmätningar (se avsnitt 3.5).

Mer information om bestämning av fyllnadsmassans kornstorlek finns i publikationerna *RIL 126-2009 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2009; ny version RIL 126-2020) och *RIL 107-2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012; ny version RIL 107-2022).

3.2

Bedömning av konstruktionernas skick

Konstruktionerna gås igenom systematiskt med hjälp av de kontrollistor som presenterad nedan. Med hjälp av kontrollistorna bedöms konstruktionernas skaderisk och riktas de nödvändiga konstruktionsöppningarna för att fastställa eventuella skador och deras omfattning. Dessutom ska konstruktioner som bedömts vara riskkonstruktioner vid behov undersökas genom att öppna konstruktionerna i tillräcklig omfattning. Ofta kan skador och skadeorsakerna fastställas sensoriskt, särskilt om undersökaren har omfattande erfarenhet av olika konstruktioner och deras skademekanismer. För att bedöma skadegraden kan man ta materialprover eller mäta ytemissionerna.

I de följande avsnitten finns anvisningar för bedömningen av varje byggnadsdel med hjälp av kontrollistor. De byggnadsfysikaliska principerna för olika konstruktionsdelars funktion beskrivs närmare i kapitel 5, och bedömningen av konstruktionernas skaderisk utifrån observationer och mätningar i kapitel 7.

3.2.1

Kontrollistor per byggnadsdel

Riktgivande kontrollistor presenteras för olika byggnadsdelar och utrymmen. Omfattningen av granskningarna bestäms från fall till fall. En kontrollista garanterar inte att alla nödvändiga faktorer beaktas. Den som utför undersökningen avgör från fall till fall, utifrån utgångsuppgifterna och observationer som gjorts på plats, hur omfattande granskning som behövs.

Grundkonstruktioner, bottenbjälklag och väggkonstruktioner mot mark samt krypgrunder

Kontroller oberoende av typ av konstruktion mot mark

- Vad är golvytans höjdläge i förhållande till omgivande markytan och grundvattennivån?
- Finns det dränering i byggnaden? Är dräneringssystemet rätt planerad och utförd enligt planerna? Fungerar dräneringen?
- Vilken konstruktionstyp har grunden och bottenbjälklaget?
- Vad är kvaliteten på marken och fyllnadsjorden?
- Finns det ett kapillärbrytande skikt i konstruktionerna mot mark, t.ex. lämplig makadamfyllning och/eller cellplastisolering?
- Vilken typ av fuktbelastning utsätts konstruktionen för?
- Är anslutningarna till angränsande konstruktioner (ytterväggar och eventuella mellanväggar) lufttätt utförda?
- Är genomföringar (t.ex. vatten- och avloppsrör, elinstallationer dragna genom bottenplattan) lufttätt utförda? Är den eventuella ångspärren i bottenbjälklag av trä rätt placerad?

Bottenplatta mot mark

- Består bottenplattans ytmaterial av en fukttålig golvbeläggning eller ytbehandling? Vilken är den verkliga fuktbelastningen som golvbeläggningen utsätts för?
- Finns det tecken på fuktbelastning i golvbeläggningen, såsom bildning av bubblor i beläggningen eller att den lossnar från underlaget?
- Finns det en golvkonstruktion av träreglar ovanpå betongplatta mot mark (t.ex. typiskt bottenbjälklagskonstruktion i 1960–70-talens småhus, motionshallar, akustikgolv)? Hurudan fuktbelastning utsätts träkonstruktionen för? Detta utreds genom fuktmätningar i konstruktionen. Har ytstrukturen fukt- eller mikrobskador?
- Har konstruktionen plast eller bitumenbeläggning som fungerar som kapillärbrytning och ångspärr? Bitumenbeläggningen kan ligga mellan två betongplattor.
- Finns det värmeisolering under betongplattan? I äldre byggnader kan värmeisoleringen vara placerad endast längs plattans kanter eller så saknas den helt.
- Har bottenbjälklagskonstruktionen flera skikt, en s.k. dubbelplattekonstruktion, där det till exempel under ytbetongplattan finns ett lager cementspånskiva, koksslagg, lättklinker eller lättbetong? Har vatten- eller avloppsledningar installerats i detta skikt och är deras skick känt? Har läckande vatten kommit in i lagret? Är fyllnadsmaterialet skadat av fukt och eller mikrober?
- Har golvvärme installerats i bottenbjälklaget?
- Finns det luftläckagepunkter i bottenbjälklagskonstruktionen eller i dess anslutningar? Finns det sprickor i betongplattan? Hur är bottenplattans anslutning till omgivande konstruktionsdelar utförd?
- Finns det rörkanaler i bottenbjälklaget eller andra kanal- eller schaktkonstruktioner i byggnaden? Sker det okontrollerade luftflöden genom dessa, eller finns det i dem formbrädor, byggavfall, skadliga ämnen eller fukt- och mikrobskador?

Bottenbjälklag med krypgrund

- Vilka är konstruktionstyperna för bottenbjälklaget och krypgrunden?
- Är bottenbjälklagets anslutningar till bl.a. ytterväggskonstruktioner lufttäta? Är genomföringarna i bottenbjälklaget lufttäta?
- Vilken riktning har tryckskillnaden och luftflödet mellan krypgrunden och inomhusutrymmena: går luftflödet från krypgrunden in i rummen (inomhusutrymmena har undertryck i förhållande till krypgrunden) eller är luftflödets riktning från inomhusutrymmena mot krypgrunden (inomhusutrymmena har övertryck i förhållande till krypgrunden)? Krypgrunden bör i regel ha undertryck i förhållande till andra utrymmen.
- Vilken höjd har krypgrunden? Finns det oventilerade hörn eller andra skuggområden i utrymmet? Går det att granska hela krypgrunden?
- Hurdan bottenkonstruktion har krypgrunden? Finns det ett kapillärbrytande lager som underlag, såsom grov makadam eller består marken i krypgrunden av grus, sand eller lera?
- Rinner det ytvatten till krypgrunden eller finns det vattenpölar i krypgrunden? Är det möjligt att vatten samlas i pölar i krypgrunden?

- Finns det organiskt material i krypgrunden, t.ex. formbrädor eller byggavfall? Finns det synlig mikrob- eller svamppåväxt på dessa? Finns det röta i träkonstruktionerna i krypgrunden?
- Är krypgrunden ventilerad? Fungerar ventilationen och är den tillräcklig?
- Finns det mikrobtillväxt på marken eller andra ytor i krypgrunden? Finns det en kraftig lukt från mikrober eller något annat i krypgrunden?
- Finns det fastighetstekniska installationer i krypgrunden, såsom rörledningar, avlopp eller kondensorenheter? Vilket är skicket på de tekniska installationerna? Hur har installationerna utförts? Är avloppensrören stadigt och tillräckligt säkert fästa i bottenbjälklagets undersida, och är fästelementen av rostfritt stål?
- Vilken är den relativa fuktigheten och temperaturen i krypgrunden? Är fukttillskottet i krypgrundens luft stort jämfört med utomhusluften? Kondenserar det vattendroppar på krypgrundens takytor eller väggytor?

Väggkonstruktioner mot mark

- Hur har den yttre vattenisoleringen och kapillärbrytningen, som krävs för väggkonstruktioner och grund mot mark, utförts? Fungerar vattenisoleringen?
- Finns det tecken på fuktbelastning på innerytorna, såsom bubblor i ytskikt, saltutfällning, mikrobtillväxt eller lukt som tyder på det?
- Vad är det för ytskikt på väggkonstruktionen mot mark? Finns det fuktkänsliga material på insidan, som träreglar, cementspånskivor eller mineralull? Eller är ytmaterialen fukttåliga och väl ånggenomsläppliga?
- Finns det ett isolerande skikt mellan beklädnadsmurningen (s.k. reveteringen) och betongkonstruktionerna, t.ex. cementspånskivor eller kork? Vilket skick har isoleringen?
- Finns det vatten- eller fuktisolering på insidan av väggkonstruktion mot mark? I äldre byggnader har man ofta använt bitumenstrykning, som kan innehålla asbest eller skadliga mängder av PAH-föreningar. Finns det lukt som tyder på kreosot i utrymmena?
- Fungerar väggkonstruktionen mot mark värme- och fuktteknisk korrekt?

Ytterväggar

- Finns det kontinuerliga ventilerade luftspalter öppna mot uteluften nerifrån och upp bakom fasadbeklädnaden? Obs! I äldre byggnader är det vanligt att fasadbeklädnaden ligger an direkt mot värmeisoleringen utan luftspalt. Det betyder inte nödvändigtvis att det finns skador i konstruktionen.
- Styrs det vatten som tränger in bakom tegelbeklädnaden vid slagregn kontrollerat bort vid väggens nedre del, eller kommer vattnet åt att fukta t.ex. de nedre delarna av trästommen eller tränga in i byggnaden?
- Utsätts den nedre syllen i en bärande trä- eller mellanvägg för fuktbelastning?
- Är lutningarna på fönsterbleck tillräckliga och ansluter fönsterblecken tätt till omgivande konstruktionsdelar (fönsterkonstruktioner och fasadbeklädnad) med till exempel elastisk fogmassa?
- Finns det märken eller skador på fasaden av vatten som rinner från taket?
- Är fogarna i elementens yttre skikt täta?
- Är fogarna i elementens inre skikt täta?
- Finns det en motplåt under takfotsplåten, en s.k. stormplåt?
- Bildar stomkonstruktionerna köldbryggor?
- Fungerar ytterväggkonstruktionen värme- och fuktteknisk korrekt?
- Finns det ång- och luftspärr i konstruktionen? Är den rätt installerad? Hur har anslutningar mellan ång- och luftspärren och omgivande konstruktioner utförda?
- Finns det missfärgningar eller sotbildningar på innerytorna av ytterväggskonstruktionerna som tecken på luftläckage eller köldbryggor?
- Finns det tecken på fuktbelastning (blåsbildning i målytan, förhöjda värden mätta med ytfuktindikator) eller sensoriskt observerbar mikrobtillväxt på de inre ytorna av ytterväggskonstruktionerna?
- Bildas det kondens på fönsterglasets yta? Kondenserar fukten
  1. på utsidan av det yttersta glaset (orsakad av värmestrålning, särskilt i väl värmeisolerande fönster under lämpliga väderförhållanden)

2. på insidan av det yttersta glaset (fukt i inomhusluften tränger via läckagepunkter in i fönsterkonstruktionen och kondenserar på den kalla ytan, inomhusutrymmet har övertryck)
3. på utsidan av det innersta glaset (i kylda inomhusutrymmen kan fukt från uteluften som vandrar in i fönsterkonstruktionen genom läckagepunkter kondensera på glasytan)
4. på insidan av det innersta glaset (inomhusluften är exceptionellt fuktig, ventilationen fungerar inte som planerat eller isoleringsförmågan i fönstret är bristfälligt)
5. inne i isolerglaselementet (möjligen ett installationsfel eller tillverkningsfel)?

Obs! Kondensation av fukt på det yttre glasets utsida orsakar ingen skada på fönsterkonstruktionen, eftersom fönstret tål kondenserande fukt på utsidan lika väl som regn. Kondensation av fukt på fönstrets utsida är en indikation på god värmeisolering och på ovanliga väderförhållanden.

Yttertak- och vindsbjälklagskonstruktioner

Kontroller oberoende av taktäckningsmaterial

- Vilket material är taktäckningen, när är den utförd och går det att uppskatta återstående livslängd? Är taktäckningen hel?
- Är taktäckningen vattentät, är den lämplig för takets lutning?
- Är genomföringarna i yttertaket utförda på ett vattentätt sätt? Är uppvikningar och anslutningar till angränsande byggnadsdelar utförda vattentätt? Bildas det vattenpölar på taket?
- Har yttertaket och vindsbjälklagskonstruktionen tillräcklig uttorkningsförmåga? Hur är ventilationen på vinden ordnad? Fungerar ventilationen på avsett sätt?
- Finns det fuktskador på ytorna av takets bärande konstruktioner eller rötskador i träkonstruktionerna?
- Är vindsbjälklagets värmeisolering tillräcklig, vilket värmeisoleringsmaterial används, är den torr och finns det damm eller smuts som förts in från utomhusluften på isoleringens yta? Hur är värmeisoleringen monterad i vindsbjälklaget? Värmeisoleringens funktion bedöms i förhållande till den fuktteknika funktionen och de byggbestämmelserna som gällde vid byggnadstiden.
- Finns det oisolerade ventilationskanaler eller andra metallytor på vinden där luftens fuktighet kan kondensera?
- Leds ventilationssystemets kanaler och avloppens ventilationsrör upp över yttertaket?
- Finns det löv eller annat skräp som vinden blåst in på vinden? Detta är vanligtvis ett tecken på att det också tränger in snö och vatten till vindsutrymmet.
- Är vindsbjälklaget och dess anslutningar till angränsande konstruktioner lufttäta? Finns det ett separat ångspärrskikt i vindsbjälklagskonstruktionen, till exempel plastfilm? Hur är dess skarvar utförda? Är vindsbjälklagets insida lufttät? Är genomföringarna lufttäta?
- Finns det synliga fuktskador eller synlig mikrobiell påväxt på tak- eller väggytor inomhus?
- Är avledningen av regnvatten från yttertaket utförd på ett kontrollerat sätt, t.ex. med stuprör som leder vattnet till dagvattenbrunnar?

Branta tak, icke kontinuerliga taktäckningar: t.ex. plåttak, tegeltak, fibercementtak, shingeltak och profilplåttak

- Är taktäckningsmaterialet helt? Är överlappningen mellan tegelpannorna, shingelplattorna eller fibercementskivorna tillräckligt? Är plåttäckningen hel, är ytbeläggning intakt och är skarvarna täta?
- Är fästena för taktäckningen (i äldre konstruktioner spik, i nyare skruv) vattentäta i infästningshålen?
- Är taktäckningens (t.ex. plåttak) uppvik mot fasaden och anslutningarna vid genomföringar vattentäta?
- Vilket material har underlagstaket? Hur är skarvningen av underlagstaket utförd? Är underlagsmaterialet anslutet vattentätt vid genomföringar i yttertaket? Sträcker sig underlagstaket vid takfoten utanför ytterväggen? Är underlagsmaterialet rätt installerat mellan takstolarna, varken för spänt eller för löst? Finns det en ventilationsspalt mellan underlagstaket och yttertaket?
- Finns det i det övre bjälklaget en fungerande luftspalt mellan underlagsmaterialet och värmeisoleringen?

Låglutande tak, kontinuerliga taktäckningar: bitumen- och PVC-taktäckning

- Är bitumenmembranens skarvar täta? Finns det tecken på sprödhet, tydliga revor eller har det uppstått sprickor i det översta takfiltlagret? Finns det fåror eller upphöjningar i bitumenmembranen där tätskiktet har lossnat från underlaget?
- Finns det ett tillräckligt och fungerande lager av singel på taket, om obelagd bitumenmembran har använts?
- Är avvattningen på taket ordnad på ett kontrollerat sätt, t.ex. med fungerande takbrunnar? Är takets lutningar tillräckliga så att vattnet leds kontrollerat till takbrunnar eller stuprör, eller bildas det vattenansamlingar på taket? Är bitumenmembranens anslutningar mot takbrunnarna vattentäta? Finns det tillräckligt med takbrunnar, och är deras avloppsrör korrekt förankrade?
- Kan vatten rinna över takfoten ner på fasaden? Är takfoten tillräckligt hög? Kan vatten vid takfoten rinna över tätskiktet och in i väggkonstruktionen?
- Är taktäckningens uppvik mot anslutande väggar, takfönster, rökluckor m.fl. tillräckliga och vattentäta?

Marklutning, avledning av regn- och ytvatten

- Är takavvattningen ordnad på ett kontrollerat sätt, t.ex. via stuprör som leder vattnet till dagvattenbrunnar? Är dagvattenbrunnarna igensatta av till exempel löv?
- Väter regnvattnet från stuprören socklarna? Syns det märken av fukt på grund av detta på socklarna?
- Är markytan på alla sidor av byggnaden formad så att den lutar bort från byggnaden? Bildar regnvattenpölar nära byggnaden?

Mellanbjälklag

- Vilken konstruktionstyp har mellanbjälklaget? I äldre byggnader förekommer mellanbjälklagskonstruktioner med fyllnadslager, som plattbärlag och valvkonstruktioner.
- Har mellanbjälklaget en skiktad struktur, där det mellan två betongplattor finns t.ex. ljud- eller värmeisolering i form av cementspånskiva, lättklinker eller sand? Denna typ finns ofta bl.a. i skyddsrumstak. Även i skolbyggnader från 1950–60-talen förekommer denna konstruktion ofta.
- I vilket skick är fyllnadsmaterialet?
- Är mellanbjälklagets anslutningar mot ytter- och mellanväggar lufttäta, eller kan föroreningar tränga upp från fyllnadsmaterialet till inomhusluften?
- Är mellanbjälklagets genomföringar täta (el- och rörgenomföringar, ventilationskanaler och andra vertikala schakt genom konstruktionen)?
- Finns det vatten- och avloppsinstallationer i fyllnadslagret och vilket skick har de? Finns det uppgifter om eventuella vattenskador eller rörläckage som kan ha fuktat ner fyllnadslagret? Har gamla vatten- och avloppsrör pluggats i samband med eventuella renoveringsarbeten (gamla opluggade rör transporterar effektivt föroreningar mellan olika utrymmen och konstruktioner)?
- Om bjälklagets bärande delar är av trä, vilket skick har de? I äldre byggnader kan ändarna av bjälklagsbalkarna vara inmurade i massiva tegelväggar längs ytterväggslinjen, och då kan det finnas röta i ändarna på de bärande balkarna.
- Vilken golvbeläggning ligger på mellanbjälklagen och vad är fuktbelastningen på den?
- Finns det sättningar i mellanbjälklag av trä?

Våtutrymmen och andra utrymmen där vatten används

- Finns det vattenisolering eller fuktisolering i våtutrymmen? Har vattenisoleringens tekniska livslängd överskridits? Vilket material har använts: tätskiktsmassa som läggs på i flytande form bakom keramiska plattor, plastmatta för våtutrymme, bitumenmembran eller bitumenstrykning, eller fungerar ytbehandlingen som vattenisolering? Golvets vattenisolering kan ibland ses vid golvbrunnen, vid tröskeln och väggarnas vattenisolering eller fuktskyddsbehandling bakom dörrfodret.
- Finns det vattenisolering (oftast bitumenmembran) under golvets ytbetongplatta? I sådana konstruktioner är det vanligt att ytplattan i praktiken alltid är fuktigt.
- Finns det skador i plattsättningen, såsom sprickor eller lösa plattor? Obs! Lösa plattor beror oftare på krympning av underlaget på grund av torkning än på fuktskada.

- Är fogbruket mellan plattorna och silikonfogningen i hörnen av golven och väggarna hela? Finns det smuts och/eller mögelprickar i fogarna? Obs! Silikonfogning räcker inte som vattenisolering i anslutningen mellan golv och vägg. Den egentliga vattenisoleringen måste finnas bakom ytskikten.
- Är svetsningen av skarvarna i våtutrymmets plastmatta och -tapet vattentäta? Sitter plastmattan eller -tapeten fast i underlaget? Är genomföringarna vattentätt utförda? Är plastmattans uppvik mot väggarna vattentäta, även i hörnen?
- Punkterar rör, deras fästen eller andra installationer ytan av väggbeklädnaden och vattenisoleringen intill duschen? Är genomföringarna och fästhålen tätade så att de är vattentäta?
- Är vattenledningsrören utförda som utanpåliggande installationer eller är de inbyggda i konstruktionerna? Är utanpåliggande vatten- och värmeledningsrör i gott skick, eller finns det tecken på att ytbeläggningen lossnat eller att det finns rostangrepp?
- Är eventuella utloppsrör från torrbrunn och tvättmaskin som ansluter till golvbrunnen täta? Är fogarna mellan golvbrunnen och eventuell förhöjningsring täta? Är vattenisoleringen ansluten vattentätt till golvbrunnen? Finns golvbrunnens renspugg på plats?
- Är golvlutningarna tillräckliga? Leder lutningarna vattnet till golvbrunnen?
- Fungerar ventilationen i badrummet? Är tilluften ordnad till exempel via en springa under dörren och frånluften via en takventil? Är frånluftsventilen rätt placerad?
- Kan förhöjda värden konstateras med ytfuktindikator, t.ex. utanför duschens omedelbara närhet? Fukt bakom plattsättning kan finnas mellan plattan och vattenisoleringen, varför ett förhöjt värde med ytfuktindikatorn inom duschens stänkområde inte nödvändigtvis är ett tecken på skada.
- Kan förhöjda värden med ytfuktindikatorn observeras i det torra utrymmet på andra sidan av väggen mot duschen?
- Är vattenisoleringslösningen för tröskeln till våtutrymmet utförd så att vatten från våtutrymmet inte kan tränga in under tröskeln?

3.2.2

Konstruktionsöppningar

Syftet med konstruktionsöppningar är att kontrollera konstruktionens typ, sensoriskt bedöma materialens skick samt utföra nödvändiga mätningar och provtagningar inne i konstruktionen. Genom en öppnad konstruktion kan man se om den är utförd enligt befintliga ritningar och man kan fastställa utförandet av de konstruktioner där det saknas bakgrundsinformation. Platserna för öppningarna, deras storlek och tillräckligt antal bestäms av undersökaren utifrån observationer på plats (bild 3.1). Konstruktionsöppningar görs i förmodade skade- och riskområden inomhus, på yttertak eller på fasader.



Bild 3.1. Platserna för konstruktionsöppningarna väljs utifrån observerade eller antagna risker. I den vänstra bilden ses en fuktskada som uppstått i tegelbeklädnaden under fönstret. I den högra bilden ses samma ställe från insidan, betraktat genom en konstruktionsöppning. Bilder: M. Pitkäranta, Vahanen Oy.

Att utföra konstruktionsöppningar är det huvudsakliga sättet att fastställa skicket hos konstruktioner med flera skikt.

Genom den öppnade konstruktionen kan fukthalten i byggnadsdelarna mätas, till exempel i träkonstruktioner med en stiftmätare. Observationerna dokumenteras med fotografier och skriftligen. Det är dessutom bra att dokumentera konstruktionstypen inklusive skikttjocklekar genom en teckning.

Vid behov tas materialprover ur konstruktionerna, bl.a. för att utreda förekomsten av skadliga ämnen eller för mikrobiell analys. Kontaminering, upphettning och nedfrysning av proverna ska undvikas. Till exempel tas prov på värmeisoleringen i en ytterväggskonstruktion inifrån, genom att öppna konstruktionen fram till ångspärrens insida utan att skada ångspärren, varefter provtagningen utförs med desinficerade provtagningsverktyg bakom ångspärren.

Planerade konstruktionsöppningar, deras omfattning och placering ska meddelas till beställaren och till lokalernas användare. För undersökningar som innebär att konstruktioner bryts upp krävs alltid byggnadsägarens tillstånd. Eventuella skyddsåtgärder som krävs i samband med öppningarna, samt återställandet av öppnade konstruktioner, ska överenskommas med beställaren. I en byggnad som är i bruk bör öppningarnas placering, i den mån det är möjligt, väljas så att de inte stör användningen av byggnaden. Vid öppning av konstruktioner som görs i vägg- och bottenbjälklagskonstruktioner mot mark bör man om möjligt undvika att skada vattenisoleringen. Vid planering av undersökningar av konstruktioner mot mark är det särskilt viktigt att beakta konstruktioner med vattentrycksisolering, där ogenomtänkta öppningar av konstruktioner kan leda till mycket omfattande och plötsliga översvämningsskador.

Det är inte heller rekommenderat att göra öppningar som skadar tätskiktet i våtutrymmet som är i bruk, såvida det inte är absolut nödvändigt för undersökningen. Konstruktionerna bör i första hand öppnas från den torra sidan, om det är möjligt. Innan öppningarna utförs ska läget för el- och vattenrör lokaliseras. De öppningar som görs i konstruktionerna bör omedelbart efter granskningen täckas, åtminstone med byggplast som tejpas över öppningen, och den slutliga återställningen av öppningen ska ske utan dröjsmål.

Öppningen i konstruktionen bör vara tillräckligt stor för att tillförlitliga observationer ska kunna göras (bild 3.2). Vid öppning av konstruktioner inomhus används alltid minst ett punktutsug med HEPA-filter.

Innan borrning eller sågning i konstruktionen påbörjas ska man särskilt överväga om materialet kan innehålla asbest eller andra skadliga ämnen, så att man vid behov kan förbereda sig för mer omfattande skyddsåtgärder än normalt för att förhindra exponering av provtagaren och kontaminering av lokalen. Sektionering och undertrycksättning rekommenderas när det finns misstanke om att de konstruktioner som öppnas innehåller fukt- eller mikrobskador, skadliga ämnen som asbest eller PAH-föreningar, eller om de undersökta lokalerna används när konstruktionerna öppnas (bild 3.3). För sektionering tillämpas anvisningarna i anvisningskorten *Ratu 82-0383. Kosteus- ja homevaurioituneiden rakenteiden purku* (Rakennustietosäätiö RTS och Talonrakennusteollisuus ry, 2011c, sv. Husbyggnadsindustrin rf), *Ratu 82-0347. Asbestia sisältävien rakenteiden purku. Menetelmät* (Rakennustietosäätiö RTS, 2009a) eller *Ratu 82-0381. Kivihiilipikeä sisältävien rakenteiden purku. Osastointi- menetelmä. Menetelmät* (Rakennustietosäätiö RTS och Talonrakennusteollisuus ry, 2011a; OBS! Instruktionen har upphört i oktober 2024).





Bild 3.2. Konstruktionsöppningarna bör göras tillräckligt stora, så att tillförlitliga granskningar kan göras genom dem. I bilden till vänster upptäcktes efter att fönsterbrädan lossats betydande luftläckagepunkter vid anslutningen mellan konstruktionerna. Bilden till höger visar en öppning som gjorts i ytterväggens inre skal. Bilder: K. Laine och M. Koskivuori, Vahanen Oy.





Bild 3.3. Exempel på sektionering av en del av ett rum och undertryckssättning för konstruktionsöppningar och reparationer. Insidan av sektioneringen hålls undertrycksatt med en kanalfläkt och en filterförsedd frånluftskanal som leds ut genom fönstret. Bilder: M. Pitkäranta, A. Hynninen, Vahanen Oy.

Som öppning i en bottenbjälklagskonstruktion i betong räcker det vanligen med ett borrhål ø16–32 mm, genom vilket konstruktionen kan granskas med hjälp av endoskop eller fiberoskop. Borrade hål fungerar också för granskning av ytterväggar och mellanbjälklag av sten eller betong. För öppning av lätta konstruktioner rekommenderas en tillräckligt stor, ca 300 x 300 mm inspektionsöppning. I vissa fall räcker det med ett hål som gjorts med ø100 mm hålsåg. Vid öppning av konstruktioner med ångspärr måste det alltid tas hänsyn till hur ångspärren lagas efter granskningen. Som konstruktionsöppningar räknas även lossning av olika slags golv- och täcklister, via vilka man lätt får information om bland annat utförandet och tätheten för anslutningar mellan konstruktioner.

Öppning av konstruktioner som görs på yttertak och fasader lagas omedelbart efter inspektionen. Den som reparerar bitumenmembran måste ha nödvändiga tillstånd för heta arbeten. Ibland är det rekommendabelt att göra konstruktionsöppningar på yttertaket under väderskydd. På fasader görs det typiskt bland annat öppningar av skiv- och plåtbeklädnader samt borttagning av tegelstenar och panelbrädor (bild 3.4).

Valet av plats för konstruktionsöppningen är kritisk för att hitta skadade konstruktioner. I vissa fall är det dock inte enkelt att välja de ställen som ska öppnas, bland annat för att fukt kan vandra i konstruktionerna. Lokalisering av skadorna kan vara utmanande i fall av gamla, redan uttorkade skador i konstruktioner med flera skikt (bild 3.5). Ofta har gamla skador reparerats ytligt, vilket ofta gör det mycket svårare att lokalisera skadan.





Bild 3.4. Till vänster ses en öppning som gjorts i ett bitumentak för att undersöka vindsbjälklagskonstruktionerna. Öppningen lagades omedelbart efter undersökningarna. I bilden till höger har en tegelsten lossats ur fasadens tegelmur för att kontrollera ytterväggskonstruktionens funktion. Bilder: K. Laine och V. Sandström, Vahanen Oy.





Bild 3.5. I bilden till vänster ses en öppning som gjorts i anslutningen mellan vägg och golv på grund av misstanke om ett rörläckage, och där endast mycket lindriga fuktmärken kunde konstateras genom öppningen. I bilden till höger ses samma plats efter att golvkonstruktionen rivits. Cirka en meter från den tidigare konstruktionsöppningen är väggens syll helt murken. Skadan har utvecklats på en viss plats på grund av pölbildning av läckvattnet, som orsakats av bottenbjälklagets ojämnheter. Bilder: A. Hynninen, Vahanen Oy.

3.2.3

Mikrobiologisk analys av materialprover

Den mikrobiella påväxten på material och skadenivån bedöms sensoriskt och vid behov med hjälp av mikrobiologiska analyser av prover tagna från materialen. Vid sensorisk granskning är det rekommenderat att i första hand observera materialets utseende. Långvarig och upprepad luktande av eventuellt skadade material bör undvikas, även om den lukt av mögel eller jordkällare som är typisk för mikrobtillväxt är en tydlig indikation på tillväxt.

Mikrobtillväxt kan ofta konstateras sensoriskt. I oklara fall är det nödvändigt med laboratorieanalys av materialprov.

Om det finns synlig mögelpåväxt på materialet eller om det är murket behövs ingen mikrobiologisk analys av materialprover för att fastställa skadan. I sådana fall bör skadan dock alltid dokumenteras omsorgsfullt genom fotografering och de illustrativa bilderna bör bifogas i rapporten. Även i uppenbara fall kan laboratorieanalys ändå vara nödvändig om information om provets mikrobarter (mikrobgrupper, släkten och arter) behövs som underlag för utredningar gällande exponering eller till exempel för yrkessjukdomsutredning. Eftersom mikrobtillväxt inte alltid kan ses med ögat, rekommenderas materialprovtagning i oklara fall. Vid rötskador bör förekomsten av hussvamp utredas, eftersom skador orsakade av den måste åtgärdas mer omfattande än andra rötskador.

Med mikrobanalys i laboratorium bestäms mängden och arterna av mikroberna som förekommer i materialet. En hög mikrobhalt i materialet beror vanligtvis på mikrobtillväxt i materialet, det vill säga materialet har ”möglat”. Detta visar i sin tur att den undersökta byggnadsdelen under tillräckligt lång tid har befunnit sig i fuktförhållanden som är gynnsamma för mikrobtillväxt. Mikrobtillväxt och de förhållanden detta förutsätter behandlas närmare i kapitel 6.

Val av provtagningspunkt

Mikrobiologiska analyser av materialprover stöder den byggnadstekniska granskningen.

Mikrobiologiska analyser av materialprover stöder den byggnadstekniska granskningen. Mikrobprover tas alltid i samband med övrig byggnadsteknisk undersökning, aldrig som en fristående åtgärd. Vid provtagning måste det vara klart vad provet representerar. Undersökaren ska ha kännedom om konstruktionen och materialen i den misstänkt skadade delen samt om deras möjliga skademekanismer. Valet av provtagningspunkter beror på undersökningens syfte:

- **Utredning av misstänkt mikrobtillväxt i en viss byggnadsdel:** Konstruktionen undersöks på den plats där skador mest sannolikt har uppstått. Platsen väljs utifrån synliga ytskador eller konstaterad eller på annat sätt känd fuktbelastning.

Exempelvis vid verifiering av mikrobskador orsakade av en vattenskada undersöks konstruktionen och vid behov tas prover från skadeområdet. I en falsk sockelkonstruktion undersöks syllen vid det ställe där golvytan ligger närmast marknivån eller där den yttre fuktbelastningen av annan orsak är störst, t.ex. på grund av brister i dagvattenavledningen. Belastningen i konstruktioner med jordtryck undersöks där fuktbelastningen är som störst enligt markytans utformning eller andra förhållanden, eller där fuktmätning eller synliga förändringar i ytmaterialens utseende tyder på detta.

- **Fastställande av åtgärdsomfattning:** För att avgränsa rivnings- eller reparationsområdet tas vid behov prover från kanterna av det uppskattade rivnings-/reparationsområdet. I konstruktioner med flera skikt tas vid behov prover från olika konstruktionsskikt för att avgöra vilka materialskikt som behöver åtgärdas.
- **Bedömning av en viss byggnadsdels allmänna mikrobiologiska skick:** Vid bestämning av det allmänna mikrobiologiska skicket för en byggnadsdel, t.ex. för att avgöra renoveringsbehovet, rekommenderas det att ta prover både från riskområden och slumpmässigt från andra områden i tillräckligt antal för att få en så tillförlitlig bild av konstruktionens skick som möjligt. Vid undersökning av ytterväggskonstruktioner bör man exempelvis beakta att fasadens skick ofta varierar kraftigt beroende på väderstreck och våningshöjd, så det kan vara motiverat att undersöka alla fasader på flera olika höjder.

Referensprover

När konstruktionsdelar som är gamla eller i kontakt med utomhusluften undersöks rekommenderas det att ta referensprover från samma konstruktionsdel men på områden var man vet att de är oskadade.

Mikrobhalterna i äldre konstruktioner kan vara höga. Referensprover tagna från konstruktioner som man vet är oskadade underlättar tolkningen av resultaten.

Provtagning

Ett materialprov tas genom att lossa ytskiktet på materialet som undersöks till ca 5 mm djup, ett stycke som är minst lika stor som en tändsticksask. Vid provtagningen används, beroende på material, vanligtvis t.ex. en vass kniv, mattkniv eller ett stämjärn. Från isoleringsutrymmen kan prov tas genom borrhål på ø16…32 mm med en långskaftad tång eller liknande, och genom något större hål med att ”borra” med ett vässat metallrör eller liknande redskap. Provet får inte hettas upp. Provet tas med rena verktyg, och vid provtagningen används skyddshandskar. Verktygen desinficeras mellan varje prov med 70–80 % etanol eller isopropanol genom sprayning, avtorkning eller nedsänkning, varefter de torkas. Provet packas in i en ren och återförslutbar plastpåse. För att undvika kontaminering bör man sträva till att ta referensprover före prover från skadade platser. Vid öppning av skiktade konstruktioner bör rester från inre lager omsorgsfullt dammsugas bort före provtagning av de yttre skikten, så att de inte kontaminerar proverna. I ett prov/en provpåse får ingå endast ett material.

Vid provtagning är det viktigt att använda rena verktyg och att skydda omgivningen. Det kan vara nödvändigt att skydda utrymmet genom sektionering och undertryck.

Vid provtagning bör dammsugare med HEPA-filter användas som punktutsug för att hantera material- och mikrobdamm. Vid behov sektioneras och undertryckregleras utrymmet eller en del av det enligt anvisningskortet *Ratu 82-0383. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purku* (Rakennustietosäätiö RTS och Talonrakennusteollisuus ry, 2011c*)*. Sektionering och undertrycksreglering är särskilt viktigt om:

- öppningen i konstruktionerna är större än några hundra kvadratcentimeter
- konstruktionerna kan antas vara kraftigt mögelskadade
- öppningen av konstruktioner görs i sjukhusmiljö eller liknande, där personer med nedsatt immunförsvar vistas, och där exponering för fuktskademikrober kan innebära en infektionsrisk.

Uppgifter om proverna antecknas i fältanteckningarna och på provtagningsblanketten. Det undersökta stället markeras på en planritning för rapporteringen. För varje prov antecknas också material, undersökt byggnadsdel, läge i utrymmet, rummet och det undersökta objektets namn. Samtidigt fotograferas det undersökta stället och uppgifterna om konstruktionens utförande och dess sensoriskt bedömda skick dokumenteras. Proverna transporteras eller skickas utan dröjsmål till laboratoriet. Förpacknings- och tranportanvisningarna för proverna kontrolleras hos det analyserande laboratoriet. Materialprovtagning och hantering beskrivs närmare i *Anvisning för tillämpning av förordningen om boendehälsa* (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016).

Analysmetoder

Enligt *förordningen om boendehälsa* (SHMf 545/2015) konstateras förekomsten av mikrobiell tillväxt i byggnadsmaterial i första hand genom analys med serieutspädnings- eller direktodlingsmetod samt genom en mikroskopisk analys.

Tolkningsanvisningar för ovanstående metoderna beskrivs närmare i *Anvisning för tillämpning av förordningen om boendehälsa* (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016). Serieutspädningsmetoden har använts länge och det finns rikligt med praktisk erfarenhet av dess resultat från olika material och konstruktioner. Direktodling av materialprov är en något förmånligare metod än serieutspädningsodling och ger ett semikvantitativt resultat om mängden mikrober samt information om mikrobarterna.

Anvisningarna i *förordningen om boendehälsa* (SHMf 545/2015) och *Anvisning för tillämpning av förordningen om boendehälsa* (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016) samt *Anvisning om boendehälsa* (Social- och hälsovårdsministeriet, 2003) och *Asumisterveysopas* (Aurola och Välikylä, 2009) gäller i första hand hälsoskyddsmyndigheternas verksamhet, men det är motiverat att följa dem även mer allmänt vid utredning av faktorer som påverkar inomhusmiljöns hälsosamhet. Analysmetoderna för att bestämma mögelpåväxt i prover av byggmateriel enligt den internationella ISO-standarden presenteras i standarden *ISO 16000-21:2013* (International Organization for Standardization, 2013).

Laboratorieanalyser som används för att bestämma mikrobhalten i material ska vara validerade och tolkningen av resultaten ska grunda sig på ett tillräckligt stort jämförelsematerial.

Även andra metoder än de som anges i förordningen om boendehälsa kan användas för bedömning av mikrobtillväxt i byggnader, om metodens tillförlitlighet har påvisats i enlighet med vad som anges i förordningen. Möjliga metoder är bland annat kvantitativ PCR (qPCR) och bestämning av svampbiomassa med till exempel Mycometer-test. För dessa metoder finns det inga entydiga referensvärden som stöd för tolkningen, utan tolkningen av resultaten ska baseras på ett tillräckligt stort jämförelsematerial som samlats in med den använda metoden, så att det är känt vilka resultat som kan anses indikera mikrobtillväxt och vilka som utgör normala halter. Med de flesta metoder är det tillförlitligt att identifiera riklig mikrobtillväxt och helt rent material, men gränsdragningen mellan förorenat/kontaminerat/lindrigt skadat material är svår. Konditionsundersökaren ska alltid tolka undersökningsresultaten, vid behov med hjälp av en expert som är insatt i byggnadsmikrobiologi.

Odlingsmetoder

Med odlingsmetoder bestäms halterna av livsdugliga mögel- och jästsvampar samt bakterier i provet. Mögelsvampar identifieras huvudsakligen på släktnivå. Bland bakterierna räknas särskilt mängden aktinomyceter, dvs. strålsvampar, men för övrigt differentieras inte bakterierna. Metoden kan inte påvisa döda mikrobceller, och därför kan t.ex. gammal påväxt förbli oupptäckt. Enligt erfarenheter tar det dock minst månader eller år för skadeorsakande mikrober att bli odlingsodugliga. Tiden beror i hög grad på rådande temperatur- och fuktförhållanden. Om det inte växer fram kolonier eller endast mycket få kolonier från proverna, ska laboratoriet mikroskopera proverna för att kontrollera eventuell gammal uttorkad påväxt (se direktmikroskopering av materialprov).

Serieutspädningsodling görs på två svampodlingsplattor (MEA- och DG18-agar) samt en bakterieplatta (THG-agar).

Användning av DG18, ett xerofilt substrat för mögelsvampar, förbättrar metodens känslighet för identifiering av mögel som trivs i torra miljöer, och i vissa fall har mögeltillväxt kunnat påvisas endast på DG18-plattor. Vid tolkning av resultaten från de olika substratplattorna för mögelsvamp används det högre värdet antalet kolonier. Odlingsperioden för mögelsvampar är 7 dygn och för strålsvampar 7–14 dygn.

Tolkningsanvisningar för resultaten beskrivs i *Anvisning för tillämpning av förordningen om boendehälsa* (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016). Ett byggmaterial anses uppvisa mikrobtillväxt om mängden livsdugliga mögel- och jästsvampar i provet är > 10 000 CFU/g [2] (kolonibildande enheter per gram material) eller mängden bakterier är > 100 000 CFU/g, eller mängden aktinomyceter är > 3 000 pmy/g (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira 2016). Förekomsten av s.k. fuktskadeindikatorarter kan dock tyda på mikrobtillväxt även vid lägre halter, särskilt om det gäller en byggnadsdel nära innerytan som normalt ska förbli torr.

Metoden presenteras i standarden *ISO 16000-21:2013* (International Organization for Standardization, 2013). I Finlands används i allmänhet de tillämpningar av den standardenliga metoden som beskrivs i *Anvisning för tillämpning av förordningen om boendehälsa* (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016).

Direktodlingsmetoden skiljer sig från serieutspädningsodling vad gäller provbehandling som görs i laboratoriet och tolkningen av odlingsplattorna. Resultaten anges på en semikvantitativ skala, till exempel +/++/+++/++++, där + och ++ motsvarar normala mikrobhalter, medan +++/++++ anger halter som tyder på påväxt (mögel- och jästsvampar samt aktinomyceter). Om det i urvalet av mikrobarter ingår s.k. fuktskadeindikatorarter, anses även halterna +/++ kunna tyda på mikrobtillväxt i materialet.

Generellt görs tolkningen av förekomsten av påväxt och reparationsbehovet för byggnadsdelen utifrån mikrobhalte och artsammansättning. Mikrobtillväxt i material beskrivs närmare i kapitel 6.

Kontamination med avloppsvatten kan bedömas någon tid efter läckaget genom att med odlingsmetoden analysera halten fekala mikrober, s.k. hygienindikatormikrober, i materialprover. Förekomsten av fekala bakterier i byggnadskonstruktioner är inte normalt. Om det upptäcks fekala mikrober i konstruktioner kan slutsatsen dras att avloppsvatten kommit in i konstruktionen.

Bestämningen av hygienmikrober är analyser som avviker från de sedvanliga mikrobiologiska analyserna inom boendehälsa och ska överenskommas separat med det analyserande laboratoriet. För närvarande har inte undersökning av hygienindikatorer i byggmaterial validerats och det finns inga referensvärden för resultaten. Resultaten är riktgivande och i första hand kvalitativa. Eftersom det inte är känt hur länge hygienmikrober kan bevaras livsdugliga i byggnadskonstruktioner, är det viktigt för tolkningen att ta ett jämförelseprov från material som med säkerhet har kontaminerats med avloppsvatten. På så sätt kan tillförlitligheten av eventuella negativa (”rena”) resultat bedömas.

Direktmikroskopering av materialprov

Med direktmikroskopering kan materialytan undersökas antingen direkt, eller med ett s.k. tejpprov som tagits genom att pressa en transparent tejp mot ytan. Direktmikroskopi lämpar sig väl för hårda materialytor, medan porösa isoleringsmaterial som mineralull vanligtvis inte kan undersökas på ett tillförlitligt sätt med denna metod. Med direktmikroskopering är det möjligt att verifiera speciellt sådan mikrobtillväxt som är synlig som en skada på materialytan, och skilja den från eventuell annan missfärgning eller avvikelse på materialytan. Metoden är snabb och resultatet är semikvantitativt.

Kraftig mögelpåväxt kan verifieras med stereo-, ljus- eller svepelektronmikroskop (SEM). För att påvisa en mindre tillväxt eller för att utesluta förekomsten av tillväxt ska ljus- eller SEM-mikroskopering användas med tillräcklig förstoring, till exempel 100–400x. I provet fastställs förekomsten av mögelsporer och mögelsvampmycel. Förekomst av mycel visar på mögeltillväxt i materialet, medan riklig förekomst av mögelsporer tyder på tillväxt eller på att sporer transporterats från någon annan plats till ytan som undersöks.

Vid tolkning av observationer från direktmikroskopering av materialytor kan man till exempel använda *VTT-homeriskimalli* (Viitanen H., 2004) (tabell 3.1) för klassificering av mängden mögelpåväxt.

Vid undersökning av tejpprov kan man gå tillväga på följande sätt: en ljusmikroskopbild som granskas i cirka 60–100x förstoring delas in i ett rutnät 10 x 10, och man räknar de rutor inom vilka det förekommer mycel eller mycelfragment. Flera områden i provet måste undersökas för att resultatet ska vara representativt.

2 Även enheterna pmy/g (pesäkkeen muodostava yksikkö) och antal/g med samma betydelse används. Antal betyder här en kolonibildande enhet.

Om medelvärdet för antalet rutor med mycel överskrider 10 % anses provet innehålla en mängd påväxt som kräver åtgärder.

Direktmikroskopering förutsätter erfarenhet och yrkesskicklighet, och därför bör den utföras av ett laboratorium som är specialiserat på mikrobiologisk analys av byggnadsmaterialprover och som utför undersökningar av inomhusmiljö. Metoden presenteras i standarden *ISO 16000-21:2013* (International Organization for Standardization, 2013). Mer detaljerade anvisningar för genomförande och tolkning av direktmikroskopering kommer att presenteras i laboratoriehandboken som behandlar de mät- och provtagningsmetoder som nämns i förordningen om boendehälsa.

Kvantitativ PCR (qPCR)

Kvantitativ PCR är en snabb metod som visar mängden av både levande och döda mikrober i provet. Metodens lämplighet för praktiska konditionsundersökningar utreds.

Med en analys baserad på kvantitativ polymeraskedjereaktion (qPCR) kan man undersöka mängden mikrober i ett byggnadsmaterialprov. Metoden grundar sig på bestämning av mikrobernas arvsmassa, dvs. DNA. Metoden visar såväl levande som döda/odlingsodugliga mikrobceller. Bestämningen riktas mot önskade, i förväg utvalda mikrobarter eller -grupper. Fördelen med metoden är dess snabbhet.

Metoden är relativt ny och utvecklas kontinuerligt, så någon enhetlig, standardiserad analys- och tolkningsprotokoll finns inte.

Idag används qPCR vanligtvis för att undersöka den totala mängden bakterier och svampar samt för att bestämma halterna av några mikrobsläkten eller -grupper. Metoden för bestämning av varje mikrobgrupp bör valideras laboratorievis. Tolkningen av resultaten ska baseras på jämförelse med ett tillräckligt stort referensmaterial som samlats in med den aktuella laboratoriespecifika metoden och med parallell provtagning med metod angiven i *förordningen om boendehälsa* (SHMf 545/2015) och *Anvisning för tillämpning av förordningen om boendehälsa* (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016). Allmänna numeriska referensvärden kan för närvarande inte ges för metoden.

Kvantitativ PCR är enligt dagens kunskap en användbar metod vid undersökning av misstänkt mikrobtillväxt, särskilt i material inne i byggnaden där det inte naturligt förekommer någon betydande mikrobiell kontamination. Den korta analystiden kan vara en betydande fördel, t.ex vid bedömning av rivningsområdets omfattning under byggtiden. Eftersom metoden även påvisar döda mikrobceller, bör den tills vidare användas med reservation för undersökning av sådana material som kan innehålla höga mikrobhalter av annan orsak än mikrobtillväxt under byggnadens livscykel. Sådana är till exempel yttermantelkonstruktioner i kontakt med mark och utomhusluft samt äldre naturmaterial, som moss-, torv- och linisolering. Vid analys av sådana material ska alltid ett jämförelseprov tas från en oskadad del av samma konstruktion.

Att ta jämförelseprover från oskadade ställen och parallellt analysera proverna även med odlingsmetoden (åtminstone en del av de proverna som undersöks för objektet) ökar tillförlitligheten i de tolkningar som görs av resultaten. Kvantitativ PCR finns inte angiven i standarden *ISO 16000-21:2013* (International Organization for Standardization, 2013).

Tabell 3.1. Mögelindexklassificering för material enligt VTT:s mögelriskmodell. Källa: Viitanen H., 2004.

M[1)]	Observation i mikroskop	Tolkning
0	Ytan ren	Ingen påväxt
1	På vissa ställen början till påväxt, några hyfer	Påväxt (lätt)
2	Mögelmycel täcker 10 % av undersökt yta	Påväxt (måttlig)
3	Mögelmycel täcker 10–50 % av undersökt yta	Påväxt (tydlig)
4	Mögelmycel täcker mer än 50 % av undersökt yta	Påväxt (kraftig)
5	Mögelmycel täcker mer än 50 % av undersökt yta (även sett med blotta ögat)	Påväxt (kraftig)
6	Nära 100 % täckning, tät påväxt	Påväxt (mycket kraftig)

1) Mögelindex

Mycometer-test

Mycometer-test är en mycket snabb metod för att mäta den totala mängden av mögel- och jästsvampar. Metodens lämplighet för praktiska konditionsundersökningar utreds.

Med Mycometer-testet kan man bestämma biomassan av mögelsvampar i byggmaterialprov. Bestämningen grundar sig på mätning av mögelsvamparnas NAHA-enzym. Testet har utvecklats i första hand för bestämning av mögelsvampar i strykningsprover från ytor. Metoden påvisar både levande och döda celler, även om enzymaktiviteten minskar i gammal/död påväxt. Metoden är mycket snabb och analysutrustningen lämpar sig för fältbruk. För närvarande finns inga andra referensvärden för metoden än den tolkning som tillverkaren tillhandahåller för ytstrykningsprover samt porösa isoleringsmaterial och cementbaserade material. Testet påvisar inte strålsvampar eller andra bakterier. Metoden finns inte angiven i standarden *ISO 16000-21:2013* (International Organization for Standardization, 2013). Metodens lämplighet för fältundersökningar utreds som bäst (Salmela A., 2014).

3.3

Ytfuktkartläggning

Ytfuktkartläggningar är oförstörande jämförande undersökningar, där värden som uppmäts vid olika ställen av samma konstruktion jämförs med varandra. På detta sätt kan områden med avvikande värden kartläggas. Misstankar om avvikande fukthalter kontrollers med konstruktionsfuktmätningar.

Ytfuktkartläggning är en riktgivande metod. Observerade avvikelser bör alltid verifieras med fuktmätningar i konstruktionerna.

Ytfuktindikatorn riktas direkt mot den konstruktion som ska mätas och värdena avläses från ytfuktindikatorns skärm. I undersökningsrapporten anges vilken ytfuktindikator som använts och vilken skala som tillämpats.

Ytfuktindikatorn mäter inte den absoluta eller relativa fuktigheten i materialet, utan indikatorns funktion grundar sig på materialens elektriska ledningsförmåga, som utöver fukt påverkas av flera faktorer, bl.a. vattenledningsrör, armeringsjärn och värmekablar inne i konstruktionerna samt det mätta materialets sammansättning och variationer i konstruktionens ytskikt. Ju bättre materialet leder elektricitet, desto högre värden visar instrumentet. Exempelvis höjer saltutfällningar mätvärdet, medan material som lossnat från underlaget (t.ex. laminat med underlagsmatta eller en ytbeläggning som släppt från underlaget) sänker värdet. Ytfuktindikatorn anger den elektriska ledningsförmågan över hela det djup den mäter, och utifrån dess resultat kan man inte särskilja på fukthalten på olika djup i konstruktionen.

Av ovan nämnda skäl går det inte att i förväg fastställa allmänna gränsvärden, utan värdena är riktgivande. Trots att den är lätt att använda kräver användning av en ytfuktindikator erfarenhet för att undvika feltolkningar.

3.4

Fuktmätningar

Med hjälp av fuktmätningar utreds konstruktioners värme- och fukttekniska funktion. Med konstruktionsfuktmätningar fastställs fukthalten och fuktfördelningen i konstruktionen och i vilken riktning fukten rör sig. Dessutom kan man utreda den verkliga fuktbelastningen som ytkonstruktionerna utsätts för. Den som analyserar resultaten av fuktmätningarna ska känna de byggnadsfysikaliska funktionsprinciperna för olika byggnadsdelar och deras typiska fuktnivåer (se kapitel 5).

Fuktmätningsmetoderna baserar sig på de förändringar i volym, längd eller materialens elektriska egenskaper som fukt orsakar i fuktgivarens material. De flesta fuktgivare bygger på kapacitiv mätprincip, och mätningen förutsätter att det fuktkänsliga materialet kommer i jämvikt med de rådande förhållandena.

Fuktmätningsmetoderna kan delas in i noggranna och riktgivande mätningar. Noggranna fuktmätningsmetoder är provbitsmetoden, borrhålsmätning och snittmätning samt bestämning av materialets fukthalt genom uttorkning och vägning. Vid konditionsundersökningar kan även riktgivande fuktmätningsmetoder användas. De olika metoderna beskrivs närmare i nedanstående avsnitt. Mätning av inomhusluftens fukthalt och temperatur behandlas närmare i avsnitt 3.7.1.

3.4.1

Noggranna mätningar av den relativa fukthalten i konstruktioner

Med mätmetoder för konstruktionens relativa fukthalt kan den relativa luftfuktigheten i konstruktionens porer bestämmas, vilken beror på mängden vattenånga och temperaturen i porutrymmet. För provbits- och borrhålsmätmetoder för stenbaserade konstruktioner beskrivs genomförande, anvisningar, rapportering av resultat, bedömning av mätfel och tolkning av resultat detaljerat i RT-kortet *RT 14-10984. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus* (Rakennustietosäätiö RTS, 2010; ny version RT 103333). Genomförandet av snittmätning presenteras som en bildserie i anvisningen *Hyvät tutkimusmenetelmät muovilattiapäällysteiden vaurioitumisen arvioinnissa* (Keinänen H., 2013).

Provbitsmetoden

Provbitsfuktmätning är den noggrannaste och snabbaste tillgängliga metoden för att mäta den relativa fuktigheten i en konstruktion. Metoden kan användas när den undersökta konstruktionens temperatur är -20...+80 °C. I metoden lossas betongkorn från den undersökta konstruktionen på utvalda mätdjup. Vid bilningen måste man se upp för vattenrör och elledningar. Provbitarna placeras omedelbart i ett rengjort provrör av glas. I provröret monteras omedelbart en fuktgivare för relativ fuktighet, och mellanrummet mellan fuktgivarens kabel och provrörets öppning tätas omsorgsfullt med ångtät elastisk massa (bild 3.6).

Den bästa möjliga mätnoggrannheten uppnås när minst två parallella prover tas från varje mätdjup. Provrören flyttas till en standardtemperatur (vanligen + 20 °C) och utjämningstiden är, beroende på givarens egenskaper, vanligen 5–12 timmar.

Provbitsmetoden används främst för att bedöma betongunderlagets tillräckliga torrhet före montering av golvbeläggning. Provbitsmetoden är en förstörande och relativt arbetskrävande metod, varför det i konditionsundersökningar vanligtvis är mer ändamålsenligt att använda de lättare borrhåls- och snittmätningsmetoderna för att bestämma konstruktionens fuktprofil och bedöma dess fuktttekniska funktion. Dessutom kan borrhåls- och snittmätningsmetoderna användas för att fastställa konstruktionens verkliga temperatur, vilket gör det möjligt att även bedöma konstruktionens värmetekniska funktion.

Borrhålsmetoden

Med borrhålsmätningsmetoden kan fuktprofilen i den undersökta konstruktionen fastställas. Metoden är som noggrannast när konstruktionens temperatur är + 15...+ 25 °C. I konstruktionen borras mäthål på utvalda mätdjup, vilka förses med rör, rengörs genom dammsugning och tätas omsorgsfullt med ångtät elastisk massa. Vid borrningen måste man se upp för vattenrör och elledningar. Mätpunkterna i borrhålen kommer i jämvikt efter en tillräckligt lång tid beroende på det undersökta materialets egenskaper, typiskt cirka 2–3 dygn, varefter givaren monteras i mätpunkterna med omsorgsfull tätning mot mätrören.



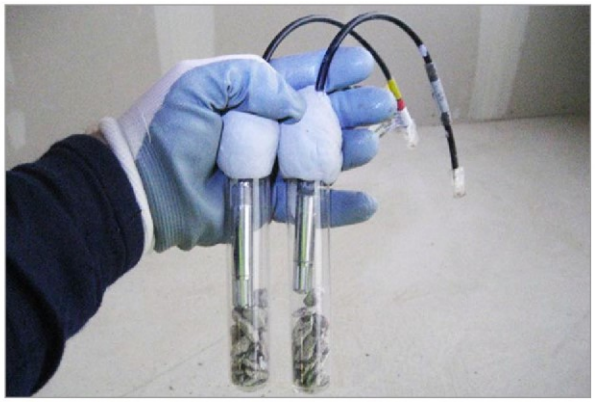


Bild 3.6. Provbitsmätning. Vänster bild: betongbitar lossas från utvald mätdjup. Höger bild: betongbitarna tillsammans med fuktgivaren har stängts in i provröret för utjämning. Bilder: K. Laine och J. Komonen, Vahanen Oy.

Givarens värden avläses när givaren har jämnat ut sig tillräckligt länge och uppnått fuktjämvikt med sin omgivning (bild 3.7). Utjämningstiden är minst en timme beroende på mäthuvud. Mätdjup och antalet mätpunkter väljs från fall till fall beroende på mätningens syfte. En referensmätning görs på ett område som antas vara torrt och i gott skick, och ett tillräckligt många görs på de områden som antas vara fuktigare.

Borrhålsmätningar behövs typiskt i situationer där det är oklart varifrån eventuell tilläggsfuktighet tränger in i konstruktionen och hur mycket fukt hela konstruktionen innehåller. Granskningen av konstruktionens fuktprofil fungerar även som utgångsdata för reparationsplanering vid bedömning av konstruktionens uttorkningsbehov och lämpligheten av nya ytmaterial för den aktuella konstruktionslösningen och dess fuktnivå.

Borrhålsmätningar är en praktisk undersökningsmetod och mätpunkterna kan efter undersökningarna lagas så att de blir nästan osynliga. Vid val av mätpunkter för borrhålsmätning måste man se till att tätskikt (våtutrymme, väggar med jordtryck) inte skadas. Dessutom måste man undvika att att skada golvvärmekablar eller andra rörinstallationer som eventuellt finns installerade i golvet.

Snittmätningsmetoden

Med snittmätning kan den verkliga fuktbelastningen på undersidan av limmade golvbeläggningar, såsom plast- och linoleummattor, samt på limskiktet fastställas. Vid snittmätning görs ett snitt i golvbeläggningen på det ställe som ska undersökas. Omedelbart efter att snittet gjorts monteras en fuktmätningsgivare i snittet, och snittet tätas omsorgsfullt så att det blir ångtätt (bild 3.8).

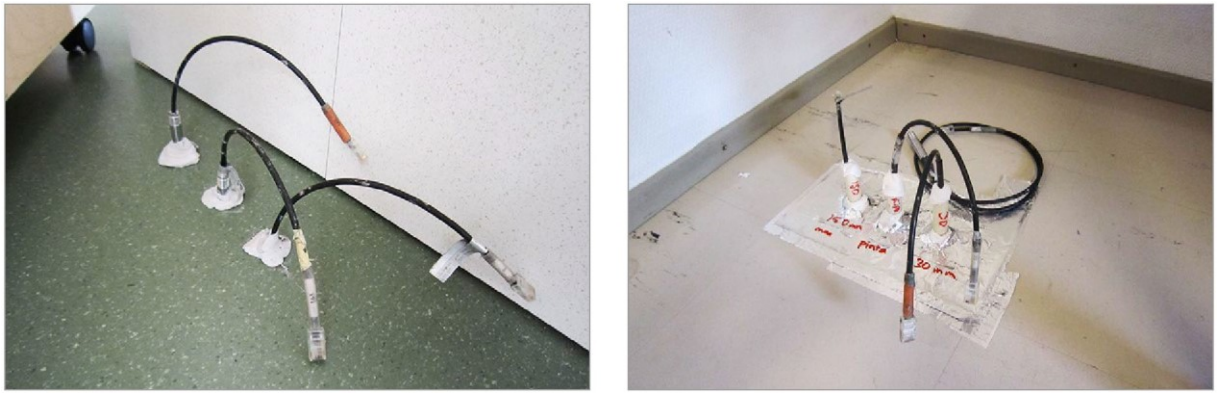


Bild 3.7. Konstruktionsfuktmätning av betongkonstruktion. Fuktgivare som monterats på olika djup utjämnas i en borrhålsmätningspunkt som gjorts för att klarlägga fuktfördelningen i ett mellanbjälklag. Bilder: K. Laine, Vahanen Oy.

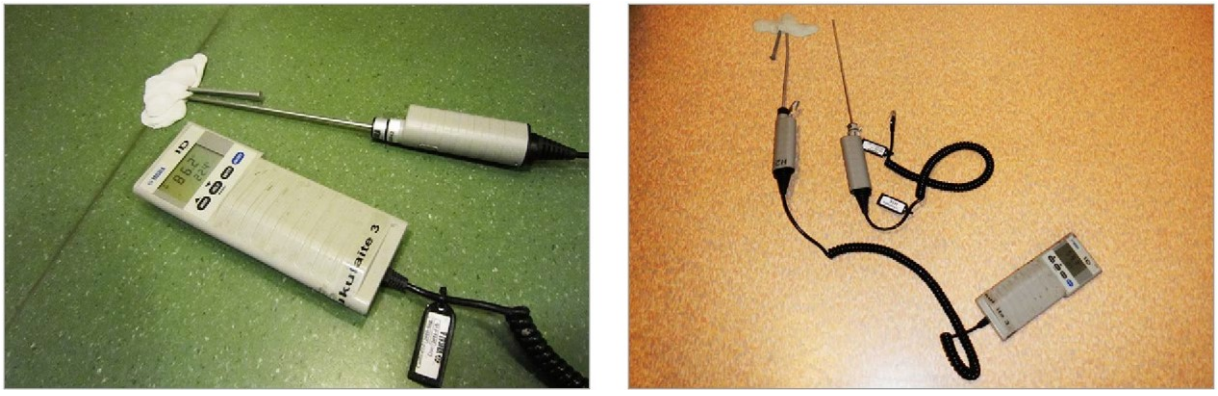


Bild 3.8. Snittmätning under plastmatta för att klarlägga den verkliga fuktbelastningen på limmet. I den högra bilden mäter en annan givare samtidigt förhållandena i inomhusluften vid mätpunkten. Bilder: K. Laine och H. Tuovinen, Vahanen Oy.

Vid användning av snabbt utjämnande givare är givarens utjämningstid 15–20 minuter. Snittmätning är som noggrannast vid temperaturen + 20 °C. Från snittet kan man efter mätningen göra observationer av beläggningens vidhäftning mot underlaget, limmets sammansättning och färg samt eventuella lukter under beläggningen.

Placeringen av snittmätningarna görs med hjälp av ytfuktkartläggningens resultat och uppgifter om konstruktionstyperna. På ett område som antas vara torrt och i gott skick görs åtminstone en referensmätning, och på områden som förväntas vara fuktigare görs tillräckligt många fuktmätningar. Snittmätningar utförs i sådan omfattning att man får en tillräckligt heltäckande uppfattning om de områden där fukthalten är förhöjd. Antalet snittmätningar bestäms från fall till fall. Snittmätningar lämpar sig väl som mätmetod i konditionsundersökningar, eftersom de är enkla och snabba att utföra, och mätpunkterna kan lagas så att de blir nästan osynliga.

3.4.2

Riktgivande mätningar av den relativa fukthalten i konstruktioner

I avsnitt 3.5.1 redovisas tillvägagångssätt för att uppnå god mätnoggrannhet. Ibland är det dock inte nödvändigt, och ibland inte ens möjligt, att uppnå en god mätnoggrannhet. I sådana fall kan man utföra s.k. riktgivande mätningar, vars mätnoggrannhet kan vara alldeles tillräcklig, så länge man är medveten om osäkerheten.

Följande metoder att mäta relativ fuktighet är riktgivande:

- kortvariga fuktmätningar inne i konstruktioner
- mätningar ur borrhål utan rör
- upprepade borrhålsmätningar ur samma mäthål
- borrhålsmätning utanför det rekommenderade temperaturområdet
- borrhålsmätning kort tid efter borrning
- provbitsmätning utan att omedelbart montera givaren i mätröret
- provbitsmätning med mindre provmängd än normalt eller på onoggrant djup.

Kortvariga fuktmätningar i konstruktionen

Med en kortvarig fuktmätning i en konstruktion avses en riktgivande mätmetod som kan användas för att utreda konstruktionens fukthalt, till exempel genom att inomhus föra in fuktgivaren in i en flerskiktskonstruktion via att borrat hål (bild 3.9). Med metoden mäts den relativa fukthalten i porluften i materialet. Givaren tätas i borrhålet med ångtät elastisk massa. Fuktmätningen utförs i ett hål utan fodrande rör. Utjämningstiden för det givare som typiskt används är kort, cirka 15–45 minuter.



Bild 3.9. Undersökning av den relativa fuktigheten i konstruktionens isoleringsutrymme med en kortvarig mätning. I bilden till vänster mäts fukthalten i den lösa sandfyllningen under bottenplattan vid gränsytan mellan plattan och fyllningen. I bilden till höger mäts fukthalten i isoleringsutrymmet i den nedre delen av en yttervägg med regelkonstruktion och tegelfasad. Mätningen i ytterväggen gjordes under den varma årstiden då inverkan av temperaturskillnaden mellan inomhusluften och konstruktionen var liten. Bilder: M. Pitkäranta, Vahanen Oy.

Med kortvariga fuktmätningar i konstruktioner inomhus med jämn temperatur kan man med tillräcklig tillförlitlighet fastställa om konstruktionen har en avvikande hög fukthalt. Med metoden kan man till exempel undersöka fukthalten i mellanväggar, fyllnadsskiktet i ett skiktat mellanbjälklag, träreglade golvkonstruktioner eller värmeisoleringsskiktet i ytterväggar. Vid kortvariga fuktmätningar inne i yttermantelkonstruktionen bör man observera att temperaturskillnaden mellan konstruktionsdelen som mäts och inomhusluften kan ge upphov till betydande mätfel (jfr avsnitt 5.4.4).

3.4.3

Noggranna mätningar av fukthalten i material

Bestämning av materialets fukthalt i viktprocent med torrviktsmetoden

Torrviktsmetoden används när man vill fastställa materialets fukthalt i viktprocent, till exempel i betong eller rött tegel. Metoden beskrivs i standarden *SFS-EN 1097-5* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2008).

Med metoden kan man med hjälp av jämviktskurvan bedöma om materialet befinner sig i det kapillära området. Metoden används främst i laboratorieundersökningar, eftersom det i konditionsundersökningar är mer ändamålsenligt att använda de ovan beskrivna mätmetoderna för relativ fukthalt (snitt-, borrhåls- och provbitsmetoderna), som lämpar sig väl för fältbruk. Materialets fukthalt i viktprocent kan bestämmas med torrviktsmetoden på följande sätt:

- ett prov tas av det material som ska undersökas
- provet förvaras i en tät behållare eller plastpåse fram till vägning
- provet vägs i fuktigt tillstånd, m_{fuktig}
- provet torkas vid +105 °C under minst ett dygn. För material med kristallvatten, till exempel gips, är torkningstemperaturen ofta +40 °C. Torkningstemperaturen ska väljas enligt material.
- provet vägs i torrt tillstånd, m_{torr}
- provets fukthalt i viktprocent, W, beräknas med formeln 3.1:

$$W = \frac{m_{fuktig} - m_{torr}}{m_{torr}} \times 100 \; vikt\text{-}\% \qquad [3.1]$$

Med små prov bör den fria luftvolymen i förvaringsbehållaren vara så liten som möjligt, så att provets fukthalt inte förändras under transporten. En torktid på ett dygn räcker inte för alla material, exempelvis mineralull torkar långsamt. Tillräcklig uttorkning kan säkerställas genom upprepad vägning, tills ingen viktförändring längre sker.

3.4.4

Riktgivande mätningar av fukthalten i material

Bestämning ett materials fukthalt i viktprocent med en stiftmätare

Fukthalten i trä kan mätas med en s.k. stiftmätare (fuktkvotsmätare) som ger mätresultatet i viktprocent. Mätarens mätområde väljs enligt det material eller träslag som ska mätas. Stiftmätarens funktion grundar sig på mätning av konduktansen mellan två metallelektroder som trycks in i träet (bild 3.10). Fukthalten djupare ner i trämaterial kan mätas med en s.k. slagelektrod vars elektrodspetsar är isolerade och mätningen görs mellan spetsarna som slagits in på önskat djup. Vid mätning bör det observeras att mätresultatet kan variera beroende på om metallelektroderna är placerade parallellt med träets fibrer i samma ådring, eller tvärs över fibrerna. Även eventuella impregneringsmedel och träets salthalt påverkar mätresultatet.

3.4.5

Dokumentering av fuktmätningar och bedömning av resultatens tillförlitlighet

På grund av mätmetoderna är antalet mätpunkter begränsat. Valet av mätpunkterna påverkas av vad man vill klarlägga med mätningen. Valet av mätpunkter ska göras motiverat så att det alltid också innefattar en referensmätning från en antaget torr punkt. Det är viktigt att beakta ovan nämnda faktorer när det bedöms hur väl de utförda mätningarna avspeglar situationen i hela konstruktionen och vilka slutsatser som kan dras utifrån mätningarna.





Bild 3.10. Fuktmätning av trä kan enkelt göras med en s.k. stiftmätare. I bilden till vänster är fukthalten i fönsterkarmen enligt mätaren under 7 viktprocent, det vill säga träet är torrt. Till höger har reglarna i ytterväggskonstruktionen en fukthalt på cirka 26 viktprocent, det vill säga träet är tydligt fuktigt. Bilder: M. Pitkäranta och J. Sievola, Vahanen Oy.

Av varje mätning upprättas alltid ett mätprotokoll, där den använda mätmetoden beskrivs och numren på de använda givarna anges, liksom mätpunkternas placering, mätdjup, tidpunkt för utförande och utjämningstiden. I rapporten ska också motiveringarna för valet av mätpunkter redovisas. För bedömningen av mätresultatens tillförlitlighet är det viktigt att vid varje mätpunkt mäta inomhusluftens temperatur och relativa fuktighet samt vid behov även utomhustemperaturen.

Mätningen av relativ fuktighet ska utföras med mätinstrument som är avsedda för detta. Kalibrering av mätarna görs regelbundet, minst en gång per år och vid behov oftare. Kalibrerings- och kontrollintervallet för mätinstrumenten ska planeras enligt önskad mätnoggrannhet och givarnas användnings- och belastningsgrad.

Vid analys av mätresultaten ska en bedömning göras av de faktorer som kan ha orsakat mätfelet och mätfel och av mätfelens storlek. Faktorer som kan orsaka mätfel vid mätning av relativ fuktighet är bland annat givarens typ, tiden sedan föregående kalibrering, genomförandet av mätningen, bristfällig rengöring av mäthålet, rörsättning av mäthålet, tätning av mätröret, givarens utjämningstid, tiden för mätpunkten att nå jämvikt efter borrning, rätt mätdjup, avvikande temperatur i konstruktionen samt temperaturskillnaden mellan konstruktionen och den ovanförliggande luften.

Därför krävs att den som utför fuktmätningar i konstruktioner har god kännedom om byggnadsteknik och mätmetoderna och är medveten om och tar hänsyn till osäkerhetsfaktorerna i mätmetoderna vid resultatbedömningen. Personer med fortbildning inom fuktmätning kan påvisa sin kompetens med ett certifikat som beviljas av VTT Expert Services Oy.

3.5

Undersökning av konstruktioners täthet och transport av föroreningar

Lufttätheten för konstruktioner undersöks eftersom det finns föroreningar och lukter i konstruktioner och mark som, när de transporteras med luftströmmar till inomhusutrymmen, kan försämra inomhusluftens kvalitet. Luftströmmar i en byggnad kan undersökas med spårrök, spårgasteknik, mätningar av yttemperaturförändringar samt med flödeshastighets- och tryckdifferensmätningar. Vid lokalisering av luftläckage kan man, utöver sensorisk bedömning och observationer från konstruktionsöppningar, även använda spårrök, spårgasteknik och värmekamera.

3.5.1

Mätning av tryckförhållanden i byggnaden

Mätning av tryckförhållanden i en byggnad beskrivs i samband med undersökning av ventilationssystem i avsnitt 5.5.

3.5.2

Termografering

Termografering, även kallad värmefotografering, kan användas i konditionsundersökningen som stöd till andra undersökningsmetoder för att lokalisera luftläckage (bild 3.11). Den mest noggranna metoden för att upptäcka luftläckage är den så kallade tvåstegs-termograferingen, där den första bilden tas efter att byggnaden under flera timmar haft en så jämn tryckbalans som möjligt, och den andra bilden tas efter att byggnaden satts i kraftigt undertryck.

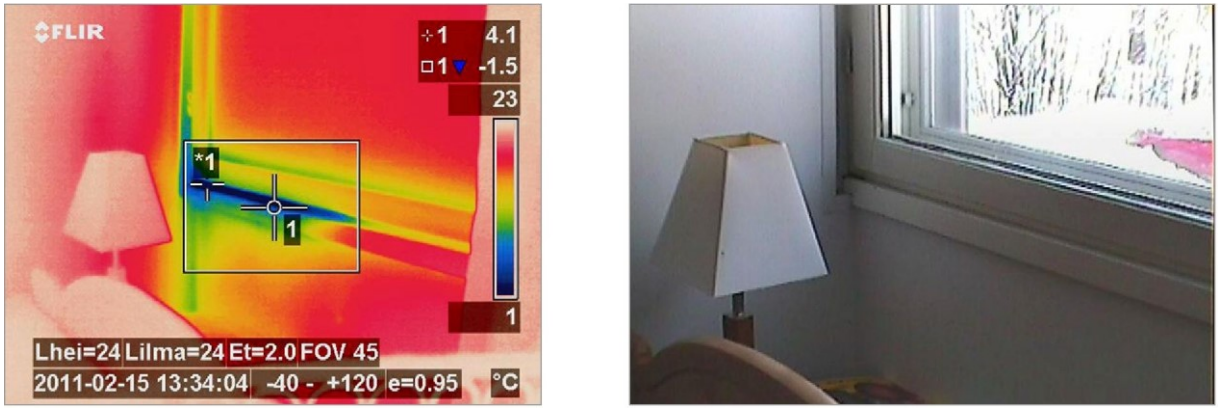


Bild 3.11. Luftläckage i konstruktionerna kan lokaliseras med termofotografering. Läckaget mellan fönsterkonstruktionen och ytterväggen observerades under byggnadens normala användningsförhållanden, i en granskning med termokamera som gjordes som stöd för konditionsundersökningen. Termofotografering kan också användas på utsidan av byggnaden, till exempel för att påvisa fukt och brister i värmeisolering (bild 3.12). K. Laine, Vahanen Oy.



Bild 3.12. Temperatur- och fuktvariationer på byggnadens fasad orsakad av slagregn. I termobilderna syns det tydligt hur hörnområden och gavlar är kallare än övriga fasaden. Dessutom har det på insidan i en lägenhet lagts tilläggsisolering. Väggen torkar inte längre upp lika snabbt som den oisolerade väggen. Bilder: P. Räisänen, Vahanen Oy.

Efter att byggnaden undertrycksatts framträder områden med luftläckage som utvidgade kallare områden, som kan särskiljas från de brister i värmeisoleringen och köldbryggor som kan ses i det första skedet. En enskild termografering under byggnadens normala användningsförhållanden räcker i regel inte för att på ett tillförlitligt sätt avgöra om det är frågan om brister i värmeisoleringen eller luftläckage. Vid mätningar som utförs under den kalla årstiden termograferas byggnaden inifrån.

Genomförandet av termografering beskrivs i anvisningskortet *KH 24-00368. Rakennuksen lämpökuvaus. Rakenteiden lämpötekninen toimivuus, raportointi ja tilaaminen* (Rakennustietosäätiö RTS, 2005; ny version KH 24-00615).

För att undvika feltolkningar krävs det utbildning och förståelse för konstruktioners funktionssätt vid termografering. Personer som genomgått fortbildning inom termografering kan påvisa sin kompetens med ett certifikat som beviljas av VTT Expert Services Oy.

3.5.3

Spårgasmätningar

Spårgastekniken gör det möjligt att noggrant lokalisera luftläckage, eftersom man med metoden kan kontinuerligt mäta hur spårämnet transporteras med luftströmmar i konstruktioner och/eller mellan olika utrymmen. Vid spårgasmätning släpps spårgas in i konstruktionen som undersöks, varifrån gasen rör sig med luftströmmarna i riktning mot utrymmet med undertryck.





Bild 3.13. Lokalisering av luftläckage med spårgasteknik. Spårgas har släppts in i ytterväggskonstruktionen genom ett borrat hål. Med analysator kartläggs eventuella läckageställen. Bild: K. Laine, Vahanen Oy.

I utrymmet detekteras spårgasen och läckagepunkterna lokaliseras med hjälp av en spårgasanalysator. Det undersökta utrymmet ska vid undersökningstillfället ha minst -5 Pa undertryck i förhållande till konstruktionen, så att riktningen för luftflödet och spårröken är stabilt mot utrymmet. Närmare anvisningar för metoden finns i RT-kortet *RT 14-11197. Rakennusten ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein* (Rakennustietosäätiö RTS, 2015).

3.5.4

Spår- och renröksundersökningar

Spårrök är en tjock vit rök som kan användas som stöd för sensorisk bedömning för att lokalisera luftläckage och för att undersöka luftflödets styrka och riktning vid ett givet tillfälle.

Bild 3.14 visar ett exempel på hur en liten mängd spårrök (rökampull eller -penna) används för att fastställa riktningen på luftflödet. Av rökriktningen framgår att rummet i bilden är övertrycksatt i förhållande till konstruktionen, eftersom röken tränger in i konstruktionen. Spårrök bildas vanligen med svavelsyra som reagerar med fukten i inomhusluften och bildar synlig ”rök”. Den används vid mindre undersökningar. Röken är kraftigt irriterande för hud och slemhinnor men ofarligt efter att den späds ut i den omgivande luften.

Så kallad ren rök kan användas vid undersökning av större utrymmens lufttäthet. Till exempel så kan lufttätheten i en botten- eller mellanbjälklagskonstruktion undersökas genom att tät, synlig rök släpps in i konstruktionen med hjälp av en rökmaskin. Vid behov undertrycksätts utrymmet som ska undersökas innan röken släpps in, så att röken söker sig in i utrymmet genom luftläckagepunkterna.





Bild 3.14. Utredning av riktning och styrka för luftflöde med spårrök. Bilder: H. Tuovinen, Vahanen Oy.

Undersökningen grundar sig på visuella observationer. Om luftläckagen är stora fylls rummet snabbt med rök, vilket försvårar bedömningen, medan små läckage inte alltid kan observeras. Ren rök är i allmänhet glykolbaserad oskadlig ”discorök”. Med röktest kan man också undersöka ventilationssystemets funktion, till exempel hur tilluft sprids i ett rum. I det fallet matas röken in i tilluftskanalen.

Under tiden för ett röktest ska byggnadens brand- och rökdetektorer kopplas ur, om rök används på sådana ställen eller i sådana mängder att det finns risk för ett larm utlöses.

3.5.5

Vattentäthetsprov

Vattentätheten hos simbassänger testas med vattentäthetsprov, där bassängen fylls upp till kanten med vatten. Bassängens yta täcks för att minimera vattnets avdunstning under provet. Vattentäthetsprovets varaktighet är två veckor. Läckageställen lokaliseras genom visuell observation om möjligt. Läckagemängden uppskattas också utifrån den vattenmängd som återstår i bassängen vid slutet av provet.

På yttertak och altaner kan vattentätheten för takbrunnar granskas genom att takbrunnen fylls med vatten, varvid man försöker lokalisera eventuella läckage från insidan. Samma metod kan även användas för att spåra läckage i vatten- och avloppsnätet. Man bör naturligtvis undvika att väta ner konstruktioner som är känsliga för fuktskador eller som torkar upp långsamt.

3.5.6

Bestämning av byggnadsmantelns täthet och luftläckagetalet q50

Byggnadsmantelns lufttäthet kan uppskattas med olika slags mätningar. För upprättandet av ett energicertifikat bestäms luftläckagetalet, dvs. q50-talet. Mätningen utförs vid en tryckskillnad på 50 pascal enligt standarden *SFS-EN 13829* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf 2000). Luftläckagetalet fastställs i regel för byggnadens energicertifikat. I samband med täthetsmätningen kan även en termografering utföras för att lokalisera luftläckagepunkterna.

Av byggnadsmantelns lufttäthet kan dock inga direkta slutsatser dras om inomhusluftens kvalitet eller byggnadens sanitära förhållanden.

3.6

Mätningar av inomhusluftförhållanden och inomhusluftens föroreningar

Undersökningar av inomhusluften används vid behov som hjälpmedel i konditionsundersökningar. Med mätningar av förhållanden och mätningar av föroreningar i inomhusluften eller på ytor i lokalen strävar man efter att identifiera faktorer som försämrar inomhusluftens kvalitet. Enbart mätningar av inomhusluft (t.ex. mikrobiella analyser eller VOC-mätningar) är vanligtvis inte tillräckliga för att påvisa eller utesluta förhållanden som orsakar olägenhet. I detta och följande avsnitt beskrivs mätmetoder för inomhusluftens fysikaliska förhållanden samt för olika mikrobiologiska, partikulära och kemiska föroreningar.

Utöver mätningarna dokumenteras även sensoriska observationer av luftkvaliteten i lokalerna, bl.a. tydliga mikrobiella och andra avvikande lukter. Luktobservationer bör göras omedelbart när man kommer in i lokalen, eftersom människans luktsinne vanligen snabbt vänjer sig vid avvikande lukter.

3.6.1

Inomhusluftens relativa fuktighet och temperatur

Inomhusluftens fuktighet och temperatur påverkar både den upplevda trivseln i inomhusmiljön och konstruktionernas fysikaliska funktion och risken för skador. Betydelsen av inomhusluftförhållandena för konstruktionernas funktion behandlas i kapitel 5.

Inomhusluftens relativa fuktighet

Den relativa fuktigheten (RH, relative humidity) inomhus bestäms till stor del av utomhusluftens fuktighet när byggnaden saknar luftfuktning eller luftkonditionering/kylning. Inomhusluftens fuktnivåer påverkas också av interna fuktkällor, såsom människor och olika slags vattenanvändande verksamheter. Fukttillskottet är betydligt större i bostadshus än i kontorsbyggnader. Enligt *Anvisningen om boendehälsa* (Social- och hälsovårdsministeriet, 2003) bör den relativa luftfuktigheten i bostäder vara 20–60 %, även om luftfuktigheten vintertid ofta är under 20 % på grund av det låga fuktinnehållet i utomhusluften.

Då kan rumsluftens fuktighet sjunka under 10 %. Hög temperatur förstärker upplevelsen av torr luft. Torr inomhusluft kan i sig förorsaka hud- och slemhinneirritation hos dem som vistas i lokalerna. Torr rumsluft ökar också känsligheten för andra föroreningar i inomhusluften. Hög relativ luftfuktighet orsakar i sig sällan sanitära olägenheter, men kan leda till kondens på ytor och i konstruktioner, vilket i sin tur kan orsaka mikrobiella skador och de olägenheter som dessa medför.

Inomhusluftens temperatur

Temperaturen är en viktig faktor för inomhusluftens komfort och hälsosamhet. Det finns individuella skillnader i termisk komfort, men andelen nöjda personer har visat sig vara som störst när temperaturen är cirka + 21 °C. Hög temperatur inomhus kan orsaka en känsla av instängdhet och otillräckliga luftmängder. I system med mekanisk tilluftsventilation försämrar en för hög temperatur på tilluften blandningen och fördelningen av tilluften i rummet, vilket ytterligare kan ge upplevelsen av otillräcklig luftmängd. För låg temperatur och drag orsakar också komfortproblem. Upplevelsen av kall inomhusluft påverkas dessutom av kalla ytor och drag (luftens rörelse).

Mätningar

Mätning av byggnadens temperatur och luftfuktighet beskrivs i standarden *SFS-EN 12599* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2015). Mer information om riktvärden för temperatur- och fuktmätning i bostäder och om själva mätningen finns i *Anvisningen för tillämpning av förordningen om boendehälsa* (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016).

I samband med konditionsundersökningar är det alltid rekommenderat att mäta inomhusluftens temperatur och luftfuktighet. Mätningen görs i vistelsezonen. Vid behov väljs dessutom andra mätpunkter så att den belastning som riktas mot den konstruktionen som granskas kan fastställas. Om man till exempel mäter fuktbelastningen som vindsbjälklaget utsätts för, ska inomhusluftens temperatur och relativa fuktighet mätas i den övre delen av rummet i byggnadens översta våning.

Mätningen görs helst som en långtidsmätning under cirka 1–2 veckor. Samtidigt mäts utomhusluftens temperatur och luftfuktighet under mätperioden. Dessutom kan väderdata från övervakningsstationer användas som stöd vid analysen av resultaten, om förhållanden inte har mätts separat i samband med undersökningen.

Tolkning av resultaten

Åtgärdsgränserna för temperaturförhållanden i bostäder anges i *förordningen om boendehälsa* (SHMf 545/2015). Under uppvärmningssäsongen är åtgärdsgränserna +18 och +26 °C och utanför uppvärmningssäsongen +18 och +32 °C. Vid bedömning av temperaturförhållanden i kontorsliknande arbetsmiljöer kan man använda målvärdena i *Sisäilmastoluokitus 2008* (Arbetshälsoinstitutet, 2014).

Utifrån den relativa fuktigheten och temperaturen beräknas luftens fuktinnehåll (g/m^3). Genom att beräkna skillnaden mellan fuktinnehållet i inom- och utomhusluften fås inomhusluftens fukttillskott. Fukttillskottet är typiskt ca 1–3 g/m^3 i bostäder och ca < 2 g/m^3 i kontorsrum. Som dimensioneringsvärde i bostads- och kontorsbyggnader används ett fukttillskott på 5 g/m^3, som skapar en säkerhetsmarginal i beräkningarna.

Utifrån fuktmätningen kan man bedöma ventilationens tillräcklighet med tanke på konstruktionernas funktion i utrymmen där fuktproduktionen är stor, till exempel våtutrymmen och krypgrunder, samt de risker som luftfuktigheten medför för konstruktionerna. Utifrån temperaturmätningen kan man bedöma uppvärmnings- och kylsystemets funktion och om temperaturförhållandena uppfyller de krav som ställs för utrymmet.

3.6.2

Inomhusluftens koldioxidhalt

Inomhusluftens koldioxidhalt (CO_2) beskriver ventilationens tillräcklighet under användning av utrymmet. Koldioxiden i inomhusluften härstammar från utomhusluften och från de personer som vistas i utrymmena. Inomhusluftens koldioxidhalt varierar kraftigt beroende på hur mycket utrymmet används. I naturen är utomhusluftens koldioxidhalt cirka 400 ppm, något högre i stadsområden.

Mätningar

Koldioxidmätning kan göras som en kortvarig mätning i en representativ situation (t.ex. i ett klassrum under normal användning mot slutet av användningsperioden, då halterna sannolikt är som högst) eller som en långtidsmätning, som ger mer tillförlitlig information om variationerna i halterna och en helhetsbild av ventilationens tillräcklighet.

I bostäder stiger koldioxidhalten vanligen som mest i sovrummet under natten, så långtidsmätning är den mest rekommenderade mätmetoden.

Koldioxidmätaren ska placeras i vistelsezonen på ett sådant ställe där den inte direkt påverkas av utandningsluft eller luftströmmen från tilluftsventiler.

Tolkning av resultaten

En förhöjd koldioxidhalt indikerar otillräcklig ventilation. Åtgärdsgränsen för koldioxidhalten i bostäder anges i *förordningen om boendehälsa* (SHMf 545/2015). Åtgärdsgränsen överskrids om halten är 1 150 ppm högre än halten i utomhusluften, det vill säga till exempel > 1 600 ppm när halten i uteluften är 450 ppm. Enligt *Sisäilmastoluokitus 2008 (ny version Sisäilmastoluokitus 2018)* är de högsta tillåtna värden för koldioxid: S1 750 ppm, S2 900 ppm och S3 1 200 ppm. I Finlands byggbestämmelsesamling del D2 (ByggBS D2-2012; ny förordning 1009/2017) är riktvärdet för dimensionering < 1 200 ppm. Hög koldioxidhalt kan orsaka en känsla av instängd luft och i extrema fall trötthet eller huvudvärk. Otillräcklig ventilation kan utöver koldioxid även leda till ansamling av andra, eventuellt skadliga, föroreningar i inomhusluften. En hög koldioxidhalt korrelerar väl med mängden andra människorelaterade emissioner samt fukttillskottet som användarna ger upphov till i inomhusluften.

3.6.3

Mikrober i inomhusluften

Användning

Mikrobhalterna i inomhusluften varierar ofta kraftigt och det finns många felkällor. Enbart på basis av inomhusluftprover kan man inte dra tillförlitliga slutsatser om förekomsten av mikrobskador eller byggnadens sanitära förhållanden.

Med hjälp av mikrobiologiska inomhusluftprover kan man i vissa fall påvisa en eventuellt förekommande ovanlig mikrobkälla i byggnaden och hjälpa till att lokalisera den till en viss byggnadsdel.

Metoden är dock inte särskilt tillförlitlig, eftersom den endast beskriver luftens tillfälliga mikrobinnehåll under provtagningstiden, och det är känt att halterna varierar kraftigt. Mikrobiella skador i konstruktionerna framträder inte alltid i resultaten av luftproverna. Därför kan man inte enbart på basis av luftprover dra slutsatser om förekomsten av mikrobskador eller byggnadens sanitära förhållanden. Enligt 20 § i *förordningen om boendehälsa* (SHMf 454/2015) kan en olägenhet förorsakad av mikrober konstateras genom analys av ett luftprov taget med en 6-sekvensimpaktor, men då ska det även finnas andra bevis på att åtgärdsgränsen har överskridits, det vill säga förekomsten av mikrobtillväxt som påverkar inomhusluften.

Luftprovtagning kan användas om byggnads- och ventilationstekniska utredningar inte förmår lokalisera problemet med inomhusluften och man vill ha kompletterande bevis för förekomsten av en eventuell mikrobskada. Med luftprov kan man ibland också bekräfta mikrobiell kontamination som sprider sig från andra utrymmen, till exempel från källare eller krypgrund, till vistelseutrymmen, eller användas för att bestämma arten av mikroberna som förekommer i byggnaden.

Luftprovtagning kan även användas för uppföljning av effekten av åtgärderna. Inomhusluftprover är dock inte den primära metoden för detta, utan används endast vid behov som stöd för andra undersökningar. Detta förutsätter ett tillräckligt antal prover i förhållande till byggnadens storlek samt upprepning av provtagningen vid motsvarande tidpunkt och användningssituation både före och efter reparationerna. För att undvika felaktiga resultat bör en omsorgsfull städning utföras efter åtgärderna enligt principerna för sk. mögeldammstädning. Efter städningen bör man vänta minst 1–2 månader innan mätningarna utförs. Efter åtgärder kan ett felaktigt resultat orsakas antingen av otillräcklig städning av det mikrobinnehållande damm som samlats i inomhusluften och på ytor under rivningsarbetet (falskt positivt resultat), eller av mätning som görs alltför snart efter en omsorgsfull städning, då eventuella skador som lämnat kvar i konstruktionerna inte ännu har hunnit påverka inomhusluften (falskt negativt resultat). Riktlinjer för mögeldammstädning presenteras i publikationen *Ohje siivoukseen ja irtaimiston puhdistukseen kosteus- ja homevauriokorjausten jälkeen* (Arbetshälsoinstitutet, 2016b; ny version Ohje korjausten jälkeiseen siivoukseen ja irtaimiston puhdistukseen työpaikoilla, 2022).

Det rekommenderas att mikrobiologiska inomhusluftprover tas vintertid, då halterna av mögelsvampsporer och strålsvampar i utomhusluften är som lägst och deras inverkan på inomhusluften därmed minimal.

Om man måste ta prover utanför vintersäsongen, eller om vädret vid provtagningstillfället är milt (temperatur - 2...0 °C eller högre), bör man alltid ta minst ett jämförande prov av utomhusluften. Om inomhusluftprover tas under flera dagar ska även ett utomhusluftprov tas varje provtagningsdag.

För bostäder, skolor och kontor finns separata anvisningar för undersökning av mikrober i inomhusluften och referensvärden för tolkning av resultaten.

Metoder

För provtagning av mikrober i inomhusluften rekommenderas 6-sekvensimpaktor, s.k. Andersen-impaktor. Den som använder impaktorn ska ha utbildning i korrekt användning och underhåll av utrustningen. Proverna tas när lokalerna används på normalt sätt.

I kontorsmiljöer kan mikrobhalter även bedömas genom odling av två veckors dammnedfall. De mikrobiologiska provtagningsmetoder som rekommenderas för användning av hälsoskyddsmyndigheter beskrivs närmare i *förordningen om boendehälsa* (SHMf 545/2015) och *Anvisningen för tillämpning av förordningen om boendehälsa* (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016).

Tolkning av resultaten

Mikrobhalterna i inomhusluften varierar kraftigt både över tid och mellan olika platser, både i fuktskadade byggnader och oskadade jämförelsebyggnader. Det är inte alltid möjligt att skilja mellan normala och avvikande halter och artsammansättning. Tolkningen av resultaten förutsätter god kännedom om metoderna och insikt i provtagningen och de externa faktorer som påverkar resultaten. Tolkningen grundar sig alltid på både på halten och på artsammansättningen i proverna. Mikrobhalten i inomhusluften kan vara lågt trots att det finns synlig mikrobiell påväxt i byggnaden, så en låg mikrobhalt i inomhusluften utesluter inte existensen av en mikrobkälla.

Mikrobhalter som mätts upp under vintertid jämförs när det gäller bostäder och skolor med de referensvärden som anges i *Anvisning för tillämpning av förordningen om boendehälsa* (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016), och när det gäller kontorsutrymmen med referensvärden i Arbetshälsoinstitutets publikation *Toimiston sisäilmaston tutkiminen* (Salonen H. m.fl., 2011). Referensvärdena är metodspecifika, det vill säga de gäller bara för den provtagnings- och analysmetod med vilken de fastställts med. Konditionsundersökaren bör noggrant sätta sig in i ovannämnda anvisningar före provtagning av inomhusluft. En sammanfattning av referensvärdena i anvisningarna presenteras i tabell 3.2. Provtagning då marken inte är frusen eller snötäckt rekommenderas inte. Tolkningen av prover som tagits under tid då marken inte är frusen eller snötäckt beskrivs närmare i de ovannämnda publikationerna.

Anvisningarna för tolkning av mikrobiologiska inomhusluftprover i skolbyggnader gäller stenbyggda skolor. I skolor byggda av trä rekommenderas inte användning av inomhusluftprover, eftersom mikrobnivåerna där kan vara höga även under normala förhållanden på grund av bakgrundsfaktorer (till exempel naturmaterial som isolering), och därför kan skolor med mikrobiella problem inte nödvändigtvis skiljas från skadefria skolbyggnader. I en medelstor skola rekommenderas det att cirka 10–12 prover tas.

Tabell 3.2. Referensvärden för vanliga mikrobhalter i inomhusluften med 6-sekvensimpaktor för prov tagen under vinterperioden.

Byggnadstyp	Mikrobgrupp		
	Mögel- och jästsvampar cfu/m^3	Strålsvampar cfu/m^3	Mesofila bakterier cfu/m^3
Bostäder [1)]	100/500 [2)]	10	4 500 [3)]
Skolor av sten eller betong [4)]	50	10	4 500 [5)]
Kontor	50	5	600

1) Endast bostäder i tätorter, 2) referensvärde 100 cfu/m^3 om det finns avvikande halter av fuktskadeindikerande mikroberarter, annars 500 pmy/m^3, 3) en halt över referensvärdet tyder på otillräcklig ventilation eller fuktskador, 4) vid undersökning av skolor rekommenderas även att prover och deras medianhalter granskas som helhet, 5) en halt över referensvärdet tyder vanligen på otillräcklig ventilation.

I sådana fall finns det antydan på skador om det i flera prover konstateras förhöjd halt, över 50 cfu/m^3 av svampsporer, medianhalt över 20 cfu/m^3 och avsaknad av rena prover med ”nollresultat”. För undersökningar av mikrober i skolbyggnaders inomhusluft finns närmare anvisningar i Folkhälsoinstitutets (nuvarande THL) publikation *Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot - Opas ongelmien selvittämiseen* (Meklin T., m.fl., 2007).

Vid tolkning av inomhusluftsprover i alla byggnadstyper granskas förutom koncentrationen även artsammansättningen i proverna. Förekomsten av s.k. fuktskadeindikatorer i större mängder än enstaka kolonier, eller upprepad förekomst av samma fuktskadeindikator som enstaka kolonier i flera prover eller vid flera på varandra följande mättillfällen, tyder på en avvikande mikrobkälla i såväl skolor, hem som kontorsbyggnader. Förekomsten av indikatormikrober i ett visst utrymme kan också ge information om var skadan finns. Den för bostäder och skolor tillämpliga listan över indikatormikrober finns i *Anvisningen för tillämpning av förordningen om boendehälsa* (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016). För kontorsmiljöer har Arbetshälsoinstitutet publicerat en lista över indikatormikrober (Reiman M., m.fl., 2005).

Vid tolkningen av resultaten måste hänsyn tas till påverkan från normala mikrobkällor, såsom utomhusluften, livsmedel, inredning, den allmänna renlighetsnivån samt verksamheten i utrymmet, på inomhusluftens mikrobhalter och artsammansättning. Förekomsten av enstaka fuktskadeindikatorarter i låga halter är normalt. Erfarenhetsmässigt har det observerats att mikrobprover tagna från skolors korridorer oftare visar förhöjda halter av mögelsporer och fynd av fuktskadeindikatorer än prover tagna i klassrum. Orsaken till detta är elevernas ständiga förflyttningar mellan ute och inne samt förvaringen av ytterkläder i korridorerna. En erfaren provtagare väljer de utrymmen som ska undersökas och kontrollerar påverkan från s.k. normala källor före provtagning så att de inte inverkar på resultaten.

Det finns många olika källor till mikrober i inomhusluften, både inomhus och utomhus. Orsaken till ett avvikande resultat i ett inomhusluftprov kan därför vara något annat än en mikrobskada i konstruktionen.

Ett avvikande mikrobfynd förutsätter vidare undersökningar för att lokalisera källan till mikroberna. De referensvärden som används är inte hälsobaserade, och enbart med mikrobanalys av inomhusluften som grund kan man vanligtvis inte dra några tillförlitliga slutsatser om förekomst av mikrobskador i byggnaden eller utesluta möjligheten till skadlig exponering för mikrober. Vid riskbedömningen och slutsatserna utvärderas situationen övergripande: byggnads- och fastighetstekniska resultat samt andra resultat från utredningar av inomhusklimatet (inklusive omfattningen och sannolikheten för exponering för föroreningar), samt eventuellt användarnas erfarenheter och beteende i anslutning till inomhusklimatfrågor.

3.6.4

Partiklar, damm och fibrer

I inomhusluften kan det förekomma skadliga mängder av vissa partiklar, damm och fibrer. Sådana är till exempel cement-/betongdamm och gipsdamm från byggnadsmaterial, industriella mineralullsfibrer från värme- och ljudisoleringar samt gatudamm från utomhusluften. De ovan nämnda förekommer huvudsakligen i den grova och s.k. inandningsbara partikelstorleksklassen (PM_{10}). I inandningsluften finns dessutom s.k. fina partiklar ($PM_{2,5}$), vars viktigaste källor är utanför byggnader (trafik, energiproduktion, lokal småskalig vedeldning).

Betongdamm är starkt alkaliskt och irriterande för slemhinnor. Damm kan spridas till utrymmen från reparations- och byggnadsarbeten, eller från obehandlade, belastade betongytor. Betongdamm innehåller kvartsdamm, som vid långvarig exponering ökar risken för lungsjukdomar. Mineralullsfibrer kan härstamma från glasull, stenull eller återvunnen glasull. Källor är bland annat ventilationssystemets ljuddämpare (aggregat, kanaler och ventiler) och luftfilter, obehandlade eller skadade akustikskivor samt mineralull som används som ljud- brand- och värmeisolering i konstruktioner. Fibrer frigörs särskilt när materialen åldras och blir sköra, samt vid mekanisk belastning, luftströmning eller vibrationer. Fibrernas diameter varierar från under 3 µm upp till cirka 8 µm. Mineralullsfibrer orsakar irritationssymtom i hud, ögon och slemhinnor. Slemhinnor som irriterats av fibrer kan också vara mer känsliga för olika slags virus- och bakterieinfektioner.

Även trädamm och annat organiskt materialdamm (t.ex. cellulosaisolering eller träfiberull) kan i stora mängder orsaka irritationssymtom.

Gatudamm tränger in i inomhusutrymmen i livligt trafikerade områden bland annat som följd av vädring via fönster, otäta fönster och läckage i ventilationssystemet samt med skor och kläder. Byggnads- och markarbeten i närheten av byggnaden kan utgöra betydande tillfälliga källor till damm.

Olika slags damm och partiklar kan undersökas genom att analysera sammansättningen av sedimenterat damm med elektronmikroskopi och grundämnesanalys. Mängden mineralullsfibrer i luften kan undersökas med filterprov eller ur sedimenterat damm med s.k. geltejpprov. Partikelhalter undersöks med partikeluppsamlare eller partikelmätare.

Bestämning av sammansättningen av sedimenterat damm

Sammansättningen av damm som fallit ned på ytor kan analyseras semikvantitativt från dammprov som samlas in från ytor. Provet samlas in från ytor som städas regelbundet. Svåråtkomliga ytor där dammet kan vara flera år gammalt bör undvikas. Den yta som undersöks torkas av med en in- och utåtvänd återförslutningsbar plastpåse (Minigrip eller liknande), varvid plastens statiska elektricitet samlar upp dammpartiklarna. Påsen vänds sedan rätt och försluts omsorgsfullt. Dammet i påsen analyseras i ett specialiserat analyslaboratorium med svepelektronmikroskop och ansluten grundämnesanalysator (SEM/EDS).

Med metoden kan fibrer och partiklar som avviker från vanligt husdamm, såsom hudflagor, pappers- och textildamm, särskiljas, exempelvis asbestfibrer, glas- och stenullsfibrer, olika byggmaterialdamm samt mögelsporer (bild 3.15). Resultatet är semikvantitativt och tolkningen grundar sig på jämförelse av prov tagna från olika utrymmen och identifiering av avvikande partiklar. För att fastställa källan till avvikande partiklar rekommenderas att prover tas både från horisontella ytor i rummet och från samma rums tilluftskanal.

Det analyserande laboratoriet rapporterar provets partikelsammansättning per partikeltyp. Av partiklarna rapporteras semikvantitativt åtminstone mineralullsfibrer, mögelsporer, partiklar från byggnadsmaterial samt andra möjliga avvikelser och vanligt husdamm. Asbestfibrer rapporteras kvalitativt (förekommer/förekommer ej).

Mängden damm

Mängden damm som har samlats på ytor kan mätas enligt standarden *INSTA 800:2010* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2012) (standarden *INSTA 800:2010* finns publicerad på finska under beteckningen *SFS 5994*). Mätningen enligt standarden görs genom att med hjälp av en optisk avläsningsenhet bestämma mängden damm som fastnat på en s.k. geltejp, som tryckts mot ytan. Vid tolkning av resultaten kan man tillämpa kraven för klass P1 i renhetsklassificeringen för byggnadsarbeten i *Sisäilmastoluokitus 2008* (Sisäilmayhdistys ry, 2008; ny version Sisäilmastoluokitus 2018), samt anvisningarna i standarden *INSTA 800:2010* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2012) om mängden dammansamling för olika kvalitetsnivåer.

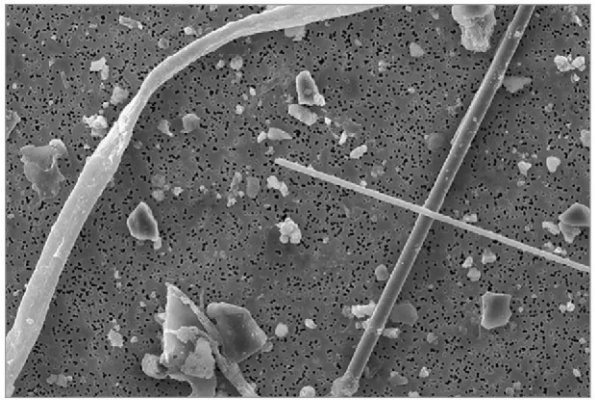




Bild 3.15. Bilden till vänster: rumsdamm sett i elektronmikroskop. Bilden till höger visar dammansamling som kan ses med blotta ögat på ytorna av nedsänkt innertak. Bilder: J. Säntti och M. Pitkäranta, Vahanen Oy.

Mätning av partikelhalter i inomhusluften

Partikelhalterna i inomhusluften bedöms genom att mäta koncentrationen av inandningsbara partiklar (PM_{10}) och/eller fina partiklar ($PM_{2,5}$). Partikelhalterna kan bestämmas enligt *Anvisningen om boendehälsa* (Social- och hälsovårdsministeriet, 2003) antingen som massa eller som antal per luftvolym, även om referensvärdena för till exempel bostäder har fastställts för partiklarnas masskoncentration.

Enligt *Anvisningen om boendehälsa* (Social- och hälsovårdsministeriet, 2003) mäts PM_{10}-halten med en insamlare i enlighet med standarden *SFS-EN 12341* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2014a) eller motsvarande. Ett partikelmätningsresultat som analyserats som masskoncentration anges i enheten $\mu g/m^3$. Enligt *förordningen om boendehälsa* (SHMf 454/2015) och *Finlands byggbestämmelsesamling del D2* (ByggBS D2-2012) är den högsta tillåtna halten för PM_{10}-partiklar 50 $\mu g/m^3$ och för $PM_{2,5}$-partiklar 25 $\mu g/m^3$ (24 timmars mätning).

Bestämning av industriella mineralullsfibrer på ytor

Mängden mineralullsfibrer i inomhusmiljön kan bedömas med den s.k. geltejpmetoden, där bottendelen av en ren petriskål lämnas på en horisontell yta i det utrymme som ska undersökas, orörd i två veckors tid. Efter två veckor trycks en s.k. geltejp fast mot skålen med den klibbiga ytan nedåt, skålen försluts och skickas till analys. Metoden beskrivs i RT-kortet *RT 20-11160. Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet* (Rakennustietosäätiö RTS, 2014b). Vid tolkning av resultaten kan kraven i *Sisäilmastoluokitus 2008* (Sisäilmayhdistys ry, 2008) för renhetsklass P1 i byggnadsarbeten, gällande tillåtna dammansamlingar på ytor, tillämpas, liksom anvisningarna i standarden *INSTA 800:2010* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2012) om mängden dammansamling per kvalitetsklass.
Alternativt kan man avgränsa en horisontell yta på ca 100 cm^2, som rengörs från smuts och damm. Därefter får damm ostört sedimentera på ytan under två veckors tid, varefter partiklarna som fallit ned på ytan samlas upp genom att en geltejp trycks hårt mot ytan. Tejpen överförs till en petriskål med den klibbiga sidan uppåt, skålen försluts och skickas till laboratoriet för analys. I laboratoriet räknas de industriella mineralullsfibrerna som är längre än 20 mikrometer i geltejpprovet med hjälp av ljusmikroskop.

Resultatet av analysen av sedimenterat damm anges i enheten antal fibrer/cm^2. Den lägsta mängden som kan rapporteras är vanligtvis 0,1 fibrer/cm^2. Enligt *förordningen om boendehälsa* (SHMf 545/2015) är åtgärdsgränsen för två veckors fibernedfall 0,2 fibrer/cm^2. Den åtgärdsgräns som används av Arbetshälsoinstitutet för två veckors fibernedfall i kontorsmiljöer är likaså 0,2 fibrer/cm^2 (Arbetshälsoinstitutet, 2014). Vid halter som överstiger riktvärdena ska fiberkällorna utredas liksom möjligheterna att minska dem. Tilluftssystemets funktion som fiberkälla kan bedömas genom att ta prover från tilluftskanalens yta eller med filterprov från tilluften (Kovanen K. m.fl., 2006, Arbetshälsoinstitutet, 2016c).

3.7

Undersökningar av kemiska föroreningar

I en byggnad med inomhusluftproblem mäts kemiska föroreningar bland annat för att identifiera avvikande materialemissioner. Inomhusluftproblem kan orsakas av flyktiga organiska föreningar (VOC) samt vissa andra flyktiga eller halvflyktiga föreningar, eller sådana gasformiga eller partikulära föreningar och material som är kända som så kallade skadliga ämnen.

3.7.1

Flyktiga organiska föreningar (VOC)

Flyktiga organiska föreningar, eller VOC-föreningar (volatile organic compounds), omfattar de organiska ämnen som har en kokpunkt i intervallet 50–260 °C och ett ångtryck vid temperaturen 20 °C på 0,01 kPa eller mer. TVOC (total VOC) avser den sammanlagd halt av VOC-föreningar. Mycket lättflyktiga organiska föreningar, eller VVOC-föreningar (very volatile organic compounds) omfattar de organiska ämnen vars kokpunkt ligger i intervallet 0–50 °C och vars ångtryck vid temperaturen 20 °C är 15 kPa eller högre. Halvflyktiga organiska föreningar, eller SVOC-föreningar (volatile organic compounds), omfattar de organiska ämnen vars kokpunkt ligger i intervallet 240–400 °C och vars ångtryck är större än 10^{-2}...10^{-8} kPa.

Källor till VOC-föreningar är bl.a. byggnadsmaterial, inredning, rengöringsmedel och kosmetika.

VOC-föreningar är vanligen en del av den normala livsmiljön. De avges till inomhusluften typiskt från bland annat byggnadsmaterial, verksamheten i byggnaden, möbler och annan inredning samt lokalernas användare. Från oskadade material avges under normala förhållanden emissioner till inomhusluften, s.k. primäremissioner, som ibland kan vara betydande, särskilt från nya material. Under användning eller vid skador kan materialen också brytas ner kemiskt, varvid de emissionerna som frigörs kallas sekundäremissioner. VOC-föreningar kan också emitteras från material som innehåller skadliga ämnen, såsom gjutasfalt och byggnadsmaterial som förorenats av olja.

Inomhusluftsprover för flyktiga organiska föreningar tas om det i undersökningsobjektet finns skäl att misstänka att ovanligt stora mängder VOC avges eller transporteras till inomhusluften.

Flyktiga organiska föreningar som produceras av mikrober kallas för MVOC (microbial volatile organic compounds). Användningen av MVOC som indikatorer för mikrobiella skador har undersökts mycket. För närvarande anses dock MVOC-mätningar inte ge tillförlitlig information om förekomsten av mikrobskador. Orsaken är bl.a. att flera MVOC-föreningar också emitteras från oskadade material samt att mikrobrelaterade föreningar förekommer i mycket låga koncentrationerna i inomhusluften (Korpi A. 2001, Korpi A. m.fl., 2006, Schleibinger H. m.fl., 2008).

Utifrån dagens kunskapsläge kan mikrob-VOC-mätningar (MVOC) inte användas för att identifiera mikrobproblem.

Flyktiga organiska föreningar kan undersökas i luft, som ytemissioner från material (eller diffunderande genom material) eller från provbitar som lossats ur material (s.k. bulkprover).

För att lokalisera källor till avvikande lukter och fastställa avvikande materialemissioner är de primära metoderna sensorisk bedömning av inomhusluften och materialen i de utrymmen som undersöks samt fuktteknikska undersökningar. Som stöd till dessa utförs vid behov provtagning av VOC i inomhusluften och/eller andra inomhusluftmätningar. Emissionsmätningar på ytor och materialprov utförs vid behov för att bekräfta eller utesluta avvikande emissioner. Innan undersökningar och utredningar inleds är det viktigt att överväga vad som är avsikten med undersökningen, så att rätt mät- och analysmetoder kan väljas. Valet av metod bör inte baseras på lågt pris och/eller på lätt utförande, utan det avgörande är alltid att man får användbar information och mätresultat som går att tolka. Antalet mätningar är begränsat, och med hjälp av den uppgjorda undersökningsplanen bör man alltid kunna motivera vilket område resultatet representerar och varför proverna tas. Närmare mätmetodsspecifika provtagningsanvisningar bör begäras från det analyserande laboratoriet innan provtagningen utförs. Vid planering av provtagningen bör man också beakta att analysresultatet endast beskriver luftens kvalitet eller mängden emissioner under provtagningsperioden och rådande förhållanden vid den tidpunkten.

Behovet av VOC-mätningar, antalet prover och valet av provtagningsplatser påverkas av misstänkta problem, de symtom som lokalens användare upplever, observationer som görs av konstruktionerna, fuktmätningsresultat samt sensoriska observationer. Om inga variationer konstateras i konstruktioner eller fukthalter, ska provtagningsplatserna för VOC-proverna väljas utifrån de faktorer som med största sannolikhet påverkar fuktvariationen (t.ex. förhållanden under byggnadstiden och eventuella vattenläckage), de lukter som kan uppfattas i utrymmena eller de symtom som rapporterats. Innan proverna tas bör man tänka igenom hur representativa de är. På basis av slumpmässigt genomförda VOC-mätningar kan man i regel inte göra någon verklig bedömning av situationen.

Vid provtagning av VOC måste man känna till de olika metodernas begränsningar och tolkningsmöjligheter.

Den som utför mätningen måste ha tillräcklig kunskap om bland annat undersökningsobjektet, de använda materialen, konstruktionerna och byggnadsfysiken.

Det laboratorium som analyserat proverna kan inte tolka resultaten eller ge åtgärdsrekommendationer i stället för provtagaren. Däremot har analyslaboratoriet ofta ett omfattande jämförelsematerial, till exempel om möjliga källor till olika föreningar, vilket gör att tolkningen av resultaten kan göras i samarbete mellan provtagaren och laboratoriet.

Vid provtagningen ska metodspecifika provtagningsanvisningar följas för att resultaten ska vara jämförbara.

Vid provtagningen måste man beakta att särskilt höga temperaturer och hög luftfuktighet typiskt ökar mängden VOC-emissioner. Inomhusluftens VOC-halter påverkas också av bland annat följande faktorer:

- solstrålning och annan värmestrålning på materialytor
- ventilationens funktion
- tryckförhållandena i byggnaden (emissioner inne i konstruktioner) och variationer i lufttrycket
- mätplatsens läge och luftens rörelser i rummet
- årstiden
- lokalens användning (varierande VOC-källor)

Vid VOC-mätningar på plats ska inomhusförhållanden och andra faktorer som kan påverka resultaten beaktas och rapporteras. Det är i regel motiverat att ta jämförelseprov från ett referensutrymme eller ett område som antas vara oskadat. Jämförelseproverna är i många fall ett viktigare hjälpmedel vid tolkningen av resultaten än de tillgängliga referensvärdena. Dessutom måste man alltid beakta mätnoggrannheten vid valet av mätmetod och vid granskningen av resultaten. Den felmarginal som provtagning och analys innebär vid VOC-mätningar är cirka ± 30 %. Vid fältmätningar ökar mätfelet ytterligare på grund av variationer som beror på mätaren och på mätförhållandena.

Inomhusluftens VOC-föreningar

Mät- och analysmetod

Ett VOC-prov från inomhusluften kan samlas in antingen aktivt med hjälp av en pump eller passivt med en diffusionsprovtagare. Enligt *Anvisning för tillämpning av förordningen om boendehälsa* (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira 2016) bör VOC-föreningar provtas med hjälp av en pump till adsorbenten Tenax-TA (bild 3.16). Metoden är i enlighet med standarden *ISO 16000 -6:2013* (International Organization for Standardization, 2011; ny version ISO 16000-6-2021). För denna metod finns det mest referensmaterial tillgängligt som stöd för tolkningen. Föreningar utanför VOC-området (VVOC och SVOC) kan samlas in effektivare med andra absorbenter eller kombinationsprovtagare. Dessa, liksom passiva provtagningsmetoder, används i regel endast i undantagsfall.



Bild 3.16. Insamling av VOC-prov ur inomhusluften med adsorbentrör kopplad till pump. Bilden till höger visar ett Tenax-TA-adsorbentrör som förslutits i ändarna. Bilder: Mikrobioni Oy.

Inför mätningen ska vädring av lokalerna undvikas under 12 timmar. Ventilationssystemet bör vara i normal drift och tilluftsventilerna öppna. Provtagningen får inte ske direkt vid tillufts- eller frånluftsflöden. Ytkonstruktioner får inte rivas före eller under mätningen. Provtagaren får inte använda parfymer, tugga tuggummi eller äta godis, röka eller göra annat som kan påverka proven före eller under provtagningen. För att öka resultatens tillförlitlighet rekommenderas det att parallella prover och en s.k. fältnolla tas. Alla observerade avvikelser ska beaktas vid granskning av resultaten.

Uppsamlingshastigheten är 50–200 ml/min och den rekommenderade provvolymen är 8–12 liter. Om det är känt att inomhusluften innehåller mycket höga halter av VOC-föreningar, bör volymen för provet överenskommas i förväg med det analyserande laboratoriet. Proverna analyseras med termisk desorption-gaskromatografi-masspektrometri (TD-GC-MS).

Resultaten från VOC-analyser av inomhusluft anges i enheten µg/m^3 (mikrogram VOC-förening per kubikmeter luft) i standarderna *SFS-EN ISO 16000-5* (International Organization for Standardization, 2007a), *ISO 16000-6* (International Organization for Standardization, 2011), *SFS-EN ISO 16017-1* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2001) och *SFS-EN ISO 16017-2* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2003). Det är viktigt att analysresultatet anges i en allmänt använd enhet för att undvika feltolkningar av resultaten. I resultaten rapporteras den totala halten av flyktiga organiska föreningar (TVOC) som toluenekvivalenter. Enligt standarden *ISO 16000-6:2011* (International Organization for Standardization, 2011) bestäms TVOC i området mellan n-hexan och n-hexadekan, inklusive dessa föreningar. Minst 2/3 av TVOC-området bör efter möjlighet identifieras och kvantifieras.

Tolkning av resultatet

Tolkningsanvisningarna för VOC-prover är metodspecifika, resultaten kan jämföras med tillgängliga referensvärden endast om provtagningen och analysen har utförts med motsvarande metod som den analys på vilken referensvärdena baseras. Bl.a. de referensvärden som anges i förordningen om boendehälsa (SHMf 545/2015) grundar sig på data som samlats in med metoder enligt ovan nämnda standarder. Om en annan typ av insamlare/adsorbent används än den som använts vid insamling av referensmaterialet, kan de referensvärden som fastställts utifrån referensmaterialet inte tillämpas på de föreningar vars uppsamlingseffektivitet skiljer sig mellan provtagartyper/adsorbenter. Typ av provtagare och adsorbent ska alltid anges i laboratoriets analyssvar och mätrapport.

Vid tolkning av resultaten från inomhusluft VOC-prover kan man som tumregel utgå från att ungefär hälften av VOC-halterna i bostäder härrör från byggnadsmaterial och hälften emitteras från bl.a. möbler, textilier, rengöringsmedel, kosmetika samt invånare och sällskapsdjur (Metiäinen P., 2012).

Endast ett fåtal VOC-föreningar har tillgängliga referensvärden för inomhuslufthalten.

I *förordningen om boendehälsa* (SHMf 545/2015) anges åtgärdsgränser för bostäder, bestämda med toluenekvivalent, för totalhalten av VOC-föreningar (TVOC, 400 µg/m^3) samt separat för enskilda föreningarna 2,2,4-trimetyl-1,3-pentandiol-di-isobutyrat (TXIB, 10 µg/m^3), 2-etyl-1-hexanol (2-EH, 10 µg/m^3), naftalen (10 µg/m^3, lukt får inte förekomma) och styren (40 µg/m^3). I *Anvisning för tillämpning av förordningen om boendehälsa* (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016) anges dessutom att C9-C10-alkoholer, som förknippas med fuktskador i nyare plastmattor, misstänks kunna orsaka symtom hos människor vid inomhuslufthalter > 10–50 µg/m^3. För övriga enskilda föreningar gäller en åtgärdsgräns på 50 µg/m^3. Om denna nivå överskrids ska föreningens eventuella skadlighet vid den uppmätta koncentrationen utredas. Laboratorier som arbetar i enlighet med *Anvisning för tillämpning av förordningen om boendehälsa* (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016) bör rapportera halterna av de enskilda föreningar som nämns i *förordningen om boendehälsa* (SHMf 545/2015) som toluenekvivalenter, så att resultaten direkt kan jämföras med åtgärdsgränserna. Analyslaboratorier kan även rapportera halterna av enskilda föreningar beräknade med respektive ämnes egen respons. I sådana fall rekommenderas det att kontakta det analyserande laboratoriet vid tolkning av resultaten.

I kontorsbyggnader är VOC-halterna oftast lägre än i bostadshus, bland annat på grund av effektivare ventilation. Arbetshälsoinstitutet har angivit referensvärden för den totala halten av VOC-föreningar i kontorsmiljö (TVOC, 250 µg/m^3) samt för enskilda föreningar (1–15 µg/m^3 beroende på föreningsgrupp). Dessa referensvärden representerar ovanligt höga halter (s.k. P90-värden). (Arbetshälsoinstitutet, 2016c)

För att bedöma luftkvaliteten i produktionsliknande arbetsmiljöer kan social- och hälsovårdsministeriets förordning om koncentrationer som befunnits skadliga (SHMf 268/2014) användas. I denna förorening listas kända skadliga koncentrationer av föroreningar i luften på arbetsplatser samt motsvarande gränsvärden för biologiska exponeringsindikatorer. HTP-värdena används vid bedömning av luftens renhet på arbetsplatsen, arbetstagarnas exponering och mätresultatens betydelse. Lagstiftningsarbetet kring HTP-värden är en fortlöpande process, där en ny förordning utfärdas ungefär vartannat år. HTP-värden lämpar sig dåligt för bedömning av sanitära olägenheter i bostäder och andra vistelseutrymmen. Även i *statsrådets förordning om kemiska agenser i arbetet* (SRf 715/2001), som utfärdats med stöd av *arbetarskyddslagen* (738/2002), behandlas gränsvärden för VOC-föreningar. För industriella arbetsmiljöer har ett riktvärde för TVOC-halten föreslagits till 300 µg/m^3 och ett referensvärde till 3 000 µg/ m^3 (Tuomi T. m.fl., 2012).

Eftersom inomhusluftens VOC-föreningar och deras hälsoeffekter delvis är okända och mätningarna är förknippas med flera osäkerhetsfaktorer, kan man i regel inte enbart på basis av mätningar dra tillförlitliga slutsatser om inomhusluftens hälsomässiga kvalitet. Mätosäkerheten måste alltid beaktas vid tolkning av resultaten.

Mer information som stöd för granskning av analysresultat för inomhusluftens VOC-föreningar finns bl.a. i följande publikationer:

- *Kosteus- ja homevauriot - Ratkaisuja työpaikoille* (Salonen H. m.fl., 2014)
- *Kooste toimistoympäristöjen epäpuhtaus- ja olosuhdetasoista (rakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto), joiden ylittyminen voi viitata sisäilmasto-ongelmiin* (Arbetshälsoinstitutet, 2016c).
- *Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen* (Lappalainen S., Reijula K., Tähtinen K. m.fl., 2016)
- *Toimiston sisäilmaston tutkiminen* (Salonen H., 2011)
- *Anvisning om boendehälsa* (Social- och hälsovårdsministeriet, 2003) och *Asumisterveysopas* (Aurola R. ja Välikylä T., 2009)
- *Reference values for building material emissions and indoor air quality in residential buildings* (Järnström H., 2007)
- *Muovimattopinnoitteisen lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmaongelmatapauksissa* (Järnström H., 2005).

De jämförelsematerial som samlats av VTT gäller i huvudsak bostadshus medan Arbetshälsoinstitutets material gäller kontorsbyggnader.

VOC-ytemissioner

Mät- och analysmetod

Konstruktioners ytemissioner mäts oftast med FLEC-utrustning (Field and Laboratory Emission Cell). Vid provtagning bör särskild uppmärksamhet fästas vid valet av provtagningspunkt, utrustningens täthet (utflödet ska under provtagningen vara minst 95 % av inflödet), luftflöde och provtagningsflöde samt utjämningstiden före provtagning. Mätresultatet anges i enheten µg/m^{2}h (mikrogram av den undersöka föreningen avdunstar från en kvadratmeter av den undersökta ytan per timme).

FLEC-mätningen kan göras med en metod enligt standarden *SFS-EN ISO 16000-10* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2006b) eller enligt anvisningen *NT BUILD 484* (Nordtest, 1998) (bild 3.17). Metoderna skiljer sig åt i fråga om metodens noggrannhet och hur anpassad den är till fältarbete.

1. Metod enligt standarden *SFS-EN ISO 16000-10*:
- avsedd främst för användning i laboratorieförhållanden.
- vid provtagning leds syntetisk luft med en temperatur av 23 ºC och relativ fuktighet 50 % via en luftstyrningsenhet till FLEC-kammaren.
- som stöd för tolkningen av resultaten finns jämförelsematerial tillgängligt
- Vid provtagningen ska bland annat följande beaktas:

- under mätning i fält är mättemperaturen den temperatur som råder i det utrymme som mäts och den justeras vid behov och möjlighet till den temperatur som anges i standarden
- standarden kan i regel inte följas exakt vid fältmätningar, på grund av temperaturskillnader mellan inomhusluften och ytan.

2. Metod enligt anvisningen *NT BUILD 484*:

- avsedd att användas i fältförhållanden
- vid provtagningen används filtrerad rumsluft, som leds med en fläktpump direkt in i FLEC-kammaren i den temperatur och relativa fuktighet som råder i inomhusluften vid mättillfället
- noggrant jämförelsematerial finns inte tillgängligt som stöd för tolkning av resultaten, beroende på variationerna i förhållanden
- metoden lämpar sig till exempel för situationer där skillnader i emissioner mellan olika områden i objektet jämförs genom fältmätningar.

För resultatens jämförbarhet är det viktigt att ange enligt vilken standard proverna har tagits och under vilka förhållanden (temperatur och relativ fuktighet för inomhusluften och ytstrukturen). Vid mätning med den enklare mätmetoden *(NT BUILD 484)* skapar bl.a. variationerna i inomhusluftens relativa fukthalt utmaningar för tolkningen av resultaten.

Före FLEC-provtagning görs en sensorisk bedömning av lokalens inomhusluft. Den undersökta konstruktionens typ och fukthalt fastställs. Emissionsmätningen inleds typiskt i det utrymme/den punkt där emissionerna antas vara som lägst. Sist undersöks utrymmet/punkten där emissionerna antas vara som högst.

I samband med FLEC-provtagningen mäts inomhusluftens förhållanden (RH, T) samt ytstrukturens temperatur och relativa fukthalt vid alla mätpunkter. Dessutom görs en sensorisk bedömning av det undersökta materialets yta. När det gäller limmade beläggningar mäts fukthalten under beläggningen efter provtagningen med s.k. snittmätning, varefter beläggningen öppnas och även beläggningens undersida och limskiktets skick bedöms.

FLEC-mätningen kan även göras på ytan under beläggningen/ytbehandlingen, till exempel på den bara betongytan efter att golvbeläggningen avlägsnats. Syftet i sådana fall är typiskt att få klarhet i de VOC-föreningar som adsorberats i konstruktionen och/eller att försäkra sig om att den normala vädringstiden i samband med reparationer är tillräcklig. En mätning på underlagsytan görs tidigast tre dygn efter att ytmaterialet avlägsnats (Järnström H., 2005).

Resultaten av FLEC-analyser av materialens ytemissioner anges i enheten µg/m^{2}h. Resultaten anger den totala emissionen av flyktiga organiska föreningar (TVOC) som toluenekvivalenter samt emissionskoncentrationerna för enskilda föreningar, på motsvarande sätt som beskrivits ovan för VOC-analysen av inomhusluft. Vid myndighetsundersökningar enligt hälsoskyddslagen (763/1999) ska det undersökande laboratoriet ha Livsmedelssäkerhetsverkets (Evira) godkännande för den analysmetod som används, i enlighet med *statsrådets förordning om laboratorier som utför undersökningar enligt livsmedelslagen, foderlagen och hälsoskyddslagen* (SRf 152/2015).

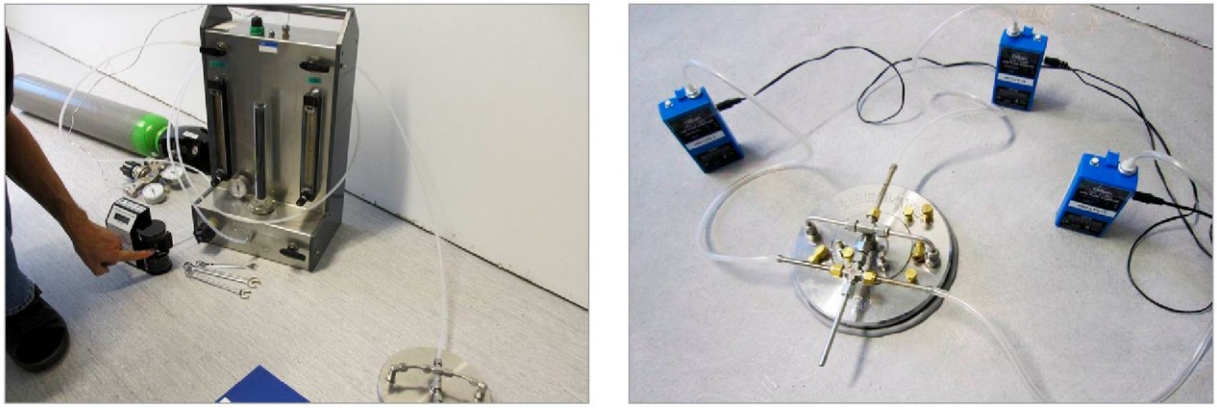


Bild 3.17. Emissionsmätning av golvytan med FLEC-metoden. I den vänstra bilden metod enligt standarden *SFS-EN ISO 16000-10* och i den högra bilden metod enligt anvisningen *NT BUILD 484*. Bild: H. Tuovinen, Vahanen Oy

Tolkning av resultaten

Vid tolkning av resultaten för VOC-emissioner beaktas materialens karakteristiska utsläpp, dvs. primäremissioner, samt förhållandena vid mätögonblicket. Tolkningen av resultaten underlättas av att man tar referensprover från ett område som är känt att vara oskadat, särskilt när materialens primäremissioner inte är kända.

Konstruktionens emissioner påverkas av alla dess komponenter, som stomkonstruktion, spackel, lim, golvbeläggning och ytbehandling, samt variationen i förhållanden. Under fältförhållanden uppmäts ofta betydligt högre VOC-emissioner än från enskilda material under laboratorieförhållanden. Till exempel är inverkan av det lim som används vid montering av golvbeläggningen tydlig vid mätning av golvbeläggningar som släpper igenom VOC-föreningar (Järnström H., 2007). Dessutom kan den undersökta konstruktionen innehålla andra flyktiga organiska föreningar, såsom oljekolväten eller PAH-föreningar, beroende på till exempel äldre byggnadsmaterial eller oljeskador.

Det rekommenderas att resultatet av en FLEC-analys jämförs med resultatet av ett VOC-prov av inomhusluften taget från samma utrymme samt med resultatet av en FLEC-analys från en oskadad referenspunkt (eller ett problemfritt utrymme). Den emissionshastighet som fastställts genom FLEC-provtagning kan omvandlas till en halt i rumsluften genom en beräkningsformel, förutsatt att den emitterande ytan, rummets volym och luftomsättningen är känd.

Mer information som stöd för granskning av FLEC-mätresultat av VOC-föreningar finns bl.a. i följande publikationer:

- *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)
- *Muovimattopinnoitteisen lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmaongelmatapauksissa* (Järnström H., 2005).

VTT:s material grundar sig på referensdata som samlats in med FLEC-mätmetoden enligt standarden *SFS-EN ISO 16000-10* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2006b).

Resultat från FLEC-mätningar enligt anvisningen NT BUILD 484 (Nordtest, 1998) kan bedömas utifrån referensvärden i VTT:s publikationer, men vid tolkningen av resultaten ska inomhusluftens temperatur och fuktighet beaktas eftersom de påverkar mätresultatet. Till exempel är rumsluftens relativa fuktighet under vintern betydligt lägre än standardens 50 %, vilket gör att emissionerna under vintern i regel lägre än under sommaren.

VOC-emissioner från materialprov (”bulk-materialprov”)

Mät- och analysmetod

VOC-emissioner från material kan mätas med kammarmetoder i laboratorium. Metoden lämpar sig inte för mätning av ytemissioner och resultaten är kvalitativa så referensmaterial från FLEC-metoden kan inte användas för tolkning av resultaten.

En provbit lossas från det material som ska undersökas och förpackas tätt i aluminiumfolie och en återförslutbar påse och skickas till analyslaboratoriet. I laboratoriet finfördelas provbiten, vägs och emissionen bestäms vanligen enligt emissionskammarmetoden i standarden *SFS-EN ISO 16000-9* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2006a). I laboratoriet används bland annat mikrokammarutrustning (Micro-Chamber/Thermal Extractor, µ-CTE) för analys av materialprover. Denna provtagnings- och analysmetod kallas bulk-materialprov.

Ett bulk-materialprov beskriver den undersökta konstruktionens emissionspotential. I det materialprov som tagits från objektet kan, förutom det material som undersöks, även finnas rester av andra material, såsom lim, spackel, primer och betong, vilka påverkar emissionerna. Vid mätningen täcks ingen yta på provbiten, varför analysen visar de föreningar som avges från samtliga provytor. Provet innehåller också mycket färska snittytor, som i regel emitterar kraftigt. Materialprovet beskriver alltså inte materialets verkliga ytemission mot rumsluften. Den verkliga emissionen kan fastställas genom FLEC-mätning ovanpå en intakt materialyta. Som regel bör ytemissioner i samband med inomhusluftproblem i första hand undersökas på intakta materialytor på plats i undersökningsobjektet med en FLEC-mätning.

Resultaten av bulk-analyser anges i enheten µg/m^{3}g (mikrogram av undersökt förening som avges från ett gram undersökt material till en kubikmeter luft) eller µg/gh (mikrogram av undersökt förening som avges från ett gram undersökt material per timme). I resultaten redovisas emissionen separat för varje identifierad förening samt den sammanlagda emissionen för alla analyserade VOC-föreningar som toluenekvivalent (TVOC), samt de enskilda föreningarnas emissionshalter på motsvarande sätt som presenterats ovan för VOC-analysen av inomhusluft.

Vid bedömning av redan utförda analyser ska det beaktas att en vissa laboratorier har angett att materialprovanalyserna är utförda med FLEC-metoden, trots att det är frågan om en tillämpning av emissionskammarmetoden (”bulk-materialprovanalys”) enligt standarden *SFS-EN ISO 16000-9* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2006a), där en FLEC-anordning har använts som kammare. För tolkning av resultaten är det mycket viktigt att vara medveten om vilken analysmetod som faktiskt har använts.

Tolkning av resultaten

Det rekommenderas att jämföra resultaten från bulk-materialprovanalyser med resultaten från VOC-analyser av inomhusluften och FLEC-analyser som samlats in från samma utrymme. Bulk-materialprovanalys kan användas för att verifiera andra mätresultat samt som en kartläggande metod när emissionsskillnaderna mellan skadade och referensområden är tydliga. Dessutom kan materialprovet avslöja föreningar som emitteras från beläggningens/ytans undersida och/eller långsamt avgår från materialets inre, vilka inte alltid framträder i inomhuslufts- eller ytemissionsmätningar.

Bulk-materialprovanalys är inte en reproducerbar mätmetod, eftersom provet alltid innehåller varierande mängder av även andra byggmaterial som är i kontakt med det undersökta materialet, såsom lim, spackel, primer och betong. Resultaten kan därför inte jämföras med testresultaten för materialklass M1. Ett materialprov som lossats från objektet kan ge indikationer på en eventuell kemisk skada i materialet, men enbart på basis av materialprover kan behovet av åtgärder inte bestämmas. Som stöd för tolkning av resultatet krävs alltid åtminstone byggnadstekniska granskningar.

Mer information som stöd för granskning av emissionsmätningsresultat av bulk-materialprov finns i bland annat följande verk:

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

3.7.2

Andra gasformiga föroreningar

Ammoniak

Ammoniak (CAS 7664-41-7) är en färglös gas som känns igen på dess karakteristiska stickande lukt. Källor till ammoniak i inomhusluften är bl.a. tobaksrök, husdjur, rengöringsmedel samt materialemissioner som uppstår vid fuktorsakad nedbrytning av organiska ämnen i vissa spackel- och limprodukter. Lukttröskeln som rapporterats för ammoniak varierar mycket. När ammoniak påträffas i samband med fuktskador betraktas den som en s.k. indikatorförening, vars förhöjda halt kan kopplas till emissioner av andra föreningar som eventuellt kan vara skadliga redan vid lägre koncentrationer. Provtagning av ammoniak i inomhusluften utförs med pump till en svag svavelsyralösning eller i ett adsorbentrör enligt RT-kortet *RT 14-10775. Sisäilman ammoniakkipitoisuuden määritys* (Rakennustietosäätiö RTS, 2003).

Enligt *Anvisningen om boendehälsa* (Social- och hälsovårdsministeriet, 2003) kan en ammoniakkoncentration över 40 µg/ m^3 i bostäders inomhusluft anses vara förhöjd, och en sådan halt tyder på ovanliga källor i inomhusmiljön. Målvärden för ammoniak i inomhusluft är enligt *Sisäilmastoluokitus 2008* (Sisäilmayhdistys ry, 2008) 30 µg/m^3 i inomhusluftklasserna S1 och S2 och 40 µg/m^3 i inomhusluftklassen S3. I *Finlands byggbestämmelsesamling del D2* (ByggBS D2-2012) är planeringsriktvärdet för ammoniak i inomhusluft 20 µg/m^3. Enligt studier ligger den normala koncentrationen av ammoniak i inomhusluften i intervallet 10–20 µg/m^3, och att den ger upphov till irritationssymtom när halterna stiger över 160–410 µg/m^3. I luften på arbetsplatser av produktionskaraktär har HTP-värdet för ammoniak fastställts till 14 mg/m^3 (14 000 µg/m^3) för 8 timmars exponering och till 36 mg/m^3 (36 000 µg/m^3) för 15 minuters exponering (SHMf 268/2014). Ammoniakemission kan bestämmas antingen från en yta med FLEC-provtagning eller från ett bulk-materialprov.

Kasein och andra proteiner

Kasein (CAS 9000-71-9) och andra animaliska protein har använts bl.a. som bindemedel i spackel och lim. Kaseiner är den största proteingruppen i komjölk och en betydande orsak till omedelbara allergiska reaktioner, dvs. en allergen. Man kan sensibiliseras för mjölkproteiner även genom inandning eller hudkontakt. I en finsk studie från 2001 (Mäkinen-Kiljunen S. och Mussalo-Rauhamaa H., 2001) påvisades sensibilisering mot spackelprodukter och det kasein de innehöll. Kasein bryts ner i fuktiga förhållanden, varvid ammoniak och andra föreningar frigörs, vilket kan ge upphov till inomhusluftproblem. Kasein kan bestämmas ur byggnadsmaterial, men för närvarande är tillgången till analys begränsad.

Formaldehyd

Formaldehyd (CAS 50-00-0) har använts bl.a. vid tillverkning av spånskivor, mineralull, lim, hartser och lacker. Formaldehyd har en kraftig lukt, med en lukttröskel på cirka 35 µg/m^3. Förhöjda inomhusluftkoncentrationer kan orsaka symtom i andningsvägar och ögon. Man kan också sensibiliseras för formaldehyd. Den individuella känsligheten varierar avsevärt, irritationssymtom kan förekomma hos känsliga personer redan vid mycket låga halter (5–10 µg/m^3). Metoder för att mäta formaldehyd i inomhusluft presenteras i *Anvisningen om boendehälsa* (Social- och hälsovårdsministeriet, 2003)

I *förordningen om boendehälsa* (SHMf 545/2015) anges åtgärdsgränsvärden för formaldehyd i bostadsutrymmen. Den årliga medelkoncentrationen för formaldehyd får inte överskrida 50 µg/m^3, och vid kortvarig mätning får 30 minuters medelvärde inte överskrida 100 µg/m^3. Enligt *Finlands byggbestämmelsesamling del D2* (RakMK D2-2012) är planeringsriktvärdet för formaldehyd i inomhusluft 50 µg/m^3. En formaldehydkoncentration över 15 µg/m^3 i inomhusluften kan anses som förhöjd och tyder på ovanliga källor i inomhusmiljön. I luften på arbetsplatser av produktionskaraktär är HTP-värdet för formaldehyd satt till 370 µg/m^3 för 8 timmars exponering och till 1 000 µg/m^3 för 15 minuters exponering.

Radon

Radon (CAS 10043-92-2) är en osynlig och luktfri ädelgas som förekommer i byggnaders inomhusluft. Ungefär hälften av den strålningsdos finländare utsätts för härstammar från radon i inomhusluften. Långvarig vistelse i höga radonhalter ökar risken att insjukna i lungcancer. Bestämningen av medelvärdet för radonhalten i rumsluften i bostäder görs som minst en två månader lång mätning under perioden från början av november till slutet av april, eftersom halten varierar kraftigt bl.a. beroende på årstid (Social- och hälsovårdsministeriet, 2003).

Enligt *Social- och hälsovårdsministeriets beslut om maximivärden för radonhalten i rumsluft* (SHMb 944/92) bör årsmedelvärdet för radonhalten i bostäder inte överskrida 400 becquerel per kubikmeter (Bq/m_3). Enligt *Finlands byggbestämmelsesamling del D2* (RakMK D2-2012) är planeringsriktvärdet för radon i inomhusluft 200 Bq/m^3. I strålskyddsförordningen (1512/1991, ändrad 1143/1998) har gränsvärden fastställts för radonhalten på arbetsplatser. Vid regelbundet arbete (över 600 timmar per år) får årsmedelvärdet inte överskrida 400 Bq/m^3. Detta åtgärdsgränsvärde tillämpas också på skolor, daghem och andra offentliga lokaler. Den genomsnittliga radonhalten i finländska bostäder är cirka 100 Bq/m^3 (Strålsäkerhetscentralen, 2014). Enligt Europeiska unionens rådets *direktiv om fastställande av grundläggande säkerhetsnormer för skydd mot de faror som uppstår till följd av exponering för joniserande strålning* (2013/59/Euratom, Basic Safety Standards Directive, det sk. BSS-direktivet), som publicerades 2014, ska den nationella referensnivån för radonhalten i inomhusluft vara under 300 Bq/m^3. Direktivet ska genomföras i nationell lagstiftning senast den 6.2.2018. I samband med att direktivet genomförs görs en totalreform av strålningslagstiftningen. Mer information om radon finns bl.a. i RT-kortet *RT 81-11099. Radonin torjunta* (Rakennustietosäätiö RTS, 2012b; ny version RT 103123) och i Strålsäkerhetscentralens publikation *Radon i inomhusluft* (Strålsäkerhetscentralen, 2014).

Kloranisoler

Kloranisoler (penta-, tetra- och tri-CA) är föreningar som uppstår vid mikrobiologisk nedbrytning av klorfenoler (bl.a. PCP) i träskyddsmedel (bl.a. Ky5 mot blånad). Användningen av PCP var som störst under 1930–1980-talen, men produkter som innehöll PCP fanns på marknaden ännu i början av 1990-talet. I byggnader kan det förekomma sågvirke behandlat med PCP, och även kutterspån som använts som värmeisolering kan innehålla rester av PCP.

Förekomsten av kloranisoler i inomhusluften ger en karakteristisk lukt av ”gammalt hus” eller ”mormors stuga” i byggnaden.

Lukttröskeln för flera kloranisoler är mycket låg (till och med under 10 ng/m^3). Lukten förekommer särskilt i äldre bostadshus och sommarstugor. På grund av den låga lukttröskeln behöver inte lukten nödvändigtvis vara kopplad till betydande mikrobskador i konstruktionerna. Enligt tillgänglig forskning orsakar kloranisoler i de koncentrationer som normalt påträffas i inomhusluft i regel inte symtom. Lukten upplevs dock vanligtvis som obehaglig och därmed besvärande. (Gunschera J. m.fl., 2004, Lorentzen J. m.fl., 2015)

Lukten av kloranisoler fastnar lätt i byggnadens trä- och andra byggnadsmaterial samt i kläder och annat lösöre i byggnaden. Det är svårt att få bort lukten, och det har förekommit fall där man blivit tvungen att riva byggnader på grund av luktproblem orsakade av kloranisoler. Enligt *Hälsoskyddslagen* (763/1994) betraktas störande lukter i bostadsutrymmen som en potentiell orsak till sanitär olägenhet.

Kloranisolernas roll som orsak till inomhusluftproblem har knappast undersökts i Finland, och det finns inga officiella riktvärden för kloranisolhalter i inomhusluft. Möjligheter att analysera kloranisoler kan efterfrågas bl.a. vid Arbetshälsoinstitutet.

3.7.3

Skadliga ämnen

Förekomsten av eventuella skadliga ämnen påverkas i hög grad av byggnadens bygg- och renoveringstidpunkter samt dess användningshistoria. Material innehållande skadliga ämnen har använts på olika sätt under olika tidsperioder.

I tabellerna 3.3 och 3.4 har uppgifter samlats om förekomsten av skadliga ämnen i olika slags byggnadsmaterial under olika årtionden. En mer omfattande företeckning över skadliga ämnen i olika byggnadsmaterial finns i RT-kortet *RT 20-11160. Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet* (Rakennustietosäätiö RTS, 2014b), som är riktat till undersökare av skadliga ämnen.

En del av skadliga ämnen som använts i byggmaterial kan vandra över till angränsande byggnadsmaterial. Särskilt PAH-föreningar, oljekolväten och PCB-föreningar har konstaterats tränga in i porösa byggnadsmaterial som trä, betong, tegel, murbruk och spackel. Dessutom kan byggnadsmaterial innehålla ämnen som under ogynnsamma förhållanden kan reagera och bilda nya kemiska föreningar.

Konstruktioner eller mark som är förorenade med skadliga ämnen kan orsaka inomhusluftproblem.

En del av byggnadens skadliga ämnen kan härstamma från föroreningar kopplade till byggnadens användningshistoria. I äldre industribyggnader och i byggnaders tekniska utrymmen finns det ofta omfattande områden förorenade med oljekolväten. Dessa föroreningar har typiskt orsakats av oljeläckage från maskiner och anordningar som använts i byggnaden (bild 3.18). I äldre ventilationsmaskinrum har anläggningarnas kondensatoroljor i sin tur innehållit PCB-föreningar, vilket innebär att de föroreningar som uppstått där har en betydande inverkan på planeringen av saneringsåtgärder i dessa utyrmmen.

Tabell 3.3. Skadliga ämnen i byggnadsmaterial och produkter under olika decennier.

	Asbest	Mineraloljor	PAH-föreningar (kreosot)	PCB-föreningar	Metallföreningar
...1900	använts	använts	använts	använts	använts
1900–1930	använts	använts	använts	använts	använts
1930–40	använts	använts	använts	använts	använts
1940–50	använts	använts	använts	använts	använts
1950–60	använts	använts	använts	använts	använts
1960–70	använts	använts	eventuellt	använts	använts
1970–80	använts	använts	eventuellt	eventuellt	använts
1980–90	använts	använts	eventuellt	okänt [1)]	använts
1990–2000	eventuellt	använts	eventuellt	okänt [1)]	använts
2000–2010	okänt [1)]	använts	okänt [1)]	okänt [1)]	använts

1) Ingen känd användning under aktuellt decennium

Tabell 3.4. Skadliga ämnen kan förekomma i åtminstone dessa material

Skadligt ämne	Material eller byggnadsdel och tidsperiod då det använts
Asbest	Ventilationskanaler (krysotil, amosit, krokidolit, 1930–1970-talet) Asbestcementrör (krysotil, amosit, krokidolit, antofyllit, 1930–1980-talet) Asbestcementskivor (krysotil, antofyllit och ibland krokidolit, åren 1910–1990) Golv- och väggspackel, 1950–1970-talet) Golvbeläggningar, (krysotil, åren 1957–1988) Golvbeläggningar i våtutrymmen (antofyllit, krysotil, åren 1954–1975) Plasttapeter i våtutrymmen (krysotil, 1970-talet) Bitumenlim för inomhusbeläggningar (antofyllit eller krysotil, 1950–1960-tal) Fästbruk för keramiska plattor (antofyllit, 1950–1970-tal) Fasadfärger, (krysotil, åren 1960–1988) Rörisoleringar (krokidolit, krysotil, amosit, antofyllit, åren 1930–1977) Vattenisoleringar/bitumenlösningar (krysotil, åren 1927–1986) Brandskydds- och akustikskivor (krokidolit, antofyllit, krysotil, 1959–1970-tal) Brandskyddssprutning (krokidolit, amosit, 1939–1977)
Mineraloljor	Bränslen, skärvätskor, motoroljor och andra smörjmedel (en byggnadsdel som förorenats av mineralolja har vanligen förorenats av en extern källa) Asfalt och gjutasfalt
PAH-föreningar (kreosot)	Impregneringsmedel för trämaterial, bitumenprodukter (i vissa produkter ännu på 1990-talet) Asfalt och gjutasfalt
PCB-föreningar	Fogmassor (–1989) Isolerglas (åren 1960–1977) Rostskyddsfärger, kondensatorer och transformatorer
Metallföreningar	Fogmassor (–1989) Rostskyddsfärger (bly ännu på 1990-talet) Pigment Ljuskällor (används fortfarande, även lågenergilampor) Kyl-, smörj- och impregneringsmedel (extern källa) Termometrar



Bild 3.18. Materialprovtagning med diamantborrning ur ett bottenbjälklag som misstänks vara oljekolvätekontaminerad. Bild: Vahanen Oy.

I äldre byggnader kan det även ha använts bekämpningsmedel som numera är förbjudna.

Byggnadsdelar och material som typiskt ska beaktas i småhus är byggskivor, rörisoleringar och bruk som innehåller asbest, färger som innehåller metallföreningar, PAH-föreningar och PCB-föreningar, byggpapper, takfilt och bitumenprodukter som innehåller PAH-föreningar, samt stenbaserade konstruktioner och jordmassor som förorenats av oljekolväten från läckande oljecisterner.

En del av byggnadens konstruktioner kan även ha förorenats av skadliga ämnen från byggnadens närmiljö. Förorening av marken med oljekolväten från gamla, ofta redan ur bruk tagna, nedgrävda oljecisterner kan påverka närbelägna byggnader. Föreningar i den förorenade marken kan absorberas i porösa byggnadsdelar, som betong och tegel, men de kan också direkt påverka inomhusluftens kvalitet, till exempel via luftläckage genom bottenbjälklaget. Mer information om undersökningar av förorenad mark och sanering av marken finns i publikationerna *Pilaanteuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta* (Miljöministeriet, 2014) och *Pilaantuneen maa-alueen kunnostushankkeen tilaaminen* (Vepsäläinen M., m.fl., 2016).

3.7.4

Undersökning av skadliga ämnen som en del av konditionsundersökningen

En undersökning av skadliga ämnen ska göras i fastigheten under planeringsskedet av reparationsarbeten, innan arbetet påbörjas, om det finns skäl att misstänka att de konstruktioner som ska repareras kan innehålla skadliga ämnen. Enligt gällande asbestlagstiftning (s.k. ***asbestlagen*** 864/2015 och SRf 798/2015) ska en asbestkartläggning utföras innan renoveringar påbörjas i alla byggnader som färdigställts före år 1994. Byggherren eller fastighetsägaren är ansvarig för undersökningen. Utifrån undersökningen identifieras de konstruktioner vars material, eller kemikalier som absorberats i materialen under användning, kan utgöra en fara under fastighetens användning eller vid rivningsarbeten, eller som måste klassificeras för avfallshantering. Undersökningar av skadliga ämnen görs också bland annat för att utreda observerade luktolägenheter, eller om det finns misstanke om att material som kan innehålla asbest kan utgöra risker för byggnadens användare.

Undersökning av skadliga ämnen bör genomföras redan i projektplaneringsskedet, så att rätt reparationsalternativ kan väljas vid planeringen. Med stöd av undersökningen fås också mer tillförlitliga kostnadsbedömningar för rivning och avfallshantering av material innehållande skadliga ämnen.

Det krävs specialkompetens för att genomföra undersökningar av skadliga ämnen och förutsätter att de sakkunniga som utför konditionsundersökningar har genomgått utbildning, eller åtminstone har omfattande erfarenhet och djupgående kännedom om relevanta anvisningar och bestämmelser. För undersökning av skadliga ämnen finns RT-kort tillgängliga för både beställare och undersökare; *RT 20-11159. Haitta-ainetutkimus. Tilaajan ohje* (Rakennustietosäätiö RTS, 2014a) och *RT 20-11160. Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet* (Rakennustietosäätiö RTS, 2014b). Dessa beskriver fastighetsägarens skyldigheter, vägleder undersökare av skadliga ämnen och beskriver innehållet i den rapport som upprättas utifrån undersökningen. I anvisningen för beställaren ges dessutom instruktioner för beställning av olika typer av undersökningar av skadliga ämnen (Rakennustietosäätiö RTS, 2014a).

Analys av skadliga ämnen i materialprover

Prover som samlas in i samband med en undersökning av skadliga ämnen ska alltid hanteras som farliga prover tills deras ofarlighet har kunnat påvisas analytiskt. Provtagaren är också skyldig att varna analyslaboratoriet om alla eventuella skadliga ämnen i proverna.

I RT-kortet *RT 20-11160. Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet* (Rakennustietosäätiö RTS, 2014b), som är avsett för undersökare, presenteras de nödvändiga analyserna av skadliga ämnen för olika byggnadsmaterial, provtagningsmetoder och de arbetssäkerhetsaspekter som bör beaktas.

Asbestanalyser

Asbest är ett samlingsnamn för flera fiberformade silikatmineral som fås från naturen. Asbesttyperna är krysotil, krokidolit, antofyllit, tremolit, aktinolit och amosit, även kallad grunerit.

Asbestanalyser utförs med mikroskop. För vissa byggnadsmaterial kan asbestanalysen göras med polarisationsmikroskop, medan för andra material måste analysen utföras med svepelektronmikroskop (SEM). Asbestanalyslaboratoriet ska instrueras att i sina resultat även ange vilken asbesttyp som påträffats.

Analys av PAH-föreningar

PAH-föreningar (polycykliska aromatiska kolväten) är föreningar som innehåller aromatiska kolväteringar, ofta med en kraftig lukt. Många av dem är skadliga för hälsan. PAH-föreningar analyseras i materialprover, bl.a. för att bestämma avfallskategorin för rivningsavfall, för att bedöma byggnadsmaterialens påverkan på inomhusluften och för att lokalisera källan till den för PAH-föreningar karakteristiska ”lukten av järnvägssliper” som upplevs i ett utrymme. Ur provet analyseras de 16 PAH-föreningar som rekommenderas av den amerikanska miljövårdsmyndigheten EPA (United States Environmental Protection Agency). Analysmetoden är beskriven i standarden *SFS-ISO 18287* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2007c). Förutom halterna av enskilda föreningar ska analyslaboratoriet även rapportera PAH(16)-summakoncentrationen, som utgör grunden för tolkningarna, t.ex avfallskategorier för rivningsmaterial

som innehåller PAH-föreningar och behovet för skyddsåtgärder vid rivningsarbeten (se anvisningskortet *Ratu 82-0381. Kivihiilipikeä sisältävien rakenteiden purku. Osastointimenetelmä. Menetelmät.* Rakennustietosäätiö RTS och Talonrakennusteollisuus ry, 2011a).

Analys av PCB-föreningar

PCB-föreningar (polyklorerade bifenyler) är luktfria ämnen som är skadliga för miljön och människan. PCB-föreningar analyseras ur materialprov främst för att bestämma avfallskategorin för rivningsavfall. Bestämningen av PCB-föreningar görs med en s.k. PCB(7)-föreningsanalys. Analysmetoden beskrivs i standarden *SFS-ISO 10382* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2007a). Utöver halterna av enskilda föreningar ska analyslaboratoriet även rapportera summakoncentrationen PCB(7), som utgör grunden för tolkningar, bl.a. vid val av rätt avfallskategori för rivningsmaterial som innehåller PCB-föreningar och behovet av skyddsåtgärder vid rivningsarbeten (se anvisningskortet *Ratu 82-0382. PCB:tä ja lyijyä sisältävien saumausmassojen purku. Menetelmät.* Rakennustietosäätiö RTS och Talonrakennusteollisuus ry, 2011b).

Analys av oljekolväten

Analysmetoden för oljekolväten beskrivs i standarderna *SFS-EN 14039* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2014b) och *SFS-EN ISO 16703* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2011c). Analyslaboratoriet ska instrueras att analysera s.k. bensinfraktionerna C_5-C_{10}, mellandestillat C_{10}-C_{21}, tunga fraktioner C_{22}-C_{40}, oljekolväten C10-C40 och BTEX-föreningar (bensen, toluen, etylbensen och xylener).

Klorfenolanalyser

Klorfenoler är giftiga föreningar som främst har använts för att skydda trä. Analysmetoden för klorfenoler beskrivs i standarden *SFS-ISO 14154* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2007b). Av klorfenolerna ska analyslaboratoriet analysera 2,6-diklorifenol, 2,5-diklorfenol, 2,4-diklorfenol, 3,5-diklorfenol, 2,3-diklorfenol, 3,4-diklorfenol, 2,4,6-triklorfenol, 2,3,6-triklorfenol, 2,3,5-triklorfenol, 2,4,5-triklorfenol, 2,3,4-triklorfenol, 3,4,5-triklorfenol, 2,3,5,6-tetraklorfenol, 2,3,4,6-tetraklorfenol, 2,3,4,5-tetraklorfenol och pentaklorfenol.

Metallanalyser

Metallanalyser utförs beroende på vilken metall som ska bestämmas, antingen med AAS-utrustning (atomabsorptionsspektroskopi) eller ICP-utrustning (induktivt kopplad plasma). De vanligaste metallerna som bestäms är arsenik, kadmium, kobolt, krom, koppar, nickel, bly, antimon, zink och kvicksilver.

Analys av skadliga ämnen i inomhusluft och på ytor

Asbest

Asbestfibrer kan bestämmas både från luftprover och från nedfallsprov på ytor. Luftprover används också för att bedöma asbestrivningspersonalens exponering för asbestfibrer, för att kontrollera tätheten av sektioneringen vid asbestsanering samt för kvalitetssäkringen efter saneringsarbetet.

Asbestfibrer är tyngre än luft, vilket innebär att insamlingen av luftprov måste utföras med en aggressiv provtagningsmetod, dvs. i början av provtagningen borstas ytorna i det utrymmet som ska undersökas med en borste, så att eventuella asbestfibrer fås i rörelse. Vid provtagningen måste man säkerställa att borsten inte orsakar kontaminering mellan olika provtagningsplatser (en egen ren borste på varje ställe eller skydd av borsten med engångspåse) och att den som utför borstningen har ändamålsenlig skyddsutrustning.

Halten av asbestfibrer i luften bestäms genom att samla in ett luftprov under 90–120 minuter (motsvarande cirka 180–240 liter luft) på ett polykarbonatfilter med en flödeshastighet på cirka 2 l/min. Luftprovet samlas in i vistelsezonen på andningshöjd, dvs. cirka 1,5 meters höjd. Asbestsanerarens prov tas inuti andningsskyddet med hjälp av en injektionsnål. Asbestfibrerna på filtret räknas och identifieras i laboratorium med elektronmikroskop och tillhörande grundämnesanalysator. (Bild 3.19)

Resultatet av en asbestanalys av luft anges i enheten fibrer/cm^3 (antalet asbestfibrer per kubikcentimeter luft). Enligt s*tatsrådets förordning om säkerheten vid asbestarbeten* (SRf 798/2015) och *förordningen om boendehälsa* (SHMf 545/2015) får halten asbestfibrer i inomhusluft inte överstiga 0,01 fibrer/cm^3.

Förekomsten av asbestfibrer på ytor kan utredas genom att ta ett strykprov i en förslutningsbar plastpåse. Provtagningen och analysen beskrivs i avsnitt 3.6.4. Analysresultatet rapporteras i formen ”provet innehåller/innehåller inte asbest”.



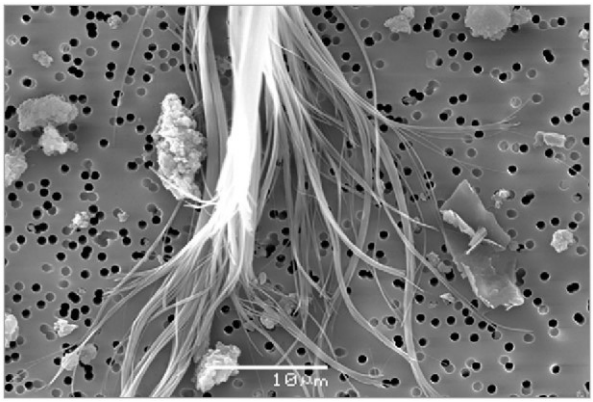


Bild 3.19. Till vänster luftprovtagning för asbestanalys. Provet togs i ett utrymme utanför byggnadens brukslokaler, där asbesthaltiga fibercementskivor hade använts i konstruktionerna. I bilden till höger ett knippe krysotilasbest sett med elektronmikroskop. Bilder: T. Poutiainen och J. Säntti, Vahanen Oy

Enligt *Anvisning för tillämpning av förordningen om boendehälsa* (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016) får det inte förekomma asbestfibrer på ytor inomhus. Om asbesthalten i inomhusluften har konstaterats vara under 0,01 fibrer/cm^3 anses dock förekomst av enstaka fibrer på ytor som acceptabelt. Strykprover lämpar sig, till skillnad från luftprover, inte för att bedöma exponering och kan inte ensamma användas för kvalitetssäkring av asbestsaneringsarbete.

PAH-föreningar

Det är rekommenderat att utreda halten PAH-föreningar i inomhusluften med provtagning av både gasformiga och partikelbundna PAH-föreningar. Mätningar görs om det finns skäl att misstänka att PAH-föreningar avdunstar och sprids till inomhusluften.



Bild 3.20. Luftprovtagning för analys av PAH-föreningar. I bilden till vänster en partikelprovtagare med filter ansluten till pump och till höger ett XAD-2 adsorbentrör anslutet till pump. Bild: T. Poutiainen, Vahanen Oy

Halten av PAH-föreningar i inomhusluften bedöms genom att mäta PAH-föreningarna i inomhusluften och på ytor.

Analyserna kan också användas för att bedöma tätheten av sektioneringen vid sanering av skadliga ämnen samt för kvalitetssäkring efter rivning eller tätningsåtgärder.

Gasformiga PAH-föreningar i luften samlas in med hjälp av en pump, vanligtvis 3–100 l, med en flödeshastighet på 0,2–1 l/min till en XAD-2-adsorbent. Provet tas under rummets normala användningsförhållanden. Vissa PAH-föreningar är tyngre än luft och är vanligen bundna till damm. PAH-föreningar som är bundna till partiklar undersöks genom att samla in ett dammprov på ett filter med hjälp av en pump. Vanligen samlas 10–1 000 l prov in, med flödeshastigheten 1–20 l/min. (Bild 3.20)

Luftprovtagningen måste utföras med en aggressiv provtagningsmetod, dvs. i början av provtagningen borstas ytorna i det undersökta utrymmet, t.ex. med en borste. Vid provtagningen måste man säkerställa att borsten inte orsakar kontaminering mellan olika provtagningsplatser (en egen ren borste på varje plats eller skydd av borsten med engångspåse). Bestämningen av PAH-föreningar görs med en s.k. PAH(16)-föreningsanalys. Halterna av PAH-föreningar i luften rapporteras i enheten µg/m^3 (mikrogram undersökt PAH-förening per kubikmeter luft). I resultaten bör anges den totala PAH(16)-koncentrationen samt halten av varje enskild identifierad PAH-förening.

I *förordningen om boendehälsa* (SHMf 545/2015) anges åtgärdsgränsen 10 µg/m^3 för naftalen i bostadsutrymmen.

Lukt av naftalen får inte förekomma. Halten naftalen i inomhusluften bestäms med hjälp av adsorbentprov. För en del av PAH-föreningarna har det fastställts gränsvärden för koncentrationer som befunnits skadliga, avsedda för industriella arbetsplatser (SHMf 268/2014).

PAH-föreningar kan också undersökas från ytor genom att torka av en önskad yta, av viss storlek, med en etanolfuktad bomullstuss. Strykprovet tas genom att först torka hela provtagningsytan i en riktning och sedan, med en ren del av bomullstussen, torka vinkelrätt mot den första riktningen. Bomullen läggs i en förslutbar behållare, varefter PAH-föreningarna extraheras ur den med lösningsmedel och analyseras med en gaskromatografi-masspektrometer. Den avtorkade ytan ska vara minst 10 cm x 10 cm, och vid särskilt låga halter bör ytan vara större, t.ex. 30 cm x 30 cm. Metoden kan även användas för bestämning av PAH-halten i nedfallet damm. Halterna av PAH-föreningar i strykprover från ytor och i nedfallsprover anges i µg/m^2.

PCB-föreningar

Halterna av PCB-föreningar kan mätas ur luften och på ytor när det finns skäl att misstänka att PCB-föreningar sprids till inomhusluften. Proverna kan också användas för att bedöma tätheten av sektioneringen vid sanering av skadliga ämnen samt för kvalitetssäkring efter saneringsarbeten.

PCB-föreningar som förekommer i ångform i luften kan samlas in med hjälp av en pump, vanligtvis 100–500 l, med en flödeshastighet på 0,2–5 l/min till en XAD-2-adsorbent. PCB-föreningar som är bundna till partiklar samlas in med en flödeshastighet på minst 2 l/min på ett glasfiberfilter. Både ångformiga och partikelbundna PCB-föreningar kan samlas in samtidigt genom att placera ett filter framför XAD-2-adsorbenten, eller genom att använda en kommersiellt tillgänglig kombinationsprovtagare OVS- XAD-2. I så fall är insamlingshastigheten vanligen 0,8–2 l/min och provvolymen 100–500 l. PCB-föreningar är tyngre än luft och ofta bundna till damm, varför luftprovtagningen måste utföras med en aggressiv provtagningsmetod, dvs. i början av provtagningen borstas ytorna i det undersökta utrymmet, t.ex. med en borste. Vid provtagningen måste man säkerställa att borsten inte orsakar kontamination mellan olika provtagningsplatser (en egen ren borste på varje ställe eller skydd av borsten med engångspåse).

I analyslaboratoriet extraheras PCB-föreningarna i ett lösningsmedel och analyseras vanligen med gaskromatografi-masspektrometri eller med gaskromatografi kopplad till en elektronfångande detektor. Resultaten från PCB-analys av luftprover anges i enheten µg/m^3 (mikrogram av den undersökta PCB-föreningen per kubikmeter luft). Resultaten ska redovisa halterna av varje enskild identifierad PCB-förening samt den totala halten av PCB-föreningar. Den totala halten beräknas genom att multiplicera den summerade halten av PCB-föreningarna 28, 52, 101, 138, 173 och 180 med fem. I resultaten ska åtminstone den totala halten av PCB-föreningar anges. För PCB-föreningar har det fastställts gränsvärden för luftkoncentrationer som befunnits skadliga, avsedda för arbetsplatser (SHMf 268/2014).

Från ytor samlas PCB-föreningar in med en etanolfuktad bomullstuss, där ytan som stryks av kan vara till exempel 20 x 20 cm. Ytan stryks först i en riktning och därefter, med en ren del av bomullen, vinkelrätt mot den första riktningen. Analysen utförs på samma sätt som ovan. Halterna av PCB-föreningar i strykprover från ytor och i nedfallsprover anges i enheten µg/m^2.

Metaller

Metallhalter kan mätas ur luften och på ytor när det finns skäl att misstänka att metaller spridits till inomhusluften. Proverna kan också användas för att bedöma tätheten av sektioneringen vid sanering av skadliga ämnen samt för kvalitetssäkring efter saneringsarbeten. Man måste i förväg komma överens med analyslaboratoriet om vilka metaller som ska bestämmas ur proverna.

Luftprover av den inandningsbara fraktionen samlas in med hjälp av en pump med en flödeshastighet på cirka 2 l/min, på ett membranfilter i en IOM-provtagare. Provvolymen är vanligtvis 50–500 l. Alveolfraktionen samlas in på ett filter med hjälp av en IOM-provtagare och skum eller med cyklon. Flödeshastigheten varierar beroende på vilken typ av provtagare som använd. Metallföreningar är tyngre än luft och är ofta bundna till damm, varför luftprovtagningen måste göras med en aggressiv provtagningsmetod, dvs. i början av provtagningen borstas ytorna i det undersökta utrymmet, t.ex. med en borste. Vid provtagningen måste man säkerställa att borsten inte orsakar kontamination mellan olika provtagningsplatser (en egen ren borste på varje plats eller skydd av borsten med engångspåse). I analyslaboratoriet bestäms metallerna med hjälp av plasma-masspektrometri (ICP-MS) eller atomabsorptionsspektrometri (AAS).

Resultaten anges i enheten µg/m^3 (mikrogram av den undersökta metallen per kubikmeter luft). I resultaten ska redovisas halten av varje enskild identifierad metall. För en del metaller har det fastställts gränsvärden för luftkoncentrationer som befunnits skadliga, avsedda för arbetsplatser (SHMf 268/2014).

Strykprover för metallanalyser från ytor kan samlas in med hjälp av en kommersiellt tillgänglig våtservett som utvecklats för ändamålet. Ytan som stryks av är vanligen 30 cm x 30 cm, men om ytan är dammig och grov så kan den vara mindre. Om det är en ren yta kan upp till 150 cm x 50 cm yta strykas av (arean måste vara känd). Servetten öppnas och ytan torkas av med parallella drag över det valda området. Servetten viks sedan dubbel med den smutsiga sidan inåt och ytan torkas åter, denna gång vinkelrätt mot den första riktningen. Servetten viks återigen dubbel och ytan torkas återigen vinkelrätt mot den föregående riktningen. På detta sätt fortsätter man tills duken är lika stor som i början, varefter den placeras i en ren plastpåse. Om ytan fortfarande är smutsig har ytan varit för stor. Analysen görs på samma sätt som för luftprov. Ett ytprov kan också tas med hjälp av en plastpåse på samma sätt som för asbestprov. Båda metoderna kan också användas för bestämning av metallhalter i sedimenterat damm. Resultaten från metallanalyser av strykprover från ytor och nedfallsprover anges i µg/m^2.

3.8

Kontroll av ventilationssystemet

Ventilationens uppgift är att avlägsna föroreningar från inomhusluften och tillföra byggnaden ren tilluft. Ventilationens betydelse för inomhusluftens kvalitet är vanligen kopplad till följande faktorer: 1) Luftmängdernas tillräcklighet och luftens fördelning 2) Ventilationssystemet som föroreningskälla i sig och 3) Ventilationens inverkan på byggnadens tryckförhållanden och på luftläckage som transporterar föroreningar.

Luftmängderna bör vara tillräckliga i förhållande till antalet användare i lokalerna och den verksamhet som pågår där. Otillräcklig ventilation kan leda till ansamling av fukt och föroreningar i rumsluften, både från människor och verksamheter samt från skadade och oskadade material och inredning.

En bristfällig ventilation förstärker typiskt hälso- och trivselolägenheter som orsakas av olika typer av föroreningar. Å andra sidan minskar en välfungerande och tillräcklig ventilation de olägenheter som orsakas av vanliga emissioner, t.ex. från människor och nya material, samt av mindre brister i konstruktionerna.

Ventilationssystemet i sig kan fungera som en källa till föroreningar i inomhusluften. Sådana är typiskt mineralullsfibrer, dammansamlingar från byggtiden eller senare, samt kemiska eller mikrobiella föroreningar som frigörs från fuktiga filter- och ljudisoleringsmaterial eller från smutsiga kanalytor. Dessutom bör man beakta att effektiv ventilation vintertid kan leda till låg luftfuktighet i rum med liten fuktproduktion. Torr inomhusluft kan i sig orsaka irritationssymtom och öka känsligheten för symtom orsakade av andra föroreningar.

Ventilationen kan också påverka byggnadens tryckförhållanden kraftigt. Effekten är desto större ju tätare byggnadens mantel är. Ventilationens inverkan på byggnadens tryckförhållanden behandlas närmare i avsnitt 5.5.

Kontroll av ventilationssystemets renhet, funktion och skick består av fyra huvudsakliga faser:

1. Kontroll av ventilationssystemets funktion
2. Kontroll av ventilationssystemets renhet
3. Mätning av luftmängder
4. Mätning av tryckförhållanden

Mer detaljerade anvisningar för inspektion av ventilationssystem finns i Finlands VVS-förbund SuLVI ry:s anvisningssamling: *Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien ja laitteiden kuntotutkimusmenettely (IV-kuntotutkimus): ohjeet ja raporttimallit* (Suomen LVI-liitto SuLVI ry, 2016). Anvisningarna och rapportmallarna kan laddas ner från SuLVI ry:s webbplats.

Anvisningar för konditionsundersökning av värme-, vatten- och avloppssystem finns i publikationen *LVV-kuntotutkimusopas 2013 - Opas lämmitys-, vesi- ja viemäriverkostojen kuntotutkimuksiin* (Suomen LVI-liitto SuLVI ry, 2013).

3.8.1

Kontroll av ventilationssystemets funktion

Vid kontroll av ventilationssystemets funktion utreds:

- Typ av ventilationssystem
- ventilationsaggregat per serviceområde
- styrsätt för ventilationsaggregat och separata fläktar
- utrustningens ålder och skick
- tidpunkt för senaste filterbyte
- luftfördelningsmetod och luftfördelningens funktion i utrymmena.

Förutom ventilationsaggregat, kanalsystem och ventiler är fastighetsautomation en viktig del av byggnadens ventilationssystem. I byggnaden kan det till exempel finnas tidsstyrda program eller luftflödesreglering som beror på utomhustemperaturen. Sådana inställningar kan orsaka obalans i tryckförhållandena. Därför måste man också sätta sig in i ventilationssystemets reglerautomatik vid bedömningen av ventilationssystemets funktion. I problemsituationer kan det finnas programmeringsfel eller felaktiga inställningsvärden i fastighetsautomationssystemet, vilket leder till att systemet inte fungerar korrekt. Dessutom påverkas fastighetsautomationens funktion av sensorernas skick. En defekt sensor orsakar störningar i systemets funktion. Sensorernas livslängd är kortare än ventilationsaggregatets, så även om ventilationsaggregatet annars är i gott skick kan sensorn ha nått slutet av sin tekniska livslängd. Därför ska åtminstone sensorernas skick kontrolleras även i nya system.

Användningsändamålet för utrymmena i byggnaden kan ha ändrats under årens gång. När ventilationssystemets funktion bedöms bör man därför fästa uppmärksamhet vid om luftfördelningen och luftmängderna motsvarar utrymmenas nuvarande användningsändamål. För variabla luftflödessystem måste man säkerställa att systemet fungerar enligt plan och på avsett sätt. Det kan förekomma störningar i ventilationen, till exempel felaktiga lägen på regler- och brandspjäll, vilket påverkar luftflödena.

I vissa ventilationssystem återför ventilationsaggregaten en del av frånluften till lokalerna som tilluft, s.k. återluft. Om det finns en sådan funktion i ventilationsaggregatet ska förhållandet mellan uteluft och återluft mätas för att säkerställa att uteluftens andel är tillräcklig.

När det gäller filtreringen i ventilationsaggregatet bör man kontrollera om filtreringsnivån motsvarar användningsändamålet för aggregatets serviceområde och om filtersystemet är tätt.

Om ventilationsaggregatet har en roterande värmeväxlare kan systemet återföra en del av fukten i frånluften till tilluften. Eventuell överföring beror bl.a. på fuktbelastningen, utomhusförhållandena och värmeväxlarens ytmaterial. Förutom vattenånga kan systemet även överföra andra föreningar som finns i frånluften till tilluften.

3.8.2

Kontroll av ventilationssystemets renhet

Kanalernas renhet

Renheten i ventilationssystemets kanaler kan kontrolleras visuellt eller genom att dra med fingret på ytan. Vid visuell bedömning av renhet används renhetsskalor som har tagits fram separat för cirkulära spirorör och för plana ytor. Gränsvärdena för den visuella skalan grundar sig på renhetsklasserna P1 och P2. I renhetsklass P1 ska ansamlingen av smuts vara under 2,0 g/m^2 och i renhetsklass P2 under 5,0 g/m^2 (Sisäilmayhdistys ry, 2008). De visuella renhetsskalorna har utarbetats utifrån dammprover tagna från de inre ytorna av ventilationskanaler och fotografier från provtagningspunkterna.

En användbar metod för att bestämma ansamlingen av damm i ventilationssystem och ventiler är att stryka med ett finger. På den dammiga ytan dras ett 10 cm långt spår med fingret, varefter ytans dammighet bedöms utifrån mängden damm som samlats och spåret. I runda kanaler dras spåret så att det sträcker sig från kanalens sida ner till kanalens botten (bild 3.21). I rektangulära kanaler och på andra plana ytor dras spåret på kanalens botten.

Avsikten med att stryka med fingret är att klarlägga:

- hur hårt smutsen sitter fast på ytan
- smutsens ingroddhet och täthet
- smutslagrets tjocklek
- att rengöra en yta som gör det lättare att jämföra med den smutsiga ytan.

Kontrollpunkterna ska fotograferas och bifogas till inspektionsrapporten. Ventilationskanalerna kan också filmas invändigt med en videokamera.

Filmningen bör omfatta åtminstone början och slutet av stamkanalerna, men om möjligt är det bra att filma hela sträckan av stamkanalerna. Särskilt gamla system, som eventuellt har byggts om eller ändrats i flera etapper, rekommenderas att filmas i sin helhet.

Om det i ventilationssystemet har använts kanaler av byggnadsmaterial, ska även renheten i dessa kontrolleras. Undersökning av ventilationens renhet är beskriven i anvisningskortet *LVI 39-10409. Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastus. Ilmanvaihdon parannus- ja korjausratkaisut (Rakennustietosäätiö RTS och LVI-Keskusliitto ry, 2007; ny version RT 103807).*

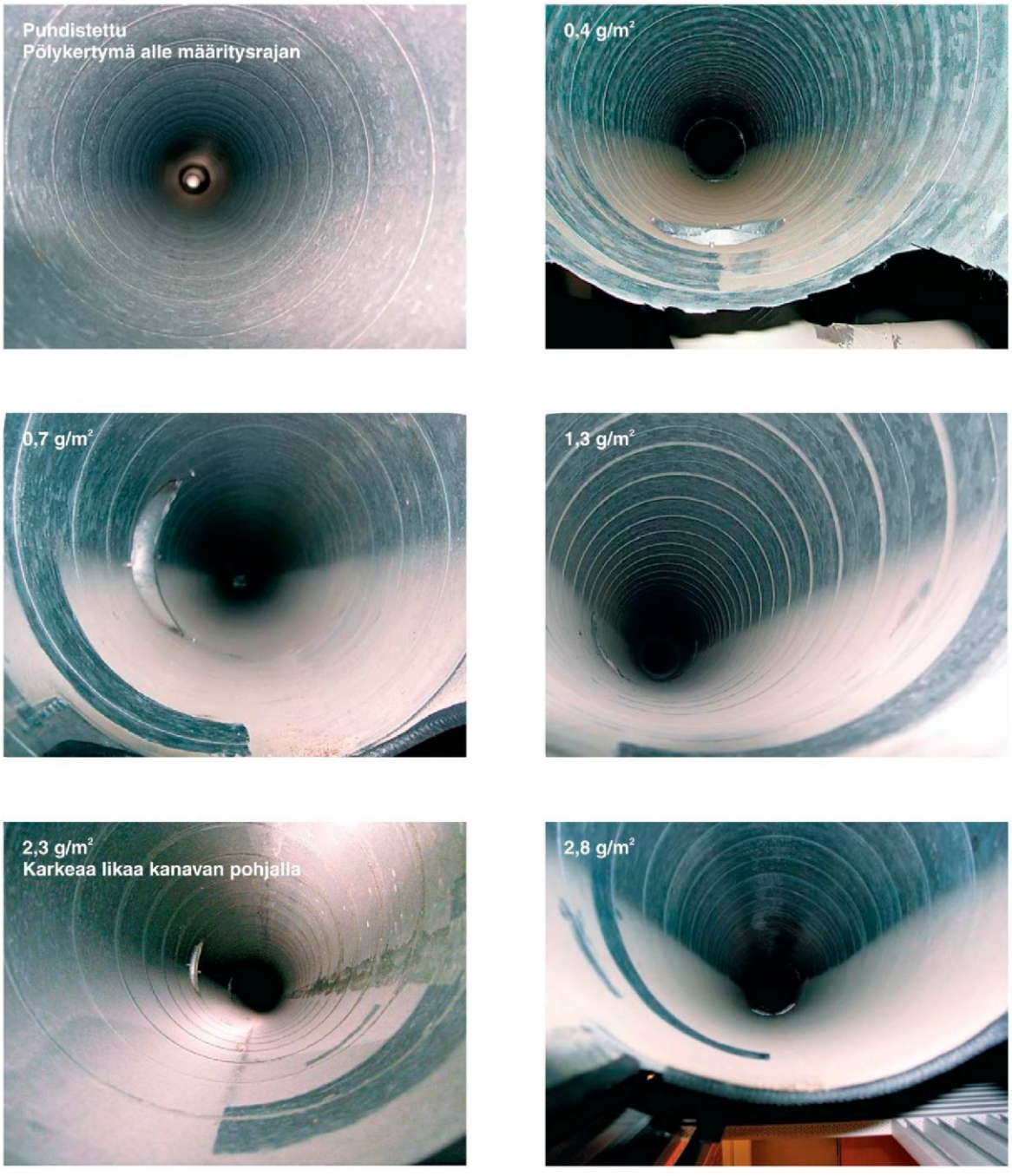


Bild 3.21. Bedömningsskala för visuell renhet i spirorör, dammansamling under 3 g/m^2. Bildkälla: LVI 39-10409. Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastus. Ilmanvaihdon parannus- ja korjausratkaisut. Källa: Rakennustietosäätiö RTS och LVI-Keskusliitto ry, 2007

Ventilationssystemets delar och anordningar

Utöver kanalsystemet ska renheten även för övriga delar och anordningar som hör till ventilationssystemet kontrolleras visuellt. Särskild uppmärksamhet ska fästas vid renheten i utomhusgaller och -kammare, filter, värmeväxlare, fläktar, kondensbassänger och befuktningsanordningar, samt vid skicket av ljuddämpares ytor och avloppets funktion.

Filtrets renhet kan kontrolleras under drift genom att mäta tryckskillnaden över filtret. Dessutom ska filtret tas ut och inspekteras visuellt för att bedöma skicket. Filterramarnas täthet ska kontrolleras med avseende på eventuella sidoflöden. Även renheten hos filter i fläktkonvektorerna, som används för värmning eller kylning, ska kontrolleras. Fläktkonvektorer cirkulerar rumsluften genom sig, vilket innebär att filtren måste bytas eller rengöras regelbundet.

Det ska kontrolleras att ljuddämparnas ytor är hela. Från en skadad ljuddämpare kan det lossna mineralullsfibrer till ventilationskanalerna och vidare till inomhusluften. Under 1990-talet användes mineralullbaserad ljudisolering ofta i ljuddämpningen i ventilers utjämningslådor. Av ovan nämnda skäl kan också tilluftsventiler och ytor i rummet kontrolleras för eventuellt lossnande mineralullsfibrer. Dessutom bör även kanaler och aggregat inspekteras på insidan för förekomst av mineralullsfibrer och asbest.

De delar av ventilationssystemet som är mest utsatta för fukt är uteluftskammare, vattenkärl till eventuell befuktare och värmeåtervinningsdel. Dessa ska kontrolleras med avseende på fukt och eventuell mikrobtillväxt, samt att kondensavloppet från dessa är utförd på ett korrekt sätt.

I ventilationsaggregatet ska man kontrollera att tätningarna mellan aggregatets olika delar är i gott skick, så att till- och frånluft inte blandas med varandra i ventilationsaggregatet. Dessutom ska det kontrolleras att borsttätningarna i roterande värmeväxlare är i gott skick, så att inget förbiflöde sker.

3.8.3

Mätning av luftmängder

Luftflöden mäts vid till- och frånluftsventiler (bild 3.22). Även ventilationsaggregatens totala luftflöden ska mätas för att fastställa om de totala luftflödena överensstämmer med planerade värden. Dessutom kan luftflöden i stamkanaler mätas. De uppmätta luftflödena jämförs med de planerade värdena. Om ventilationsplanerna inte finns tillgängliga kan luftflödenas korrekthet bedömas utifrån riktvärden i byggbestämmelserna. När uppmätta luftvolymer jämförs med riktvärden måste man beakta åldern på byggnadens ventilationssystem, eftersom riktvärden för luftvolymer har ändrats under årens gång.





Bild 3.22. Mätning av luftmängden vid frånluftsventil med huva (vänster) och genom mätning av tryckskillnad (höger). Bilder: J. Dahlström, Instakon Oy.

Som jämförelsevärden används luftflöden från tiden när byggnaden byggdes eller renoverades, eller om användningsändamålet för byggnadens utrymmen har ändrats, de värden som gällde vid ändringstillfället.

De vanligaste metoderna för att mäta luftflöden vid ventiler är mätningen som baseras på tryckskillnaden över ventilen samt mätning av luftens flödeshastighet med hjälp av varmtrådsanemometer. I kanaler kan luftflödet mätas med via mätuttag i regleranordningen, eller genom mäthål som görs i kanalen och sedan tätas efter mätningen. Mer anvisningar för mätning av luftflöden finns i instruktionsböcker utgivna av tillverkare av ventiler och mätinstrument, samt i standarden *SFS-EN 12599* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2015).

Luftomsättningen i ett utrymme kan beräknas med hjälp av formel 3.2, baserat på utrymmets frånluftsflöde och volym.

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

där n är luftomsättningen [l/h], Q är summan av luftflöden i frånluftskanaler [m^3/h] och V är volymen för det utrymme som ventileras [m^3].

Luftomsättning anger hur många gånger luften i lokalen byts per timme.

Otillräcklig ventilation, särskilt i fuktiga utrymmen som badrum, utsätter konstruktionerna för fuktbelastning när ventilationen inte för ut tillräckligt med fukt som bildas inne i byggnaden. Ventilationen kan vara otillräcklig speciellt i byggnader med självdragsventilation, eftersom frånluftsflödena i sådana system ofta är relativt små och i hög grad beror på den rådande utomhustemperaturen och vinden.

I *förordningen om boendehälsa* (SHMf 545/2015) har minimiflödet för uteluft i alla bostadsrum under brukstid fastställts till 0,35 dm^3/s per person. Ett mindre luftflöde anses som tillräckligt om ventilationen kan ökas, till exempel genom vädring, eller om det kan säkerställas att den låga ventilationen inte medför hälsoolägenheter relaterade till förhöjd temperatur, luftfuktighet eller föroreningshalter. I andra utrymmen än bostäder jämförs luftflödenas tillräcklighet med de bestämmelser som gällde vid byggtiden eller senaste renovering (ByggBS D2-2012). Luftflödenas tillräcklighet och luftfördelningens funktion beskrivs också väl av inomhusluftens koldioxidhalt under användning.

I mekaniskt frånluftsventilationssystem och i självdragsventilationssystem ska det kontrolleras att det finns tillräckliga vägar för ersättande luft, till exempel genom tilluftsventiler. Om någon kontrollerad väg för ersättningsluft inte har ordnats, strömmar luften ofta i betydande mängder in via bl.a. anslutningar mellan konstruktioner, genomföringar och andra diskontinuiteter i manteln. Även tillräckligheten av överluftsvägar mellan byggnadens inre utrymmen ska kontrolleras. Överluftvägar är ofta utförda som dörrspringor eller med överluftsgaller.

3.8.4

Mätning av tryckförhållanden

Med byggnadens tryckförhållanden avses skillnader i lufttryck mellan inomhus- och utomhusluften eller mellan olika delar av byggnaden. Luften strävar efter att strömma från högre tryck mot lägre tryck. De tryckförhållanden som uppstår i en byggnad påverkas av skorstenseffekten, som orsakas av densitetsskillnader mellan utomhus- och inomhusluften, vinden samt mängden till- och frånluft si byggnaden, dvs. ventilationen. I praktiken gör ett undertryck i byggnaden det möjligt för luft att strömma genom konstruktionernas otätheter. Mängden luft som strömmar in varierar beroende på antalet och storleken på otätheterna i konstruktionerna, och även på undertryckets storlek. Ju otätare konstruktionerna är och ju större undertryck som råder, desto mer luft strömmar till inomhusluften genom konstruktionerna. Å andra sidan gör ett övertryck i byggnaden det möjligt för fukttillskottet från byggnadens användning att transporteras in i konstruktionerna. Fukt från inomhusluften kan kondensera i konstruktionerna särskilt när fukttillskottet i inomhusluften är stort, temperaturskillnaden mellan inom- och utomhusluften är stor och konstruktionerna är kalla. Då uppstår daggpunkten i konstruktionen och fukt kondenserar i den kalla konstruktionsdelen.

Tryckförhållandena mellan olika utrymmen påverkar kraftigt luftens rörelser i byggnaden. Redan mätning av luftflöden ger indikationer på om luftflödena i utrymmena är i balans. Utöver detta är det bra att mäta tryckskillnaden mellan rummet och angränsande utrymmen samt utomhusluften. Mätningen utförs med en tryckdifferensmätare.

Tryckskillnaden mäts med elektroniska sensorer, som ofta är anslutna till en datalogger.





Bild 3.23. Kortvarig mätning av tryckskillnaden (bilden till vänster) och långtidsmätning med mätanordning och datalogger (bilden till höger). Mätröret för tryckdifferens har förts genom vädringsfönstret till utsidan av yttermanteln. Bilder: M. Pitkäranta, Vahanen Oy.

På detta vis kan tryckskillnaden mätas som en kontinuerlig långtidsmätning (bild 3.23). Tryckskillnaden kan också mätas med en vätskemanometer, där mätningen grundar sig på mätning av höjdskillnaden mellan vätskeytorna i ett U-rör. Vanligen används vätskemanometern vid tillfälliga mätningar. På grund av de snabba tidsvariationerna i tryckskillnaderna rekommenderas det att utföra mätningarna som kontinuerlig långtidsövervakning under en mätperiod på 1–2 veckor för att få tillräckliga mätdata. Om datalogger inte finns tillgänglig görs flera mätningar efter varandra och medelvärdet av resultaten beräknas.

Mätning mellan inom- och utomhusluft (”över yttermanteln”) ska utföras vid normal drift av ventilationen, under normala verksamhetsförhållanden och med fönster och dörrar stängda. Mätningen bör göras vid olika fasader för att kunna bedöma vindens inverkan. Mätning i blåsigt väder (vindhastighet över 5 m/s) eller under extrema temperaturförhållanden (utomhustemperatur under - 20 °C eller över + 22 °C) bör undvikas, eftersom mätresultaten under dessa förhållanden inte representerar en normal situation.

Ventilationens och väderförhållandenas inverkan på tryckförhållandena i en byggnad beskrivs närmare i avsnitt 5.5. Metoder för mätning av tryckförhållanden beskrivs i standarden *SFS-EN 12599* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2015).

Enligt Finlands byggbestämmelsesamling del D2 (ByggBS D2-2012) ska byggnadens tryckförhållanden och konstruktionernas täthet planeras och genomföras så att de bidrar till att minska spridningen av föroreningar i byggnaden. Byggnader planeras vanligen med svagt undertryck i förhållande till utomhusluften, för att undvika fuktskador i konstruktionerna samt hälsoolägenheter orsakade av mikrober. De tryckförhållanden som eftersträvas med olika ventilationssystem enligt *Asumisterveysopas* (Aurola R. och Välikylä T., 2009) presenteras i tabell 3.5.

När ett utrymme har undertryck måste det säkerställas att utrymmet får ersättningsluft på ett kontrollerat sätt. Detta innebär i praktiken att tillräckligheten av vägar för ersättningsluft och överluft, såsom tilluftsventiler och dörrspringor, måste identifieras.

Tabell 3.5. Eftersträvade tryckdifferenser med olika ventilationssystem enligt *Asumisterveysopas* (Aurola R. och Välikylä T., 2009).

Ventilationssätt	Tryckdifferens	Anmärkningar
Självdragsventilation	0... -5 Pa till uteluften ± 0 Pa till trapphuset	Tryckskillnaden varierar kraftigt efter vädret
Mekanisk frånluftsventilation	-5... -20 Pa till utomhusluften 0... -5 Pa till trapphuset	Tryckskillnaden varierar efter vädret
Mekanisk till- och frånluftsventilation, ventilationsvärme	0... -2 Pa till utomhusluften ± 0 Pa till trapphuset	Tryckskillnaden varierar efter vädret

Även luftvägar som försämrar inomhusluftens kvalitet måste identifieras, såsom ersättningsluft som tränger in i rumsluften från tekniska kanaler, vindsutrymmen eller grundkonstruktioner. Kök, badrum och andra smutsiga utrymmen planeras oftast med undertryck i förhållande till angränsande utrymmen, så att fukt, lukter och föroreningar inte kan spridas till rena utrymmen, utan att luftflödets riktning ska vara den motsatta.

3.9

Undersökarens arbetssäkerhet

Konditionsundersökaren måste i sitt arbete beakta riskerna med olika fysikaliska, kemiska och biologiska faktorer samt risken för olyckor och skador. Den som gör konditionsundersökningar i en fukt- och mikrobskadad byggnad kan i sitt arbete dagligen exponeras för mikrobsporer, mikrobers gasformiga ämnesomsättningsprodukter och andra VOC-föreningar, damm och mineralfibrer. Särskilt i äldre byggnader är det också möjligt att bli exponerad för skadliga ämnen som asbest, PAH-föreningar, metallföreningar, PCB-föreningar och mineraloljor. Exponeringsrisken är särskilt stor i samband med borrning av fuktmätningshål och vid öppning av konstruktioner. Risken för exponering är även betydande vid undersökning av olika slutna utrymmen, såsom kryputrymmen, vindsutrymmen och rörkulvertar. I oventilerade utrymmen kan syrebrist eller en hög koldioxidhalt utgöra en fara. Sådana utrymmen kan vara bland annat pelletslager och potatiskällare. Dessutom är konditionsundersökning kopplad med en risk för fysiska skador, till exempel på grund av fall, ovarsam hantering av verktyg samt arbete i trånga och låga utrymmen. Även mindre skador, till exempel öppna sår, kan orsaka allvarliga infektioner i smutsiga miljöer med mikrober. Speciellt spik- och skruvspetsar, plåtkanter samt vassa verktyg är vanliga orsaker till skärsår.

Konditionsundersökaren måste skydda sig mot skadliga ämnen på olika sätt beroende på ämnet. Undersökaren bör bedöma de olika exponeringsriskerna innan konditionsundersökningen påbörjas. Bedömningen görs utifrån byggnadens ålder, tillgängliga ritningar, byggnadens användningshistoria, eventuella tidigare undersökningar och undersökarens erfarenhet. Det rekommenderas att alltid bekanta sig med objektet i förväg genom ett platsbesök.

Konditionsundersökaren ska alltid använda skydd när det borras i konstruktioner eller när de öppnas, eftersom det då frigörs damm. Även vid undersökning av fuktskadade konstruktioner och kryputrymmen ska man alltid använda skydd, eftersom fuktiga konstruktioner ofta innehåller mikrobiell påväxt och i krypgrunder finns åtminstone markmikrober och ofta dålig ventilation (bild 3.24).



Bild 3.24. Konditionsundersökarens arbete innebär en risk för exponering för olika slags skadliga ämnen. I bilden en konditionsundersökare med ändamålsenliga skydd i ett ventilerat kryputrymme med bland annat skadade asbesthaltiga rörisoleringar och mikrobiell påväxt. Bild: H. Tuovinen, Vahanen Oy.

Konditionsundersökaren ska känna till de typiska skadliga ämnen som kan förekomma i byggnader. Mer detaljerad information finns i referenslitteraturen, till exempel RT-kortet *RT 20-11160. Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet* (Rakennustietosäätiö RTS, 2014).

Typ och behov av handskar, skyddskläder och andningsskydd beror på det hälsoskadliga ämnet, hur dammande det undersökta materialet är samt rivningsmetoden. Användning av ett motoriserat andningsskydd (s.k. fläktassisterad mask) är starkt rekommenderat för att förhindra exponering. Som skydd används personlig skyddsutrustning som rekommenderas vid rivningsarbete med hälsoskadliga ämnen enligt följande:

Mikrober

- motoriserat andningsskydd med filter i klass P2, P3 eller P3/A2
- skyddsdräkt och -handskar
- vid användning av filter i klass P3 skyddas även ögon och huden i ansiktet

Damm och mineralfibrer

- andningsskydd med partikelfilter i klass P1, P2 eller P3
- vid behov skyddsdräkt och -handskar av engångstyp

Asbest

- motoriserat andningsskydd med helmask i klass TM3P
- engångsskyddsdräkt av typ 5 enligt standarden *SFS-EN ISO 13982-1/A1* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2011b)
- engångsskyddshandskar
- gummistövlar med slät yta

PAH-föreningar

- engångs kemikalieskyddshandskar enligt standarden *SFS-EN 374-1* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2004)
- motoriserat andningsskydd med helmask i klass TM3P SL, användning av kombinationsfilter med A- och P-klass minskar både organiska ångor och partiklar ur luften
- engångsskyddsdräkt av typ 5 enligt standarden *SFS-EN ISO 13982-1/A1* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2011b)
- gummistövlar med slät yta

Träskyddsmedel

- kemikalieskyddshandskar enligt standarden *SFS-EN 374-1* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2004)
- motoriserat andningsskydd med helmask i klass TH3PA1 SL eller TM3PA1 SL

PCB och bly

- motoriserat andningsskydd i klass A3/P3 eller A3/P2, vid användning av filter i klass P3 skyddas även ögon och huden i ansiktet
- I fall av PCB-föreningar dessutom dammtät engångsskyddsdräkt och -handskar (t.ex. butylgummihandskar) och gummistövlar med slät yta.

Det ligger på arbetsgivarens och förmannens ansvar att anskaffa tillräcklig personlig skyddsutrustning och instruera arbetstagaren i deras användning. Det är arbetstagarens ansvar att använda skyddsutrustningen på korrekt sätt.

Arbetsgivaren och även beställaren av undersökningar och reparationsarbeten kan kräva att de personer som arbetar i fastigheten har personlig arbetssäkerhetsutbildning och -kort. Om det i den undersökta fastigheten finns säkerhetsbrister som äventyrar undersökarens arbetssäkerhet, ska undersökaren omedelbart informera detta till beställaren. Den aktuella byggnadsdelen inkluderas inte i undersökningen innan bristerna har åtgärdats.

Vid borrning, öppning av konstruktioner och undersökning av slutna utrymmen rekommenderas dessutom användning av vanlig skyddsutrustning för byggarbete: skyddsskor, hörselskydd, skyddsglasögon samt skyddshjälm och knäskydd vid behov. När man rör sig på tak, ställningar och lyftanordningar ska fallrisken beaktas och ändamålsenlig fallskyddsutrustning användas i arbetet. I kryputrymmen och vindsutrymmen ska man också säkerställa tillräcklig belysning och minimera risken för stick- och andra sår genom lämplig skyddsklädsel. Undersökningar i kryputrymmen och andra slutna utrymmen utanför brukslokalerna samt på yttertak bör utföras i arbetspar.

En konditionsundersökare kan i sitt arbete utsättas, inte bara för fuktskademikrober, utan också för mikrober från avloppsvatten, jord och djur. Denna typ av mikrobiell exponering innebär också en risk för infektioner. Särskilt sår orsakade av rostiga spikar eller andra byggprodukter kontaminerade av jord medför risk för stelkramp. I botten- och vindsbjälklag och i isoleringsmaterial kan det förekomma bon och avföring från gnagare och fåglar, vilka bland annat innebär risk för sorkfeber. Vid avloppsläckage orsakas risken både av skadliga gaser och av fekala mikrober i avloppsvattnet, som kan leda till hud- och tarminfektioner. Konditionsundersökaren ska alltid ha en giltig stelkrampsvaccinering. Även vaccination mot hepatit A och B rekommenderas. Vid arbete i riskutsatta utrymmen är tillräckligt hud-, ögon- och andningsskydd viktigt. Vid djurbett ska företagshälsovården kontaktas.

Utöver det personliga skyddet ska även skydd av omgivningen och byggnadens användare beaktas. Beroende på omfattningen av konstruktionsöppningen utförs skyddet genom punktutsug eller genom sektionering och undertrycksättning av det område där konstruktionerna öppnas. Punktutsugningssystemet ska ovillkorligen vara försett med HEPA-filter. Sug-enheten ska ha tillräcklig sugeffekt och filtren ska bytas ofta. Det finns närmare anvisningar om skydd av omgivningen i litteraturen som listas i slutet av kapitlet.

Anvisningar och litteratur i anslutning till undersökarens arbetssäkerhet:

Ratu 08-0347. Asbestia sisältävien rakenteiden purku (Rakennustietosäätiö RTS, 2010)

Ratu 82-0381. Kivihiilipikeä sisältävien rakenteiden purku (Rakennustietosäätiö RTS och Talonrakennusteollisuus ry, 2011)

Ratu 82-0382. PCB:tä tai lyjyä sisältävien saumausmassojen purku (Rakennustietosäätiö RTS och Talonrakennusteollisuus ry, 2011)

Ratu 82-0383. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purku (Rakennustietosäätiö RTS och Talonrakennusteollisuus ry, 2011)

Ratu 82-0384. Tavanomaiset purkutyöt. 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., m.fl., 1997)

Asbestlagen 684/2015. Lag om vissa krav på asbestsanering

SHMf 268/2014. Social- och hälsovårdsministeriets förordning om koncentrationer som befunnits skadliga

HsL 763/1994. Hälsoskyddslagen

738/2002. Arbetarskyddslagen

SRf 205/2009. Statsrådets förordning om säkerheten vid byggarbeten

SRf 715/2001. Statsrådets förordning om kemiska agenser i arbetet

SRf 798/2015. Statsrådets förordning om säkerheten vid asbestarbeten

SRb 1406/1993 Statsrådets beslut om personlig skyddsutrustning

SRb 1407/1993. Statsrådets beslut om val och användning av personlig skyddsutrustning i arbetet

SRb 793/1999. Statsrådets beslut om personlyft med kran och gaffeltruck

4 Undersökningsrapport

4.1

Undersökningsrapportens innehåll

I den skriftliga undersökningsrapport som upprättas efter en fukt- och inomhusmiljöteknisk konditionsundersökning redovisas undersöknings- och mätresultat samt de slutsatser som kan dras av dessa. I rapporten ska insamlade uppgifter och utredarens egna observationer samt slutsatser tydligt särskiljas från varandra. Vanligtvis presenteras även ett förslag till reparationsmetod för varje skadad konstruktion. Noggrannheten i förslaget beror på konditionsundersökarens behörighet inom reparationsbyggande och reparationsplanering. Eftersom det kan finnas olika fungerande reparationsmetoder och -material, anges i rapporten vanligen att den slutliga metoden fastställs i planeringsskedet av reparationen. Dessutom ges en uppskattning av hur brådskande olika reparationer och åtgärder är.

I undersökningsrapporten ska de avvikelser och skador som kräver åtgärder presenteras tydligt, liksom deras läge, omfattning och orsaker.

Även i mer begränsade utredningar ska rapporten alltid innehålla en tolkning av observationerna, mätningarna och analyserna samt slutsatser om behovet av reparationer eller vidare undersökningar.

I bilaga 4 finns en mall för rapporten av en fukt- och inomhusmiljöteknisk konditionsundersökning. Nedan presenteras rapportens innehåll och form:

Det riktgivande innehållet i undersökningsredogörelsen är följande:

1. Omslag
2. Sammanfattning (vid mer omfattande utredningar)
3. Innehållsförteckning (vid mer omfattande utredningar)
4. Allmän information
5. Allmän beskrivning av objektet
6. Utgångsuppgifter
7. Undersökningsmetoder
8. Resultat från byggtekniska undersökningar och analys av resultaten
9. Resultat från undersökningar av ventilations/VVS-system och analys av resultaten
10. Resultat från mätningar av inomhusluftens förhållanden och föroreningar och analys av resultaten
11. Resultat från andra utredningar och analys av resultaten
12. Sammanfattning av de viktigaste rekommenderade åtgärderna
13. Datum och underskrifter
14. Bilagor

Omslag/rubrik

På rapportens framsida ska följande framgå: dokumentets innehåll (t.ex. ”Undersökningsrapport”), objektets namn, företaget som ansvarar för utredningen och rapportens datum. Om rapporten har uppdaterats ska både det ursprungliga datumet och datumet för uppdateringen anges på framsidan.

Sammanfattning

En sammanfattning behövs vanligen i mer omfattande konditionsundersökningar som omfattar hela fastigheten. Sammanfattningen är i regel högst en sida lång. I sammanfattningen anges syftet med undersökningen, en grov beskrivning av hur undersökningen genomfördes (vilka mätningar och analyser som ingick) och de viktigaste observationer och slutsatser som dragits utifrån dessa om skador och reparationsbehovet. Om uppdraget har varit en allmän fukt- och inomhusmiljöteknisk konditionsundersökning, kan slutsatserna redovisas per konstruktion eller byggnadsdel.

1. Allmän information

I avsnittet Allmän information redovisas objektets namn och adress, undersökningens beställare, fastighetens ägare (om annan än beställaren), de personer som utfört undersökningen och är ansvariga för den, undersökningens syfte, avgränsningar och tidpunkt för genomföringen. Det är viktigt att rapporten tydligt anger både när undersökningen utfördes (med nödvändig noggrannhet) och när själva rapporten färdigställdes. I detta avsnitt är det även lämpligt att lista eventuella andra parter med anknytning till projektet, inklusive kontaktuppgifter. Exempelvis kan detta vara fastighetsskötselbolag, disponent, det företag som ansvarat för konstruktionsöppningar samt parter som utfört separata undersökningar (t.ex. undersökningar av skadliga ämnen eller ventilation).

2. Allmän beskrivning av objektet

Syftet med den allmänna beskrivningen är att ge läsaren en helhetsbild av byggnaden i utgångsläget. I beskrivningen anges kortfattat bland annat byggnadens byggår och eventuellt renoveringsår, användningsändamål, våningsantal, yta, huvudsakligt stommaterial, typ av ventilationssystem och grundläggningssätt. I detta avsnitt är det bra att bifoga en lokaliseringsplan eller översiktsbild där olika byggnadsdelars eventuella beteckningar och avgränsning av undersökt område framgår. I den allmänna beskrivningen anges också om det finns kända eller misstänkta problem med inomhusmiljön i byggnaden, och om dessa är kopplade till en viss byggnadsdel eller våning i byggnaden.

3. Utgångsuppgifter

I det här stycket listas de uppgifter som erhållits om objektet och som är väsentliga för utredningen av skadornas orsaker och omfattning. Sådana uppgifter kan till exempel vara byggnadsrelaterade handlingar, enkätundersökningar bland boende och användare samt intervjuer med byggare och planerare. Innehållet i utgångsuppgifterna behöver normalt inte beskrivas i detalj, utan de dokument som använts listas. Dessa hänvisar man vid behov till senare, exempelvis när slutsatser dras utifrån bakgrundsinformation och observationer.

I utredningsrapporten kan även inkluderas en mer utförlig sammanställning av tidigare utredningar och deras slutsatser. Detta underlättar för beställaren och andra läsare av rapporten att få en överblick, särskilt över långvariga och etappvisa undersökningar där flera olika parter har varit involverade.

Om de tidigare undersökningarna varit omfattande bör den det i samråd med beställaren särskilt avtalas om att göra en skriftlig sammanställning och om dess fakturering.

I den första fasen av en utredning i två faser (eller fler) görs normalt en grundlig genomgång av utgångsuppgifterna och en översiktlig besiktning av objektet. På basis av detta presenteras i rapporten ett sammandrag av utgångsuppgifterna, en riskbedömning (bedömning av de mest sannolika orsakerna till inomhusluftproblemen) samt en detaljerad undersökningsplan. I rapporten från undersökningens andra fas redovisas de genomförda undersökningarna.

4. Undersökningsmetoder

I detta avsnitt beskrivs de undersökningsmetoder och instrument som använts, liksom provtagningsmetoder och utförda laboratorieanalyser. För varje metod beskrivs genomförande, begränsningar, felmarginaler, tolkningsprinciper osv. Om det finns en metodbeskrivning i en standard eller annat, till exempel i RT-kort eller i *Anvisning för tillämpning av förordningen om boendehälsa* (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016), hänvisas till denna och det anges om mätningen utförts helt enligt anvisningen eller om man i något avseende avvek från den. Om det i undersökningen har använts många olika slags mätningar och analyser, eller mätningar vars genomförande av någon anledning behöver beskrivas i detalj, kan undersökningsmetoderna och -instrumenten beskrivas i sin helhet i en bilaga. I själva rapporttexten ska det då finnas en hänvisning till bilagan. Metoderna ska namnges på ett sådant sätt att det ur texten entydigt framgår med vilken metod eller mätning respektive resultat har erhållits.

5. Resultat från byggtekniska undersökningar, slutsatser och åtgärdsförslag

I mer omfattande fukt- och inomhusmiljötekniska konditionsundersökningar presenteras resultaten från de byggtekniska undersökningarna, slutsatserna och förslagen till åtgärder vanligen per byggnadsdel (se bilaga 4). I mindre omfattande utredningar kan annan indelning övervägas.

I början av granskningen av varje byggnadsdel redovisas konstruktionslösningarna, deras överensstämmelse med planerna och eventuella avvikelser från dessa. Utredningen av konstruktionerna grundar sig på de uppgifter som erhållits och på observationer som gjorts på plats. Efter redovisningen av konstruktionslösningarna beskrivs de brister och skador som konstaterats i konstruktionerna.

Observationerna redovisas i detalj i den omfattning som är nödvändig för undersökningen.

För konstruktionsöppningar anges öppningarnas exakta läge (ritning och fotografi) och de observationer som gjorts av konstruktionens utförande och skick, samt redovisas de mätningar och provtagningar som gjorts vid öppningarna samt kortfattat resultaten av dessa (avvikelse/ingen avvikelse).

Texten kompletteras med fotografier som tagits från objektet, vilka numera vanligtvis infogas i själva texten. På fotografier och ritningar markeras vid behov de områden man vill lyfta fram med (färgad) avgränsning eller markering. De viktigaste observationerna kan dessutom sammanfattas i en planritningsbilaga, särskilt när det är frågan om mer omfattande undersökningsobjekt. Orsakerna till skadorna redovisas normalt inte i samband med observationerna, utan detta görs i avsnittet för slutsatser (se nedan). På detta sätt blir undersökningens huvudsakliga resultat tydligt överskådlig.

Mätresultat

Mätresultaten för varje byggnadsdel (t.ex. fuktmätningsresultat eller resultat från mikrobanalys av materialprov tagna vid konstruktionsöppningar) redovisas vanligen i samband med granskningen av den aktuella byggnadsdelen. De exakta mätresultaten från alla byggnadsdelar kan också tabelleras eller sammanställas till en helhet i slutet av resultatavsnittet eller i rapportens bilagor. Detta rekommenderas om det finns många mätresultat eller om redovisningen av dem kräver mycket utrymme. I sådana fall presenteras en sammanfattning av mätresultaten under varje respektive byggnadsdel.

Mät- och analysresultaten, eller ett sammandrag av dem, presenteras i textform, tabeller eller grafer. Mät- och provtagningspunkternas positioner anges med hjälp av en lokaliseringsritning, som vanligen utgörs av en planritning. Det är också mycket viktigt att ange mätpunktens läge i konstruktionen i höjd- och djupled. Mätpunktens läge inne i konstruktionen kan beskrivas med hjälp av en sektionsritning eller i textform.

Mätresultaten presenteras som de är, och i samband med dem redovisas inte orsakerna till skadorna, utan dessa behandlas i slutsatsavsnittet.

Slutsatser och åtgärdsförslag

I mer omfattande utredningar presenteras slutsatserna i slutet av avsnittet för respektive byggnadsdel.

I slutsatserna presenteras bedömningar om olika brister, skador och fel och deras orsaker och omfattning, baserat på undersökningsresultaten och utgångsuppgifterna. Dessutom presenteras en riskbedömning av deras inverkan på konstruktionens tekniska funktion, inomhusluftens kvalitet och till exempel utseendet, samt en bedömning av användarnas eventuella exponering för föroreningar från konstruktionen. Till slut presenteras rekommenderade åtgärder, deras prioriteringsordning, förslag på tidpunkt för åtgärderna samt eventuellt behov av vidare undersökningar.

I slutsatserna bör det tydligt framgå vilka mätresultat som slutsatserna grundar sig på. I samband med tolkning av mätresultaten presenteras de referensvärden som tolkningen grundar sig på samt källorna till dessa. Slutsatser som gäller konstruktionernas byggnadsfysikaliska funktion ska vid behov styrkas med byggnadsfysikaliska beräkningar eller på annat tillförlitligt sätt, till exempel erfarenheter som erhållits av konstruktionens långtidshållfasthet. Om slutsatserna inte kan motiveras på ett tillförlitligt sätt bör detta anges i undersökningsrapporten. I undersökningsrapporten ska då även redovisas vilka ytterligare åtgärder som krävs för att på ett tillförlitligt sätt klarlägga orsaken till skadan eller problemet.

I undersökningsrapporten presenteras alternativa reparationsmetoder. Avsikten är inte att utforma en detaljerad reparationsplan, utan att presentera principiella lösningar som säkerställer konstruktionernas korrekta värme-, fukt- och lufttekniska funktion samt deras funktion med tanke på inomhusluftens kvalitet. När flera alternativa reparationsmetoder föreslås ska risken för misslyckande i de olika alternativen redovisas. Om risken för misslyckande enligt konditionsundersökningen bedöms vara alltför hög, ska undersökaren lämna förslag på vidare undersökningar för att säkerställa att reparationen kan genomföras med gott resultat.

6. Resultat av undersökningar av VVS-system och analys av resultaten

I detta avsnitt beskrivs den undersökta byggnadens ventilationssystem, aggregat och anordningar med den noggrannhet och omfattning som är nödvändig för utredningen. I avsnittet presenteras också eventuella observationer som gäller värme-, vatten- och avloppssystemet.

Luftfördelningen och de uppmätta luftflöden i utrymmena samt renheten hos ventilationssystemets delar presenteras i separata avsnitt. Om det finns flera ventilationsaggregat redovisas deras serviceområden och observationerna per aggregat.

Avsnittet avslutas med slutsatser och åtgärdsrekommendationer i ett eget stycke. I mer omfattande utredningar kan slutsatser och åtgärdsförslag även presenteras per ventilationsaggregat/serviceområde.

Om det i samband med en fukt- och inomhusmiljöteknisk konditionsundersökning har genomförts en omfattande undersökning av ventilations- eller VVS-system, kan rapporten från den bifogas i sin helhet som en bilaga till den fukt- och inomhusmiljötekniska konditionsundersökningsrapporten. Oberoende av hur resultaten från VVS-undersökningarna presenteras i rapporten beaktas de vid bedömningen av inomhusluftens kvalitet och användarnas exponering för föroreningar från konstruktionerna.

7. Resultat av mätningar av inomhusluftens förhållanden och föroreningar samt analys av resultaten

I detta avsnitt redovisas mätningar och analyser som inte har direkt anknytning till byggnadens konstruktioner. Exempel på sådana mätningar är inomhusluftens förhållanden (temperatur, relativ luftfuktighet), olika gasformiga eller partikulära föroreningar i inomhusluften eller i damm som deponerat på ytor, samt mätningar av tryckskillnader. Indelningen görs vanligen efter mätstorhet. I avsnittets del om slutsatser granskas resultaten i förhållande till resultaten från de byggnadstekniska utredningarna och VVS-utredningarna, så att de sannolika källorna till konstaterade föroreningarna i inomhusluften eller orsakerna till avvikande förhållanden blir klarlagda.

8. Resultat av övriga utredningar

Om det i samband med undersökningarna har gjorts andra än egentliga byggnadstekniska utredningar, VVS-utredningar eller undersökningar gällande inomhusluftens kvalitet, presenteras de i detta avsnitt. Exempel på sådana är resultat från användar-, inomhusmiljö- och symtomenkäter.

9. Slutsatser och åtgärdsförslag

I mer omfattande utredningar redovisas resultatanalys, slutsatser (eller bedömningar) och åtgärdsförslag/-rekommendationer separat för varje byggnadsdel (se bilaga 4). I slutet av hela rapporten redovisas därefter de faktorer som har störst betydelse för inomhusluftens kvalitet och byggnadsdelarnas fukttekniska funktion, samt en sammanställning av de rekommenderade åtgärderna.

I mindre omfattande rapporter kan samtliga slutsatser och åtgärder presenteras i ett avsnitt i slutet av rapporten.

Bilagor

I bilagorna samlas allt det material som inte placeras i rapportens textdel men som underlättar förståelsen av skadans orsak och omfattning samt de föreslagna reparationsmetoderna, såsom fotografier, konstruktionsuppgifter och mätresultat. Särskilt i mer omfattande undersökningsobjekt inkluderas i bilagorna i regel alltid en eller flera planritningar, på vilka följande saker markeras i erforderlig omfattning:

- områden som visat sig avvikande i ytfuktkartläggningen
- viktigaste observationer av brister i konstruktionerna
- sensoriska observationer av brister i inomhusluftens kvalitet
- platser för konstruktionsöppningar, numrerade eller på annat sätt identifierbara
- mät- och provtagningspunkter, numrerade eller på annat sätt identifierbara

I planritningsbilagorna kan man även redovisa uppgifter som är viktiga för reparationsplaneringen, såsom olika golvbeläggningsmaterial, andra material och detaljer som inte framgår från konstruktionsritningarna och som är tydligare att visa i bild än i text. För att förbättra ritningarnas läsbarhet rekommenderas det att använda färgmarkeringar.

Objektets ursprungliga byggnadsritningar visas i den omfattning som anses nödvändig. Ritningarna kan avgränsas, förminskas eller förstoras enligt behov, dock så att bildens ursprungliga innehåll inte förändras i väsentlig grad.

Omfattande mätresultat, till exempel fuktmätningsresultat samt grafer över tryckskillnader och klimatförhållanden kan sammanställas som separata bilagor. Laboratoriers analysrapporter och separata mätprotokoll bifogas alltid i sin helhet till undersökningsrapporten. Av rapporttexten och planritningarna ska det tydligt framgå vilket mätresultat eller laboratorieanalyssvar i en bilaga som motsvarar respektive provtagnings- eller mätpunkt. Till rapporten kan också bifogas till exempel videoinspelningar från avlopps- eller dräneringsundersökningar.

Om det i undersökningen har använts många olika slags mätningar och analyser, eller om mätningar måste beskrivas i detalj av någon anledning, kan alla undersökningsmetoderna och -instrumenten redovisas i en bilaga.

I sådana fall ska hänvisning till bilagan finnas i själva rapporttexten. Metoderna ska namnges på ett sådant sätt att det ur texten klart framgår med vilken metod eller mätning varje resultat har erhållits.

4.2

Presentation av undersökningsresultat, analys och riskbedömning

4.2.1

Presentation av undersökningsresultat

Konditionsundersökningens observationer, mätresultat och analys av dem, slutsatser samt åtgärdsförslag presenteras i undersökningsrapporten och de grupperas i ordning enligt ovan. Resultaten presenteras i form av text, konstruktions- och byggnadsritningar, principritningar av skademekanismer, andra eventuella ritningar, fotografier av konstruktionsdetaljer och skador samt mätresultat som tabeller och/eller grafer. Observationer från konstruktionsöppningar kan presenteras med fotografier eller detaljritningar.

Textavsnitten ska vara kortfattade och entydiga. Av texten ska det tydligt framgå vilka uppgifter som erhållits som utgångsuppgifter, vilka som är undersökarens egna observationer och mätningar på plats och vilka som är slutsatser som dragits på basis av dessa. Rapporten ska innehålla tillräckligt många illustrativa fotografier. Samtliga bilder ska förses med bildtexter som anger vilken del av byggnaden som avbildas och vad man vill påvisa med bilden.

I undersökningsrapporten inkluderas endast de uppgifter och resultat som har betydelse för att klargöra orsaken till skadan/problemet. I en övergripande konditionsundersökning av en byggnad ska det också redovisas vilka byggnadsdelar som är i gott skick, samt på vilken grund denna bedömning gjorts. Undersökningsresultaten ska presenteras i så komprimerad form som möjligt. Utifrån undersökningsrapporten ska det vara möjligt att bedöma de slutsatser som dragits om byggnadens skador, deras orsaker och de föreslagna reparationsprinciperna. På detta sätt säkerställs att undersökningsresultaten tolkas korrekt, vilket i sin tur säkerställer att planeringen och genomförandet av reparationerna lyckas.

Av denna anledning undersökningsrapporten ange de metoder för undersökning och mätning som använts, mätpunkternas lägen, mättidpunkter, registreringsintervall för mätdata samt mätperiodernas längd. Dessutom ska mätfelet och mätningarnas tillförlitlighet bedömas, och de faktorer som bidragit till eventuella mätfel kortfattat redovisas.

4.2.2

Analys av undersökningsresultat och riskbedömning

Omfattningen, innehållet och analysmetoderna för analysen av undersökningsresultaten väljs från fall till fall beroende på utgångsläget. För analysen ska alla undersöknings- och mätuppgifter finnas tillgängliga. I analysen fokuserar man på endast sådana faktorer som är väsentliga med tanke på konstruktionens skador eller andra observerade brister. Resultatanalysen framskrider systematiskt och besvarar (i tillämpliga delar) åtminstone följande frågor:

Fuktskador och deras omfattning

- I vilka byggnadsdelar, material och i vilken omfattning har fuktskador konstaterats i konstruktionerna ?
- Förekommer det ovanligt höga fukthalter i konstruktionerna och hur fördelar sig fukten i konstruktionen?
- Är de uppmätta fukthalterna i konstruktionerna
  a. kritiskt höga med tanke på skador i ytstrukturerna?
  b. kritiskt höga med tanke på skador i andra konstruktioner?
- Förekommer mikrobtillväxt på ovanlig fuktiga eller sensoriskt bedömt skadade material?
- Har det konstaterats avvikande kemiska emissioner från fuktskadade eller misstänkt skadade material?
- Finns det luftförbindelser mellan de skadade konstruktionsdelarna och inomhusutrymmen?
- Är byggnadens tryckförhållanden gynnsamma för spridning av föroreningar?

Orsaker till skador

- Varifrån kommer den avvikande fukten?

- Finns fuktkällan fortfarande kvar, eller är det till exempel frågan om ett gammalt, reparerat läckage?
- Finns det riskkonstruktioner i konstruktionslösningarna, där till exempel fuktskaderisken har realiserats?
- Vilken betydelse har de utförda konstruktionslösningarna och deras eventuella avvikelser från konstruktionsritningarna för konstruktionernas värme- och fuktttekniska beteende?
- Förekommer det ett sådant betydande fukttillskott i byggnadens inomhusluft som kan orsaka fuktbelastning på konstruktionerna?
- Vad beror den eventuella avvikande fukten i inomhusluften på?

Inomhusluftens kvalitet

- Håller sig inomhusluftens förhållanden såsom temperatur, luftfuktighet och koldioxidhalt under byggnadens användning på en nivå som inte orsakar problem med inomhusluften?
- Fungerar ventilationen på avsett sätt?
- Förekommer det avvikande halter av kemiska, mikrobiella eller partikulära föroreningar i byggnadens inomhusluft eller till exempel i sedimenterat damm?
- Vilka faktorer som observerats i konditionsundersökningen av konstruktionerna eller ventilationssystemet förklarar avvikelserna i inomhusluftens kvalitet?

Sammanfattning, riskbedömning

- Vilken inverkan har de observerade bristerna och skadorna på inomhusluftens kvalitet, och kan lokalernas användare exponeras för föroreningar på grund av dem?
- Vilka är de åtgärder genom vilka olägenheten kan undanröjas och eventuellt skadade konstruktioner samt orsaken till skadan avlägsnas på ett tillförlitligt sätt?

Dessutom behöver man ibland ta ställning till följande frågor:

- Är den avvikande fukten/skadan relaterad till konstruktionens normala åldrande och bristande underhåll?
- Har konstruktionen som orsakat skadan planerats och utförts enligt rekommendationerna vid byggnadstiden, eller är det frågan om ett byggfel?
- Är skadan orsakad av en defekt i materialets kvalitet?
- Hur gammal är skadan?
- Är skadan/olägenheten för inomhusluften relaterad till byggnadens användning, och används lokalerna i enlighet med sin planerade funktion?

I de följande avsnitten redovisas en närmare analys av de viktigaste resultaten. Referens- och riktvärden som används vid tolkning av resultaten för de olika undersöknings- och mätmetoderna finns i kapitel 3 ovan.

Konstruktionslösningarnas avvikelser från planerna

Betydelsen av de rådande konstruktionslösningarna och deras avvikelser från planerna för konstruktionernas värme- och fuktttekniska beteende bedöms alltid utifrån byggnadsfysikaliska grunder. När man analyserar om orsaken till skadan ligger i själva konstruktionslösningen eller om skadan orsakas till exempel av en alltför hög fuktbelastning i konstruktionen används undersöknings- och mätuppgifter, erfarenheter av långtidshållbarheten för motsvarande konstruktioner och byggnadsfysikaliska beräkningar.

Inomhusluftens temperatur och fukthalt

På basen av kontinuerliga mätningar av temperatur och relativ fuktighet i inomhus- och utomhusluften bedöms om fukthalten i byggnadens inomhusluft är högre eller lägre än vad som är planerat i förhållande till dess användningsändamål. Med kortvariga mätningar kan endast riktgivande slutsatser dras. Riktvärden för temperatur och fukthalt i rumsluft finns i *Anvisning för tillämpning av förordningen om boendehälsa* (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016).

Om fukthalten i rumsluften är högre än förväntat, utreds i analysen orsaken till fuktöverskottet samt om detta kan medföra olägenheter. De vanligaste orsakerna är bristfällig ventilation, ändrad användning av lokalen, ovanligt stor användning av vatten i våtutrymmen eller kök, användning av luftfuktare och mycket klädtvätt i kombination med att tvätten torkas inomhus. Även avdunstning av fukt från byggtiden (s.k. byggfukt) från konstruktionerna kan höja rumsluftens fuktighet under en tid efter att byggnaden färdigställts.

I undantagsfall kan en fuktskada vara orsaken till den höga luftfukthalten i rumsluften. Om rumsluftens fuktinnehåll är tydligt förhöjt utreds om fukttillskottet i rumsluften utgör en risk för fuktskador i konstruktionerna, och konstruktionernas fuktttekniska funktion analyseras. Vanliga riskfaktorer är kalla innerytor som orsakas av köldbryggor eller brister i värmeisoleringen, samt fuktig luft som tränger in i yttermantelns kalla delar via luftläckage. Om rumsluftens fukthalt är normal med hänsyn till lokalens användningsändamål beror fuktttekniska skador på konstruktionerna sannolikt på felaktiga konstruktionslösningar, byggfel eller skador och olyckor i samband med konstruktionernas åldrande, såsom rörläckage. Om de utrymmen som granskas varit ur bruk under en längre tid före konditionsundersökningen kan man inte utifrån mätresultaten bedöma om fuktbelastningen från bostadens användning varit normal eller onormalt hög. Genom att utreda hur länge undersökningsobjektet stått oanvänt kan förändringen i fuktbelastning beaktas vid analysen av mätresultaten.

Bedömning av risken för fuktskada i konstruktioner

I konditionsundersökningens bedömning av skaderisken utreds om konstruktionslösningarna är förknippade med risk för fuktskador. Bedömningen av fuktskaderisken justeras vid analys av undersökningsresultaten, om observationer och fuktmätningar i konstruktioner som gjorts i objektet tyder på att fuktbelastningen eller konstruktionslösningarna avviker från den riskbedömning som gjordes i inledningsskedet av konditionsundersökningen. Betydelsen av fuktbelastningen konstruktionernas skador är central. Till exempel kan samma bottenbjälklagskonstruktion med krypgrund i ett fall fungera fuktttekniskt väl, medan den i ett annat fall, på grund av hög fuktbelastning, kan vara förknippad med en tydlig risk för fuktskador. Vid granskning av fuktskaderisken i konstruktioner måste det alltid bedömas om konstaterade avvikelser från konstruktionsplanerna har ökat risken för skador. Dessutom jämförs om fuktskadorna endast förekommer på förväntade skaderiskområden, eller om skadeområdet är större.

Mer information om riskpunkter i olika byggnadsdelar presenteras i kapitel 7.

I utbildningsmaterialet *Tunnista ja tutki riskirakenne,* som publicerades inom programmet Fukt- och mögeltalko, presenteras med illustrativa bilder typiska riskkonstruktioner i småhus och anvisningar för att undersöka dem (Kosteus- ja hometalkoot, 2012).

Bedömning av skadors inverkan på inomhusluften och användarnas exponering

Risken för inomhusrelaterade olägenheter som orsakas av konstaterade mikrobskador och till exempel kemiska skador i golvbeläggningar bedöms huvudsakligen utifrån skadornas omfattning. I artikeln *Altistumisen arviointi sisäilmaston laatuun vaikuttavien tekijöiden perusteella* (Pietarinen V-M., m.fl., 2015) beskrivs kriterierna för:

- bedömning av mikrobskadornas omfattning,
- bedömning av förbindelsen mellan föroreningskällor och inomhusluft, inklusive luftläckagevägar och byggnadens tryckskillnader,
- bedömning av ventilationssystemets inverkan, samt
- bedömning av användarnas exponering för föroreningar.

Artikelns kriterier kan användas som stöd för slutsatser som dras utifrån undersökningsresultaten när byggnadens skick och skadornas allvarlighetsgrad och betydelse för inomhusluftens kvalitet bedöms. Bedömningen av användarnas exponering kan användas som ett av underlagen för att fastställa brådskan i samband med reparationer. Vid bedömningen beaktas även användarnas upplevelse av inomhusluftens kvalitet och hälsouppgifter på gruppnivå i anslutning till användning av lokalerna. (Pietarinen V-M., m.fl., 2015)

Riskförhållanden gällande mikrobtillväxt och -skador, samt bedömning av inomhusluftens påverkan, beskrivs närmare i kapitel 6.

Analys av konstruktionernas fukthalter

Utifrån resultaten från fuktmätningar i konstruktionerna bedöms om det förekommer avvikande höga fukthalter i dem. Fukthalten kan anses vara ovanligt hög om den överskrider den för byggnadstypen och byggnadstiden normala nivån (jfr kapitel 7). Avvikande höga fukthalter kan bero på brister i konstruktionens fuktttekniska funktion, på att den försämrats med tiden, eller på en plötslig vattenskada.

Det bör beaktas att en förhöjd fukthalt i en konstruktion kan ha orsakats av vatten som transporterats dit längre bortifrån. Till exempel kan vatten från ett takläckage ledas in i en mellanväggskonstruktion. I sådana fall rekommenderas det att kontrollera konstruktionernas verkliga skick genom konstruktionsöppningar.

Vid analys av en konstruktions fukthalt ska bland annat konstruktionens placering och ålder beaktas.

Vid analys av fuktmätningar i konstruktioner ska det bedömas om en ovanligt hög fuktbelastning innebär risker för konstruktionens funktion eller användningen av utrymmena. Om till exempel fukthalten i en betongplatta mot mark är förhöjd, men de använda materialen tål den fuktbelastning de utsätt för, är konstruktionen fuktteknisk fungerande och fuktbelastningen utgör inget problem. Materialtillverkarna tillhandahåller normalt uppgifter om olika materials kritiska fukthalter. När det gäller betongkonstruktioner finns ytterligare information om fuktmätningar och beläggningskriterier i publikationen Betonirakenteiden *päällystämisen ohjeet* (Suomen Betonitieto Oy och Lattian- ja seinänpäällysteliitto ry, 2007). Vid bedömning av skador i golvbeläggningar kan publikationen *Hyvät tutkimustavat muovilattiapäällysteiden vaurioitumisen arviointiin* (Keinänen H., 2013) användas.

Baserat på resultaten från fuktmätningar kan man avgöra om orsaken till en fuktskada beror på alltför stor transport av fukt till konstruktionerna i form av vattenånga eller vatten. Om skadan orsakas av fukt i form av vattenånga bedöms det om det är frågan om diffusion in i konstruktionerna, fuktkonvektion, kondensation av vattenånga i konstruktionerna eller bristfälliga möjligheter för konstruktionerna att torka ut. Om skadan orsakas av fukt i form av vatten bedöms det om inträngningen i konstruktionerna sker kapillärt eller med gravitationen. En fuktskada kan också bero på en kombination av fukttransport i form av både vattenånga och vatten. Konstruktioners fuktteknika beteende och fukthalter som är vanliga i olika konstruktioner behandlas i kapitel 5 och 7.

Tolkning av mätresultat och jämförelse med referensvärden samt mätosäkerhet

Som grund för bedömningen av mätningens tillförlitlighet ska i mätrapporten alltid anges mätningens totala noggrannhet/osäkerhet, med beaktande av mätutrustning, mätförhållanden och mätmetoden i tillräcklig detalj. När det gäller analyser som utförs av externa laboratorier uppger laboratoriet den mätosäkerhet som förknippas med analysen.

Mätosäkerhet ska beaktas vid utvärdering av mätresultaten. Till exempel, om den använda metodens uppskattade mätosäkerhet är 25 % och mätresultatet är 100 enheter, bör den mätta storhetens verkliga nivå tolkas som 75–125 enheter. Tolkningar av bland annat fuktmätningar, mätning av inomhusförhållanden och föroreningar grundar sig i regel åtminstone delvis på en jämförelse av resultaten med olika referensvärden. Om referensvärdet ligger inom mätosäkerheten (t.ex. om referensvärdet i föregående exempel skulle vara 90), kan inga tillförlitliga slutsatser dras om referensvärdet överskridits eller underskridits enbart på basis av en enskild mätning.

4.2.3

Slutsatser och åtgärdsförslag

Utifrån undersökningsresultaten presenteras i slutet av rapporten:

- en sammanfattning av undersökningsresultaten
- en sammanfattning av slutsatserna från resultat- och riskanalysen som beskrivs i punkt 4.2.2
- förslag till åtgärder.

I sammanfattningen av undersökningsresultaten anges med några meningar förekomsten, typen, läget och omfattningen av skador och andra faktorer som försämrar inomhusluftens kvalitet, liksom orsakerna till skadorna/problemen (t.ex. fuktkälla, orsak till materialemissioner, bristfällig funktion hos ventilation osv.). Dessutom ges en bedömning av huruvida lokalens användare kan, på grund av tidigare nämnda brister och skador, exponeras för avvikande halter av föroreningar från konstruktioner, ventilationssystem, ytmaterial etc. Det rekommenderas också att bedöma hur betydande exponeringen kan vara.

Vid en sådan bedömning bör man beakta inte bara exponeringens styrka (t.ex. fuktskadans omfattning och styrkan av inomhusluftförbindelsen, halten av en uppmätt förorening i inomhusluften osv.) utan även faktorer som har att göra med lokalens användning, till exempel om utrymmet används kontinuerligt eller endast sporadiskt.

Undersökningarna på plats bör utföras i den omfattning och med den noggrannhet att åtgärdsförslagen inte behöver innehålla rekommendationer till fortsatta undersökningar, utan istället föreslår de åtgärder som krävs för att avhjälpa skadan. Åtgärdsförslag som grundar sig på slutsatserna presenteras huvudsakligen i textform. Åtgärdernas prioritet och angelägenhetsgrad presenteras om möjligt.

I slutet av undersökningsrapporten presenteras översiktligt alternativa reparationsmetoder och materialrekommendationer. Noggrannheten i åtgärdsförslaget beror på konditionsundersökarens kompetens inom reparationsbyggande och reparationsprojektering. Den egentliga reparationsplaneringen, med detaljerade ritningar och materialval, görs i regel alltid som ett separat uppdrag. De åtgärdsförslag som presenteras i undersökningsrapporten utgör alltså ingen färdig reparationsplan, och det är även rekommenderat att detta uttryckligen anges i rapporten för att undvika missförstånd. Reparationsåtgärderna kräver alltid objektspecifika reparationsplaner, som omfattar arbetsbeskrivning för reparationerna och nödvändiga detaljritningar. Projekteringen utförs av en byggnadskonstruktör som är specialiserad på reparationsbyggande.

I rapporten är det också rekommenderat att ta ställning till kraven på kompetensnivå för planering och arbetsledning (kravklass) samt till planerarnas och arbetsledarens behörighetskrav.

4.3

Inledning av reparationsprojektering

Efter konditionsundersökningen är nästa steg i byggnadens reparationsprojekt reparationsprojekteringen. Vid reparationsprojekteringen är det viktigt att de dokument som hör till konditionsundersökningen lämnas till reparationsprojektören redan när projekteringen inleds. Dessutom ska det observeras att reparationsprojektören och konditionsundersökaren behöver samarbeta tätt under hela projekteringsprocessen.

Det rekommenderas att konditionsundersökaren och reparationsprojektören tillsammans går igenom objektets skador, riskanalysen och reparationsbehoven. Även en gemensam besiktning behövs ofta.

I början av reparationsprojekteringen sätter sig planeraren in i konditionsundersökningsrapporten och andra dokument, och bildar sig en uppfattning om såväl objektets konstruktionslösningar som de reparationsmetoder som ska användas.

När reparationsplaneraren har satt sig in i utgångsuppgifterna rekommenderas det att konditionsundersökaren och reparationsplaneraren åtminstone håller ett möte angående reparationsobjektet. Vid omfattande reparationsobjekt rekommenderas det också att ordna en separat besiktning med konditionsundersökaren och reparationsplaneraren på plats.

Under mötet går konditionsundersökaren igenom orsakerna till de skador som kräver reparation, alternativa reparationssätt, och betonar för reparationsplaneraren betydelsen av kritiska konstruktionsdetaljer, arbetsmoment samt kvalitetssäkring av reparationsarbetet för att reparationen ska lyckas. Reparationsplaneraren begär de preciseringar som behövs om de alternativa reparationssätten, för att kunna göra reparationsprojekteringen korrekt. Vid behov kan flera gemensamma möten eller besiktningar ordnas under reparationsprojekteringens gång.

Reparationsplaneraren utarbetar reparationsplanerna utifrån det material som finns som utgångsuppgifter samt de separata mötena och besiktningarna. Vid reparationsprojekteringen ska det även beaktas om VVS-reparationer genomförs samtidigt, eftersom planeringen ska ta hänsyn till de rivnings- och byggnadsarbeten som dessa kräver samt de anslutningar till konstruktionerna som VVS-installationerna kräver. Dessutom ska det säkerställas att de fastighetstekniska installationerna utförs så att anslutningarna inte orsakar skador på konstruktionerna. Reparationsplaneraren kontrollerar med ventilationsplaneraren att ventilationssystemet justeras så att inomhusluften är svagt undertryckt i förhållande till utomhusluften, och att tryckförhållandena förblir under kontroll vid ventilationens olika driftinställningar.

Anvisningar för reparationsprojektering av fuktskador presenteras närmare i publikationerna Kosteus- *ja homevaurioituneen rakennuksen korjaus* (Miljöministeriet, 1997b) samt *Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaus* (Asikainen V. och Peltola S., 2008).

4.4

Betydelsen av konditionsundersökningens resultat för byggnadens användningssätt och livscykel

De åtgärder som framkommer som resultat av konditionsundersökningen, både sådana som ska utföras inom den närmast tiden och de som ska utföras senare, ska föras in i underhållsplanen (PTS) eller i en annan skriftlig plan som används, och därmed bli en del av det planmässiga fastighetsunderhållet. Reparationsåtgärderna tas med i reparationsplanen och de nödvändiga medlen för deras kostnader reserveras i budgeten.

De reparationer som fuktskador och inomhusluftproblem kräver bör samordnas med byggnadens andra reparationer.

De åtgärdsförslag som fås som resultat av konditionsundersökningen bör bedömas som en helhet och anpassas till byggnadens livscykel och användningsändamål. Om det för olika byggnadsdelar har föreslagits flera åtgärder som ska utföras samtidigt eller inom den närmaste tiden, kan tidpunkten för en eventuell grundrenovering tidigareläggas. Genom att kombinera åtgärderna till en större helhet är det möjligt att minimera tiden då lokalerna står tomma på längre sikt. Om byggnadens utrymmen är föråldrade i förhållande till de krav som den nuvarande användningen ställer, och byggnadsstommen inte möjliggör tillräckliga ändringar av planlösningen, kan byggnaden repareras med riktade minimiåtgärder. Då eftersträvas en tillräckligt lång livslängd för att man ska hinna planera och uppföra en ny byggnad för verksamheten. Byggnaden kan också användas till slutet i sin nuvarande användning och därefter renoveras för något nytt användningsändamål.

Enligt *markanvändnings- och bygglagen* (132/1999) kan även myndigheten i samband med reparationsprojekt kräva en utredning gällande byggnadens skick (MarkByggL 131 §).

Utifrån resultaten av konditionsundersökningen och enkätundersökningar gällande inomhusklimatet kan man vid behov ändra användningen av lokalerna inom byggnaden och flytta ut användare från riskutsatta utrymmen. Användarna ska i alla situationer garanteras trygga utrymmen och en inomhusluftkvalitet som är tillräckligt god med tanke på användningsändamålet.

De sammanlagda åtgärderna som ska vidtas anpassas till byggnadens förväntade livscykel. Beställaren bör utnyttja konditionsundersökarens erfarenhet och personliga bedömning, ifall reparationer måste skjutas upp eller omprioriteras på grund av kostnads- eller resursmässiga skäl. Större åtgärder av renoveringskaraktär kräver tid för planering och eventuella tillståndsprocesser. Innan mer omfattande reparationsåtgärder inleds kan det vara nödvändigt att vidta tillfälliga åtgärder i lokalerna för att tillfälligt förbättra förhållandena. Eventuella åtgärder bör väljas i samråd med en sakkunnig och specifikt för objektet. Sådana åtgärder kan till exempel vara att ventilationen körs på full effekt dygnet runt, att ta vissa utrymmen ur bruk, skapa ett måttligt övertryck i de utrymmen som används eller att undertrycksätta de delar av byggnaden eller konstruktionen som är skadade. Vid genomförande av tillfälliga åtgärder är det mycket viktigt att aktivt följa upp situationen i samarbete med lokalernas användare och att informera om åtgärderna och deras syfte.

5 Konstruktioners fukttekniska beteende

Fukt- och mikrobskador uppstår när konstruktioner och material inte klarar den fuktbelastning de utsätts för. Det är inte entydigt när fuktbelastningen överskrider konstruktionens tålighet. Generellt kan man åtminstone säga att fukt inte får ansamlas i konstruktionen under lägre tid. Dessutom måste en enskild fuktbelastning, till exempel ett rörläckage, torka ut tillräckligt snabbt för att fukt- och mikrobskador ska kunna undvikas. Analysen av konstruktioners fukttekniska beteende omfattar både en bedömning av de fuktbelastningar som konstruktionen utsätts för och av konstruktionens uttorkningshastighet. Konstruktionens mikrobiella skador behandlas närmare i kapitel 6.

Konstruktioners fuktbelastning och uttorkningsförmåga grundar sig på olika fysikaliska mekanismer för fukttransport och deras kombinationer. En lyckad fuktteknisk konditionsundersökning förutsätter att konditionsundersökaren förstår grunderna i konstruktioners och byggnadsmaterials fukttekniska beteende. På så sätt kan fokus i undersökningsplanen, under själva undersökningen och i rapporteringen riktas mot rätt frågor och rätt slutsatser kan dras.

Konstruktioners fukttekniska beteende har, utöver i denna handbok, behandlats till exempel i publikationerna:

- *RIL 255-1-2014 Rakennusfysiikka I. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2014)
- *RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet* (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. och Elmarsson B., 2011).
- *Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka* (Björkholz D., 2002)

5.1

Vattnets tillstånd

Vatten förkommer i byggnader som vattenånga, vatten och is. Beroende på temperaturen ändrar vattnet aggregationstillstånd i konstruktionerna och på deras ytor (bild 5.1). När vattenånga kondenserar eller vatten fryser frigörs energi. Smältning och förångning däremot binder energi.

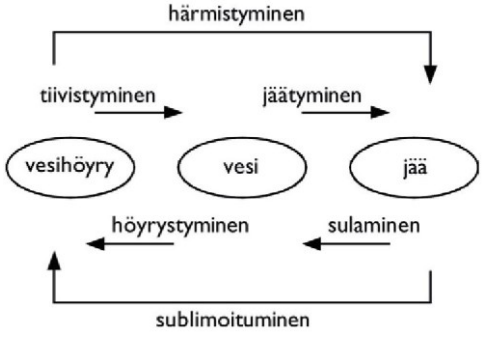


Bild 5.1 Vattnets fasomvandlingar. I bild tiivistyminen = kondensation, vesihöyry = vattenånga, härmistyminen = frostbildning, jäätyminen = frysning, höyrystyminen = förångning, sulaminen = smältning, sublimoituminen = sublimering.

Fenomenet där vattenånga kondenserar till vatten kallas kondensering. Vattenångan i luften kondenserar på en yta om ytans temperatur är under den omgivande luftens daggpunktstemperatur. I byggnader kan kondensation vara en följd av till exempel följande fenomen:

- Motstrålning under natten sänker temperaturen på mantelns yttre ytor (t.ex. undersidan av taktäckningsmaterialet) under utomhustemperaturen.
- I samband med byggnadsarbeten tillförs fukt med byggnadsmaterial, t.ex. i samband med spacklingsarbeten.
- Vid uttorkning av konstruktioner genom uppvärmning uppstår fukttillskott.
- Konstruktioner värms snabbt upp när varm utomhusluft strömmar in till exempel i ett vindsutrymme. De uppvärmda konstruktionerna ger ifrån sig fukt.
- Fukt transporteras med luftflöden till kallare utrymmen (t.ex. från inomhusutrymme till vindsutrymme eller från utomhus till krypgrund).
- Ytan i inomhusutrymme har låg temperatur på grund av köldbrygga.
- Vattenånga i inomhusluften tränger in i en konstruktion med högre ångtäthet i yttre delen, jämfört med inre delen, och kondenserar där under längre tid (t.ex. en vägg med invändig värmeisolering).

Fukt kondenserar lättast på en tät yta eller på ytan av ett material som är vått (bild 5.2). När ytans temperatur sjunker kondenserar fukten först till en jämn vattenfilm på ytan. Fenomenet kallas filmkondensation. Filmkondensen övergår i droppkondens när mängden fukt som transporteras till ytan ökar. Droppens storlek växer i takt med kondensationen fortskridande när små droppar förenas. På lutande eller vertikala ytor rinner den kondenserade fukten nedåt. Fukt som kondenserat eller transporterats till konstruktionen på annat sätt fryser om konstruktionens temperatur är under 0 °C.

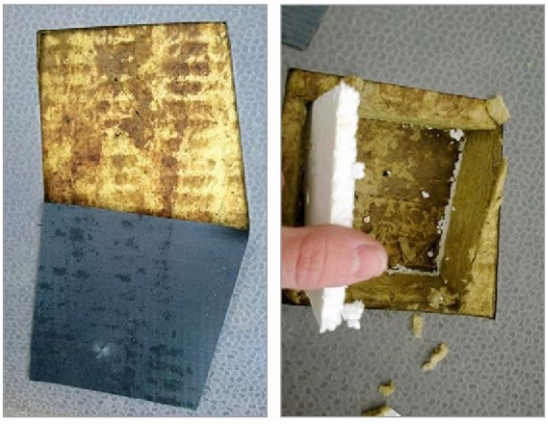


Bild 5.2. I ett slutet tak hade byggfukt kondenserat både under taktäckningen och under EPS-skivan som använts för att skapa fallet. Bilder: K. Viljanen, Vahanen Oy.

Fuktens avdunstning (bild 5.1, förångning) från ytor sker genom diffusion och konvektion. Avdunstningens hastighet beror på ytans temperatur, hastigheten hos den luft som strömmar över ytan, den omgivande luftens temperatur och relativa fuktighet samt solstrålningen mot ytan.

Is eller snö kan övergå direkt till vattenånga genom sublimering. Detta är möjligt i konstruktioner vid sträng kyla och torr luft (låg relativ fuktighet). Till exempel i ett fall smälte inte yrsnö på vinden och rann ner som vatten in i inomhusutrymmena, utan sublimerades och avdunstade till vindsutrymmet (bild 5.3). Fuktens avdunstning ökar vid blåsigt och soligt väder. Det ska dock observeras att exemplet i bild 5.3 är ovanligt. Typiskt är fuktskaderisken på grund av snö betydande, och snö borde inte få komma in på vinden eller i takets ventilationsspalt.

5.2

Fukt i luften

När man bedömer fuktkällor måste man förstå begreppet luftfuktighet. Varm luft kan binda mer fukt än kall luft (bild 5.4). Luftens fuktighet når ett mättnadstillstånd när halten vattenånga stiger tillräckligt medan temperaturen förblir konstant (bild 5.4). I mättnadstillståndet innehåller luften den största möjliga mängden vattenånga utan att fukten kondenserar till vatten. Den relativa fuktigheten är förhållandet mellan mängden vattenånga i luften och den mängd vattenånga som skulle finnas i mättnadstillstånd vid luftens temperatur.



Bild 5.3. I ett vindsutrymme avlägsnades yrsnö till luften geom en kombination av sublimering, smältning och avdunstning. I vindsbjälklaget fanns 200 mm mineralull och taktäckningen var av mörka fibercementskivor. Vindsutrymmets ventilation var kraftig. Bild: P. Sallinen, Vahanen Oy.

Relativ fuktighet kan också definieras som förhållandet mellan rådande vattenångans partialtryck och vattenångans partialtryck i mättnadstillstånd (formel 5.1).

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

där RH är luftens relativa fuktighet [%], v_i är mängden vattenånga i luften [g/m^3], v_k mängden vattenånga i mättnadstillståndet vid temperaturen för aktuell luft [g/m^3], p_i är vattenångans partialtryck [Pa] och p_k är vattenångans partialtryck i mättnadstillstånd [Pa]. Den relativa fuktigheten är 100 % när luften är i mättnadstillstånd. I bild 5.4 visas hur mängden vattenånga i luften är beroende av luftens temperatur och relativa fuktighet. Till exempel vid temperaturen +20 °C och relativa fuktigheten 60 % finns det drygt 10 gram fukt per kubikmeter luft (bild 5.4 röd punkt).

Med hjälp av kurvorna i bild 5.4 kan man bedöma förändringen i luftens relativa fuktighet

- när luften strömmar in i ett utrymme med annan temperatur
- förändringen i en ytas relativa fuktighet när luften möter ytan, t.ex. vid bedömning av risken för mögel på ytor med olika temperaturer som gränsar mot inomhusutrymmen.

Exempel 5.1. Tillämpning av bild 5.4

Vi antar att luftens temperatur är +21 °C och den relativa fuktigheten är 40 %. Med hjälp av kurvan i bild 5.4 kan vi avgöra vilken som är den kritiska temperaturen för en yta som gränsar till inomhusutrymmet. Bedömningskriteriet är fuktens kondensation, när RH=100 % och som gränsvärde för mögelrisk på ytan väljs 80 %. Bedömningsförloppet visas i bild 5.10 med röda pilar. I exempelfallet är den kritiska temperaturen för mögelrisk cirka +9,5 °C och den kritiska temperaturen för kondensation cirka +5 °C.

5.3

Vattnets bindning i byggmaterial

Mängden vatten i ett material (även materialets vatteninnehåll eller materialets fukthalt, eng. moisture content, MC) kan anges antingen som mängden vatten per kubikmeter material (kg/m^3) eller som procent av materialets torrvikt (%). Den fukt som finns i porerna i porösa material anges ofta som relativ luftfuktighet (relative humidity, RH). Definitionerna beskrivs närmare i avsnitt 5.3.1.

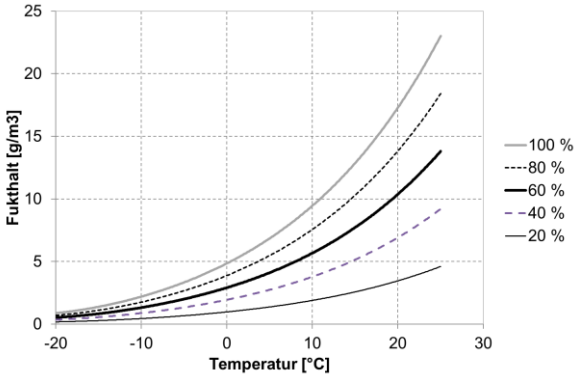


Bild 5.4. Beroendet för mängden vattenånga i luften av luftens temperatur och relativa fuktighet.

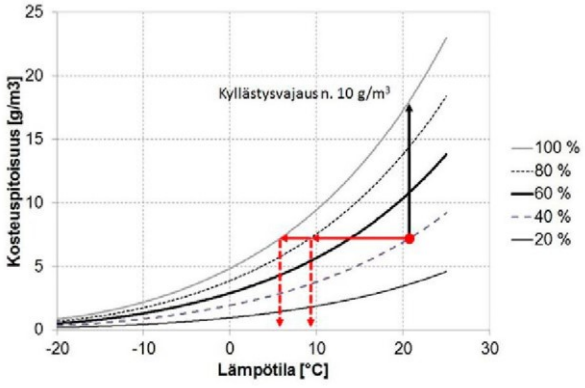


Bild 5.5. Tillämpning av bild 5.4 vid beräkning av den kritiska temperaturen för en yta i inomhusutrymme. I bild kyllästysvajaus = mättnadsunderskott

5.3.1

Hygroskopisk jämviktsfuktighet

Att ett material är hygroskopiskt innebär att det har förmåga att binda fukt från luften och avge fukt till luften. Om materialet binder eller avger fukt beror på den omgivande luftens relativa fuktighet och materialets fukthalt. Materialet befinner sig i det hygroskopiska området när dess fukthalt motsvarar den omgivande luftens relativa fuktighet 0–98 %. Sambandet mellan materialets fukthalt och den omgivande luftens relativa fuktighet beskrivs med jämviktsfuktkurvor. I bilderna 5.6–5.8 visas exempel på jämviktsfuktkurvor för trä, betong, mineralull och tegel.

Materialets jämviktsfukthalt beror också på temperaturen, så varje temperatur motsvaras av en egen jämviktsfuktkurva för materialet. Vid lägre temperaturer binder materialet mer vatten än vid högre temperaturer. Fuktmätningar rekommenderas därför att utföras vid temperaturer +15–25 °C, eftersom mätresultatet kan bli förvrängt om mätningstemperaturen avviker alltför mycket från konstruktionens normala temperatur. I konstruktioner kan jämviktsfuktighetens temperaturberoende å andra sidan leda till att fukt vandrar inne i konstruktionen till en kall del av konstruktionen. Eftersom jämviktsfuktens temperaturberoende behandlas endast i begränsad omfattning i litteraturen, används i allmänhet kurvor för temperaturen +23 °C.

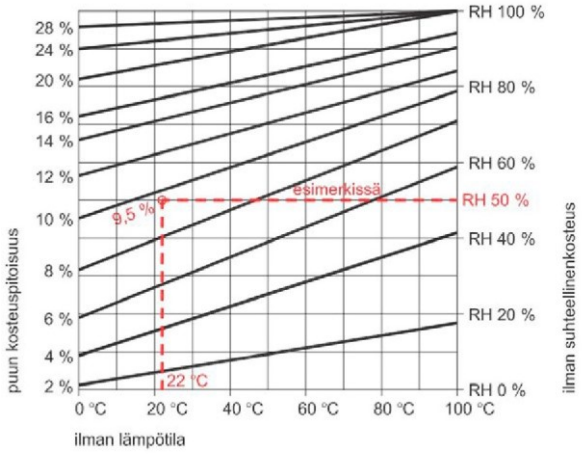


Bild 5.6. Jämviktsfuktkurva för trä. I exemplet uppnås träets jämviktsfuktighet 9,5 vikt-% vid +22 °C temperatur och 50 % relativ fuktighet.I bild ilman suhteellinen kosteus = luftens relativa fuktighet. Bildkälla: RT 2-10978. Puutavara. Sahattu, höylätty ja jatkojalosteet, Rakennustietosäätiö RTS, 2009b.

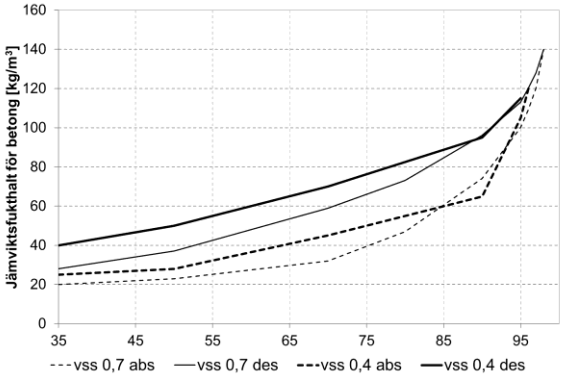


Bild 5.7. Jämviktsfuktkurvor för betong i fuktupptagnings- (absorption) och uttorkningsfasen (desorption) vid olika vattencementtal (vct = vss). I bid tasapainokosteus = jämviktsfukthalt. Bildkälla: Hagentoft C.-E., 2001.

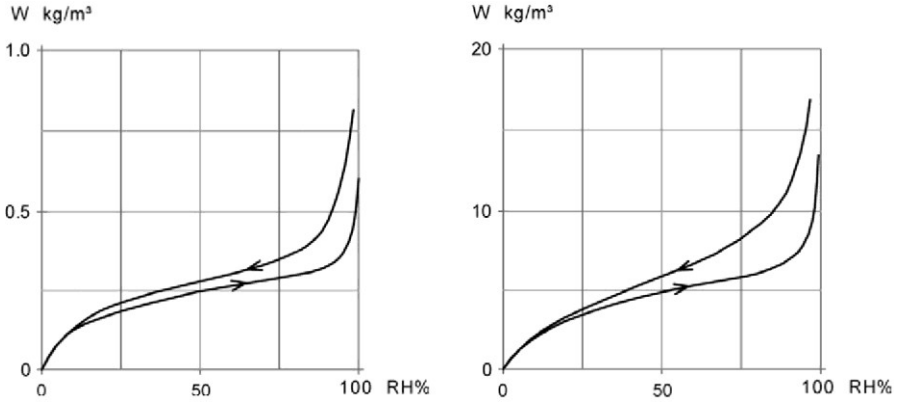


Bild 5.8. Jämviktsfuktkurvor för mineralull (bilden till vänster) och tegel (bilden till höger). Observera skillnaden i y-axelns skala. Bildernas källa: Nevander L. och Elmarsson B., 2011.

Det beror på materialets hygroskopiska egenskaper hur ett fukttillägg påverkar materialets inre relativa fuktighet och därmed bland annat mängden fritt vatten som mikrober har tillgång till. Till exempel i ett helt torrt träbaserat material höjer ett tillskott på 150–200 g/kg vatten materialets relativa fuktighet till nivån RH 80 %. För mineralull och gipsskiva uppnås samma nivå för relativ fuktighet med ett fukttillskott på ca 10–15 g/kg.

De fuktmängder som mineralull eller cellplast binder hygroskopiskt är små, medan till exempel träfiberisolering binder avsevärt mer fukt än dessa. Ju mer material som hygroskopiskt binder fukt i konstruktionerna, desto mer fukt kan konstruktionen ta emot från sin omgivning utan att detta orsakar problem för konstruktionens funktion.

Materialets jämviktsfuktkurvor vid fuktupptagning och uttorkning är olika, eftersom materialets fukthalt vid samma relativa luftfuktighet är högre i uttorkningsfasen än i fuktupptagningsfasen. Fenomenet kallas hysteres. Storleksordningen för hysteresis vid 75 % relativ fuktighet är 0,01 kg/m^3 för mineralull, 2,5 kg/m^3 för tegel och 20 kg/m^3 för betong, det vill säga den är desto större ju mer fukt materialet hygroskopiskt binder fukt.

Jämviktsfuktkurvor för olika material presenteras bland annat i publikationerna *RIL 255-1-2014. Rakennusfysiikka I. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2014), *Fukthandbok - Praktik och teori* (Nevander L. och Elmarsson B., 2011) och *Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona* (Vinha J., m.fl., 2005).

Jämviktsfuktkurvorna för betong (bild 5.7) kan anses som riktgivande. Jämviktsfuktkurvorna skiljer sig åt beroende på bland annat vatten-cementförhållandet och mängden komponenter i betongen.

I tabell 5.1 presenteras byggmaterialens genomsnittliga fukthalter när den omgivande luftens relativa fuktighet är 50 % och 95 %.

Genom att jämföra den uppmätta fukthalten med fukthalten enligt jämviktsfuktkurvan kan man bedöma i vilket tillstånd byggnadsdelen befinner sig vid mättillfället. Det fuktteknika beteendet kan variera mycket inom en produktgrupp. Av denna orsak är de jämviktsfuktkurvor som presenteras i litteraturen riktgivande. Vid behov kan det exakta värdet på jämviktsfukten mätas i laboratorium.

5.3.2

Kapillär jämviktsfukt

Med kapillär jämviktsfukt avses den fukthalt som materialet uppnår när det är i kontakt med fritt vatten. Vattnet sugs upp av undertrycket i porerna och fukten stiger till den höjd där undertrycket i porerna och gravitationen är i jämvikt. Kapillär jämvikt kan också uppnås genom att materialet är i kontakt med ett annat material som befinner sig inom det kapillära området, t.ex. marken. Fukthalten i ett material kan befinna sig inom det kapillära området även när den innehåller byggfukt. Karakteristiskt för kapillär jämviktsfukt är att fukthalten är högre än inom det hygroskopiska området (bild 5.9).

Tabell 5.1. Genomsnittliga fukthalter i byggmaterial då luftens relativa fuktighet är 50 % och 95 %.
Tabellens material: Wufi Pro 4.2:s materialbibliotek; värden för stenull: Vinha J., 2007.

Material	Densitet [kg/m^3]	Fukthalt [kg/m^3]	
		RH = 50 %	RH = 95 %
Stenull	37	0,21	0,81
Gipsskiva	850	3,6	19
Puts	1 265	4,0	55
Träfiberskiva	300	24	87
Plywood	427	47	113
Betong, vct. 0,5	2 300	48	118
Gran	455	45	121

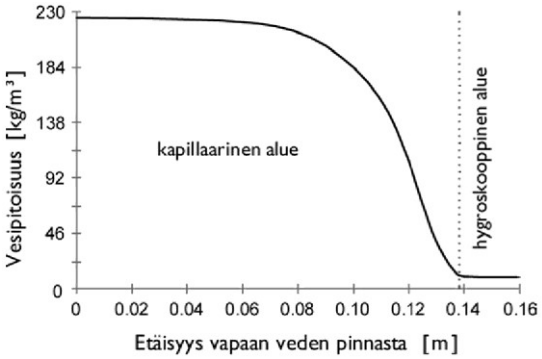


Bild 5.9. Vattenmängden som binds kapillärt och hygroskopiskt av tegel. Vattenmängden är desto mindre ju längre bort den fria vattenytan är. I bild kapillaarinen alue = kapillärt område, hygroskooppinen alue = hygroskopiskt område, etäisyys vapaan veden pinnasta = avstånd från fri vattenyta.

Materialets porfördelning avgör hur mycket fukt materialet suger upp kapillärt. Exempelvis kan vattenmängden som tegel suger upp kapillärt vara högst 7–25 % av torrvikten, varvid vattenmängden som binds i materialet är 120–420 kg/m^3. Den fukt som tegel binder hygroskopiskt är avsevärt mindre, beroende på tegelkvalitet, i storleksordningen 15 kg/m^3.

Även granulära ämnen är kapillärt vattenupptagande, varvid den bundna vattenmängden beror på kornfördelningen så att ju mer finkornigt materialet är, desto större är den bundna vattenmängden. Exempelvis kan den vattenmängd som lera kapillärt suger upp variera från cirka 400 kg/m^{3}till över 800 kg/m^3. Den kapillära stighöjden för markämnen varierar från 0,03 meter för lös sand till över 10 meters stighöjd för kompakt lera.

Höga fukthalter tyder i allmänhet på felaktig funktion hos konstruktioner. Konstruktioner planeras så att fukten i dem inte befinner sig i det kapillära området, med undantag för konstruktioner som är avsedda att ta emot fuktbelastning från fritt vatten, till exempel vattenisoleringar, fasader och vissa grundkonstruktioner. Dessutom måste man i planeringen ta hänsyn till möjligheterna för byggfukt att torka ut utan att skada konstruktionerna. Risken för skador och mögel i material som befinner sig i det kapillära fuktområdet och i konstruktioner i deras närhet är betydande, vilket alltid kräver snabba reparationsåtgärder.

5.3.3

Vattenaktivitet

Vattenaktivitet är en term som används speciellt inom livsmedelsteknologi och mikrobiologi för att beskriva mängden vatten i ett material som är tillgängligt för mögel och andra mikrober. Vattenaktivitet är förhållandet mellan vattenångans partialtryck i materialet och vattenångans partialtryck i rent vatten (formel 5.2).

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

där p är vattenångans partialtryck i materialet och p_0 är vattenångans partialtryck i destillerat vatten vid samma temperatur. Under stabila förhållanden kommer materialets vattenaktivitet i jämvikt med den omgivande luftens relativa fuktighet (relative humidity, RH) så att a_w = RH / 100 %. Då talar man om jämviktsfukt (equilibrium relative humidity, ERH). Till exempel, om den relativa luftfuktigheten (RH) i ett oventilerat isoleringsutrymme uppmäts till 55 %, kan vattenaktiviteten a_w på materialytorna antas vara cirka 0,55.

5.4

De vanligaste fuktkällorna

Indelning av fuktkällor

De fuktkällor som påverkar konstruktioner delas in i byggnadens inre och yttre källor, bild 5.10. Vid undersökning av fukt- och mikrobskador i konstruktioner måste både inre och yttre fuktkällor som påverkar byggnaden beaktas.

Inomhusluftens fukt

Inomhusutrymmets luftfuktighet beror på utomhusluftens fuktighet, fuktproduktionen i utrymmet och utrymmets luftomsättning. De olika faktorernas betydelse i jämviktstillstånd kan bedömas med formel 5.3.

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

där v_s är inomhusluftens fukthalt [g/m^3], v_u är utomhusluftens fukthalt [g/m^3], G är inomhusutrymmets fuktproduktion [g/h], n är luftomsättningen [1/h] och V är utrymmets volym [m^3]. Termen G/nV är inomhusluftens fukttillskott, som beror på rummets användning och luftomsättning.

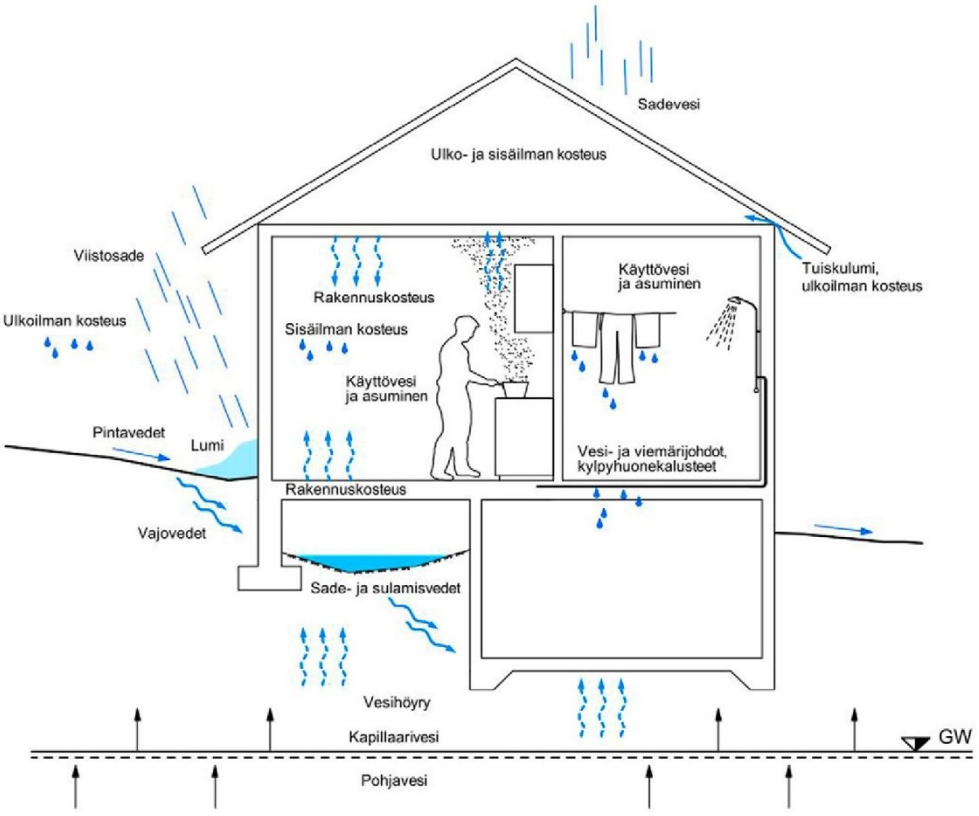


Bild 5.8. Vanligaste inre och yttre fuktkällor i byggnader. I bild ulko- ja sisäilman kosteus = fukt i utom- och inomhusluft, viistosade = slagregn, pintavedet = ytvatten, vajovedet = sjunkvatten, rakennuskosteus = byggfukt, käyttövesi ja asuminen = bruksvatten och boende, sade- ja sulamisvedet = regn- och smältvatten,vesihöyry = vattenånga, kapillaarivesi = kapillärvatten, pohjavesi = grundvatten, tuiskulumi = yrsnö.

Fukttillskottet kan beräknas genom att uppskatta utrymmets fuktproduktion, luftomsättning och volym. Om fuktproduktionen inte bedöms separat kan värdet 3 g/m^3 användas i beräkningar. I konstruktionsplanering används dimensioneringsvärden 3–5 g/m^3 (vinter) och 1–2 g/m^3 (sommar) för inomhusluftens fukttillskott, beroende på byggnadens användningsändamål (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012).

I praktiken är det enklaste sättet att uppskatta fukttillskottet oftast att mäta inomhus- och utomhusluftens fukthalt och beräkna skillnaden mellan dessa (v_s-v_u). I vissa fall kan på så sätt bedöma om det i byggnaden finns en fuktproduktion som avviker från det normala.

I bild 5.11 visas ett exempel på den samverkande effekten av fuktkällor i olika utrymmen, utomhusluften och ventilationen på luftens relativa fuktighet i en lägenhet i ett flervåningshus i Finland under två dygn på sommaren. Riklig användning av vatten, såsom duschning, orsakar en kraftig, kortvarig förhöjning av fukthalten i badrummet. I fallet i bild 5.11 steg den relativa fuktigheten i badrummet under tiden för dusch med 30–40 procentenheter. Den relativa fuktigheten i vardagsrummet steg med 5–10 procentenheter som en följd av duschningen.

För mikrobtillväxten är fuktigheten, temperaturen och deras varaktighet i luften nära materialytorna (mikroklimatet) och i materialens porluft avgörande. De fuktförhållanden som behövs för utveckling av mikrobiell påväxt beskrivs ofta med vattenaktiviteten (a_w, se punkt 5.3.3), som kan anta värden 0–1. I praktiken motsvarar detta den relativa fuktigheten (RH) i byggmaterialens porluft delat med hundra. Den relativa fuktigheten i mikroklimatet kan skilja sig väsentligt från inomhusluftens relativa fuktighet, t.ex. till följd av temperaturvariationer.

Inomhusutrymmets fuktproduktion, G

Fuktkällor i inomhusutrymmen är bl.a. byggfukt, människor, djur, växter, bruksvatten, matlagning, torkning av tvätt och luftfuktare. I tabell 5.2 visas fuktkällor i bostadslägenheter och deras fuktproduktion. I konstruktioner och byggnadsmaterial kan det finnas fukt som härstammar från tillverkning, lagring och transport samt byggandet.

Denna fukt kallas för byggfukt. Konstruktioner och byggnadsmaterial strävar efter fuktjämvikt med den omgivande luften. Torkningshastigheten (fuktproduktionen) beror på den omgivande luftens temperatur och relativa fuktighet. Om konstruktionslösningen är korrekt och god byggpraxis har följts i byggnadsarbetet avgår huvuddelen av den överflödiga byggfukten ur bostadshus under en uppvärmningssäsong.

Luftomsättning, n

Luftomsättningen beskrivs med luftomsättningskoefficienten n [1/h], som anger hur många gånger rumsluften byts ut under en timme. Luftomsättningskoefficienten beräknas genom att dela luftvolymen som flödat ut ur rummet på en timme med rummets volym. Enligt *Finlands byggbestämmelsesamling del D2 Byggnaders inomhusklimat och ventilation (ByggBS D2-2012)* är riktvärdet för dimensionering av utomhusluftflödet för bostads- och undervisningsutrymmen 6 l/s/person, medan för kontorsutrymmen anges ett riktvärde på 1,5 l/s/m^2. Enligt *förordningen om boendehälsa* (SHMf 545/2015) ska utomhusluftflödet i bostäders ventilation under brukstid vara minst 0,35 dm^3/s per kvadratmeter. Enligt mätningar är luftomsättningen i flervåningshus i genomsnitt 0,48 1/h och i småhus 0,33 1/h (Säteri J., m.fl., 1990).

Exempel 5.2. Inomhusluftens fukthalt

Låt oss anta att en person utför stillasittande arbete i ett rum med volymen 25 m^3. Rummets luftomsättning är 0,6 1/h och temperaturen är +21°C. Utomhusluftens temperatur är +5°C och den relativa fuktigheten är 80 %. Vad är inomhusluftens fukthalt? När är det risk för kondens och mögeltillväxt på rummets ytor?

Inomhusluftens fukthalt kan uppskattas med hjälp av formel 5.3. Utomhusluftens fukthalt är 5,5 g/m^3 (bild 5.4). Fuktproduktionen är cirka 40 g/h (tabell 5.2). Genom att sätta in värdena i formel 5.3 fås inomhusluftens fukthalt till:

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

Tabell 5.2. Fuktproduktion i bostadslägenhet. Källor till materialet: Kokko E., m.fl., 1999; Nevander L. och Elmarsson B., 2011.

Fuktkälla	Produktion
Bad	700 g/h
Dusch	2 600 g/h
Köksverksamhet	600–1 500 g/h
Öppen vattenyta	40 g/m^{2}h
Växter, små	7–15 g/h
Växter, medelstora	10–20 g/h
Människa, vila eller sittande arbete	40–50 g/h
Tvätt och torkning av kläder: centrifugerad tvätt droppande tvätt	 10–50 g/h /kg 20–100 g/h /kg

Den motsvarande relativa fukthalten i inomhusluften enligt bild 5.4 är 45 %. Enligt bild 5.4 finns det risk för kondens, RH=100 %, när yttemperaturen är + 8°C eller lägre. När det gäller risk för mögeltillväxt granskas situationen där 8,4 g/m^3 absolut fukthalt i inomhusluften motsvarar 75 % relativ fuktighet. Enligt bild 5.4 är mikrobtillväxt möjlig när yttemperaturen är + 13°C eller lägre.

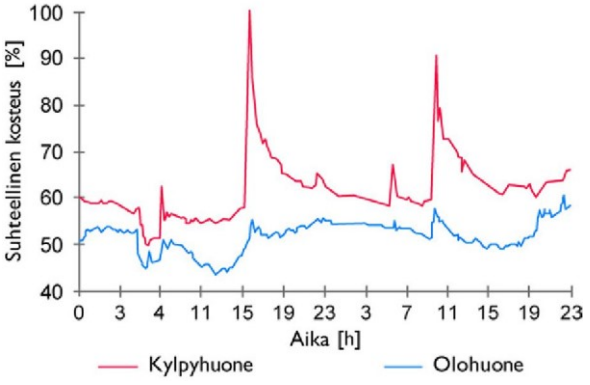


Bild 5.11. Exempel på den relativa fuktigheten i olika utrymmen i en lägenhet i finländskt flervåningshus under två dygn sommartid.

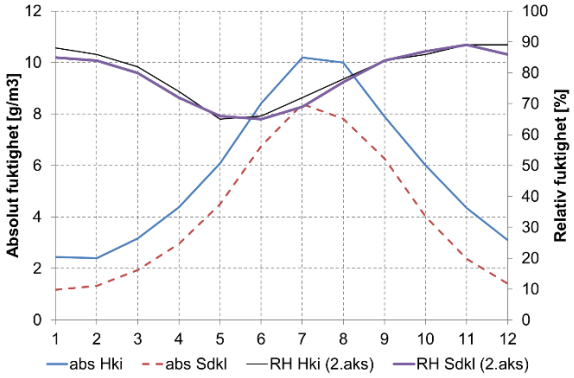


Bild 5.12. Exempel på utomhusluftens relativa och absoluta fuktighet som månadsmedelvärde i Helsingfors och Sodankylä. På X-axeln månaderna med början från januari. Bildkälla: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2000.

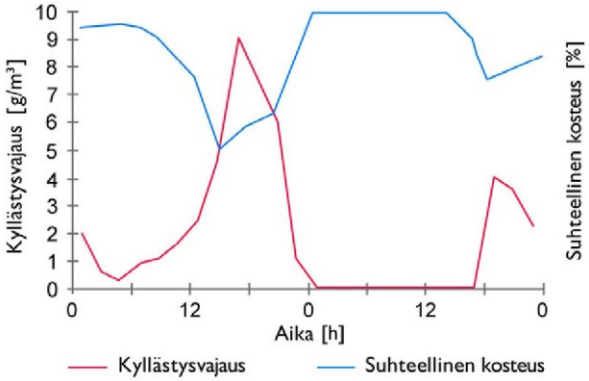


Bild 5.13. Exempel på variationen i utomhusluftens mättnadsunderskott och relativa fuktighet under två dygn sommartid. Det ena dygnet representerar en solig dag och den andra en regnig dag.

Utomhusluftens fukt

Utomhusluftens fukthalt varierar med årstiderna (bild 5.12). På sommaren är mängden vattenånga [g/m^3] utomhus typiskt större än på vintern, eftersom varm luft kan binda en större mängd fukt. Mängden vattenånga i utomhusluften varierar från cirka 1 g/m^3 på vintern till 10 g/m^3 på sommaren. Månadsmedelvärdet för relativ fuktighet varierar från cirka 90 % på vintern till 65 % på sommaren. På kort sikt kan variationen i utomhusluftens relativa fuktighet vara betydligt större. Utomhusluftens relativa fuktighet varierar kraftigare under sommaren än under vintern på grund av solstrålningen.

Med mättnadsunderskott avses skillnaden mellan fukthalten vid mättnadstillstånd och den rådande fukthalten. Luften kan binda en mängd fukt motsvarande mättnadsunderskottet.

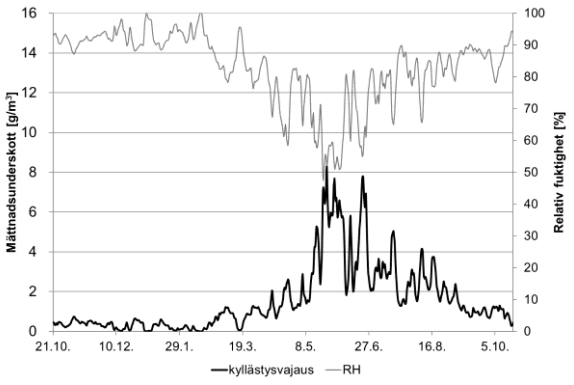


Bild 5.14. Exempel på variationen i utomhusluftens mättnadsunderskott och relativa fuktighet under sommar och vinter.

Utomhusluftens mättnadsunderskott varierar kraftigt mellan olika årstider och tider på dygnet. I bild 5.13 finns ett exempel på variationen i utomhusluftens mättnadsunderskott och relativa fuktighet på sommaren under två dygn. I bild 5.14 visas en motsvarande mätning från januari till juni. I juni är utomhusluftens mättnadsunderskott kring 2–8 g/m^3 och i januari kring 0–0,5 g/m^3.

På sommaren orsakar solstrålningen och den kraftiga temperaturhöjning som den medför en ökning i luftens mättnadsunderskott, varvid den relativa fuktigheten minskar. På vintern är utomhusluftens mättnadsunderskott litet och varierar inte lika kraftigt som under sommaren. Under den soliga sommardagen i bild 5.13 är mättnadsunderskottet 2–9 g/m^3 och under en den regniga dagen under 0,5 g/m^3. I exemplet i bild 5.14 är utomhusluftens mättnadsunderskott under vintern konstant nära 0 g/m^3. På vintern är därför uttorkningen av kalla konstruktioner med ventilationsluft (t.ex. yttervägg med luftspalt) långsam. Det bör dock noteras att om den kalla utomhusluften värms upp, till exempel när luften strömmar in i varmare konstruktionsdelar, ökar dess mättnadsunderskott och förmåga att torka konstruktioner betydligt.

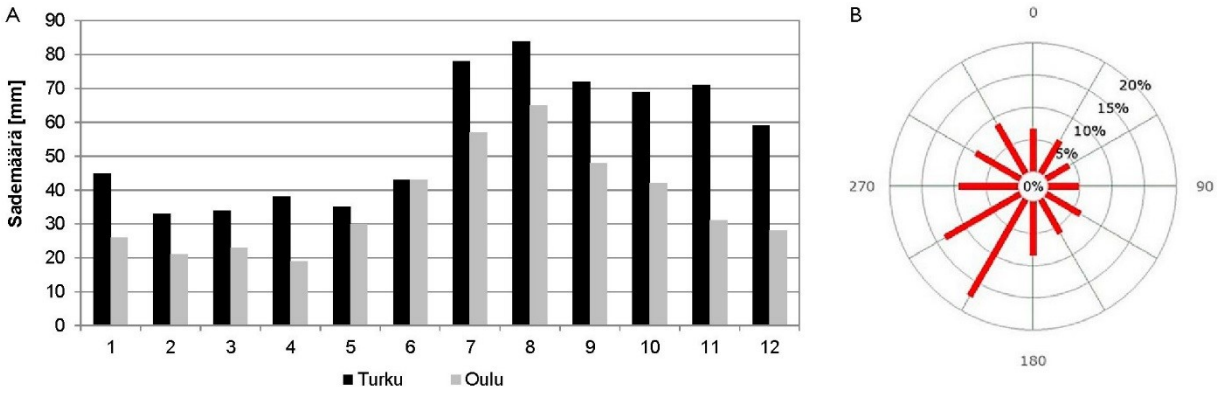


Bild 5.15. A: Månadsvisa genomsnittliga regnmängder i Åbo och Uleåborg 1961–1990. B: Vindros för Järvenpää, årsmedelvärde för vindriktning. Bildernas källor: A Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2000; B: Meteorologiska institutet, 2011.

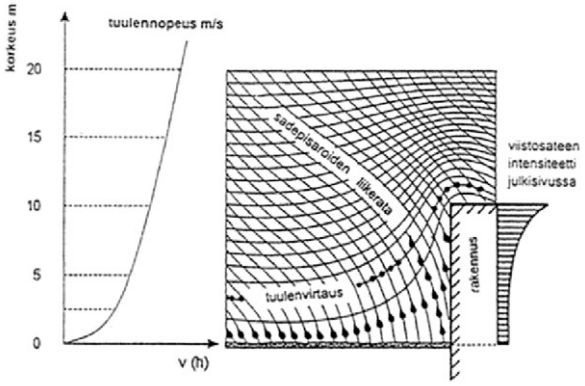


Bild 5.16. Fasadens slagregnsbelastning riktas till största delen mot byggnadens övre delar. I bild viistosateen intensiteetti julkisivussa = slagregnets intensitet i fasaden, tuulenvirtaus = vindström, sadepisaroiden liikerata = regndropparnas rörelsebana Bildkälla: Lehtinen T., m.fl., 1997.

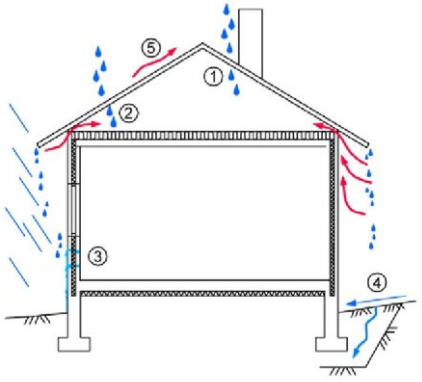


Bild 5.17. Fuktskaderisker som regnvatten ger upphov till i en byggnad: 1) otät genomföring i yttertak, 2) läckage i yttertak, 3) otätheter i yttervägg, 4) fuktbelastning av ytvatten och 5) inträngning av yrsnö eller regn i (tak)konstruktioner på grund av vindtryck.

Regn

Fuktbelastningen som regn orsakar på konstruktioner förekommer som vatten, snö och is. I bild 5.15A visas månadsvisa nederbördsmängderna [mm] i Uleåborg och Åbo. Nederbördsmängden i millimeter motsvarar värdet 1 liter/m^2. Den fuktbelastning som regn orsakar är störst på hösten, då dygnets temperaturvariationer är som minst och uttorkningen är liten eftersom regnperioder är vanliga. I bild 5.15B visas dessutom årsmedelvärdet för vindriktningen i form av en vindros. Med hjälp av vindrosen kan man uppskatta hur mycket slagregn som träffar en fasad i en viss väderstreckriktning. Den rådande vindriktningen och slagregnets inverkan på vissa ytor orsakar därmed att skador koncentreras till bestämda delar av byggnadens mantel. Å andra sidan påverkar slagregn mest den övre delen av byggnadens fasad (bild 5.16).

I bild 5.17 presenteras möjliga vägar för regnvatten in i konstruktioner. Vertikalt regn belastar byggnadens horisontella ytor såsom tak och terrasser. Slagregn belastar förutom de horisontella ytorna också vertikala byggnadsdelar såsom fasader. Regn kan också orsaka fuktbelastning i form av stänkvatten. Vinden kan medföra att regnvatten rör sig även uppåt längs byggnadens utvändiga ytor, eftersom luftströmningen särskilt på byggnadens vindsida rör sig uppåt. Vid bedömning av regnbelastning måste man beakta att regnvatten kan rinna längs en byggnadsdels yta utan att orsaka skada, men via den ledas till en annan byggnadsdel där den eventuellt kan orsaka en fuktskada. När regnvatten tränger in i konstruktionen kan det förflytta sig långt från läckagepunkten, vilket måste tas i beaktande när man lokaliserar läckaget utifrån observationer gjorda från insidan.

Regn som faller på markytan kan orsaka skador på ytterväggarnas nedre delar och på grunden om vattnet stänker mot fasaden, markytan lutar mot byggnaden eller grundens vattenisolering är bristfällig. Ytvatten orsakar större fuktbelastning på sockeln om markytan är tät, t.ex. asfalterad eller frusen. Å andra sidan tränger vattnet ner genom otäta markytlager ner i jorden, varifrån det kan förflyttas till konstruktionerna.

Lätt snö kan tränga in även i sådana konstruktioner dit vatten inte tränger in, t.ex. till vindsbjälklaget (bild 5.3). Snö som ansamlas och smälter orsakar lokala och betydande fuktbelastningar. När snö smälter delvis bildas is. Uppdämning av vatten är en direkt fuktbelastning orsakad av is. En indirekt fuktbelastning uppstår när ytmaterial skadas på grund av isens värmerörelser.

Mark

Fuktbelastningen från mark uppstår av vatten som stiger kapillärt ur marken, diffusion av vattenånga i jordmånens porer och vattentrycket som konstruktionen utsätts för. Mängden fukt som kapillärt tillförs från marken beror på jordarten, dess kapillaritet, grundvattennivån och dräneringens funktion. Transport av kapillärt vatten är som kraftigast när konstruktionen är i kontakt med fri vattenyta. Vattentrycket som verkar på konstruktionen beror på grundvattennivån, dräneringens funktion och jordarten. Dessutom kan vattentryck uppstå under tjälens smältningsskede.

Rörläckage

Rörläckage kan förekomma i rör som är monterade på ytan och i rör som finns inne i konstruktionerna. Rörläckage kan uppstå i vattenledningar, avloppsrör, värmeledningsrör och i anslutna anordningar. Rörläckage medför en stor risk för fukt- och mikrobskador, eftersom:

- fuktbelastningen på konstruktionerna är stor
- rören befinner sig i varma byggnads- och konstruktionsdelar
- ett litet droppande läckage kan skada konstruktioner under lång tid innan läckaget upptäcks.

5.5

Fukttransport i konstruktioner

Fukt transporteras genom olika mekanismer i konstruktioner. En granskning av mekanismerna är nödvändig både vid bedömning av de fuktbelastningar som verkar på konstruktionerna och vid bedömning av konstruktionernas torkningshastighet.

5.5.1

Transport av vatten genom kapillärsugning och gravitation

Kapillär transport

Vatten sugs upp kapillärt till ett poröst material om det är i kontakt med fritt vatten. Den kapillära transporten beror på undertrycket i porerna som de kapillära krafterna ger upphov till. Portryckets storlek beror på porernas storlek, så att ju mindre poren är, desto större är portrycket. I bild 5.18 visas principen för vattnets kapillära transport i ett poröst material. Vatten kan transporteras kapillärt i porösa material både i horisontal och vertikal riktning.

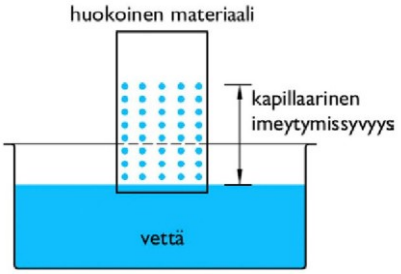


Bild 5.18. Vattnets kapillärsugning till ett poröst material. I bild huokoinen materiaali = poröst material, kapillaarinen imeytymissyvyys = kapillär sughöjd.



Bild 5.19. Kapillär stigning av markfukt har lett till att spackel och färg har lossnat från mellanväggens nedre del. I bild kapillaarinen nousukorkeus = kapillär stighöjd. Bild: J. Ahokas, Vahanen Oy.

Med vattnets kapillära stighöjd (bild 5.19) avses ett jämviktstillstånd där portrycket är i jämvikt med jordens gravitation, det vill säga det mottryck som orsakas av en vattenpelare motsvarande stighöjden. Ju mindre porerna i materialet är, desto högre stiger vattnet kapillärt. Beroendet mellan portrycket och porstorleken innebär att vatten också kan transporteras kapillärt från ett material med större porer till ett material med mindre porer och från större porer till mindre porer inom ett material (bild 5.20).

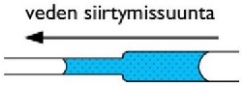


Bild 5.20. Vattnets transport från en större por till en mindre por. I bild veden siirtymissuunta = vattnets transportriktning.

Vattnets kapillära transporthastighet beror på portrycket och de friktionskrafter som motverkar vattnets flöde, vilket ökar när porstorleken minskar och/eller flödesavståndet ökar. Därför skiljer sig vattnets flödeshastigheter åt i olika porer i ett poröst material, där det alltid finns porer av olika storlek. Det område där porerna kapillärt har fyllts med vatten kallas inom byggnadsfysiken för kapillära vattenfronten eller vattnets inträngningsdjup. För byggnadsmaterial kan vattnets inträngningsdjup uppskattas med formel 5.4.

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

där X är vattnets inträngningsdjup [m], B är inträngningskoefficienten [m/$\sqrt{s}$] och t är tiden [s]. I tabell 5.3 finns exempel på vatteninträngningskoefficienter för byggnadsmaterial. Till exempel tar det 21 minuter för vatten att tränga in i 50 mm tegel och motsvarande 35 timmar i betong.

Som en följd av att den kapillära transporthastigheten är beroende av materialegenskaper, stiger vattnet i byggnadsteknik i praktiken aldrig till den största möjliga stighöjden, utan vattenfrontens höjd stabiliseras i jämvikt med den fuktavdunstning som sker på konstruktionens ytor. Avdunstningshastigheten beror, utöver tillgången på förångningsenergi (avsnitt 5.1), även på ytbeläggningens fuktgenomsläpplighet. Eftersom den vattenmängd som transporteras kapillärt beror på konstruktionens tvärsnitt, blir höjden på den kapillärt transporterade vattenfronten desto högre ju mindre ytbeläggningens fuktgenomsläpplighet är eller ju större konstruktionens tvärsnitt är. En större tvärsnittsarea ökar mängden kapillärt uppstigande fukt i förhållande till den fuktmängd som avdunstar från ytorna.

Kapillär transport av vatten förekommer i byggnadstekniken alltid när konstruktionen är i kontakt med ett fritt vatten eller i kapillär kontakt med ett annat byggnadsmaterial eller marken som befinner sig inom det kapillära fuktområdet. Dessutom möjliggör kondensation av fukt i konstruktionen eller på dess ytor kapillär transport av vatten. Konstruktioner fungerar i allmänhet fuktteknisk sett mer tillförlitligt ju mindre kapillär transport av vatten som förekommer i dem. Kapillaritet kan å andra sidan i vissa fall också vara till nytta. Till exempel när taktegel kyls ned nattetid genom nattutstrålningen kondenseras vattenånga på deras undersida. Under dagen avdunstar vattenångan in i takets ventilationsspalt när takteglens temperatur stiger.

Transport genom gravitation

Under inverkan av gravitationen rör sig vatten nedåt på byggnadens vertikala och lutande ytor samt på markytan intill byggnaden. Om bortledningen av vatten från konstruktionerna inte fungerar eller om konstruktionernas ytskikt inte är vattentäta, kan vatten tränga in i konstruktionerna genom gravitation (bild 5.21).

Tabell 5.3. Kapillära vatteninträngningskoefficienter för byggnadsmaterial. Tabellens material: Nevander L. och Elmarsson B., 2011.

Material	Densitet [kg/m^3]	Vatteninträngningskoefficient [m/s^{0,5}]
Tegel	1 700	1,4 x 10^{-3}
Lättbetong	500	0,4 x 10^{-3}
Cementbruk	1 900	0,5 x 10^{-3}
Betong, vct. 0,3	uppgift saknas	0,14 x 10^{-3}

Detta ökar risken för fuktskador i konstruktionerna avsevärt, eftersom de fuktmängder som tränger in i konstruktioner från vattenläckage är stora. Till exempel tränger det genom ett läckageställe på 1 cm² in cirka 30–40 g/s vatten i konstruktionen vid ett vattentryck på 2 cm (Viljanen K., 2012).

Vid konditionsundersökningar är det viktigt att bedöma vattnets flödesväg inne i konstruktionerna och den punkt där vattnet eventuellt har stannat. För detta kan man bland annat använda konstruktionsritningar och observationer av ytskador på material som hjälp.

I material som kapillärt suger upp vatten dåligt, t.ex. grovt grus, är transport genom gravitation i själva materialet den dominerande transportmekanismen. Dessutom strävar vattnet vid gränsytorna till icke-kapillära material att rinna direkt nedåt. Gravitationsstyrd transport av vatten möjliggör kontrollerad avledning av vatten från konstruktionernas yttre och inre ytor samt marken invid byggnaden. Dessutom möjliggör den uttorkning av byggnaden genom dränering.

I kapillärsugande porösa och granulära material, t.ex. betong, tegel och lera, är den gravitationsstyrda transportens betydelse för den totala fukttransporten relativt liten. I dessa material förekommer transport genom gravitation främst i fogar, anslutningar och eventuella sprickor.



Bild 5.21. Bristfällig bortledning av vatten orsakar pölbildning på låglutande tätskiktstak. Vatten med tryck kan tränga in i konstruktionerna om taktäckningen är otät. Bild: E. Kauriinvaha, Vahanen Oy.

5.5.2

Fukttransport genom diffusion

Fukttransport genom diffusion grundar sig på kollisioner mellan vattenmolekyler i luften, vilket gör att skillnader i vattenånghalt strävar efter att jämna ut sig. I bild 5.22 går vattenångans diffusionsriktning från vänster till höger, eftersom antalet vattenmolekyler är större till vänster än till höger. Diffusionens storlek kan uppskattas genom beräkning av skillnaden i vattenånghalten eller vattenångans partialtryck (avsnitt 5.4). Fukten transporteras från högre vattenånghalt eller vattenångans partialtryck mot det lägre.

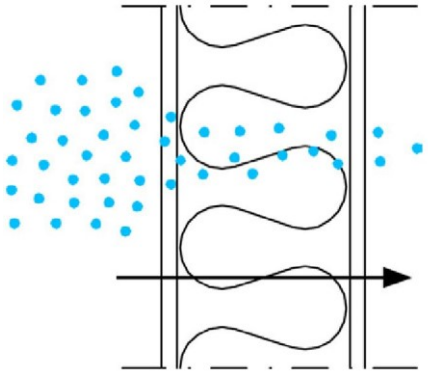


Bild 5.22. Principen för diffusion av vattenånga. Antalet bollar beskriver mängden vattenmolekyler och pilen diffusionens riktning.

Den fuktflödestätheten som transporteras genom diffusion kan i ett endimensionellt fall beräknas med formel 5.5a.

$$g_{dif} = -\delta_p \frac{dp}{dx} \qquad [5.5a]$$

där g_{dif} är fuktflödet genom diffusion [kg/m²s], δ_p är materialets vattenångpermeabilitet [kg/msPa] och dp/dx är förändringen i vattenångtrycket längs sträckan x [Pa/m]. Ekvationen kan också uttryckas i form av formeln i bild 5.5b:

$$g_{dif} \quad \frac{p_1 - p_2}{Z_p} \qquad [5.5b]$$

där p_1 och p_2 är ångtryck [Pa] och Z_p är materialskiktets vattenånggenomgångsmotstånd [m²sPa/kg].

Med **vattenångpermeabilitet** δ_p [kg/msPa] avses den vattenmängd som under en tidsenhet passerar genom en ytenhet av ett homogent materialskikt med en tjocklek av en längdenhet, när skillnaden i vattenångans partialtryck över skiktet är en enhet stor. **Vattenånggenomsläpplighet** $\mathbf{W_p}$ [kg/m^{2}sPa] motsvarar föregående, men är bunden till ett materialskikt av bestämd tjocklek. Vid granskning av diffusion används ofta materialskiktets **vattenånggenomgångsmotstånd** $\mathbf{Z_p}$ [m^{2}sPa/kg], som är det reciproka värdet av vattenånggenomsläppligheten. Mängden vattenånga som diffunderar igenom ett materialskikt är liten när vattenånggenomgångsmotståndet är stort. I tabell 5.4 anges riktgivande värden för vissa materialskikts vattenånggenomgångsmotstånd.

Tabell 5.4. Vattenånggenomgångsmotstånd för några materialskikt. Tabellens material: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012.

Material	Tjocklek [mm]	Ånggenomgångsmotstånd Zp [m^{2}sPa/kg]
Gipsskiva	13	0,45 × 10^9
EPS-värmeisolering	30	3...9 × 10^9
Lättklinkerbetongblock	200	8 × 10^9
Filmbelagd plywood	12	63 × 10^9
PE-film	0.2	100...500 × 10^9
Gummibitumenmatta	3	800...1 500 × 10^9

Diffusionen beror på materialets ånggenomgångsmotstånd och på skillnaden i vattenångans partialtryck i luften. Materialens ånggenomgångsmotstånd varierar mycket, till exempel är ånggenomgångsmotståndet för en plastfilm 1 000 gånger större än för mineralull. På motsvarande sätt varierar också tätheten hos det fuktflöde som passerar genom olika material mycket (exempel 5.3).

Exempel 5.3. Fuktflödestätheten genom diffusion

Låt oss anta att skillnaden i vattenångans partialtryck över ett materialskikt är 170 Pa. Detta motsvarar en situation där inomhusluftens temperatur är +21°C och den relativa fuktigheten 40 % samt utomhusluftens temperatur är +10°C och den relativa fuktigheten 67 %. Med de värden på ånggenomgångsmotstånd som anges i tabell 5.4 fås de fuktflöden genom diffusion som visas i bild 5.23, som passerar genom olika materialskikt per kvadratmeter under en timme. Under en månad passerar 1,44 g/m^2 fukt genom plastfilmen och 979 g/m^2 genom gipsskivan, vilket är avsevärt mer än den fuktmängd som plastfilmen släpper igenom.

På grund av fuktproduktionen är vattenångans partialtryck i inomhusluften vanligen större än vattenångans partialtryck i utomhusluften, vilket gör att diffusion transporterar inomhusluftens fukt utåt. Under vintern är diffusionens betydelse större än under sommaren, eftersom skillnaden i vattenångans partialtryck mellan inomhusluften och utomhusluften är större. I bild 5.24 visas mängden fukt som under ett år transporteras in eller ut genom diffusion vid yttre ytan av en träregelvägg med och utan ångspärr under finländska klimatförhållanden.

Under sommaren transporteras fukt genom diffusion i huvudsak utifrån in i konstruktionen, oberoende av om väggen har ångspärr eller inte. Under vintern transporteras vattenångan i konstruktionen utåt. För väggen med ångspärr är mängden fukt som på lång sikt transporteras in och ut ungefär i balans, medan i en vägg utan ångspärr är den mängd fukt som transporteras inifrån ut mångfaldigt större än den mängd som transporteras utifrån in.

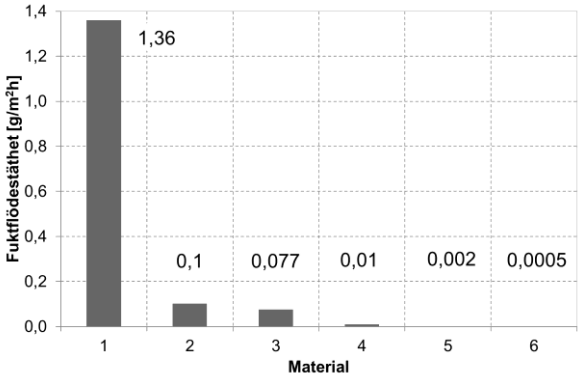


Bild 5.23. Fuktmängder som transporteras igenom materialen under en timme [g/ m^2] per kvadrat vid vattenångans partialtryckskillnad på 170 Pa. I=gipsskiva, 2=EPS, 3=lättklinkerbetongblock, 4=formplywood, 5=PE-film och 6=gummibitumenmatta.

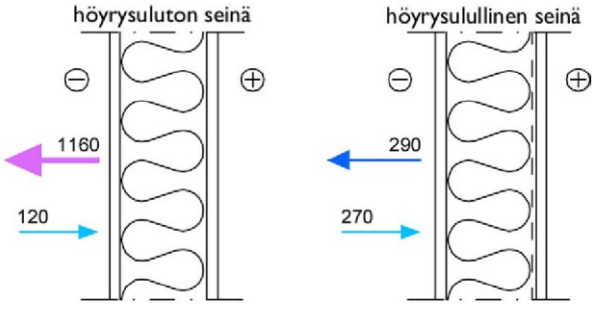


Bild 5.24. Mängden och riktningen av fukt som under ett år transporteras genom diffusion utåt och inåt vid den yttre ytan av en yttervägg med trästomme utan och med ångspärr.

På grund av de stora skillnaderna i vattenångpermeabilitet mellan olika byggnadsmaterial bör den fukttekniska funktionen för flerskiktskonstruktioner vid behov granskas från fall till fall. Den allmänna principen är att vattenångmotståndet i en flerskiktsvägg bör minska inifrån och utåt, så att materialen på insidan av värmeisoleringen har minst fem gånger högre vattenånggenomgångsmotstånd jämfört med materialen på utsidan av värmeisoleringen (ByggBS C2-1998; ny version Mmf 782/2017). För att minska risken för mögeltillväxt kan det vara nödvändigt att använda ett ännu större förhållande (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012). I konstruktioner med felaktiga vattenångpermeabiliteter är den relativa fuktigheten i konstruktionens ytterdelar hög och vattenångan kan kondensera till och med till vatten inne i konstruktionen. Fukthalten i ett konstruktionsskikt kan också stiga till det kapillära fuktighetsområdet, till exempel i fallet med mineralull. Den vattenånga som kondenserar i konstruktionen orsakar en fuktbelastning i kondensationspunkten, men även i punktens omgivning eftersom det kondenserade vattnet kan fortsätta att transporteras vidare till andra materialskikt genom gravitation eller kapillärt.

5.5.3

Fukttransport genom konvektion

Med konvektion avses luftflöde som uppstår till följd av en skillnad i totaltryck hos luften över en konstruktion. Tryckenheten är pascal, Pa. Det normala lufttrycket är 101325 Pa och en vattenpelare på 10 mm motsvarar cirka 100 pascal. Luften flödar från ett högre tryck i riktning mot lägre tryck. Luftflöde sker genom porösa material och springor. Byggnadens tryckförhållanden uppstår genom inverkan av vind, luftens temperaturskillnader eller ventilationen, eller genom deras samverkan, se avsnitt 5.6. Mängden luft som flödar beror på tryckskillnaden, materialets luftgenomsläpplighet och flödesmotståndet i konstruktionens springor. Byggnadsmaterialens luftgenomsläppligheter anges i tabell 5.5.

Det finns stora skillnader i materialens luftgenomsläppligheter. Av de material som visas i tabell 5.5 släpper till exempel mineralull igenom 900 000 gånger mer luft än betong.

En springas flödesmotstånd beror på dess bredd, djup och geometriska utformning, bl.a. krökar, samt ojämnheten på springans ytor. I bild 5.25 visas sambandet mellan totaltrycksskillnaden i luften och den luftströmning som sker per löpmeter genom springor med olika bredder.

Tabell 5.5. Luftgenomsläppligheten för några byggnadsmaterial vid temperaturen + 20°C. Tabellens material: Nevander L. och Elmarsson B., 2011.

Material	Luftgenomsläpplighet [m^3/msPa]
Tegel	0,005–0,05 × 10^{-6}
Betong	0,000005–0,0005 × 10^{-6}
Mineralull	15–800 × 10^{-6}
EPS-värmeisolering	30–500 × 10^{-6}

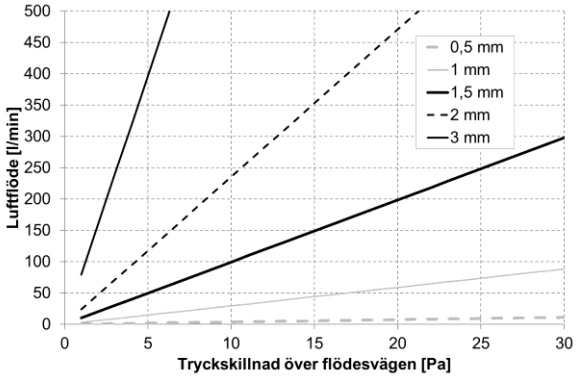


Bild 5.25 Luftens volymflöde genom springor av olika bredder vid olika tryckskillnader. Springan är 100 mm djup, rak och med jämna kanter.

Fuktkonvektion

Med fuktkonvektion avses transport av fukt med luftflöde. Den risk för fuktskador som fuktkonvektion ger upphov till bedöms med hjälp av temperatur och relativ fuktighet. Fuktkonvektion har en uttorkande effekt på konstruktionen när luften har ett mättnadsunderskott eller när luften värms upp när der flödar genom konstruktionen. Ur fuktskadesynpunkt blir fuktkonvektionen kritisk och konstruktionen fuktas ned när luften kyls av medan den flödar genom konstruktionen, se bild 5.26. Fukten kondenserar i konstruktionen om luften kyls under daggpunkten i konstruktionen. I tabell 5.6 presenteras kritiska temperaturer för mikrobskador på konstruktionen vid olika inomhustemperaturer och relativa fuktigheter när luft strömmar genom konstruktionen inifrån och ut. Den största fuktmängd som stannar i konstruktionen kan beräknas med formel 5.6.

$$G = Q\,(v_s - v_u) \qquad [5.6]$$

där G är fuktflödet [g/s], Q är volymflödet [m^3/s], v_s är fuktmängden i den luft som strömmar in i konstruktionen eller en springa [g/m^3], och v_u är den kritiska fukthalten [g/m^3] som motsvarar den lägsta temperaturen längs flödesvägen.

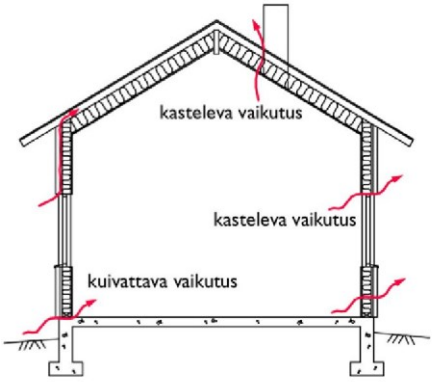


Bild 5.26. Konvektionens effekt på konstruktioners vätning och uttorkning. Riktningen på luftflöden kan i vissa situationer också vara den motsatta mot vad som visas i bilden. I bild kasteleva vaikutus = vätande effekt, kuivattava vaikutus = uttorkande effekt.

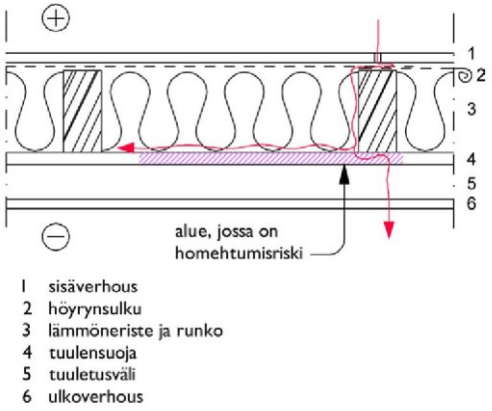


Bild 5.27. Exempel på fuktskaderisk pga. fuktkonvektion i vägg med trästomme, horisontellt snitt. Inom det rastrerade området råder det risk för mikrobskador. Luftens flödesväg är markerad med röda pilar. I bild: 1 innerbeklädnad, 2 ångspärr, 3 värmeisolering och stomme, 4 vindskydd, 5 ventilationsspalt, 6 ytterbeklädnad.

Ett exempel på fuktskaderisk orsakad av fuktkonvektion visas i bild 5.27. Varm och fuktig inomhusluft strömmar utåt genom otäta skarvar i innerbeklädnaden och ångspärrskiktet till värmeisoleringen, vindskyddsskiktet och ventilationsspalten. Risken för mikrobskador finns i konstruktionen kalla delar, där temperatursänkningen medför ökning av luftens relativa fuktighet och kan till och med ge upphov till kondensation. Riskområdets läge beror på temperaturfördelningen i konstruktionen, jfr tabell 5.6.

Tabell 5.6. Kritiska temperaturer för fuktskador i en konstruktion vid olika inomhustemperaturer och relativa fuktigheter. I exemplet är konstruktionens kritiska relativa fuktighet 80 %.

Inomhusluftens relativa fuktighet [%]	Inomhusluftens temperatur +20ºC	Inomhusluftens temperatur +25ºC
	Kritisk temperatur för konstruktionen °C	
20	-1,6	+ 2,4
40	+ 8,6	+ 13,1
60	+ 15,2	+ 20,0

För att förhindra fuktkonvektion planeras byggnader att vara något undertrycksatta.

Huruvida diffusion eller fuktkonvektion är den dominerande fukttransportmekanismen beror på konstruktionens vattenånggenomsläpplighet, luftgenomsläpplighet och täthet, se exempel 5.4. Konstruktionen bör göras tillräckligt lufttät på insidan för att förhindra skadliga luftläckage. Dessutom måste tryckförhållandena över byggnadens yttermantel vara sådana att varm luft inte strömmar in i kalla konstruktioner eller byggnadsdelar. Tryckförhållandena regleras genom justering av ventilationens till- och frånluftsflöden. I praktiken förekommer det ofta brister i lufttätheten hos byggnadens klimatskärm. Skaderisken är alltid närvarande när övertryck råder på konstruktionens varma sida. Vid långtidsmätningar inne i konstruktioner är snabba förändringar i fukthalt till följd av förändringar i tryckskillnaden typiska för fuktkonvektion.

Tabell 5.7. Fuktflödestätheten [g/m^{2}h] med konvektion och diffusion genom ett materialskikt enligt exempel 5.4.

Material	Tjocklek [mm]	Fuktflöde, konvektion [g/m^{2}h]	Fuktflöde, diffusion [g/m^{2}h]
Mineralull, lätt	100	51,5	1,2
Byggskiva	12	0,5	0,4
Tegel	100	$6{,}7 \times 10^{-3}$	0,1
Betong	100	$5{,}7 \times 10^{-5}$	0,01

Exempel 5.4: Fuktflöde med diffusion och konvektion

Låt oss anta att den totala tryckskillnaden över ett materialskikt är 5 Pa och att skillnaden i vattenångans partialtryck är 170 Pa, jfr exempel 5.3. Antag att den kritiska temperaturen längs flödesvägen är densamma som utomhustemperaturen. Den mängd vatten som kondenserar ur luftflödet är 1,0 g/m^3. I tabell 5.7 visas fuktflödet genom konvektion och diffusion genom ett helt materialskikt.
I exemplet är den mängd fukt som transporteras genom diffusion genom betong och tegel större än den som transporteras genom konvektion. Det bör observeras att den mängd fukt som transporteras genom sprickor med konvektion är den mest betydande. Därför är lufttätheten på konstruktionens insida viktig. Till exempel transporteras genom en 100 mm djup, 0,5 mm bred och 1 m lång slät spricka ungefär tio gånger mer fukt som kondenserar på yttre ytor än genom ett 1 m² stort betongskikt med 100 mm tjocklek.

5.5.4

Värmeöverföringens inverkan på konstruktioners fuktttekniska beteende

Värmeöverföringen påverkar i väsentlig grad fukttransporten, och därför är förståelsen av konstruktioners värmetekniska funktion nödvändigt vid konditionsundersökningar av fukt- och mikrobskadade byggnader.

För att lyckas med fuktmätningar i samband med konditionsundersökningar av byggnader krävs det ofta att värmeöverföringen beaktas vid tolkningen av mätresultaten. Alltid när fuktmätningar utförs inne i konstruktioner, bör man bedöma om installationen av givaren i konstruktionen ger upphov till mätfel. Mätfelet blir större ju större temperaturskillnaden är mellan mätpunkten och den yta från vilken givaren installeras i konstruktionen. Om till exempel givaren monteras från kall uteluft till mitten av värmeisoleringen, leder givarens skaft ut värme och kyler mätpunkten, vilket höjer värdet på relativ fuktighet som givaren anger. På motsvarande sätt, vid mätning från den varma insidan till mitten av värmeisoleringen, visar givaren för lågt värde på relativ fuktighet. Mätfelet kan minskas genom att installera givaren så snett som möjligt i konstruktionen och genom att värmeisolera den synliga delen av givarens skaft.

Inne i konstruktionerna stiger luftens relativa fuktighet om konstruktionen lokalt kyls ned. Detta kan till exempel bero på en strukturell köldbrygga, som en stålbalk, eller på slarvig installation av värmeisolering, vilket gör att kall utomhusluft kan strömma in i konstruktionens inre delar. Köldbryggor och luftläckage kan orsaka kondensation av fukt på innerytor eller inne i konstruktionen och på lång sikt leda till fuktskador.

I fönster-, glasfasad- och glastakkonstruktioner kan utstrålningen nattetid (värmestrålning från byggnadens ytterytor till rymden) sänka konstruktionernas temperaturer så att fukt kondenserar på in- eller utsidan av dessa konstruktioner (bild 5.28). Kondensation på insidan kan medföra vattenavrinning, som felaktigt kan tolkas som till exempel takläckage. På utsidan orsakar kondensation inte så lätt fuktskador på konstruktionerna, eftersom utsidan är konstruerad för att tåla fuktiga förhållanden. Känsligheten för kondensation beror på konstruktionens U-värde och på luftflöden vid innerytan. Ett lågt U-värde och luftflöden på insidan minskar sannolikheten för kondensation på innerytan.

Ett bra exempel på hur konstruktionens temperaturförändringar påverkar fukttransporten är det fuktttekniska beteendet hos en tegelfasad som har blivit våt av regn när den utsätts för direkt solstrålning. Solstrålningen värmer upp den våta väggen, varvid det regnvatten som bundits i tegelmuren frigörs som vattenånga ur muren. Om tegelfasadens baksida inte är väl ventilerad transporteras fukten till det innanför liggande värmeisoleringsskiktet och innerskalet. När fukten når konstruktionens inre delar, som är betydligt svalare än fasaden, kan fukten kondensera på utsidan av ångspärren. Genom denna mekanism kan fuktskador uppstå speciellt i värmeisoleringsskiktet i tegelytterväggar som är belägna på öppna platser och utsatta för slagregn och solstrålning, om tegelfasaden är dåligt ventilerad.

5.6

Byggnadens tryckförhållanden och lufttäthet

5.6.1

Betydelsen av byggnadens tryckförhållanden och lufttäthet på konstruktionernas funktion och inomhusluftens kvalitet

Byggnadens tryckförhållanden bestäms av de samverkande effekterna av vind, skorstenseffekt, ventilation och lokalernas användning. Typiskt varierar tryckförhållandena och de kan förändras mycket snabbt och kraftigt. Som en följd av tryckskillnader strömmar luft till exempel från ett rum till ett annat, mellan byggnadens olika våningar eller genom yttermantelns konstruktioner.

Luftflödena för med sig värme och fukt och de för dessutom med sig föroreningar, såsom partiklar och mineralullsfibrer, mikrobiella föroreningar, lukter samt radon. Genom att utreda byggnadens tryckförhållanden kan man bedöma storleken och riktningen för luftströmmarna i byggnaden och betydelsen av den fukt, värme och de föroreningar som följer med luftströmmarna för konstruktionernas byggnadsfysikaliska funktion samt deras inverkan på inomhusluftens kvalitet. I den byggda miljön finns bland annat följande möjliga föroreningskällor som kan ge upphov till föroreningar som transporteras med luftströmmar till inomhusutrymmen eller från ett rum till ett annat:

1. Skadat ytmaterial i inomhusutrymmen, t.ex. golvbeläggningsskada
2. Ventilationssystem, t.ex. ljuddämpare av mineralull
3. Material inne i konstruktioner, t.ex. fyllnadslager i mellanbjälklag
4. Marken under byggnaden, t.ex. radon och mikrober
5. Utomhusluften, t.ex. avgaser
6. Föroreningar från angränsande utrymmen
7. Ytor i reparerade utrymmen som före reparationen har absorberat flyktiga eller halvflyktiga föroreningar.

I finländska förhållanden planeras bostadshus och vistelseutrymmen med undertryck på grund av risken för konstruktionsskador som fuktkonvektion medför. Luftens flödesriktning är alltså i normalfallet från utomhusluften och marken in mot inomhusutrymmet. I yttermantelkonstruktionerna och i marken under byggnaden finns det nästan alltid föroreningar, såsom mikrober eller radon, som kan försämra inomhusluftens kvalitet om de kommer in i rumsluften. Därför bör ersättningsluft inte tas in från konstruktioner eller under byggnaden, utan ersättningsluften tas in kontrollerat via tilluftsventiler eller friskluftsintag. Anslutningarna mellan konstruktioner är i sig normalt inte helt täta, utan ett tätt inre skal kräver objektspecifik planering. Typiskt påträffas otätheter i golvnivå i anslutningen mellan bottenbjälklag och ytterväggg samt vid anslutningen mellan fönster och ytterväggskonstruktionen.

Att förbättra byggnadsskalets lufttäthet genom att eliminera okontrollerade luftläckage har en positiv inverkan på följande faktorer:



Bilder 5.28. Fukt kan kondensera på den undre ytan av ett glastak till följd av nattutstrålning. I bild lämpösäteily = värmestrålning. Bilder: J. Ahokas, Vahanen Oy.

1. Minskad energiförbrukning
2. Förhindrad fuktkonvektion
3. Förhindrad transport av föroreningar med luftläckage
4. Boendetrivseln ökar när draget minskar
5. Luftljudsdämpningen kan ofta bli bättre

Byggnadens mantels lufttäthet och granskningen av byggnadens tryckförhållanden är starkt sammankopplade. Vid en konditionsundersökning strävar man efter att klarlägga luftflödenas riktning, omfattning och deras betydelse för transport av föroreningar och för byggnadens funktion. Luftflöden kan antingen torka ut eller fukta konstruktioner. Okontrollerade luftflöden genom yttermantelkonstruktioner kyler vanligtvis konstruktioner och inomhusluft, och kan därmed öka energiförbrukningen.

Vintertid torkar luftflöden från utomhusluften till inomhusutrymmen konstruktionerna. Till exempel grundar sig timmerkonstruktioners funktion på luftflöden som sker genom timmerväggens skarvar och torkar ut konstruktionerna. I äldre byggnader ökar eldstäder vanligtvis byggnadens undertryck, så att luftflödet sker i riktningen utifrån in. I en byggnad med övertryck är luftflödets riktning från inomhusutrymmen utåt och då kan fukten i den varma inomhusluften orsaka betydande skador i konstruktionerna. Skador som orsakas av fuktkonvektion är vanligast i vindsbjälklag, eftersom byggnader på grund av skorstenseffekten kan ha övertryck i sina övre delar.

Reparationsarbeten i byggnaden kan påverka tryckförhållandena. Till exempel kan tillägg av ventilationsöppningar till kryputrymme ändra kryputrymmets övertryck i förhållande till inomhusrummen, när vinden kan blåsa in i kryputrymmet. Även förbättring av konstruktionernas lufttäthet förändrar tryckförhållandena i byggnaden. Om åtgärder har gjorts i byggnaden för att förbättra lufttätheten, måste tillförseln av kontrollerad ersättningsluft säkerställas och förhållandet mellan tillufts- och frånluftsflöden anpassas till de förändrade tryckförhållandena. En typisk åtgärd som väsentligt förbättrar lufttätheten är fönsterrenovering, där de gamla fönstren byts mot nya. En liknande effekt kan uppnås vid fönsterrenovering där fönster renoveras och fönstertätningar byts ut, samt tätningar tillförs även på ytterbågarna.

5.6.2

Vind

Det tryck som vinden orsakar på en byggnad beror på vindens hastighet och riktning samt byggnadens geometri. Tryckfördelningen som uppstår på byggnadens mantel uttrycks med formfaktorer för ytan. En positiv formfaktor betyder övertryck på ytan och en negativ formfaktor undertryck. Vinden orsakar övertryck på den yta den träffar och undertryck på sidoväggarna och på läsidan. Platta tak och takfallet på läsidan i ett sadeltak har undertryck. I litteraturen anges formfaktorer för byggnadens olika ytor (bl.a. Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2011a samt Nevander L. och Elmarsson B., 2011).

Som byggnadens interna formfaktor används vanligen värdet - 0,3 (Nevander L. och Elmarsson B., 2011). Formfaktorn för väggen på vindsidan är kring + 0,7...+ 0,8 och för väggen på läsidan -0,3...-0,7. Tryckskillnaden som råder över en konstruktion fås som skillnaden mellan den yttre och den inre formfaktorn, enligt formel 5.7.

$$\Delta p = (\mu_u - \mu_s) \frac{\rho v^2}{2} \qquad [5.7]$$

där Δp är tryckskillnaden [Pa], μ_u är konstruktionens yttre formfaktor, μ_s är konstruktionens inre formfaktor, p är luftens densitet [kg/m^3], vid temperaturen +20 °C är densiteten för torr luft 1,205 kg/m^3, och v är vindhastigheten [m/s].

Tryckskillnader över olika byggnadsdelar kan beräknas med hjälp av formfaktorer och formel 5.7 eller numeriskt. Dessutom behandlas beräkning av vindtryck i standarden *SFS-EN 1991-1-4* (Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2011a) och publikationen *RIL 201-1-2011* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011a).

Bestämning av tryckskillnader grundar sig på massbalansen för in- och utflödande luft. Den rådande vindriktningen på byggplatsen och placeringen av byggnadens öppningar påverkar det inre trycket i byggnaden. Om väggen på byggnadens vindsida är otätare än de andra väggarna bildas ett övertryck inne i byggnaden. Det bildas ett undertryck inne i byggnaden om de flesta av byggnadens öppningar finns på läsidan.

Detta fenomen har betydelse vid granskning av en enskild byggplats, där den rådande vindriktningen på byggplatsen kan användas för att uppskatta om över- eller undertryck uppstår i byggnaden på basis av placeringen av öppningarna, som dörrar och fönster.

5.6.3

Skorstenseffekt

Den tryckskillnad som orsakas av temperaturskillnaden mellan utomhus- och inomhusluften kallas skorstenseffekten. Tryckskillnaden uppstår när varm luft, som är lättare än kall luft, stiger uppåt. I en jämn tät byggnad ger skorstenseffekten upphov till ett tryckfördelningsmönster på ytterväggen enligt bild 5.29. På insidan av en byggnad som är varmare än utomhusluften bildas ett undertryck i byggnadens nedre delar och ett övertryck i dess övre delar i förhållande till utomhusluften. På den neutrala nivån är tryckskillnaden mellan inomhusluften och utomhusluften 0 Pa. I praktiken är det svårt att exakt bestämma den neutrala nivåns läge, eftersom dess läge beror på höjdläget för otätheterna i byggnadens mantel och deras flödesmotstånd, vilka kan variera slumpmässigt i byggnaden.

Skorstenseffektens betydelse är störst på vintern, då temperaturskillnaden mellan inomhus- och utomhusluften är stor. Det övertryck som orsakas av skorstenseffekten inne i byggnaden ökar uppåt från den neutrala nivån med cirka 0,9 Pa per meter när temperaturskillnaden mellan inomhus- och utomhusluften är 20 °C (bild 5.30). I byggnaden råder övertryck längs byggnadens hela höjd om den neutrala nivån finns i byggnadens nedre del, det vill säga när det till exempel finns en lågt placerad öppning eller en byggnadsdel med sämst lufttäthet i förhållande till andra delar, till exempel en ytterdörr med tilluftsöppningar. Då är övertrycket i byggnadens övre delar som störst. Det övertryck i byggnadens övre del som orsakas av skorstenseffekten kan upphäva det undertryck som ventilationen ger upphov till.

Skorstenseffektens betydelse, och därmed möjligheten till fuktkonvektion, ökar när höjden av byggnadens fria luftvolym ökar. Av denna orsak särskiljs utrymmen med en höjd över 10 m, såsom lager, och byggnader med en höjd över 20 m till en egen grupp i byggnadsplaneringen, och konstruktionernas luft- och ångtäthet måste särskilt beaktas (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012).

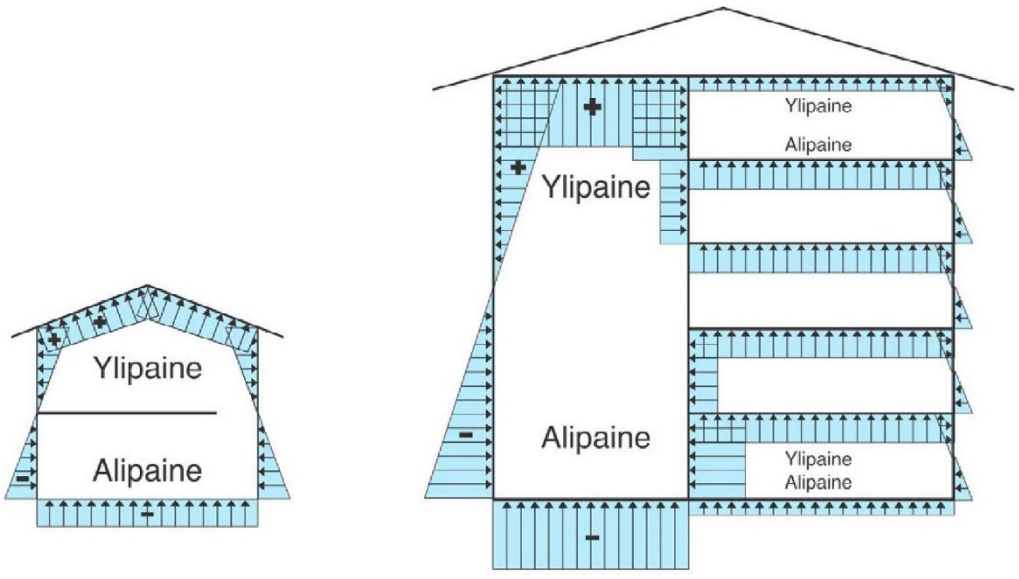


Bild 5.29. Som en följd av temperaturskillnaderna mellan inomhus- och utomhusluften uppstår en tryckfördelning över byggnadens yttermantel. I tryckfördelningen för flervåningshus har det antagits att mellanväggar och mellanbjälklag är lufttäta. Om det finns rikligt med luftläckage i mellanväggarna överförs trapphusets tryckpåverkan till rummens ytterväggar på respektive våning. I bild övertryck = ylipaine, alipaine = undertryck. Bild: Kattoliitto ry, 2013.

Exempel 5.5. Inverkan av höjden på den fria luftvolymen i en byggnad på det övertryck som orsakas av temperaturskillnaden

Vi antar att temperaturskillnaden mellan inomhus- och utomhusluften är 20 °C. Grafen i bild 5.30 visar hur stort övertrycket kan vara i byggnadens övre del beroende på byggnadens höjd. Bild 5.29 illustrerar fördelningen av tryckförhållandena i olika delar av byggnaden.

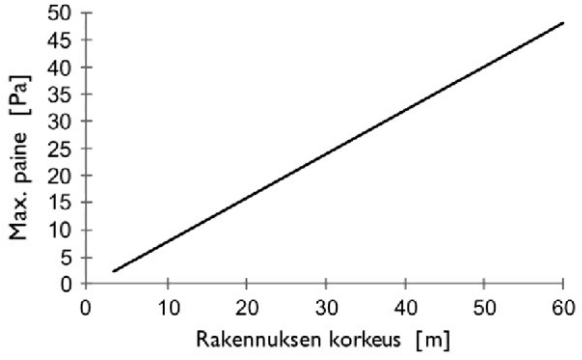


Bild 5.30. Det största övertryck som skorstenseffekten orsakar i byggnader av olika höjd, när temperaturskillnaden mellan inomhus- och utomhusluften är 20 °C.

5.6.4

Ventilation

Den tryckskillnad som ventilationen ger upphov till mellan byggnadens in- och utsida beror på byggnadens ventilationssystem, som kan vara ett mekaniskt till- och frånluftssystem, ett ventilationssystem med självdrag, ett mekaniskt frånluftssystem eller en kombination av de två senare (bild 5.31).

Självdragsventilation var det vanligaste systemet fram till 1960-talet då man även började bygga mekaniska system.

De tryckförhållanden som mekaniska ventilationssystem orsakar i byggnaden beror på ventilationssystemets effektivitet och inställning, byggnadens mantels täthet samt antalet och placeringen av till- och frånluftsventiler. Tätheten påverkas av konstruktionslösningar och mantelns diskontinuiteter, såsom fogar, fönster, dörrar och burspråk.

I bild 5.32 visas ett exempel på tryckskillnaden mellan inomhus- och utomhusluften och dess variationer i en byggnad med mekaniskt ventilationssystem. I ett mekaniskt till- och frånluftssystem beror byggnadens tryckförhållanden på balansen mellan tilluft och frånluft. Byggnaden har övertryck när tilluften är större än frånluften. När frånluften är större än tilluften har byggnaden undertryck. De planerade luftflödena för ett mekaniskt till- och frånluftssystem anges i VVS-planerna.

Enligt *Finland byggbestämmelsesamling del D2* (ByggBS D2-2012) ska ventilationssystemet utformas så att det inte orsakar vatten-, fukt- eller andra skador. Ur byggnadsteknisk synvinkel innebär anvisningen att varma inomhusutrymmen inte ska ges övertryck med ventilationsteknik. Målet för tryckskillnaden över den yttre manteln i byggnader med mekanisk till- och frånluftsventilation är 0...- 2 Pa och tryckskillnaden mot trapphuset +/- 0 Pa. Enligt *Anvisning för tillämpning av förordningen om boendehälsa* (Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016) gäller att om undertrycket överstiger 15 Pa bör orsaken till undertrycket undersökas och ventilationen i möjligaste mån balanseras.

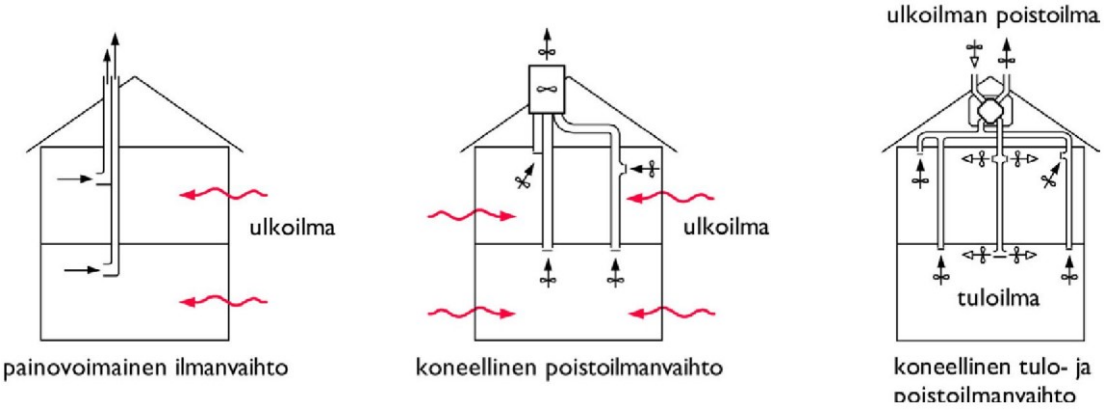


Bild 5.31. Grundläggande lösningar för ventilationssystem. Självdragsventilationens funktion beror på temperaturskillnaden mellan inomhus- och utomhusluften samt på vinden. Ventilation med självdrag är mest effektivt under den kalla årstiden. I bild ulkoilman poistoilma = utomhusluftens frånluft, painovoimainen ilmanvaihto = självdragsventilation, koneellinen poistoilmanvaihto = mekanisk frånluftsventilation, tuloilma = tilluft, koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto = mekanisk till- och frånluftsventilation.

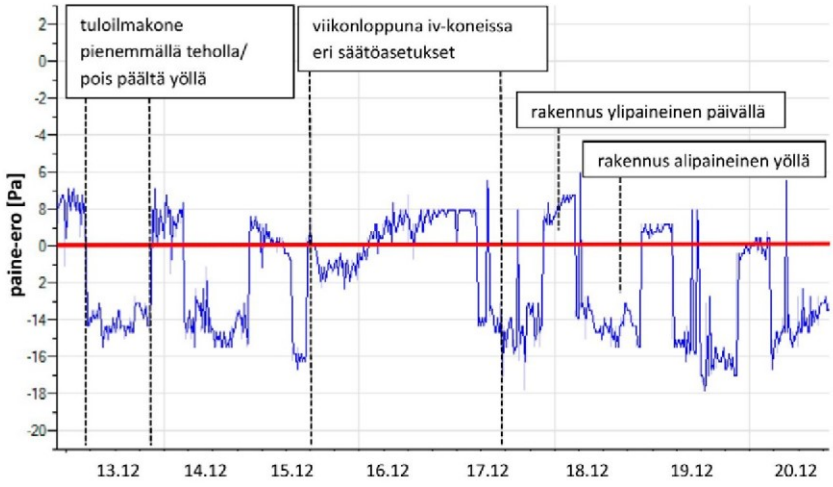


Bild 5.32. Exempel på tryckskillnaden mellan inomhus- och utomhusluften i en byggnad med mekaniskt ventilationssystem. Den röda linjen anger nollnivån. I bild tuloilmakone pienemmällä teholla/pois päältä yöllä = tilluftsaggregatet på lägre effekt/avstängd på natten, viikonloppuna iv-koneissa eri säätöasetukset = annan inställning för ventilationsaggregaten under veckoslutet, rakennus ylipaineinen päivällä = byggnaden har övertryck på dagen, rakennus alipaineinen yöllä = byggnaden har undertryck på natten.

13.12 13.12

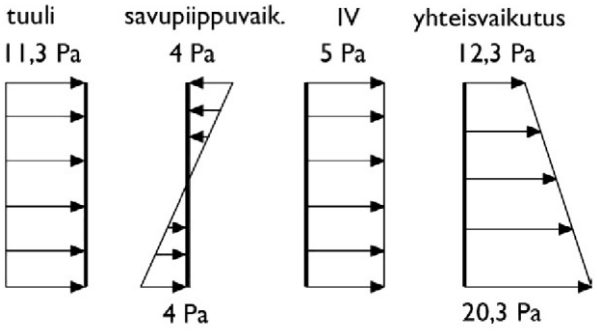


Bild 5.33. Samverkande effekt av vind, skorstenseffekt och ventilation på trycket mot ytterväggen på vindsidan i exempel 5.6. I bild savupiippuvaikutus = skorstenseffekt.

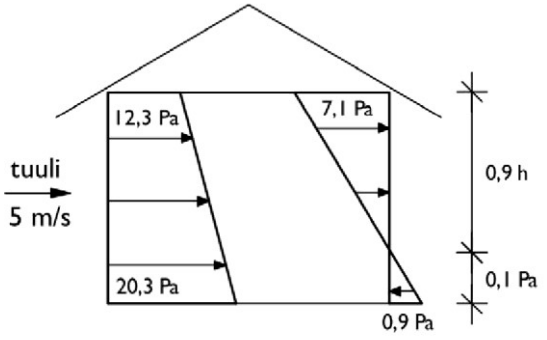


Bild 5.34. Tryckfördelningen på byggnadens vind- och läsida orsakade av vind, skorstenseffekt och ventilation i exempel 5.6.

5.6.5

Samverkande effekt av vind, skorstenseffekt och ventilation på tryckförhållandena

Byggnadens tryckförhållanden bestäms av samverkande effekter av vind, skorstenseffekt och ventilation (bild 5.33). Dessutom påverkas tryckförhållandena av lokalernas användning. Tryckförhållandena varierar typiskt under olika tider på dygnet och året under inverkan av ovan nämnda faktorer. Vinden och ventilationssystemets funktion kan förändra tryckförhållandena mycket snabbt och kraftigt under ett dygn. Skorstenseffekten förändrar byggnadens tryckförhållanden beroende på årstid. Luftflöden som orsakas av den totala tryckskillnaden innebär en risk för fuktskador om luften kyls ner då den strömmar genom konstruktionen, vilket motsvarar ett inre övertryck, se exempel 5.4.

I praktiken bedöms de rådande tryckförhållandena i en byggnad och den fuktskaderisk som orsakas av fuktkonvektion genom att mäta tryckskillnaden över konstruktionen (jfr bild 5.32).

Exempel 5.6. Samverkande effekt av vind, skorstenseffekt och ventilation på byggnadens tryckförhållanden

Antag att byggnaden utsätts för en vindhastighet på 5 m/s. Byggnadens väggar är lika täta på alla fasader. Utomhusluftens temperatur är 0 °C (luftens densitet 1,29 kg/m^3) och inomhusluftens temperatur är + 20°C. Det fria luftvolymen i byggnaden har höjden 10 m. Byggnaden har mekanisk till- och frånluftsventilation som orsakar ett undertryck på 5 Pa i förhållande till utomhusluften.

Hurdan tryckfördelning uppstår på byggnadens vindutsatta vägg? Vinden orsakar en jämn tryckfördelning på väggen, som beräknas enligt formel 5.7:

$$p = \mu_u \frac{\rho v^2}{2} = 0{,}7 \frac{1{,}29 \times 5^2}{2}\ \text{Pa} = 11{,}3\ \text{Pa}$$

Skorstenseffekten orsakar en tryckfördelning på väggen enligt bild 5.29. På byggnadens insida är det därmed som mest 4 Pa undertryck i den nedre delen och ett lika stort övertryck i den övre delen i förhållande till uteluften. Ventilationen orsakar ett jämnt 5 Pa undertryck på väggens insida. Den samverkande effekten av ovan nämnda faktorer på tryckfördelningen över den vindutsatta ytterväggen visas i bild 5.33. I exempelfallet visas tryckfördelningarna på byggnadens vind- och läsidor, orsakade av vind, skorstenseffekt och ventilation, i bild 5.34. Av graferna framgår att den vindutsatta ytterväggen har undertryck i sin helhet. Väggen på läsidan har övertryck till 90 % och undertryck till 10 %. I områden med övertryck strävar luften att strömma inifrån ut, och i områden med undertryck utifrån in.

5.7

Mikroklimat

Med mikroklimat avses klimatförhållanden i byggnadens omedelbara närhet och på byggnadens ytor. Typiskt för mikroklimatet är de stora skillnaderna både mellan olika byggplatser och mellan olika delar av samma byggplats. Mikroklimatet påverkas framför allt av makroklimatet, vinden och solstrålningen samt byggnadens närområgivning, markytans typ och utformning, liksom växtlighet och byggnader i närheten. Omgivningens inverkan på mikroklimatet grundar sig på dess förmåga att styra luftströmmar och solstrålningens fördelning. Skillnaderna mellan mikro- och makroklimat är som minst på en jämn och öppen plats. Det flödes- och tryckfält som vinden orsakar påverkar funktionen hos de luftspalter som finns i konstruktionerna och på konstruktionernas uttorkning. Dessutom kyler luftströmningen konstruktionerna och ökar belastningen av slagregn.

5.7.1

Mikroklimatets inverkan på konstruktionernas funktion

Mikroklimatet kan betydligt förändra konstruktioners fuktttekniska beteende, eftersom de verkliga förhållandena kan avvika avsevärt från de genomsnittliga makroklimatförhållanden som använts som utgångspunkt för planeringen. På grund av mikroklimatets inverkan kan en byggnad förbli oskadad på en plats, medan en identisk byggnad i en annan miljö får skador. Av denna orsak måste mikroklimatets betydelse för konstruktioners fuktttekniska funktion beaktas när man bedömer skademekanismer i konstruktioner.

5.7.2

Vind

Vindens inverkan skapar flödesfält runt byggnaden, där luftströmmarnas hastighet och riktning beror, inte bara på byggnadens form och mått, utan också på dess läge i förhållande till närliggande hinder, såsom andra byggnader, hindrens höjd samt växtligheten och dess genomsläpplighet. I Finland är den dominerande vindriktningen sydvästlig. Påverkan från den närmaste omgivningen kan göra att vindens hastighet och riktning avviker betydligt från motsvarande värden för den fria vinden.

När vinden träffar byggnaden utsätts särskilt hörnen och byggnadens övre delar för den starkaste påverkan, där vindens avkylande effekt på konstruktionerna är som störst. Luftströmmarnas fördelning syns tydligt vid regn, då hörn och väggarnas övre delar blir våtare än andra områden. Denna fuktbelastning, tillsammans med den upprepade frysning och upptining som sker speciellt under vår och höst, bidrar till att fasadskador koncentreras till dessa områden.

Exemplet i bild 5.35 visar betydelsen av ett hinder för det flödesfält som uppstår runt en byggnad med hjälp av en flödesberäkning av två tvådimensionella fall: i det ena är byggnaden belägen på en öppen plats och i det andra finns ett hinder på vindens sida som styr luftströmningen.

I exempelfallet minskar hindret tydligt flödeshastigheterna på vindsidan i närheten av byggnaden. På grund av vinden bildas ett område med övertryck på vindsidan och ett område med undertryck på läsidan, varvid tryckskillnaderna påverkar ventileringen av ventilerade byggnadsdelar och byggnadens uttorkning.

Som en följd av hindrets skyddande effekt kan det uppstå ett område med undertryck runt byggnaden, där tryckskillnaderna till exempel över takfoten och grundmuren är obetydliga och det rådande tryckförhållandet över byggnaden är mycket liten. I ett sådant fall fungerar luftspalterna bristfälligt eller är helt ur funktion på grund av byggplatsens mikroklimat.

Hinder förändrar vindens strömningsriktning och kan i vissa fall till och med vända den. Till följd av kanalisering kan flödet riktas kraftigt mot en del byggnader. Ett exempel på hur flödesfältet fördelas olika över byggnader i en grupp av hus har beräknats med ett flödesprogram och visas i bild 5.36.

I fallet i bild 5.36 ökar luftens flödeshastighet mellan husen till följd av kanaliseringen och blir högre än den fria vindhastigheten.

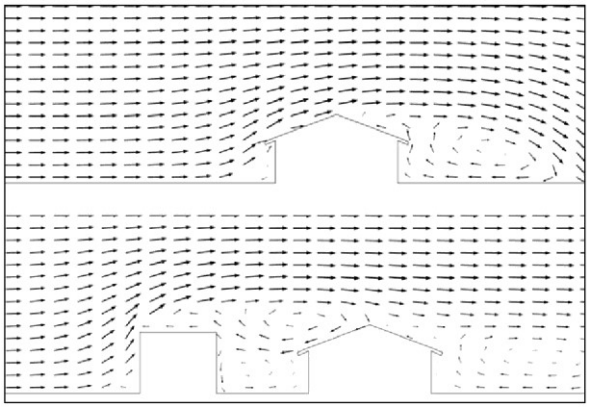


Bild 5.35. Exempel på luftströmningar runt en byggnad i olika mikroklimat. Luftströmmarnas styrka anges med pilens längd och riktning med pilens riktning.

Som en följd av kanaliseringen kan lufthastigheterna öka så mycket att vattnet vid regn till och med kan stiga uppåt längs ytor. Flödeshastigheterna minskar däremot tydligt vid de byggnader som ligger i lä bakom andra byggnader, och vindhastigheterna är där mindre än en tiondel jämfört med när vinden träffar byggnaden direkt. På grund av det tryckfält som uppstår under inverkan av flödesfältet varierar tryckskillnaderna över byggnaderna avsevärt beroende på deras läge.

5.7.3

Solstrålning

Solstrålningens betydelse för mikroklimatet beror på solens höjdvinkel, och därmed på årstid och tid på dygnet, samt på den granskade ytans orientering och lutningsvinkel, molnighet samt den skuggande effekten från byggnader och vegetation i närmiljön. Under klara dagar är strålningseffekten som störst på väggytor under våren och tidig höst, och på horisontella takytor under sommaren. Trädbeståndets skuggande effekt beror på lövverkets genomsläpplighet och därmed på växtartens egenskaper och årstid. Strålningseffekten kan variera kraftigt även på samma väggyta. Bild 5.37 visar ett exempel på hur solstrålningen fördelar sig på olika orienterade ytor och på trädens skuggande inverkan. Mätningen är gjord på en småhusbyggnad i Kuopio under en dag i slutet av maj. Maximal strålningseffekt på takytan var cirka 800 W/m^2 och på väggytan cirka 500 W/m^2.

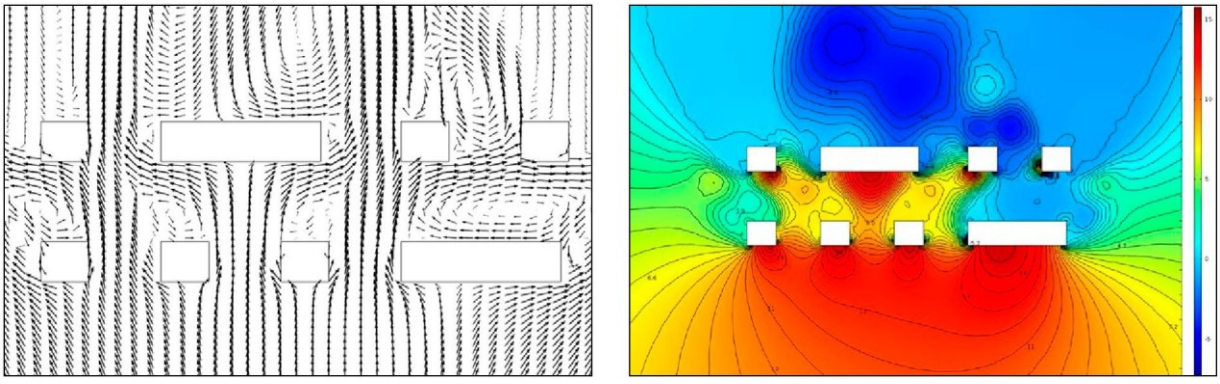


Bild 5.36. Flödesfältet som vinden ger upphov till runt två radhus och sex småhus. Luftströmmarnas styrka beskrivs med pilens längd och riktningen med pilens riktning. I den högra bilden visas lufttrycksfördelningen för motsvarande grupp av byggnader (linjerna anger isobarer och färgerna trycknivån, där nollpunkten är satt vid utflödet på byggnadens norra sida). Inom det röda området råder övertryck och i det blå området undertryck.

Träd i byggnadens närhet skuggar taket i mindre utsträckning, men kan tydligt ses som några enstaka sänkningar av strålningseffekten. Till följd av skuggningen sjönk strålningseffekten tidvis under 350 W/m^2. På väggytan varierade strålningseffekten mer på grund av trädbeståndets större skuggverkan. Strålningseffekterna kunde sjunka ner till en tiondel av maximivärdet.

När solstrålningen träffar ytan på en byggnadsdel höjer den yttemperaturen och samtidigt temperaturen i luften intill ytan. Temperaturhöjningen ökar luftens mättnadsunderskott och påskyndar därmed uttorkningen av konstruktionerna. På grund av molnighet och skuggande objekt kan det uppstå stora temperaturskillnader även på samma väggyta, vilket har betydelse för ojämn uttorkning av byggnadsdelen och därmed en potentiell skaderisk. Solstrålning torkar byggnadens yttre ytor men kan också transportera fukt till mantelns kallare inre delar. I bild 5.38 visas variationen i relativ fuktighet i en skivbeklädd träregelvägg och i en sandwichvägg av betong under inverkan av solstrålning. När solen värmer upp mantelns utsida sjunker den relativa fuktigheten i mineralullens utsida, men i mitten och på insidan av mineralullen stiger den relativa fuktigheten. Ökningen av den relativa fuktigheten är större på insidan av mineralullen än i mitten. Fenomenet är kraftigare i skivväggskonstruktionen, bild 5.38a, än i betongsandwichväggen, bild 5.38b.

Fuktbelastningen kan bli betydande speciellt i byggnadens hörn om fukt transporteras runt hörnet till konstruktionens kallare delar. Under vår och höst, när utomhustemperaturen är nära 0 °C, ökar solens strålning antalet s.k. nollgenomgångar, dvs. växelvis frysning och upptining i konstruktionen. Detta kan leda till lokala skador i konstruktionen.

Som exempel på solstrålningens inverkan, luftens mättnadsunderskott och fuktavdunstning på södra fasaden på ett småhus visas i bild 5.39. I början av mätperioden, under molniga och regniga dagar, var luftens mättnadsunderskott litet men ökade snabbt till mer än tiodubbla värden under de efterföljande soliga dagarna. Mättnadsunderskottets betydelse för konstruktionens uttorkning framgår tydligt i bild 5.39b. Under den molniga och regniga perioden var avdunstningen liten, men ökade betydligt under de soliga dagarna. Avdunstningskurvans negativa värden motsvarar situationer där regnvatten har ökat vattenmängden i avdunstningsmätaren. På byggnadens norra fasad, dit direkt solstrålning inte når, sker konstruktionens uttorkning enbart under inverkan av luftens mättnadsunderskott och vinden.

Som motsats till den dagtidshöjning av yttemperaturerna, som orsakas av solstrålning och gör dem högre än lufttemperaturen, sker en avkylning av byggnadsytan under klara nätter så att ytan blir kallare än utomhusluften. Den nettoenergi som då strålar ut från ytan till rymden kallas nattutstrålning. Betydelsen av nattutstrålning är störst på taket, som med hela sin yta är riktat mot himlen. På byggnadens väggar är betydelsen av nattutstrålning mindre beroende på markens värmestrålning och omgivningens skuggeffekt. När taktäckningen kyls ned till en temperatur lägre än utomhusluften kan fukt kondensera på dess övre eller undre yta. Fukt som kondenserar på taktäckningens undersida kan rinna ner i underliggande konstruktioner. Bland annat för att förebygga detta installeras oftast ett underlagstak i ventilerade takkonstruktioner.

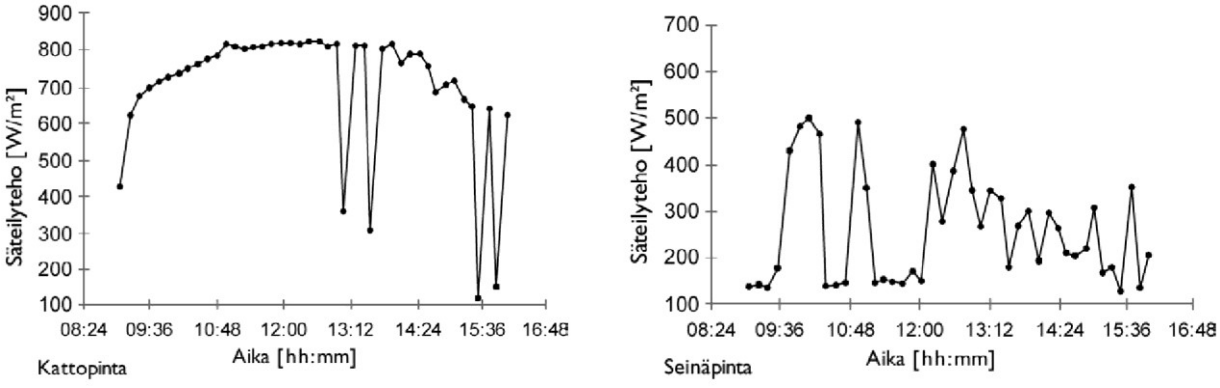


Bild 5.37. Solens strålningseffekter 31 maj mätta på tak- och väggytan för ett småhus i Kuopio. I bild säteilyteho = strålningseffekt.

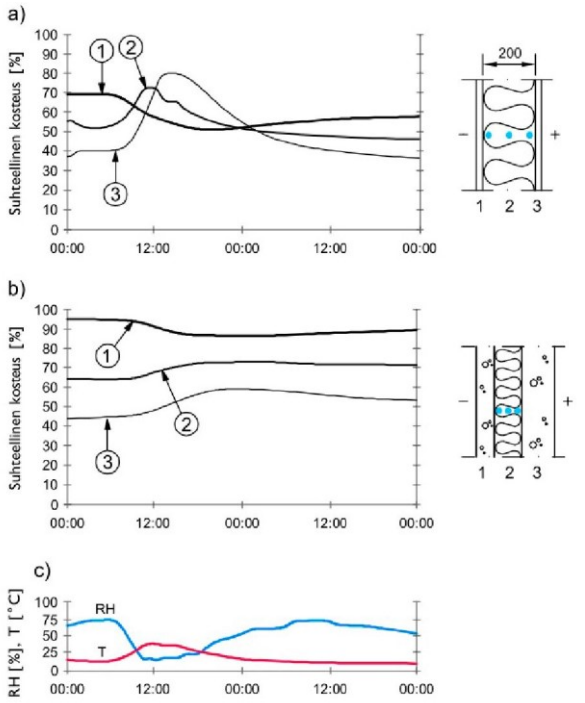


Bild 5.38. Den relativa fuktighetens variation på utsidan, inne och på innerytan av mineralullen, orsakad av solens strålning. A) träregelvägg med skivbeklädnad, b) betongsandwichvägg, c) temperatur och relativ fuktighet för mantelns ytteryta.

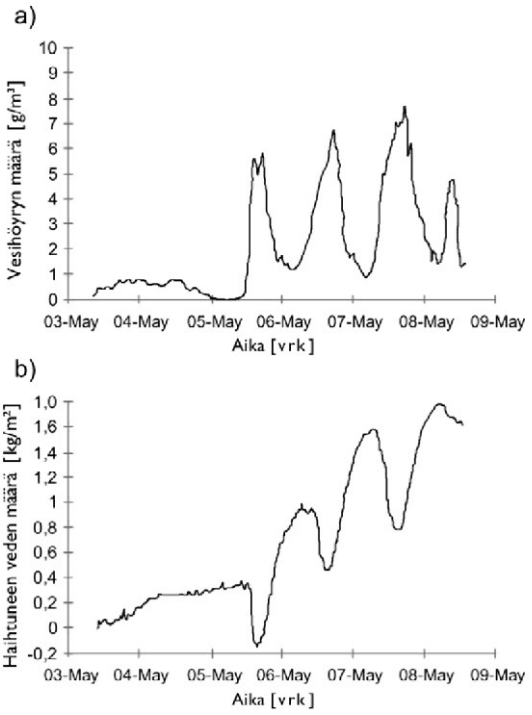


Bild 5.39. På basen av temperatur- och fuktighetsmätningar vid södra fasaden på ett småhus har a) luftens mättnadsunderskott under en molnig respektive solig period i början av maj beräknats samt b) mätresultat för avdunstning under samma period. I bild haihtuneen veden määrä = mängd avdunstat vatten.

6 Mikrobtillväxt och -skador i konstruktioner

6.1

Mikrobiologi i byggnader

6.1.1

Mikrober och mikrobiell tillväxt i byggnader

Mikrober och deras sporer finns överallt och utgör en del av den normala livsmiljön. De naturliga livsmiljöerna för mikrober som förekommer i byggnader, och därmed deras källor, är bl.a. marken, förmultnande växtmaterial och ytan på levande växter samt människor, djur och livsmedel. Mikrobexponering som eventuellt orsakar sanitär olägenhet beror på att mikrober har börjat växa i någon del av byggnaden.

För att växa behöver mikrober fukt, värme och näring. Det avgörs av dessa faktorer om mikrobtillväxt startar och hur snabb den är. Mögelsvampar och andra mikrober kan växa var som helst; till och med dammet på ytor innehåller tillräckligt med näringsämnen för att starta mikrobernas tillväxt. I allmänhet är också temperaturförhållandena i byggnader gynnsamma för mikrobtillväxt. Den viktigaste faktorn som begränsar mikrobtillväxten är fukt; mikrober växer inte i torra byggnadsdelar. Det finns alltid mikrober på ytan av byggnadsdelar och material, dessa härstammar i huvudsak från inomhus- och uteluften. Den mikrobiella påväxten i en byggnadsdel som blivit fuktig utvecklas från dessa mikrober. På byggnadsmaterial kan det växa olika slags mögel- och jästsvampar samt aktinomyceter, eller strålsvampar, och andra bakterier. Strålsvamparna är trots sitt namn bakterier men deras växtsätt påminner om mögelsvampar.

Mikrober namnges med ett tvådelat latinskt namn.

Ovannämnda organismer kallas mikrober på grund av deras mikroskopiskt lilla storlek. Den första delen av mikrobartens namn, släktnamnet, skrivs med stor begynnelsebokstav (t.ex. *Aspergillus*). Den andra delen, artnamnet, skrivs med liten begynnelsebokstav (t.ex. *versicolor)*. Båda namnen skrivs med kursivering. Vid uppräkning av flera arter som hör till samma släkte, anges släktnamnet från den andra arten med släktets begynnelsebokstav (t.ex. *Aspergillus fumigatus, A. ochraceus*...). Om mikroben är identifierad endast på släktnivå ersätts artnamnet med förkortningen ”sp.”. Till exempel betyder uttrycket *Penicillium* sp., som används i analyssvaret från en mögelodling i laboratorium, att en *Penicillium*-art konstaterades i provet, men att arten inte bestämdes. Förkortningen spp. betyder flera arter, till exempel betyder *Cladosporium* spp. i ett analyssvar att det finns flera *Cladosporium*-mögelsvampar av olika utseende i provet, men att deras arter inte bestämts. Arterna inom flera mögelsläkten är så lika även vid mikroskopisk granskning att de inte på ett tillförlitligt sätt kan identifieras inom ramen för ett vanligt mikrobanalysuppdrag för inomhusmiljö.

På fuktskador växer en karakteristisk mikrobiell artflora.

Tabell 6.1. Mikrobsläkten, arter och grupper som är typiska i ute- och inomhusluft samt sådana som tyder på fuktskador.

Uteluft	Inomhusluft	Fuktskador
Cladosporium, basidiomyceter[1)], *Penicillium, Aspergillus, Alternaria,* jästsvampar, *Geotrichum,* sterila [2)]	*Penicillium, Aspergillus, Cladosporium*, jästsvampar, bakterier	*Acremonium, Aspergillus fumigatus, A. ochraceus, A. penicillioides/ A. restrictus*[3)], *A. sydowii, A. versicolor,* basidiomyceter[1)], *Chaetomium, Eurotium, Exophiala, Oidiodendron, Geomyces, Paecilomyces, Phialophora, Scopulariopsis, Sporobolomyces,* Sphaeropsidales *(Phoma), Stachybotrys/ Memnoniella*[3)], strålsvampar (bl.a. *Streptomyces*), *Trichoderma, Tritirachium/ Engyodontium*[3)], *Ulocladium, Wallemia*

1) Basidiesvampar, till exempel de flesta kända ”skogssvampar”, rötsvampar, tickor och rostsvampar, 2) arter som inte bildar sporstrukturer som möjliggör artbestämning under de använda laboratorieförhållandena, 3) mycket närbesläktade och för sina egenskaper liknande arter eller släkten.

I fuktskadade konstruktioner kan det växa både mikrober som förekommer allmänt i vanlig inomhus- och utomhusluft, och sådana mikrober som vanligtvis inte finns i nämnvärda halter i inomhus- och utomhusluften. De senare kallas fuktskadeindikatorer. I tabell 6.1 listas mikrobarter och -släkten som är typiska i utomhus- och inomhusluft samt mikrober som tyder på fuktskador.

I bild 6.1 visas en förenklad version av mögelsvamparnas livscykel. Mögeltillväxten börjar från en mögelspor. Sporen växer ut till mycel som använder näringsämnen från tillväxtunderlaget och som sprider sig radiellt från utgångspunkten. Under lämpliga förhållanden utvecklar mycelet luftmycel ovanför påväxten, samt sporbärande strukturer, där det utvecklas nya sporer. Dessa sporer sprids med luften till nya växtplatser.

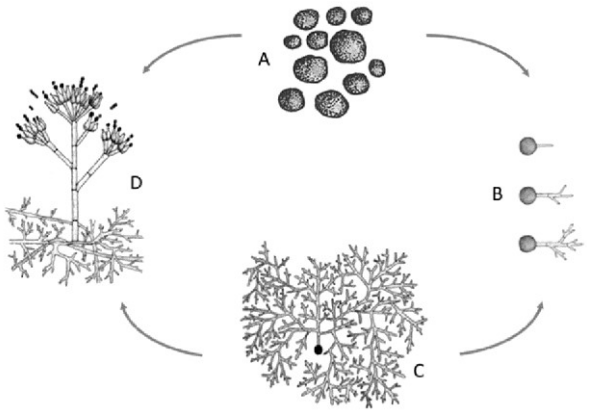


Bild 6.1. Livscykeln för mögel (förenklad modell). Under lämpliga förhållanden gror mögelsporerna (A) och växer ut till hyfer (B), som förlängs och förgrenas och växer ut till mycel (C). I mycelet utvecklas sporbärande strukturer där det utvecklas sporer (D). Sporerna sprids till nya växtplatser. Bildkälla: Johansson P., 2014.

Utöver sporer lossnar det även bitar av mycel och andra små partiklar från påväxten, liksom gasformiga och halvflyktiga ämnesomsättningsprodukter som kan påverka inomhusluftens kvalitet. Storleken på mögelsvampars sporer varierar från några mikrometer (µm, tusendels millimeter) till några tiotals mikrometer. Storleken på strålsvamparnas sporer är cirka 1 µm.

Strålsvampar, som tillhör bakterierna, växer på ett sätt som liknar mögelsvamparnas tillväxt. Även strålsvampar bildar förgrenande mycel där det stiger upp luftmycel och strukturer som bildar sporer. De flesta andra bakterier samt jästsvampar växer som en fuktig cellmassa på material, inte som mycel (bild 6.2).

På täta och slutna material (t.ex. trä, betong och flera plastisoleringar och -filmer) utvecklas den mikrobiella påväxten på materialets yta och i sprickor. På porösa material (t.ex. träfiberskivor, sågspån och mineralullsisoleringar och våt gipsskiva) utvecklas ofta påväxt även inuti materialet.

Rötsvampar bryter ner trä och försvagar träkonstruktioners hållfasthet.

Rötsvampar växer som ett mycel, liknande det hos mögelsvampar. Till skillnad från de flesta mögelsvampar kan rötsvampar dock bryta ner trä och träbaserade material på djupare nivå än bara ytan, vilket försämrar materialets hållfasthet. Rötsvamparna tillhör, till skillnad från de flesta mögelsvampar, de så kallade basidiesvamparna. Rötsvampar delas in i vit-, brun- och mjukrötsvampar. De vanligast förekommande rötsvamparna i byggnader är brunrötsvampar.

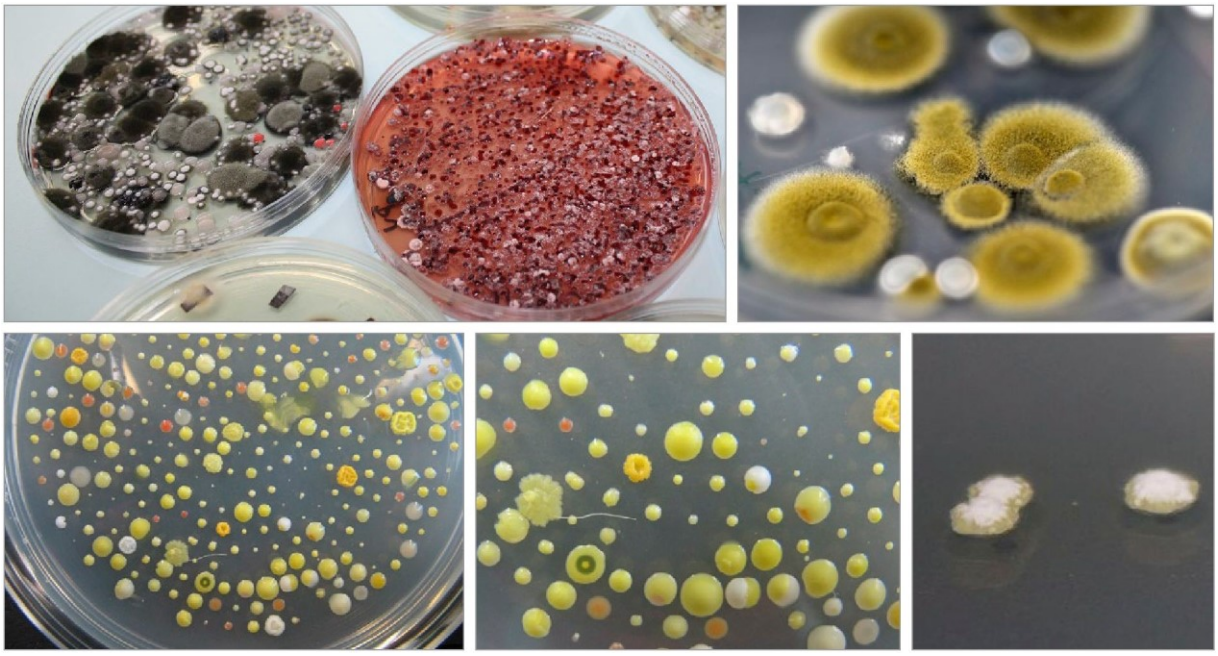


Bild 6.2. Mikrobkolonier i odlingsskålar i laboratorium. Övre raden visar mögel- och jästsvampkolonier och den nedre raden bakterie- och strålsvampkolonier. Bilder: U. Vuori, Mikrobioni Oy.

De flesta rötsvampar kan bara bryta ner mycket fuktigt trä. Ett undantag utgörs av hussvampen *(Serpula lacrymans,* bild 6.3), som förmår att bryta ner även relativt torrt trä vid påväxtens ytterkanter. Hussvampens mycel kan under gynnsamma förhållanden växa flera meter även på ytor som inte duger som näring. Hussvampen föredrar varma och dåligt ventilerade bottenbjälklagskonstruktioner där det utöver trä har använts kalciumhaltiga material såsom betong, putsbruk, tegel, gips eller lättklinker. Mer information om röta finns i KH- kortet *KH 90-00138. Puurakenteiden lahottajasienet ja -bakteerit* (Rakennustietosäätiö RTS, 1990; ny version RT 08-10420).

Tillfällig uttorkning av en fuktig konstruktion förstör inte mikrobväxten. Vid för kalla, varma eller torra förhållanden går mikrobväxten i viloläge. De sporer som bildats i påväxten håller sig livskraftiga under flera veckor, månader eller år, beroende på art och förhållanden. Sporerna tål torka väl och en del av mikroberna fortsätter växa när förhållandena blir igen gynnsamma för tillväxt. Av de vanliga mikroberna i inomhusmiljön håller bland annat *Penicillium*-släktets mögelsvampar, jästsvampar och strålsvampar sig livs- och odlingsdugliga under särskilt lång tid.



Bild 6.3. Hussvamp *(Serpula lacrymans)* a) före och b) efter öppning av konstruktionen. Bilder: H. Viitanen, VTT.

Många mögelsvampar som förekommer i byggnader tål varierande fuktförhållanden och perioder av torka väl.

6.2

Mikrobers krav för tillväxt

Olika mikrobarter är specialiserade på att växa i olika typer av tillväxtmiljöer och -förhållanden. Material, fuktnivå och temperatur påverkar hurudan artsammansättning, s.k. mikrobflora, som utvecklas på materialet. Mikrobfloran förändras också med tiden, eftersom förhållandena vanligtvis varierar och mikroberna själva påverkar sin livsmiljö. När en fuktskada utvecklas uppträder ofta mögel- och jästsvampkolonier först på det skadade stället. På material som möglar lätt och under för mikrobväxt optimala temperatur- och fuktförhållanden kan detta ta dagar eller veckor, på mer motståndskraftiga material och i sämre förhållanden upp till år. Tillväxten för strålsvampar är långsammare än för mögel. Om fukthalten håller sig mycket hög under månaders tid börjar det i trämaterial vanligtvis utvecklas röta.

6.2.1

Fuktighet och temperatur

Viktiga faktorer för mikrobtillväxt är fuktigheten och temperaturen i det material och på den materialyta som fungerar som tillväxtunderlag, inte förhållandena i rumsluften. Tillräcklig fukt gör det möjligt för mikroberna att ta upp näringsämnen ur tillväxtmiljön och kompenserar vattenförlusten som sker genom avdunstning.

De förhållanden som råder vid materialytan kallas ytans mikroklimat. Mikroklimatets fuktighet kan skilja sig från den omgivande rumsluftens fuktighet, om materialet påverkas eller har påverkats av en fuktkälla, eller om materialets temperatur skiljer sig från rumsluftens temperatur. Under stabila förhållanden kommer ytans mikroklimat och den relativa luftfuktigheten i materialets interna porluft i jämvikt med den omgivande luftens fuktighet (bild 6.4). Vid granskning av tillväxtförhållanden för mikrober anges fuktnivån vanligtvis antingen som materialets vattenaktivitet (a_w) eller som motsvarande relativa luftfuktighet (RH). Fuktigheten för betong och trämaterial anges ofta också i procent av materialets torrvikt. Det innebär till exempel för trä att vikten av vattnet i träet ställs i förhållande till träets torrvikt.

Materialens fuktbeteende och sambandet mellan de storheter som beskriver fukthalt i bild 6.4 beskrivs närmare i kapitel 5.

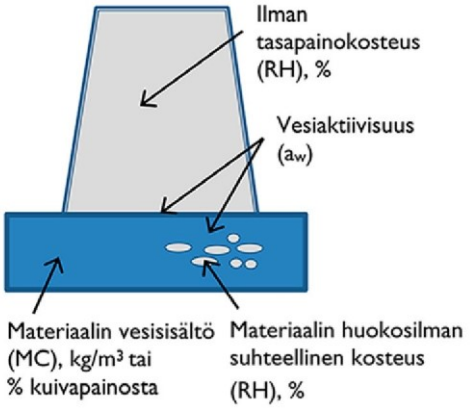


Bild 6.4. Storheter som beskriver fukthalten i material. Materialets vatteninnehåll (MC) anger den absoluta mängden vatten i materialet, vattenaktiviteten a_w beskriver mängden ”fritt” vatten i materialet som är tillgängligt för mikrober och den relativa luftfuktigheten (RH) beskriver luftens relativa fukthalt. I bild vesiaktiivisuus = vattenaktivitet, materiaalin huokosilman suhteellinen kosteus = relativ fuktighet i materialets porluftt.

Optimala förhållanden

De optimala förhållandena för att mögel och andra mikrober ska växa som snabbast råder vid en temperatur på 20–30°C och en relativ fuktighet (RH) på 95–99 %, vilket motsvarar en vattenaktivitet a_w i materialet på 0,95–0,99.

Arter som föredrar en torr miljö kallas xerofila. Dessa förmår växa långsamt i låg fuktighet, till och med under RH 75 %, men den optimala fuktigheten för dessa är RH ≥ 90 %. Arter som föredrar en varm miljö kallas termofila. Till exempel är den optimala tillväxttemperaturen för mögelsvampen *Aspergillus fumigatus* och några andra mögelsvampar cirka +40°C. Arter som föredrar en kall miljö kallas psykrofila. Dessa förmår växa långsamt även vid temperaturer kring 0 °C, men deras optimala tillväxttemperatur är +20–30°C.

Minimikrav

Vanligtvis är den lägsta fuktigheten för mögeltillväxt cirka RH 75…80 %. På livsmedel och mycket mögelkänsliga byggnadsmaterial kan mögel börja växa redan vid RH 65–70 %, men detta förutsätter en temperatur ≥ +25°C. Tillväxt av strålsvampar och andra bakterier samt rötsvampar förutsätter högre fuktighet (tabell 6.2)

Tabell 6.2. Minimikrav på fuktighet i byggnadsmaterial för tillväxt av olika mikrobgrupper.

Mikrobgrupp	Luftens relativa minimifuktighet
Mögelsvampar	70–85 %
Bakterier och strålsvampar	95 %
Blånads- och rötsvampar	95 %

Tabell 6.3. Exempel på minimikrav på fuktighet för olika mikrobarter och -grupper

RH_{min} [1)]	Exempelarter och -släkten
$RH_{min} < 75$ %	*Aspergillus penicillioides / restrictus, Eurotium, Wallemia*
75 % ≤ RH_{min} ≤ 79 %	De flesta *Aspergillus*-arter (bl.a. *A. versicolor, A. ochraceus* och *A. sydowii), Paecilomyces,* vissa *Penicillium*-arter
80 % ≤ RH_{min} ≤ 89 %	De flesta *Penicillium-arter, Aspergillus fumigatus, Alternaria, Aureobasidium, Chaetomium, Cladosporium*
$RH_{min} \geq 90$ %	*Fusarium, Stachybotrys, Mucor, Rhizopus* och *Ulocladium,* rötsvampar, strålsvampar

1) Minimikraven på fuktighet har bestämts under laboratorieförhållanden på byggnadsmaterial vid en temperatur på cirka +25°C. Vid lägre temperaturer är minimikravet på fuktighet högre.

Mikrober som växer i byggnader kräver en temperatur på minst cirka +5°C för att kunna växa. Den maximala temperaturen är vanligtvis omkring +50°C. Vid temperatur- och fuktförhållanden som är nära de lägsta kraven är mögeltillväxten långsam. I sådana fall kräver mögelangrepp av materialet och utvecklingen av en mikrobskada lång tid, i praktiken månader eller år.

Mikrobernas minimikrav på fuktighet och temperatur är beroende av varandra. Båda faktorerna påverkar också mikrobernas tillväxthastighet och därmed hur snabbt den mikrobiella påväxten och skadan utvecklas. I bild 6.5 visas som ett exempel den tid det tar för mögeltillväxt att komma igång vid olika temperatur- och fuktförhållanden. Vid till exempel +5°C temperatur och 85 % relativ fuktighet börjar trä att mögla på ytan efter cirka 18 veckor, medan det vid högre temperatur, +20°C, och samma relativa luftfuktighet börjar mögla efter cirka 7 veckor.

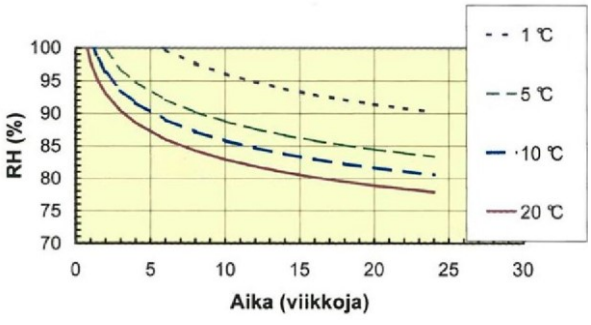


Bild 6.5. De kritiska fukt- och temperaturförhållanden som leder till att mögeltillväxt startar och deras exponeringstider i ytträ av furu under stationära förhållanden. I praktiken varierar förhållandena mer eller mindre, så den verkningstid som krävs kan vara betydligt längre. Bildkälla Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011b.

Kortvarig hög fuktighet (t.ex. några timmars hög fuktighet per dygn i våtutrymmen) orsakar ingen risk för mögeltillväxt i konstruktionen, så länge materialet kan torka snabbt och den långvariga fuktnivån håller sig under 70–75 % RH. Mögeltillväxten avtar i någon mån under perioder då förhållandena inte är gynnsamma för tillväxt.

Olika mikrobarter är anpassade för olika slags tillväxtförhållanden. Därför påverkar konstruktionens fukthalt vilken artsammansättning av mikrober som utvecklas på den. Minimifuktkrav för olika mikrober visas i tabell 6.3.

Rötsvampar behöver en högre fukthalt för att växa än mögelsvampar. Den kritiska fuktigheten för att utveckla rötskada är beroende på temperaturen RH > 93–95 %, vilket motsvarar en träfuktighet på cirka 24–27 viktprocent. Den optimala temperaturen för rötsvampar är +20–25°C och tillväxt är möjlig inom temperaturområdet 0–50°C. Trä murknar som snabbast vid en träfuktighet på 30–80 %, det vill säga när den relativa fuktigheten i träet är RH > 100 % (jfr bild 5.4 i kapitel 5). Bild 6.6 visar som ett exempel tillväxtstarten för en viss brunrötsvamp vid olika temperatur- och fuktförhållanden.

Ur bild 6.6 framgår det att till exempel vid temperaturen +10 °C och luftfuktigheten RH 97 % börjar röta utvecklas på cirka åtta månader, medan det i varmare förhållanden, vid tjugo grader och luftfuktigheten RH 97 % börjar utvecklas röta redan inom två månader. Vid fuktförhållanden under RH 95 % utvecklas röta endast när temperaturen överstiger +10°.

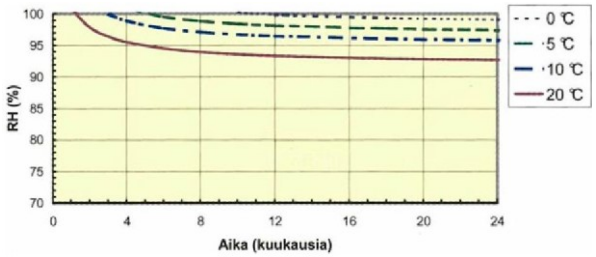


Bild 6.6. Tillväxtstarten för en brunrötsvamp i olika temperatur- och fuktförhållanden. På horisontella axeln tiden i månader, på vertikala axeln den relativa luftfuktigheten. Bildkälla: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011b.

Exempel på tillväxt av mögel som förekommer i byggnader

Olika mögelarter har olika krav på tillväxtförhållanden. I bilden 6.7A visas effekten av temperatur- och fuktförhållanden på tillväxten av den xerofila mögelsvampen *Aspergillus restrictus* som trivs i torrt. Av bilden framgår att denna mögelart har ett minimikrav på en fuktighet på cirka RH 70 %. Denna fuktighet räcker för att långsamt sätta igång tillväxten om temperaturen är ungefär +26–29 °C. Motsvarande fuktinnehåll i luften är 17–20 g/m^3 (jfr bild 5.9, kapitel 5). I vanlig rumstemperatur (+21°C) är den minimala fuktigheten för tillväxt ca RH 73 % och det motsvarande fuktinnehållet i luften ca 13,5 g/m^3. Vid en temperatur på ca +10 °C i mantelkonstruktionen är den kritiska relativa fuktigheten 85–95 %, vilket motsvarar ett fuktinnehåll på 9,0–9,5 g/m^3 i luften. Under ovan nämnda förhållanden är möglets tillväxthastighet ca 0,01 mm per dag eller några millimeter per år.

I bilden 6.7B visas tillväxten av en annan art, det fuktgillande möglet *Stachybotrys chartarum,* i förhållande till fukt- och temperaturförhållanden. Denna art observeras kräva betydligt mer fukt än mögelsvampen *A. restrictus*; minimifuktigheten är över RH 90 % vid alla temperaturer. De ovan nämnda värdena gäller tillväxt på näringsrikt odlingssubstrat. Tillväxt på byggnadsmaterial förutsätter något högre fuktighet än vad som visas i graferna (jfr tabell 6.5).

Mögelsvampen *A. restrictus* i föregående exempel är, baserat på erfarenhet, ett vanligt fynd i byggnadsdelar med långvarigt något förhöjd fuktighet, till exempel i dåligt ventilerade yttermantelkonstruktioner och på trägolv som är reglade ovanpå en betongplatta på mark. I sådana konstruktioner förekommer arten ofta som dominerande art om fuktigheten ligger stabilt kring den kritiska fuktigheten. Redan vid något högre fukthalter klarar sig andra arter, till exempel *Aspergillus versicolor* och *Penicillium*-släktets mögelsvampar bättre och tränger undan *A. restrictus*-mögelsvampen. *Stachybotrys chartarum*-mögel påträffas däremot endast på mycket våta material, vars fuktighet är inom det kapillära området (RH > 97 %) eller nära detta, till exempel på innerväggarnas gipsskivor eller trämaterial som blivit våta av läckagevatten eller i bottenbjälklagskonstruktioner där vatten slipper att sugas upp kapillärt från marken.

Hussvampen (*Serpula lacrymans)* som hör till rötsvamparna kan med hjälp av sitt mycel transportera vatten från våta områden till byggnadens torrare träddelar och kan bryta ned trävirke med en fukthalt på bara ca 18–20 %.

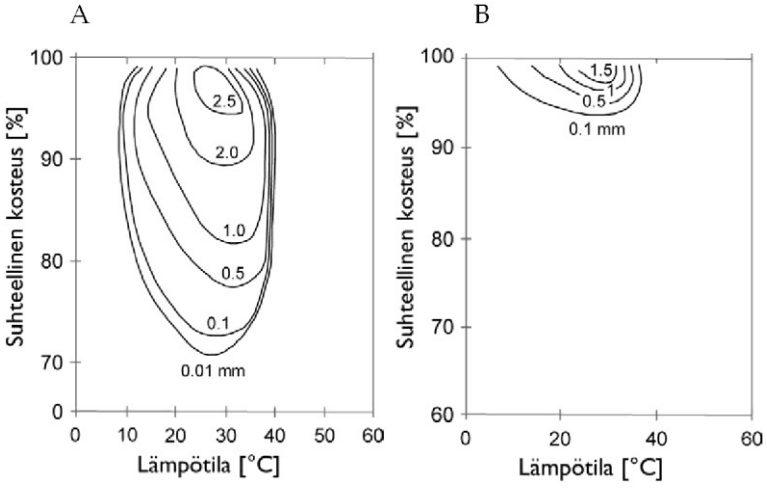


Bild 6.7. I den vänstra bilden visas tillväxthastighetens beroende av temperaturen (x-axeln) och fuktigheten (y-axeln) i växtunderlaget för mögelsvampen *Aspergillus restrictus*. I den högra bilden visas tillväxthastighetens beroende av temperaturen (x-axeln) och fuktigheten (y-axeln) i växtunderlaget för mögelsvampen *Stachybotrys chartarum*. Grafernas linjer visar tillväxthastigheten (mm/dag) för mögelmycelet. Vid den yttersta ringen är tillväxten marginell, i den innersta snabbast. Bildernas källor: Magan N. och Lacey J., 1984 och Ayerst G., 1969.

För att hussvampens tillväxt ska komma igång krävs dock att träkonstruktionerna blivit mycket fuktiga, en fuktkvot över 30 %.

6.2.2

Materialets betydelse

Utvecklingen av en mikrobskada påverkas förutom av fuktigheten, temperaturen och exponeringstiden också av det aktuella materialet. I tabell 6.4 presenteras mögelkänsligheten för olika byggnadsmaterial. Enligt klassificeringen utvecklas synlig mikrobiell påväxt på material i de känsligaste klasserna (mögelkänslighetsklass, MKK 1 och 2) vid hög fuktighet (RH > 97 %) och rumstemperatur inom ungefär 2–8 veckor. Under motsvarande förhållanden utvecklas påväxt på material i klass HHL 3 på cirka ett år. På material i klass HHL 4 kan det utvecklas lätt, med blotta ögat osynlig påväxt efter flera år. Tiden det tar för material i olika klasser att mögla anges mer detaljerat i publikationen *RIL 250-2011. Kosteudenhallinta ja homeenestäminen* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011b).

I tabell 6.5 presenteras kritiska nivåer för relativ fuktighet för olika material vid temperaturerna +22°C och +10 °C från en svensk undersökning (Johansson P., 2014).

Känsliga material

Olika slags trä- och pappersbaserade produkter, material med animaliskt ursprung samt kartongklädd gipsskiva är mycket känsliga för mikrobskador, dvs. möglar lätt. Hyvlat virke är något motståndskraftigare än grovsågat. Björk och splintveden hos furu är kända för att vara mer känsliga för mögelangrepp än t.ex. gran och kärnvirke av furu. Även produktionsprocesserna, som t.ex. torkning och lagring av virke påverkar virkets motståndskraft. I utomhusförhållanden ska trämaterial skyddas mot mögel genom ytbehandling. Linoleum som används som golvbeläggning och jutevävet på undersidan möglar om fuktigheten är ständigt förhöjd, enligt erfarenhet uppskattat över nivån 85 % RH. Även organiska isoleringsmaterial som använts i äldre byggnader, som lindrev, kork och halm är känsliga för mögelpåväxt.

Tabell 6.4. Indelning av byggnadsmaterial i olika mögelkänslighetsklasser (VTT-mögelriskmodell).
Tabellens material: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011b.

Mögelkänslighetsklass	Byggnadsmaterial
HHL 1 mycket känsligt	grovsågat och kvinta virke (furu och gran), hyvlad furu
HHL 2 känsligt	hyvlad gran, pappersbaserade produkter, träbaserade skivor, gipsskiva
HHL 3 relativt motståndskraftig	mineralull, plastbaserade material, lättbetong, lättklinkerbetong, karbonatiserad gammal betong, cementbaserade produkter, tegel
HHL 4 motståndskraftig	glas och metaller, alkalisk ny betong, material innehållande effektiva mögelskyddsmedel

Tabell 6.5. Kritisk fuktighet för mögel i olika material under tre månaders granskningsperiod.
Tabellens material: Johansson P., 2014.

Material	Lägsta fuktighet som möjliggör mikrobtillväxt (RH)	
	Temperatur +22°C	Temperatur +10°C
Trä (furu)	75–79 %	85–90 %
Plywood	75–79 %	75–85 %
Spånskiva	79–85 %	90–93 %
Tunn hård träfiberskiva	85–89 %	93–95 %
Gipsskiva för våtutrymme	89–95 %	> 95 %
Gipsskiva för vindskydd	89–95 %	> 95 %
Tjärpapp	89–95 %	> 95 %
Cementbaserad skiva	> 95 %	> 95 %
Glasull	> 95 %	> 95 %
EPS-värmeisolering	> 95 %	> 95 %

En cementbunden träullsskiva (se bilaga 2), som består av träspån bundna med cementslam, motstår fukt bättre än rent trä, men skadas med tiden i förhållanden som är gynnsamma för mikrobtillväxt.

Rimligt motståndskraftiga material: plast- och gummibaserade material

Motståndskraften hos plast- och gummibaserade material beror på materialets kvalitet, exempelvis är naturgummi känsligt för skador medan de flesta syntetiska plaster är rimligt motståndskraftiga. Till exempel beror hållbarheten hos våtrumssilikon i hög grad på de mögelskyddsämnen den innehåller. Plastbeläggningar för golv är i allmänhet ganska motståndskraftiga mot mikrobiologisk påverkan, och fuktskador på dessa är typiskt kopplade till kemisk nedbrytning av lim och mjukgörare i beläggningen, särskilt på grund av alkalisk fukt. Utveckling av mikrobiell påväxt i limskiktet och i textilskiktet på undersidan av vissa plastmattor är också möjlig vid hög fukthalt. Mikrobiella skador på limmade golvbeläggningar är vanligtvis kopplade till fuktiga betongplattor på mark, där fukttillskottet underifrån är konstant och kraftig. Även golvbeläggningar som installerats på alltför fuktig betong kan skadas om konstruktionen torkar dåligt. Vid kanter, fogar samt hål i limmade golvbeläggningar kan det tränga in städvatten och smuts under beläggningen, vilket kan leda till lokala mikrobskador under beläggningen.

På ytan av fukttåliga plastisoleringar kan det med tiden utvecklas mikrobiell påväxt. Utvecklingen av påväxt beror på mögelkänsligheten hos de andra materialen som kommer i kontakt med materialet samt på de rådande förhållandena.

Av de syntetiska polymererna är epoxi och neopren de hållbaraste när det gäller mikrobskador. Motståndskraften hos polyuretan beror på produktens sammansättning. Av andra isoleringsskummen har speciellt urea-formaldehydskummet (”hölynpöly”) som användes under 1960–70-talen för tilläggsisolering av egnahemshus dålig motståndskraft mot fukt och mikrober. På ytan av bitumenbaserade material kan det under gynnsamma förhållanden utvecklas mikrobiell påväxt. Tillväxten beror på materialets sammansättning, bland annat på halten aromatiska kolväten.

Rimligt motståndskraftiga material: bruk och spackel

Den mikrobiella motståndskraften hos olika slags spackel beror till stor del på det eventuella organiska bindemedel som använts i dem. Användningen av organiska ämnen erbjuder mikrober näring och gör därmed materialet mera känsligt för mikrobskador. Exempelvis skadas spackel som innehåller kasein och andra animaliska ämnen lätt om det blir vått, varvid det börjar växa mikrober och olika slags ämnesomsättningsprodukter, liksom ammoniak, börjar frigöras.

Motståndskraftiga material: betong

Ny ren betong är mikrobiologiskt motståndskraftig. På ytan av gammal, karbonatiserad betong samt lätt- och lättklinkerbetong utvecklas mikrobiell påväxt efter månader-år om ytans fuktnivå är hög, på en nivå motsvarande över RH 90 %. När betong karbonatiseras sjunker dess ursprungligen höga alkalinitet (högt pH), vilket skapar gynnsammare förhållanden för mikrobtillväxt. På ytan och i sprickor på stenbaserade material som varit fuktiga länge växer det typiskt såväl strålsvampar som andra bakterier och mögel. Tillväxten ökar om materialet förorenas av organiskt material som förs med luftströmmar eller kapillärt transporterat vatten.

Rena betongkonstruktioner motstår fuktbelastning bättre än putsade och speciellt ytbehandlade med ångtät målfärg, där det vanligtvis utvecklas mikrobiell påväxt inom månader om konstruktionen är ständigt mycket fuktig (bild 6.8). En tät målad yta fördröjer avdunstningen från det fuktiga stenmaterialet och erbjuder samtidigt organisk näring för mikrober, vilket möjliggör tillväxt i färgen eller i gränsskiktet mellan färgen och spacklet.

Motståndskraftiga material: glas- och metallytor

Mest motståndskraftiga mot mikrobskador är glas- och metallytor. På dessa material utvecklas påväxt endast i smuts och damm som fastnat på ytan. Exempel på platser där sådan påväxt utvecklas är nedsmutsad glaserad plattsättning i badrum och ventilationskanalers ytor. Mikrobtillväxt på ytan av plattsättning i våtutrymmen på grund av dess smutsighet och utrymmets bristfälliga ventilation betraktas inte som mikrobskada eftersom den i allmänhet kan avlägsnas genom rengöring.



Bild 6.8. Även på en vägg i betong kan det utvecklas en mikrobskada om det finns tillräckligt med tid och fukt. I bilderna har en yttre vattenisolering brustit och orsakat fukt- och mikrobskador i spackel-, färg- och tapetskikten i en betongvägg mot mark. Bilder: M. Pitkäranta, Vahanen Oy.

Ett undantag är mögelpåväxt djupare inne i bruk- och silikonfogmaterialen och bakom plattorna i fogbruket, vilket kan kräva att materialet byts ut.

På ytorna i frånluftskanaler kan det samlas tjocka lager av smuts om de inte rengörs regelbundet. Om kanalerna är bristfälligt isolerade kan de kondensera fukt ur inomhusluften på kanalens insidor, speciellt på kanalavsnitt som går genom svala delar av byggnaden. Det kondenserade vattnet väter smutsskikten, var det kan utvecklas mögelpåväxt. Om riktningen av flödet i kanalen vänds mot rummet, kan mycket förorenad luft komma in i inomhusluften. Tillbakaflöde kan förekomma till exempel nattetid när ventilationen är avstängd, om aggregatets spjäll inte är täta. I gamla byggnader med självdrag kan delvis blockerade frånluftskanaler vända luftflödets riktning så att luft från den smutsiga, ofta fuktskadade kanalen leds in i inomhusluften.

Förorenade och tidigare skadade material

Mikrobkontaminering eller begynnande skador på nytt material till följd av vätning, långvarig utomhusförvaring eller nedsmutsning med jordmaterial under byggtiden påskyndar uppkomsten av mikrobskador om materialet senare blir fuktigt under byggnadens livscykel. På gamla, uttorkade skadeområden kommer en riklig mikrobtillväxt igång betydligt snabbare än i nytt, rent material.

På motsvarande sätt kan också avloppsvatten, som innehåller rikligt med näringsämnen och mikrober, snabbt sätta igång en massiv mikrobtillväxt speciellt under varma förhållanden.

Mineralullen i ytterväggens värmeisoleringsskikt som har förorenats av luftläckage kan innehålla betydande mängder organiskt damm och mikrobsporer från utomhusluften. Eftersom isoleringsull som ett poröst material har en stor yta, kan det bildas en tät mikrobiell påväxt i den nedsmutsade ullen, trots att materialet som nytt och rent stöder mikrobtillväxt dåligt. På grund av den goda luftgenomsläppligheten transporteras orenheter i mineralullsisoleringar lätt med luftströmmar. Speciellt i sockelklyvningar och värmeisoleringar bakom beklädnadsmur på väggar mot mark kan det med tiden utvecklas riklig påväxt av strålsvampar och mögel, om konstruktionerna är kontinuerligt våta.

Betydelsen av materialets nedsmutsning för skadans hastighet framgår i bild 6.9. I grafen presenteras mögeltillväxt på nya rena material samt på material som ”smutsats ned” med sågspån, som en funktion av tiden vid hög fuktighet, inom det kapillära området. Mängden mögeltillväxt som utvecklas presenteras på en s.k. mögelindexskala 0–6 där index 1 betyder begynnande tillväxt, 3 synlig tillväxt och index 6 riklig tillväxt som täcker hela ytan.

Ur graferna kan det ses att det under de granskade förhållandena utvecklas mögeltillväxt redan inom cirka en månad på känsliga material samt på motståndskraftiga material som smutsats ned med sågspån. På ytan av rena, motståndskraftiga material utvecklas det viss påväxt under ett år, men bristen på näringsämnen begränsar mängden påväxt.

Om mögeltillväxten endast sker i gränsytan mellan två material, beror möglingskänsligheten på motståndskraften hos det känsligare materialet. Till exempel, erfarenheter har visat att en spacklad betongyta som målats med ångtät färg blir betydligt lättare angripen av mikrober än en obehandlad betongyta.

Fyllnadsjord och makadam

I fyllnadsjord och makadam under byggnader finns det alltid rikligt med mikrober. Under byggnaden råder i praktiken alltid sådana temperatur- och fuktförhållanden som är gynnsamma för mikrobtillväxt, även om bottenbjälklaget är fuktteknisk fungerande och omsorgsfullt utfört. Rester av humusjord som avlägsnats under byggnaden, liksom träspill från bearbetning av trämaterial och annat byggavfall från byggtiden erbjuder tillräckligt med näringsämnen för att upprätthålla mikrobtillväxt (bild 6.10). Därtill transporteras damm och näringsämnen in i fyllnadsjorden via luftflöden, ytvatten samt vattnets kapillära stigning, vilket möjliggör mikrobtillväxt. Även i helt ren fyllnadsjord och ny makadam påvisas vid mikrobiologisk odling vanligtvis rikligt med strålsvampar och en viss mängd mögelsvampar. Den mikrobiologiska statusen hos jordfyllningar, makadam och grundutrymmen bör bedömas enligt följande grunder:

- typ av jord- eller fyllnadsmaterial under markburet bottenbjälklag, eller i krypgrundens botten, makadamlagrets tjocklek
- mängden, skicket och placeringen av organisk jord, byggavfall, formvirke under betonggjutningar och dylikt organiskt material
- bottenbjälklagets fukt- och temperaturförhållanden (bottenbjälklag mot mark)
- utrymmets ventilation samt fukt- och temperaturförhållanden (ventilerade bottenbjälklag).

Konditionen av fyllnadsmaterialet kan inte bedömas med mikrobiella prov. För att mikrobtillväxten i marken och fyllningen ska förbli tillräckligt låg, och mikrobernas ämnesomsättningsprodukter inte ska spridas i skadliga mängder till inomhusluften:

- markfyllningar och krypgrunder bör hållas rena (inga organiska byggrester eller träddelar i kontakt med marken)
- på markytor samt under markburen bottenbjälklagskonstruktion bör det finnas ett tillräckligt tjockt lager av makadam som fungerar som kapillärbrytande skikt, och som i ventilerade kryputrymmen minskar avdunstningen.
- bottenbjälklagets anslutningar och genomföringar bör vara lufttäta i förhållande till inomhusluften
- luftomsättningen i ventilerade bottenbjälklagskonstruktioner bör vara tillräcklig i förhållande till fuktbelastningen från marken.

Mikrobiologin i bottenbjälklagskonstruktioner och krypgrunder behandlas närmare i bl.a. publikationen *Maanvastaisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus* (Leivo V. och Rantala J., 2006) och *Ryömintätilan kosteus ja mikrobit* (Kurnitski J., m.fl., 1999).

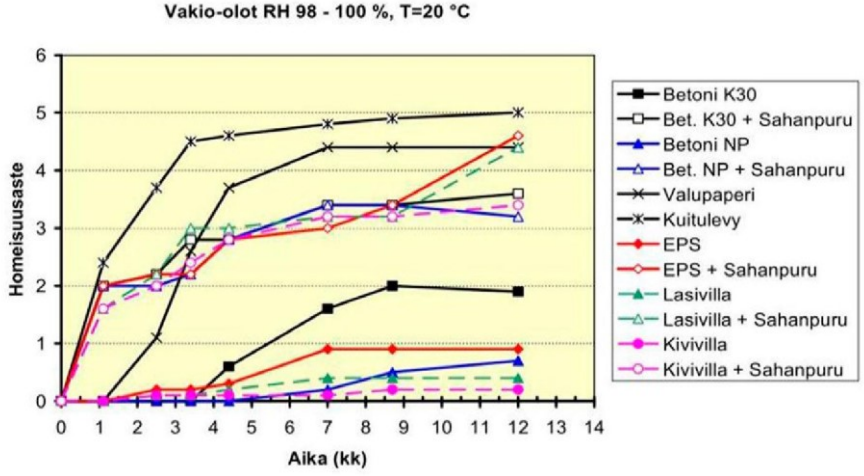


Bild 6.9. Materialets påverkan på mögeltillväxtens hastighet och styrka. Förkortningar i tabellens förklaringar: K30 = hållfasthetsklass för betong, NP = betong som kan beläggas snabbt, EPS = isolering av expanderad polystyren. I bild vakio-olot = stationära förhållanden, homeisuusaste = möglighetsgrad, sahanpuru = sågspån, valupaperi = gjutpapper, kuitulevy = fiberskiva. Bildkälla: Viitanen H., 2004.



Bild 6.10. Mikrobtillväxt på ej övertäckt lerjord i ventilerad krypgrund. Krypgrunden på bilden saknar ordentlig makadamfyllning, dräneringen är bristfällig och utrymmets luftomsättning är för liten i förhållande till undergrundens fuktproduktion. Det förekom rikligt med mikrobiell påväxt trots att det bara fanns lite organiskt byggavfall på markytan. Bilder: H. Keinänen, Vahanen Oy.

6.2.3

Bedömning och simulering av mikrobtillväxt

Risken för mögel till följd av byggnadens temperatur- och fuktförhållanden kan bedömas på lång sikt med hjälp av byggnadsfysikalisk modellering eller mätdata. Utvecklingen av mikrobiell påväxt i en konstruktion kan till exempel modelleras med hjälp av VTT:s mögelmodell (VTT-Homemalli) (Ojanen T., m.fl., 2009).

I modellen matas in materialtyp, temperatur- och fuktförhållanden samt granskningstid, och resultatet visar utvecklingen av mögelrisk angiven på den tidigare beskrivna sex-gradiga mögelindexskalan.

En grov bedömning av risken kan göras genom att jämföra temperatur- och fuktnivåerna vid mätpunkter (t.ex. dygnsmedelvärde) med de minimikrav som gäller för mögeltillväxt (bild 6.11). På detta sätt kan man identifiera kritiska förhållanden och tidsperioder ur konstruktionens funktionssynpunkt.

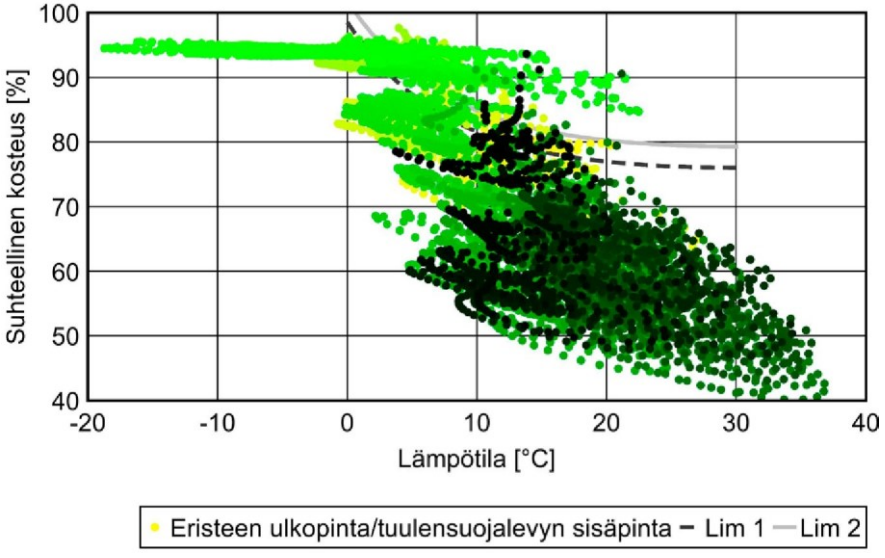


Bild 6.11. Exempel på numerisk granskning av mögelrisken för en tegelbeklädd söderfasad med trästomme. Grafen visar den granskade punktens temperatur och relativa fuktighet vid tidpunkter under granskningsperioden. Granskningstiden är ett år (oktober-oktober). Startpunkterna för beräkningen är markerade gula och de senare med svarta. Linjerna beskriver gränsvärden för förhållanden som möjliggör mikrobväxt (Lim 1: biologiskt nedbrytbara material, Lim 2: motståndskraftiga material). Detta exempel beskriver en felsituation där en del av slagregnet tränger in innanför vindskyddslagret, vilket skapar förhållanden som gör mikrobtillväxt möjlig i konstruktionen. I bild eristeen ulkopinta/tuulensuojalevyn sisäpinta = isoleringens utsida/vindskyddsskivans inneryta. Modellering och bild: P. Sekki, Vahanen Oy.

6.3

Kännetecken för mikrobtillväxt och -skador

6.3.1

Synlig mikrobiell påväxt på inre ytor eller i konstruktioner

Synlig mikrobiell påväxt på inre ytor eller konstruktioner i bostads- och vistelseutrymmen kan visa sig som färgförändringar på materialets yta eller som puderaktig, dammaktig eller punktmässig påväxt. Mögelsvamp kan skiljas från blånadssvamp genom att lossa en bit av materialet. Mögelsvamp växer endast på ytan och lossnar vanligtvis från underlaget. Blånadssvampen syns också under ytan.

En stor del av mikrobskadorna är dolda i skiktade konstruktioner (bild 6.12 och 6.13).

Detta beror på att konstruktionens inre delar torkar långsammare än ytskikten, samt på att vattenläckage i yttermanteln ofta endast väter de yttre och mellersta delarna av konstruktionen, medan innerytan förblir torr. Mikrobtillväxt inne i en konstruktion konstateras genom öppning av konstruktionen.

Kännetecknet för röta är att det skadade virket mjuknar, vilket kan konstateras i ytträet med ett vasst verktyg och djupare i träet genom att borra med en borr med liten diameter. En närmare analys och artbestämning av rötsvampen kan göras med mikroskop ur en provbit av träet. Trä kan vara hårt i ytskiktet men murket inuti. Rötans djup bör alltid kontrolleras eftersom röta i trä försämrar virkets hållfasthet och kan orsaka risk för ras av konstruktionerna. Röta förekommer i träkonstruktioner som varit mycket fuktiga under lång tid, vanligast i bottenbjälklag av trä, men även i träkarmar till läckande fönster, vindsbjälklag osv.



Bild 6.12. Mikrobtillväxt förekommer ofta inne i skiktade konstruktioner på ställen som torkar dåligt. Bilder: J. Sievola ja M. Pitkäranta, Vahanen Oy.



Bild 6.13. Spår av fuktskador i taket i rummet och stängda garderoben. Fuktbelastningen och materialen var lika i båda utrymmena, men på grund av den bättre ventilationen i rumsutrymmet uppstod ingen synlig mögelpåväxt i rummets tak. På båda områdena var dock takspacklet och färgen mikrobskadade enligt resultat från en mikrobiologisk odlingsanalys. Bilder: S. Niemi, Vahanen Oy.



Bild 6.14. Rötskador i a) vindsbjälklaget, yttertakets läkt, b) bristfälligt plåtbeslagen och målad fönsterkarm, c) formbrädor i en krypgrund av betong och d) en tröskel till ett våtutrymme med bristfällig vattenisolering. Bilder: E. Kauriinvaha, E. Salo, Vahanen Oy.

Det finns ofta rötskador i timmerbyggnaders bjälklagskonstruktioner och nedre timmervarv, speciellt vid dåligt ventilerade hörnområden i bottenbjälklaget. Även formvirke som lämnats kvar i kryputrymmen med dålig ventilation är ofta angripet av röta och utgör en vanlig källa till problem med inomhusluften (bild 6.14).

Alla fuktskador är inte förknippade med mikrobväxt, även om det skulle finnas synliga förändringar på konstruktionen. Till exempel är färgförändringar på undersidan av mineralullbaserade nedsänkta innertak och akustikskivor oftast orsakade av att bindemedel i materialet har lösts upp (bild 6.15a). Kapillär fukt kan transportera kalciumkarbonat eller salter genom tegel och betong så att de bildar vit kalkutfällning på materialets yta (bild 6.15b). Även om förändringarna inte orsakas av mikrobtillväxt är det ändå ett tecken på fuktbelastning som också kan vara förenad med mikrobväxt i den undersökta eller angränsande konstruktioner.

Nedsmutsning av ytor på grund av luftströmmar är däremot ett fenomen som är oberoende av fukt och mikrobtillväxt och bör skiljas från mikrobiell påväxt. (Bild 6.15c och d)

6.3.2

Avvikande mikrobhalt och artsammansättning i inomhusluften, mögellukt, jordkällarlik, unken lukt

En fuktskada kan utvecklas inne i konstruktioner under flera års tid utan att det syns några tecken på innerytorna i form av fuktskador eller mikrobiell påväxt. Tillfälligt uppträdande lukt av mögel, en källarlik, ”mormors stuga” -liknande unken eller sötaktig lukt kan tyda på mikrobiell påväxt. Det är vanligt att lukten bara upplevs ibland eller i vissa situationer. Lukten är en följd av mikrobernas ämnesomsättning, vilket bland annat styrs av fuktförhållandena. Luktande ämnesomsättningsprodukter bildas inte kontinuerligt.



Bild 6.15 a) Färgförändring i innertakskiva på grund av läckagevatten, b) kalkutfällning på golvet i en rörkulvert- c) nedsmutsning på akustikmaterial i taket på grund av tilluftstrålen och d) nedsmutsning av väggytan på grund av luftflödet som ett värmeelement orsakat. Bilder: M. Pitkäranta och M. Koskivuori, Vahanen Oy.

Bland annat variationen i utomhusförhållandena samt i tryckskillnader orsakade av byggnadens ventilation, användning och vindtryck kan leda till att lukten förekommer periodvis vid vissa tider eller specifika tillfällen. Människors känslighet att känna lukter från mikrober varierar mycket. Om det till exempel finns sällskapsdjur i bostaden kan det vara svårt för en utomstående konditionsutredare att känna mögellukten på grund av den karakteristiska lukten av djuren i bostaden, medan den boende kan däremot uppfatta även svaga inslag av mögellukt. Å andra sidan kan användarna av ett utrymme vänja sig vid mögellukten och inte längre känna den.

Mikrobskador kan ibland upptäckas som avvikande halter eller artsammansättning av svamp-, bakterie- eller strålsvampsporer i inomhusluften. Vid tolkning av resultaten bör man ta hänsyn till osäkerhetsfaktorer i den använda metoden, eftersom ett avvikande resultat kan ha andra orsaker än mikrobskador. Frågor kring användning av mikrobiologisk mätning av inomhusluft och tolkning av resultaten behandlas närmare i kapitel 2.

6.3.3

Symtom hos personer som vistas i utrymmet

Forskning visar att personer som vistas i fuktskadade byggnader uppvisar något mer luftvägssymptom, luftvägsinfektioner och astma än genomsnittet. Det finns även flera andra symtom och sjukdomar vars samband med exponering för fukt- och mikrobskador i byggnader har undersökts, men där det vetenskapliga stödet ännu är otillräckligt. Dessa inkluderar allergisk alveolit, ODTS-syndrom (organic dust toxic syndrome), ögon-, hud- och andra irritationssymtom, reumatiska och andra immunologiska sjukdomar, mag- och tarmsymtom samt neurologiska symtom. Symtom som har koppling till en byggnad lindras eller försvinner i regel när vistelsen i byggnaden avbryts eller upphör.

Mer information om hälsoeffekter i anslutning till exponering för mikrober finns bl.a. i webbkursen *Duodecim Oppiportin Kosteus- ja homevauriot* (Kustannus Oy Duodecim, 2014) och publikationen *Home ja terveys.*

Kosteusvauriohomeiden, hiivojen ja sädesienten esiintyminen sekä terveyshaitat (Putus T., 2014). nformation om rekommenderade undersökningsmetoder inom den allmänna och specialiserade sjukvården samt företagshälsovården finns i Majvik II-rekommendationen (Alenius H., m.fl., 2007). Majvik-rekommendationen sammanställer den finländska expertgruppens syn på utredning av fuktskador ur ett medicinskt perspektiv.

6.4

Identifiering av mikrobtillväxt och -skada

I avsnitt 3.2.3 i denna bok anges de metoder som rekommenderas för att konstatera mögel- och övrig mikrobiell påväxt. Den art som orsakat rötskada kan identifieras genom mikroskopering av påväxten i ett sakkunnigt laboratorium. Om man misstänker hussvamp bör artbestämningen alltid bekräftas i laboratorium, eftersom sanering av hussvampskador är mer krävande än vid andra rötskador och kräver vanligtvis mer omfattande rivnings- och reparationsåtgärder.

Det kan vara svårt att skilja en mikrobskada som kräver reparationsåtgärder från förändringar som beror på byggnadens normala slitage och materialens åldrande.

I takt med att byggnaden åldras kan mikrober ansamlas särskilt i de yttre delarna av manteln som står i kontakt med uteluften, och viss eller lokal mikrobtillväxt är ganska vanlig i dessa byggnadsdelar. I äldre byggnader kan det exempelvis ofta konstatera höga mikrobhalter på utsidan av ytterväggens vindskyddsskivor och på ytterytan av vindsisoleringen. Trots detta förekommer inte inomhusluftproblem eller omedelbart behov av åtgärder relaterade till dessa brister i alla äldre byggnader. Tätheten av byggnadens mantel, tryckförhållanden och tillräcklig ventilation spelar i sådana fall ofta en avgörande roll för hur inomhusluftens kvalitet upplevs. Betydelsen av tryckförhållanden och täthet för inomhusluftens kvalitet beskrivs närmare i avsnitt 5.5.

Vanligtvis är också mikrobhalterna i grundutfyllnadsmaterial höga, men om det inte finns nämnvärda mängder organiskt material i fyllnadsmaterialet är mängden föroreningar som den producerar så liten att det inte skapar problem, såvida inte betydande mängder luft läcker från bottenbjälklaget till inomhusluften.

Konditionsutredaren bör kunna fastställa om mikrobtillväxt förekommer på en sådan plats och i sådan omfattning att användare av utrymmet kan exponeras för de föroreningar som den mikrobiella påväxten producerar, antingen via direkt luftkontakt eller genom luftläckage.

Syftet med att undersöka en skadad eller misstänkt skadad konstruktion är att bekräfta eller utesluta förekomsten av fuktskador och mikrobtillväxt samt fastställa vilket område som behöver åtgärdas och reparationssättet som ska tillämpas. Mikrobiologiska analyser bör stöda dessa mål. Vid undersökningar av fuktskadade byggnader tas mikrobiologiska prover i huvudsak från material i konstruktionerna.

Konditionsutredaren ska endast ta mikrobiologiska prover från sådana ställen där mikrobfynden är informativa och som undersökaren kan tolka.

Mätningar av mikrober i inomhusluften kan användas för att bedöma förekomsten av eventuella avvikande mikrobkällor (mikrobtillväxt i konstruktioner, spridning av mikrober från t.ex. källaren). Mikrobiologiska mätningar i inomhusluften kan dock inte på ett helt tillförlitligt sätt bekräfta eller utesluta förekomsten av en mikrobiell källa eller garantera god inomhusluftkvalitet. Däremot kan inomhusluftens mikrobiella prover ge stöd till den helhetsbild som erhållits med andra undersökningsmetoder om lokalernas skick och inomhusluftens kvalitet.

6.5

Mikrobiella föroreningars transport till inomhusluften

Mikrobiell tillväxt avger sporer, andra partiklar samt gaser till den omgivande luften. Många av dessa ämnen är eller kan vara skadliga för människan. De föreningar som produceras av mikrober kan vara flyktiga, halvflyktiga eller fasta föreningar. Föroreningarna sprids i luften som gaser och bundna till partiklar av olika storlek. I huvudsak transporteras mikrobiella föroreningar med luftströmmar, men vissa föreningar kan transporteras genom diffusion och även tränga igenom byggnadsmaterial.

Till exempel passerar de halvflyktiga föreningar som strålsvampar producerar, och som ger upphov till jordkällarlik lukt, en vanlig ångspärr av polyetenplast. En aktiv påväxt producerar vanligtvis rikligt med gasformiga föroreningar, medan torr påväxt ger ifrån sig mer partikelformade föroreningar.

Mellan utrymmen med luftförbindelse transporteras partikelformade och gasformiga mikrobiella föroreningar snabbt med luftströmmarna, med luft som är i rörelse flera meter per minut.

6.6

Faktorer som inverkar på skadligheten av en mikrobiell påväxt

Som utgångspunkt bör det inte förekomma mikrobiell påväxt i konstruktioner som är i kontakt med inomhusluften. Mikrobiell påväxt kan ändå förekomma i så liten mängd eller i en sådan byggnadsdel att den i praktiken inte har någon inverkan på inomhusluften eller på konstruktionernas utseende eller bärförmåga. Följande faktorer påverkar kvaliteten och mängden av föroreningar som frigörs från mikrobtillväxt, deras inträngning i inomhusluften samt sannolikheten för exponering:

- tillväxtens riklighet
- skadans omfattning
- skadans läge
- luftförbindelse mellan den skadade byggnadsdelen och inomhusluften
- byggnadens tryckförhållanden
- materialet som fungerar som tillväxtunderlag och till exempel mängden organiskt material i bottenbjälklag
- den mikrobiella artsammansättningen som växer på skadan

Ovan nämnda faktorers påverkan granskas i bild 6.16 och i nedanstående avsnitt. Utöver de listade faktorerna påverkar även tillräcklig luftomsättning de olägenheter som mikrobskador orsakar.

Skadans yta och den mikrobiella påväxtens riklighet

En omfattande och kraftig mikrobiell påväxt kan producera stora mängder gasformiga och/eller partikelformade föroreningar till luften. Om en sådan mikrobiell påväxt är i luftkontakt med inomhusluften orsakar den med stor sannolikhet problem med inomhusluften, eftersom inte ens en effektiv ventilation förmår späda ut föroreningsmängden i tillräcklig grad. Skador som beror på bristfällig byggnadsfysikalisk funktion i en hel byggnadsdel har ofta betydande påverkan på inomhusmiljön, eftersom mikrobiell tillväxt kan utvecklas över ett mycket stort område.

Påväxtens läge, separerande konstruktioners lufttäthet och tryckförhållanden

Effekten av mikrobiell påväxt på inomhusluften beror i hög grad på var påväxten finns. Ju närmare inomhusytorna skadan är, desto större är sannolikheten att den har luftförbindelse med vistelseutrymmena, vilket ökar risken för skadlig exponering för mikrober (bild 6.17).



Bild 6.16. Faktorer som påverkar den mikrobiella påväxtens inverkan på inomhusluften. När det gäller skadans omfattning, de konstruktioner och tryckförhållanden som skiljer påväxten från inomhusluften samt mängden mikrober, ökar sannolikheten inomhusluftpåverkan ju längre ned i pyramidens "steg" man befinner sig. Även artsammansättningen i påväxten och materialet som fungerar som växtunderlag är kända för att kunna påverka påväxtens skadlighet, men i praktiken är en tillräckligt tillförlitlig bedömning av dessa faktorer inte möjlig. I bild mikrobilajisto = mikrobernas artsammansättning, ilmavuotoja = luftläckage, mikrobikasvu = mikrobiell påväxt.

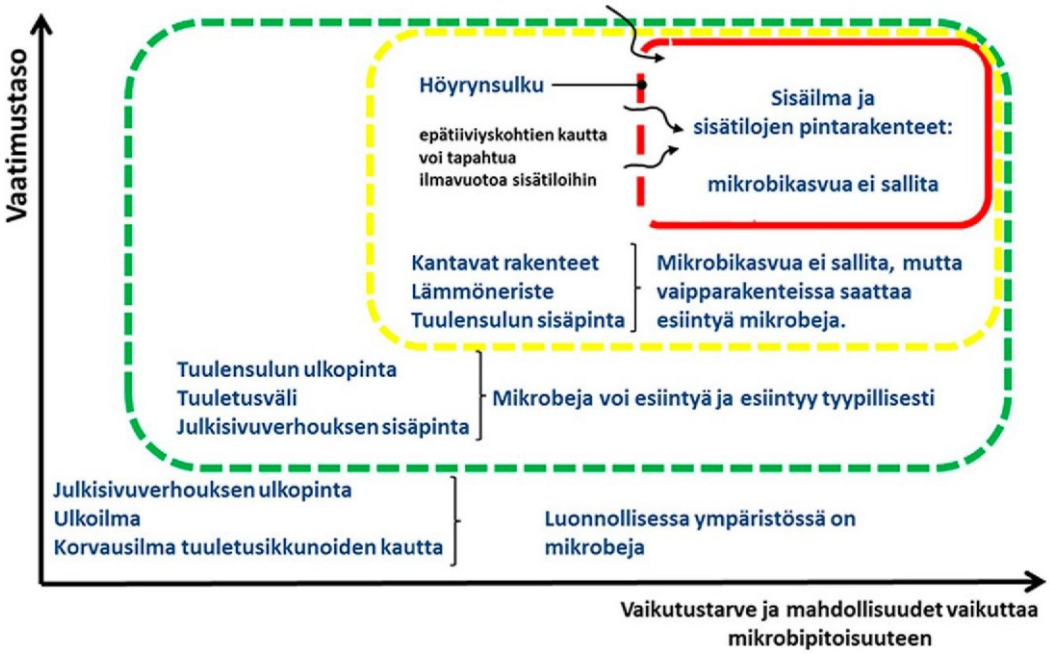


Bild 6.17. Förekomsten och betydelsen av mikrober i olika delar av byggnadens mantel. Bildkälla: redigerad från *RIL 250-2011. Kosteudenhallinta ja homeenehkäisy* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011b).

Inomhus tillåts inte mikrobiell påväxt. Små mögelprickar på fasadbeklädnaden, vindskyddet eller i de yttre delarna av värmeisoleringen utgör vanligtvis inget problem. Inte ens allvarliga skador i mantelns yttre delar leder nödvändigtvis till inomhusluftproblem, förutsatt att den invändiga luftspärren är tät och föroreningarna kan ”ventileras utåt”. Värmeisoleringen fungerar också som ett filter för partikelformade föroreningar i luften, vilket gör att de fastnar i isoleringen och inte når inomhusluften. Om konstruktionerna däremot inte är täta, kan föroreningarna transporteras från konstruktionerna in i inomhusluften med luftläckage, vilket försämrar inomhusluftens kvalitet. I sådana fall kan även skador i de yttre delarna av manteln orsaka olägenheter för inomhusluften.

Även mikrobskadans läge i utrymmet kan påverka de olägenheter den orsakar. Till exempel har skador som finns i bastur, badrum och andra våtutrymmen typiskt mindre effekter på inomhusluften än till exempel skador i sovrummets konstruktioner. Om frånluftsventilationen i våtutrymmena fungerar korrekt, späds föroreningshalterna effektivt ut och spridningen till vistelseutrymmen minskar. Dessutom vistas man vanligtvis inte långa tider i dessa utrymmen, vilket minskar exponeringen. Om mikrobiell påväxt däremot finns till exempel i en mellanvägg mot sovrummet, kan den ändå få betydande negativa effekter.

Även skadans höjdplacering kan vara en betydande faktor för mikrobexponeringen. Till exempel kan skador i ytterväggarnas nedre delar och i bottenbjälklaget oftare påverka inomhusluften än skador i takkonstruktioner. Detta beror på de tryckförhållanden som råder i byggnaden. På grund av skorstenseffekten råder i genomsnitt det kraftigaste undertrycket i rummets nedre delar, vilket gör att den mesta luften sugs in genom eventuella luftläckor där. I rummets övre delar är undertrycket svagare och luftflödet inåt mindre. Om det i utrymmet råder ett kraftigt undertryck, till exempel på grund av mekanisk frånluftsventilation, kan föroreningar även dras in från takkonstruktionerna. Till exempel kan vinden som ventileras vid takfoten tillfälligt bli kraftigt övertrycksatt i förhållande till rummet under, särskilt vid vindpåverkan, vilket kan orsaka att föroreningar tränger in i inomhusluften.

Betydelsen av konstruktionernas lufttäthet och tryckförhållandena över byggnadens mantel för föroreningarnas transport har behandlats i avsnitt 5.5. Generellt sett kan betongkonstruktioner vara så täta, eller genom åtgärder tätas, att mikrobtillväxt utanför dem inte har någon betydande inverkan på inomhusluften, eller att påverkan kan hanteras med ventilation. Konstruktionens täthet beror på mängden och tätheten av eventuella sprickor i betongen, arbets- och rörelsefogar, samt byggnadsdelarnas anslutningar och genomföringar.

Även putsade och målade tegelväggar är vanligtvis relativt täta, även om anslutningar och genomföringar samt sprickor är typiska risker för luftläckage. Lufttätheten hos renmurade tegelväggar och lätta skivkonstruktioner med ångspärr är typiskt klart sämre och mikrobiella föroreningar kan transporteras genom deras fogar och lättare komma ut i inomhusluften.

I artikeln *Altistumisen arviointi sisäilmaston laatuun vaikuttavien tekijöiden perusteella* (Pietarinen V-M., m.fl., 2015) och publikationen *Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen* (Lappalainen S., m.fl., 2016) har det definierats kriterier för bedömning av mikrobskadors omfattning, luftförbindelsen mellan skadan och inomhusluften, luftläckagevägar och tryckförhållanden i byggnaden.

Mikrobsammansättningen i skadan, material och skadans ålder

Mikrobarterna skiljer sig från varandra bland annat i sin allergiframkallande förmåga och i de skadliga ämnesomsättningsprodukter de producerar. Det är också känt att det material som mikroberna växer på i vissa fall kan påverka dessa egenskaper. Det finns dock inte tillräckligt allmän och omfattande kunskap om de hälsomässiga effekterna av olika mikrobarter eller artkombinationer, eller om materialens inverkan, för att det skulle vara möjligt att på ett tillförlitligt sätt bedöma om ett fynd är skadligt eller inte utifrån den funna arten på ett visst material. Det är viktigt att notera att ett enskilt materialprov, varifrån mikroberna identifieras, vanligtvis endast representerar ett lokalt utsnitt av skadeområdet, och att artsammansättningen i närliggande konstruktioner eller material kan vara annorlunda. Skadligheten hos den mikrobiella påväxten beror dessutom mycket även på andra faktorer som nämns i detta avsnitt samt på de exponerade personernas individuella känslighet.

Utifrån de mikrobarter som påträffats i materialprover kan man inte dra tillförlitliga slutsatser om skadans skadlighet.

Skadans ålder och fukttillstånd kan påverka dess skadlighet. En aktivt växande mikrobtillväxt på fuktigt material producerar vanligtvis sporer samt gasformiga ämnesomsättningsprodukter, som kan vara luktande eller luktfria.

En aktivt växande mikrobtillväxt i fuktiga förhållanden kan därför antas vara skadligare än en gammal uttorkad påväxt. Å andra sidan producerar mögel ofta rikligt med sporer under uttorkningsfasen, och det uttorkade mycelet fragmenteras eller sönderfaller. Då frigörs rikligt med partikulära föroreningar till luften, såsom sporer och olika stora mycelfragment. Uttorkningsfasen kan också vara förknippad med ökad produktion av mikrobtoxiner, vilket kan göra de partiklar som lossnar från påväxten mer skadliga. Även en uttorkad mikrobiell påväxt kan därmed orsaka hälsoproblem. Det finns inte tillräckligt med omfattande information om hur länge skadorna kvarstår efter att tillväxten torkat, vilket är anledningen till att även gamla, torkade mikrobiella skador bör åtgärdas enligt samma principer som färska skador. Till exempel orsakar omfattande vattenläckageskador som reparerats ytligt ofta betydande inomhusluftproblem. Efter läckaget uppstår problemen med inomhusluften vanligtvis senast inom ca 1–3 år, under vilken tid en riklig mikrobiell påväxt hinner utvecklas i de fuktiga konstruktionerna och samtidigt hinner skadan oftast torka ut och frigöra föroreningar till luften. Då är det uppenbart att enbart uttorkning av läckagevattnet och estetiska ytreparationer inte har varit tillräckliga åtgärder för att avlägsna skadans olägenheter.

I äldre byggnader kan inomhusluftproblemen börja efter reparationer som förändrar tätheten och tryckförhållandena i de gamla konstruktionerna.

Det finns lite information om hur mycket gammal mikrobiell påväxt påverkar inomhusluftens kvalitet. Erfarenhetsmässigt har man observerat att det till exempel i trämellanbjälklag i flervåningshus från 1900-talets början upptäcks mikrobiella skador ofta i det organiska fyllnadsmaterialet i bjälklaget vid grundläggande renoveringar, och till och med röta i ändarna av bärande träreglar som vilar mot de massiva tegelväggarna, särskilt vid våtutrymmen. I dessa fall har det inte nödvändigtvis upplevts några som helst problem med inomhusluften. Problem kan dock ibland uppstå efter renoveringar, speciellt om det i samband med åtgärderna har gjorts genomföringar i mellanbjälklagen eller om gamla täta golvbeläggningar har avlägsnats. Uppkomsten av problem har ibland också kopplats till att den gamla byggnadens naturliga ventilation har ersatts med mekanisk ventilation.

I dessa fall bidrar förändrade tryckförhållanden och täthet i byggnaden tydligen till att föroreningar från äldre byggnadsdelar transporteras till inomhusluften i högre grad, vilket märkbart försämrar inomhusluftens kvalitet.

Tolkningar

När slutsatser dras utifrån mikrobiologiska fynd i konstruktioner, bör skadans grad, sannolikheten för att användarna av utrymmena exponeras samt behovet av åtgärder bedömas med beaktande av de ovan nämnda faktorerna. Åtminstone bör man känna till hur stort område i konstruktionen det skadade materialprovet representerar. Exempel på fynd som i allmänhet kan anses vara av mindre betydelse är småskalig mikrobiell påväxt i smutsansamlingar bakom golvlister som fuktats av rengöringsvatten eller ansamlingar av utomhusmikrober i gamla fönsteranslutningar på grund av lokal otäthet, samt mindre mikrobiell påväxt på träytor och drevmaterial i fönsterkonstruktioner. Till exempel i inredningsskivor i kök och våtutrymmen kan det finnas lokal mikrobväxt som orsakats av upprepad vätning på grund av bl.a. otäta silikonfogar, som på grund av den ringa omfattningen sällan orsakar annat än estetisk olägenhet. Vid bedömning av skadans allvarlighet och inverkan måste man dock alltid utreda hur långt den avvikande fuktbelastningen har spridit sig i materialet, eftersom även de ovan nämnda fuktmekanismerna kan vara förknippade med omfattande skador och inomhusluftproblem.

6.7

Rapportering av mikrobiella fynd

6.7.1

Materialprover

Resultaten av mikrobanalyser som utförts på byggnadsmaterial redovisas som en del av bedömningen för varje byggnadsdel (se kapitel 4). I rapporten anges kontrollpunktens läge (lokal, byggnadsdel, punktens placering i vertikal- och horisontalled) samt från vilken del av konstruktionen provet har tagits (byggnadsskikt, material). Bäst görs positionsangivelsen med hjälp av planritning (läge för undersökt plats/öppning av konstruktioner) och ett illustrativt fotografi och bildtext (provtagningsplats i konstruktionen). För varje kontrollerad konstruktion rapporteras i vilket område och vilka materiallager mikrobtillväxt har konstaterats (med ögat synlig tillväxt, tydlig mikrobiell lukt, resultat från laboratorieanalyser).

Om mikrotillväxt har konstaterats i material som tagits från utsidan av ångspärrsskiktet eller den stenmaterialbaserade insidan av mantelkonstruktionen, rapporteras dessutom huruvida det finns luftförbindelse från skadepunkten till inomhusluften samt tryckförhållanden över konstruktionen. Bedömningen av luftförbindelse görs utifrån visuella observationer från den öppnade konstruktionen och/eller med hjälp av spårgasmätning, tryckskillnaden helst genom en kontinuerlig mätning under flera dygn (se kapitel 3). Vid granskning av byggnadsdelen anges alltid konstruktionstyp/typer och tjocklek samt andra observationer och undersökningsresultat relaterade till konstruktionen, t.ex. eventuella fuktmätningsresultat. De olika resultaten presenteras så att sambanden mellan dem framgår tydligt. Slutsatser om reparationsbehov och rekommenderade reparationsmetoder baseras på samtliga ovan nämnda faktorer.

Mängden och omfattningen av mikrobiell påväxt rapporteras i texten vanligtvis grovt baserat på sensorisk bedömning och/eller laboratorieanalys (jfr bild 6.16). Det är viktigt att notera att ett laboratoriesvar, till exempel mängden livsdugliga mikrober i ett materialprov, vanligtvis inte ensamt ger tillräcklig information om skadans allvarlighetsgrad, utan resultatet bör bedömas som en del av helheten.

Utgående från mikrobanalyserna av materialprover görs i regel en enkel bedömning av om konstruktionen är mikrobskadad. För detta ändamål behöver de specifika mikrobarterna i allmänhet inte specificeras i rapporttexten. Om mikrobhalten i materialprovet är relativt lågt och slutsatsen om förekomsten av påväxt baseras även på artsammansättningen, anges detta i rapporten. I undantagsfall kan artsammansättningen ge en riktgivande uppfattning även om skadans ålder, skadlighet eller rådande fuktförhållanden. Utredningar av denna typ bör planeras, genomföras och rapporteras i samarbete med en expert på mikrobiologi.

6.7.2

Inomhusluftprover

Resultaten av mikrobanalyser som gjorts av inomhusluften tolkas enligt det som anges i punkt 3.7.3. I rapporten redovisas en tolkning av om resultatet är normalt eller avvikande med avseende på mikrobinnehåll och artsammansättning. Dessutom rapporteras alltid provtagningsplats och -tidpunkt, rådande inomhus- och utomhusförhållanden (temperatur, luftfuktighet, snötäcke på marken), eventuella felkällor och osäkerhetsfaktorer i tolkningen.

Det är också alltid rekommenderat att mäta och rapportera tryckförhållanden över byggnadens yttermantel. I rapporten bör det anges att resultatet av inomhusluftmätningen är riktgivande. Om resultatet är normalt, anges att mätresultatet inte på ett tillförlitligt sätt utesluter förekomsten av mikrobskador eller garanterar god inomhusluftkvalitet.

Det ursprungliga laboratoriesvaret på mikrobanalyserna, där det närmare resultatet bl.a gällande artsammansättning kan ses vid behov, bör alltid i sin helhet bifogas till rapporten.

Mer information om byggnadsmikrobiologi finns bland annat i följande litteraturkällor:

- Sisäilmayhdistys ry:s rapporter (bl.a. Sisäilmastoseminaari-böckerna)
- Arbetshälsoinstitutets, Institutet för hälsa och välfärds, VTT:s, olika universitets och tekniska universitets och andra forskningsinstituts avhandlingar och forskningspublikationer
- *RIL 250-2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011b).

Dessutom finns information bland annat på följande forskningsinstituts och civilsamhällesorganisationers webbplatser:

- www.thl.fi
- www.ttl.fi
- www.asumisterveysliitto.fi
- www.hengitysliitto.fi
- www.sisailmayhdistys.fi
- www.hometalkoot.fi
- www.tilatjaterveys.fi

Internationella läroböcker om byggnadsmikrobiologi är bl.a.:

- *Recognition, Evaluation, and Control of Indoor Mold* (Prezant B., m.fl., 2008)
- *Microorganisms in Home and Indoor Work Environments. Diversity, Health Impacts, Investigation and Control* (Flannigan B., m.fl., 2011)
- *Fundamentals of mold growth in indoor environments and strategies for healthy living* (Adan O. och Samson R., 2011)

När det gäller internationell litteratur bör man observera att den information om mikrober i inomhusmiljö som erhållits genom undersökningar i andra klimatområden inte i alla avseenden är direkt tillämplig på finländska byggnader och förhållanden.

7 Konstruktioners värme- och fuktteknikska funktion och bedömning av skaderisk

I detta kapitel behandlas konstruktioners värme- och fuktteknikska funktion samt bedömning av skaderisk. Ventilations- och värmesystem har inte särskilt behandlats, eftersom deras funktion och skador behandlas i publikationen *Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien ja -laitteiden kuntotutkimusmenettely* (Suomen LVI-liitto SuLVI rf, 2016) samt *LVV-kuntotutkimusopas* (Suomen LVI-liitto SuLVI rf, 2013).

En fukt- och mikrobskada som konstateras i en byggnad eller i konstruktioner är ett tecken på att fukthalten i skadeområdet vid tidpunkten för undersökningen, eller tidigare, har varit gynnsam för mikrobtillväxt. Att utreda orsaken till fuktbelastningen är en väsentlig del av bedömningen av skadans uppkomst. Konditionsgranskaren ska dessutom kunna bedöma om konstruktionens fuktnivå vid undersökningstillfället är normal eller förhöjd (avsnitt 7.1).

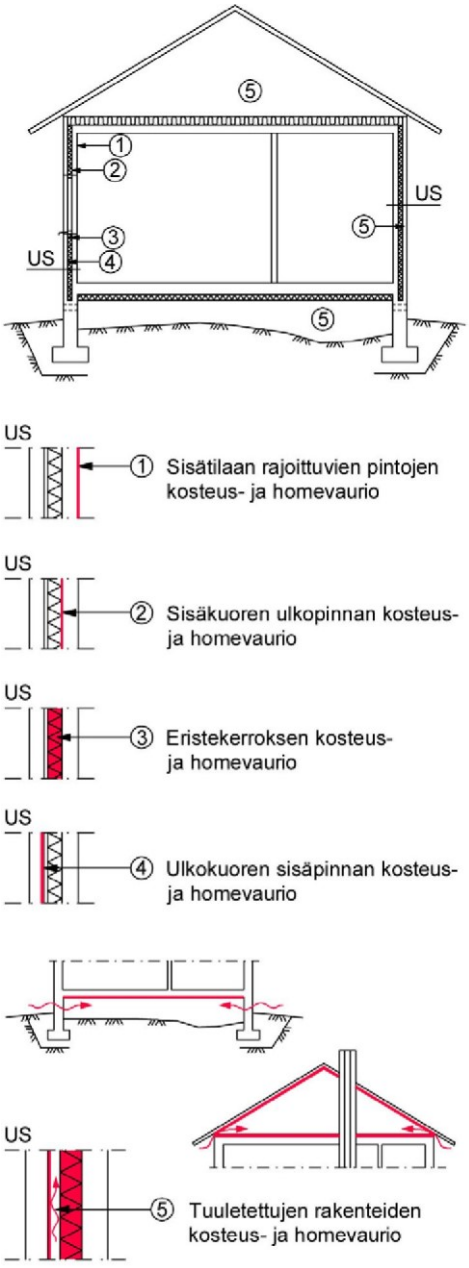
Byggnadens byggnadsfysikaliska funktion är bristfällig om det förekommer fuktskador eller skadlig mikrobväxt. Funktionella fel i konstruktionerna kan bero på brister i planeringen, på att konstruktionerna utförts på ett sätt som avviker från planerna eller på byggnadens åldrande, vilket har försämrat konstruktionernas fuktteknikska funktion. Det kan även finnas fel eller brister i byggnadens användning, skötsel och underhåll. Byggnadens eller utrymmets användningsändamål kan ha ändrats utan att de belastningar som det nya användningssättet medför för konstruktionerna har beaktats. De olika faktorernas betydelse utreds alltid från fall till fall.

Risken för skador på byggnader och konstruktioner bedöms från fall till fall utifrån byggplatsens förhållanden, erfarenheter av konstruktionslösningarnas långsiktiga hållbarhet samt byggnadens och byggnadsmaterialens ålder. Risken för skador hos konstruktionslösningar och skademekanismer kan dessutom bedömas med byggnadsfysikaliska beräkningar för hand, numeriska analyser och genom att granska praktiska exempel på fuktskador utifrån byggnadsfysikaliska utgångspunkter. Med datorbaserade beräkningsprogram kan man modellera konstruktioners byggnadsfysikaliska funktion och analysera risken för skador i ett långtidsperspektiv.

Vid praktiska fukt- och mögelskadeundersökningar baseras bedömningen av skaderisker (avsnitt 7.2) vanligtvis på undersökningar och deras analyser snarare än på omfattande beräkningar. Bedömningen av konstruktioners skador grundar sig på kännedom om de klimatfaktorer som påverkar konstruktionerna, de belastningar som byggnadens användning medför och konstruktionernas fuktteknikska funktion. I konstruktioners fuktteknikska funktion är växelverkan mellan fukttransportfenomen (kapitel 5) och materialens värme- och fuktteknikska egenskaper av central betydelse.

I byggnader var konditionsundersökningar genomförs har man ofta använt konstruktionslösningar som avviker från dagens anvisningar. Detta betyder inte att konstruktionen nödvändigtvis är skadad, eftersom en del av konstruktionerna kan fungera under lämpliga förhållanden. Konditionsgranskaren bör bedöma funktionaliteten hos konstruktioner som avviker sig från dagens anvisningar från fall till fall.

Fukt- och mögelskador som orsakas av fukttransportfenomen kan uppstå på innerytorna i byggnadens mantel, på yttersidan av det inre skalet, på isoleringsskiktet och på innerytorna av det yttre skalet samt på ytor som gränsar mot luftspalten i ventilerade konstruktionsdelar. I bild 7.1 visas lägen för skador samt de vanligaste orsakerna till dessa.



1 Ytor som gränsar till inomhusutrymmen är förknippade med mögelrisk om innerytans temperatur är kritiskt låg i förhållande till fuktigheten.
Yttemperaturen kan vara låg
- vid köldbryggor
- på grund av lokala brister i värmeisoleringen i ytterhörn

En hög fukthalt i inomhusluften ökar risken för mögel på inomhusytor. Ett rörläckage i rummet eller inne i konstruktionen kan även orsaka skador på inomhusytorna. Stänk av vatten som används inomhus kan medföra skador på inomhusytor.

2 Den yttre ytan av det inre skalet kan skadas om en avkylande luftström längs med inomhusytan utifrån och in, en köldbrygga eller bristfällig värmeisolering medför att temperaturen på det inre skalets utsida sjunker till kritiskt lågt. Då är diffusionen av inomhusfukt tillräcklig för att åstadkomma en skada mellan den inre skivan och ångspärren. Ett rörläckage inne i konstruktionen eller vatten som tränger in i konstruktionen kan också skada utsidan av det inre skalet.

På utsidan av det inre skalet, på ångspärrens yttre yta kan det genom diffusion från uteluften kondensera vattenånga under värmeböljor, om inomhusluften kyls ner för kraftigt.

3 Isoleringsskiktet kan skadas till följd av rörläckage i konstruktionen, inträngande vatten eller alltför stor fuktkonvektion och diffusion från inomhusluften. Fuktkonvektion och diffusion orsakar skador i isoleringsskiktets yttersta delar.

4 Det yttre skalets inre yta kan skadas som följd av vatten som trängt in i konstruktionen eller alltför stor fuktkonvektion och diffusion från inomhusluften. Ett rörläckage inne i konstruktionen kan även skada det yttre skalets inneryta.

5 En ventilerad konstruktion skadas om fuktproduktionen i luftspalten är för hög i förhållande till luftspaltens ventilationsförmåga. En skada på ytterväggen kan orsakas av vatten som tränger in i konstruktionen och inte leds ut ur konstruktionen tillräckligt effektivt. En skada i krypgrunden kan orsakas av markens för höga fuktighet, ventilationens skuggområden och utrymmets värmetekniska tröghet. En skada i en ventilerad takkonstruktion kan orsakas av att det råder övertryck inomhus i förhållande till det ventilerade utrymmet, den kraftigt avkylande effekten av motstrålning nattetid, den ventilerade konstruktionens värmetekniska tröghet och svårlokaliserade läckor i yttertaket.

Bild 7.1. Möjliga lägen för fukt- och mögelskada i konstruktionerna. Punkterna 1–4 kan finnas i vägg, golv- och takkonstruktioner.

7.1

Fuktnivåer i konstruktioner

Vid bedömning av byggnadsdelarnas värme- och fukttekniska funktion eller skaderisk utifrån observationer och fuktmätningar i konstruktionerna, beaktas byggnadstidpunkt, utförda renoveringar, använda byggnadsmaterial samt tillgänglig kunskap om motsvarande konstruktioners värme- och fukttekniska beteende.

Vid bedömning av funktionaliteten fästs uppmärksamhet på huruvida konstruktionens temperatur och fukthalt avviker från det normala och om detta har orsakat skada för konstruktionens funktion. Konditionsgranskaren bedömer till exempel fuktbelastningen på ytstrukturerna och eventuella skador som uppkommit på grund av detta eller risken för framtida skador.

Konstruktionernas fuktnivå utgörs av de enskilda materialens fukthalter. Materialen fungerar dock som en konstruktion vars fuktinnehåll bestäms enligt bild 7.2 av fukt som går in i konstruktionen och fukt som lämnar konstruktionen.

Den normala fuktnivån är alltid specifik för varje konstruktion och material. Generellt sett kan man säga att materialens normala fukthalt ligger inom det hygroskopiska området (se avsnitt 5.2.1), men i vissa fall anses redan en relativ fuktighet över 75 % överskrida den normala nivån (bild 7.3). Samtidigt bör man beakta att konstruktioner ofta tillfälligt utsätts för höga fuktförhållanden, vilket inte nödvändigtvis innebär att konstruktionen skadas. Exempelvis omfattar den normala fuktnivån för fasadtegel hela intervallet av relativ fuktighet 0–100 % (bild 7.4).

Om konstruktionen består av material med olika fukttålighet, bör en acceptabel fuktnivå definieras så att konstruktionens mest känsliga material inte skadas vid denna fuktnivå. Riktgivande konstruktionsspecifika referensvärden för normala fuktnivåer presenteras i avsnitt 7.2.

Vid bedömning av fukthalten bör man beakta att konstruktionens fuktnivå i början av dess livscykel, samt eventuellt vid vissa tillfällen under livscykeln, kan vara betydligt högre än den normala nivån (bild 7.5). Detta beror på byggfukt samt enskilda avvikande fuktbelastningar, såsom vattenläckor. Konstruktionens uttorkningshastighet beror på dess placering i byggnaden (bild 7.6). Till exempel påverkas uttorkningshastigheten för ett mellanbjälklag av betong bland annat av betongkvaliteten som använts, luftfuktigheten, betongplattans tjocklek samt golvets ytmaterial, och uttorkningstiden för konstruktionen kan därmed variera från månader till år.

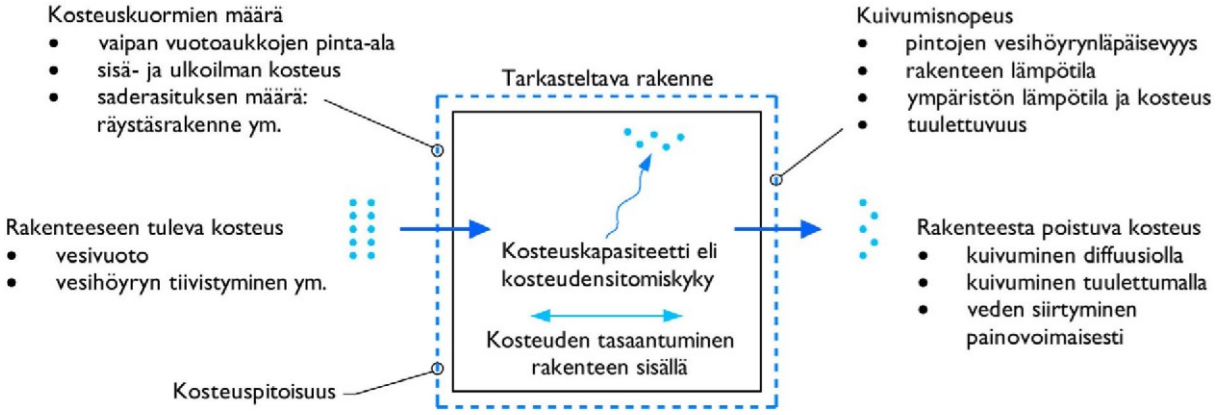


Bild 7.2. Hur fukthalten i en konstruktion bildas. I bild kosteuskapasiteetti eli kosteudensitomiskyky = fuktkapacitet eller fuktbindningsförmåga, kosteuden tasaantuminen rakenteen sisällä = fuktutjämning inne i konstruktionen, kosteuskuormien määrä = mängden fuktbelastningar, vaipan vuotoaukkojen pinta-ala = arean för läckor i manteln, saderasituksen määrä: räystäsrakenne ym. = mängden regnpåfrestning: takfotskonstruktion m.m., kuivumisnopeus = torkningshastighet, pintojen vesihöyrynläpäisevyys = ytornas ånggenomsläpplighet, tuulettuvuus = ventilation, kuivuminen diffuusiolla = uttorkning genom diffusion, kuivuminen tuulettumalla = uttorkning genom ventilering, veden siirtyminen painovoimaisesti = vattnets transport genom gravitation.

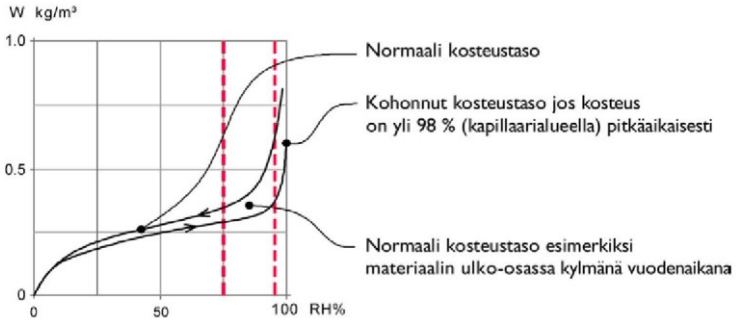


Bild 7.3. Bedömning av fuktnivån för mineralull med hjälp av jämviktsfuktkurvan.

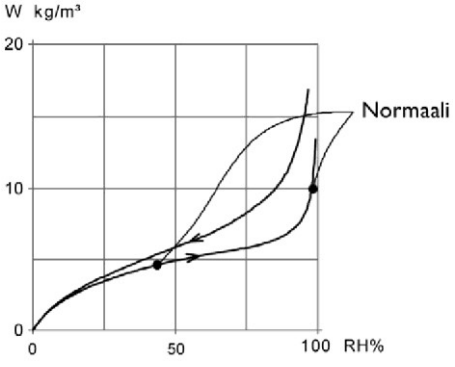


Bild 7.4. Bedömning av fuktnivån för fasadtegel med hjälp av jämviktsfuktkurvan.

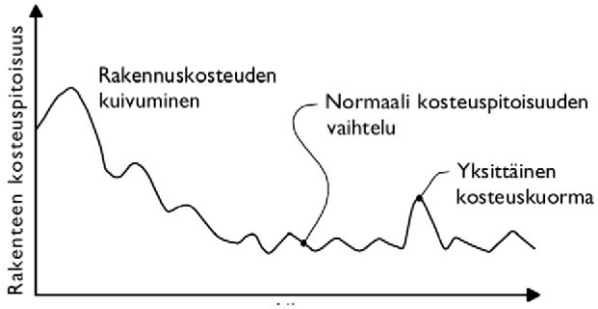


Bild 7.5. Fukthaltens variation under konstruktionens livscykel. I bild yksittäinen kosteuskuorma = enstaka fuktbelastning.

Fuktskador på byggnadsmaterial kan uppstå även vid kortvarig fuktbelastning, som till exempel skador på parkettgolv. Mögel- och rötskador utvecklas däremot vid långvarig fuktbelastning. Byggfukt måste få torka ut tillräckligt innan ytskikt och beläggningar appliceras. Vid tak- och rörläckage samt liknande fall behöver konstruktionerna oftast torkas mekaniskt, så att överflödig fukt kan avlägsnas ur konstruktionen innan fukt- och mögelskador hinner uppstå. Vid läckage måste fuktskadat material vid behov bytas ut. Behovet av torkning och utbyte av konstruktioner bedöms från fall till fall med hänsyn till bland annat fuktbelastningens omfattning, materialens fukttålighet samt konstruktionens naturliga torkningsförmåga. Hur snabbt olika material möglar och om faktorer som påverkar detta behandlas närmare i kapitel 6.

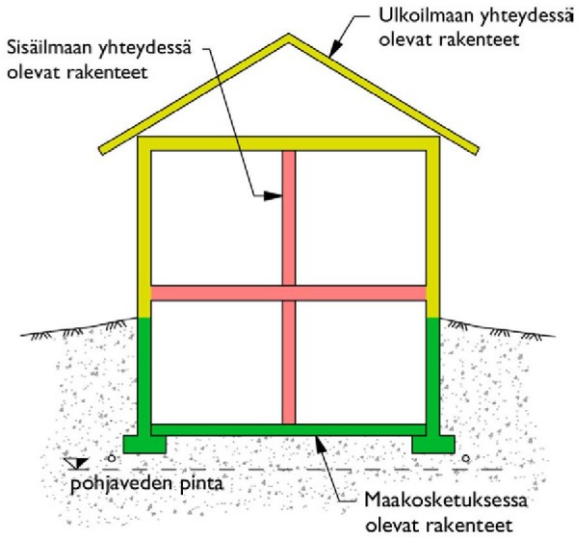


Bild 7.6 Indelning av konstruktioner i tre grupper baserat på den fuktbelastning de utsätts för. I bild sisäilmaan yhteydessä olevat rakenteet = konstruktioner i kontakt med inomhusluft, pohjaveden pinta = grundvattennivån, ulkoilmaan yhteydessä olevat rakenteet = konstruktioner i kontakt med utomhusluft, maakosketuksessa olevat rakenteet = konstruktioner i kontakt med mark.

Konstruktioner strävar efter fuktjämvikt med sin omgivning. Byggnadsdelens läge i byggnaden påverkar de omgivande fuktförhållandena och därmed byggnadsdelens normala fuktnivå. Vid bedömning av om den fuktnivå som mätts upp i konstruktionen är vanlig eller avvikande för konstruktionen bör konstruktionens läge i byggnaden beaktas. Konstruktioner kan med den fuktbelastning de utsätts för delas in i konstruktioner som är i kontakt med inomhusluft, uteluft respektive mark (bild 7.6). I fuktttekniska konditionsundersökningar måste man känna till dessa väsentliga skillnader i fuktbelastningens storlek, men man måste också känna till att analys av konstruktioners funktion förutsätter en noggrannare klassificering av konstruktioner än så (bild 7.7).

Mellanbjälklag och mellanväggar som är i kontakt med inomhusluften strävar på lång sikt att utjämna sig till inomhusluftförhållandena, så deras vanliga fukthalt är på nivån för inomhusluftens absoluta och relativa fuktighet. I mellanbjälklag och mellanväggar förekommer i allmänhet inga stora temperaturförändringar.

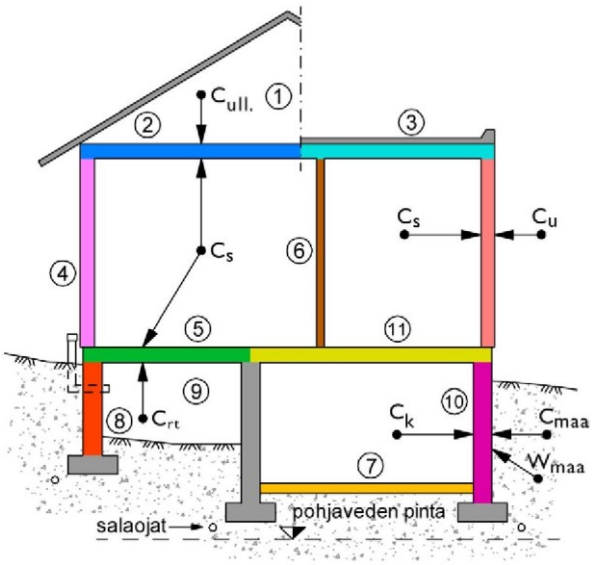


Bild 7.7. De normala fuktnivåerna i konstruktioner är specifika för varje konstruktion. Konstruktionens normala fuktnivå bestäms enligt fuktförhållanden (C och w) i omgivningen. C_{ull}= vindsutrymmets absoluta fuktinnehåll (g/m^3), C_s = inomhusluftens absoluta fuktinnehåll, C_u= utomhusluftens absoluta fuktinnehåll, C_{rt}= krypgrundens absoluta fuktinnehåll, C_k= källarens absoluta fuktinnehåll, C_{maa}= den absoluta fukthalten i markens porluft och w_{maa}= markmaterialets fukthalt (kg/m^3). Numreringen av konstruktionerna: 1: ventilerat vindsutrymme, 2: vindens konstruktioner, 3: sluten takkonstruktion, 4: yttervägg, 5: bottenbjälklag med krypgrund, 6: mellanvägg, 7: betongplatta mot mark, 8: grundkonstruktion, 9: krypgrund, 10: vägg mot mark, 11: mellanbjälklag.

I konstruktioner som står i kontakt med marken har markens fuktförhållanden en central betydelse, och markfukten är i regel jämn under årets lopp. Beroende på byggplatsen, bortledning av ytvatten, dränering och andra faktorer kan den relativa fuktigheten i markens porluft variera avsevärt, men i planeringen antas den vara 100 % (tabell 7.1). I marken förekommer det klart färre uttorkande luftströmmar jämfört med konstruktioner som är i kontakt med luft.

De svåraste konstruktionerna att analysera är de som står i kontakt med utomhusluften. I dessa konstruktioner är inomhusluftens fuktrandvillkor i allmänhet jämnt och variationen är liten, speciellt under kort tid. Utomhusluften försvårar bedömningen av dessa konstruktioners funktion och fuktnivå. Utomhusförhållandena varierar med årstiderna, regn- och snöfall medför fuktbelastning, konstruktionerna kyls ned nattetid och solinstrålning värmer upp dem.

Konstruktionerna kan delas in enligt sina fuktrandvillkor mer detaljerat än i de ovan nämnda tre grupperna, såsom har gjorts i bild 7.7. Då skiljer sig till exempel en betongplatta på mark från en bottenbjälklagskonstruktion med krypgrund vad gäller fuktbelastning (konstruktionerna 5 och 7 i bild 7.7). Vid en konditionsundersökning kan man till exempel först granska konstruktionen enligt bild 7.6 och därefter fördjupa analysen enligt bild 7.7.

Vid bedömning av konstruktioners fuktnivå beskriver den relativa luftfuktigheten i konstruktionen sannolikheten för mögelskador. Även om den absoluta fuktigheten bättre beskriver den fuktbelastning som påverkar konstruktionen (bild 7.7), kan den inte användas för att bedöma risken för mögeltillväxt. I tabell 7.1 presenteras riktgivande sannolikheter för uppkomsten av mögelskador i olika byggnadsdelar beroende på den relativa fuktigheten.

Tabell 7.1. Riktgivande värden för betydelsen av materialets fukthalt, temperatur och exponeringstid på risken för mögeltillväxt i konstruktionen.

Byggnadsdel	Mögelrisk[1]		
	RH 70–80 %[2]	RH 80–90 %	RH > 90 % och det kapillära området
Inre delar av byggnadens yttre mantel, mellanväggar och mellanbjälklag	Liten, om fuktbelastningen på årsbasis förekommer under korta perioder	Liten, om fuktbelastningen förekommer under korta perioder [3]	Konstruktionen måste som regel repareras såvida inte fuktbelastningen uppträder under endast korta perioder till exempel på de inre ytorna av våtutrymmen [4] [5]
Yttre delar av byggnadens yttermantel	Liten, om fuktbelastningen förekommer årligen under korta perioder eller under längre tid under årets kallaste period	Liten, om fuktbelastningen förekommer under korta perioder eller under de kalla årstiderna [3]	Konstruktionen måste som regel repareras om fukthalterna förekommer under långa perioder, såvida inte byggnadens temperatur samtidigt är under 0 °C.[3]
Byggnadens grundkonstruktioner som är i kontakt med marken (stenbaserade material, cellplaster, cellglas mm).	Konstruktionens funktion/skadegrad bedöms inte enligt den relativa fuktigheten. I stället bör bedömas om fukten är till skada för de material som är i kontakt med den aktuella konstruktionen, om fukt transporteras från den aktuella konstruktionen inåt samt om det sker luftläckage via den markburna konstruktionen till inomhusutrymmen.		
Byggnadens kapillärbrytande skikt, grundfyllning och undergrund.	I konstruktionsdelen förekommer vanligtvis mögel- och mikrobtillväxt, så bedömning av risken för mögeltillväxt är inte ändamålsenligt.		

[1] I vissa fall kan det vara nödvändigt att, utöver att bedöma fuktnivån i konstruktionen, även vid bedömningspunkten utvärdera mängden organiskt material som kan fungera som näring åt mikrober.

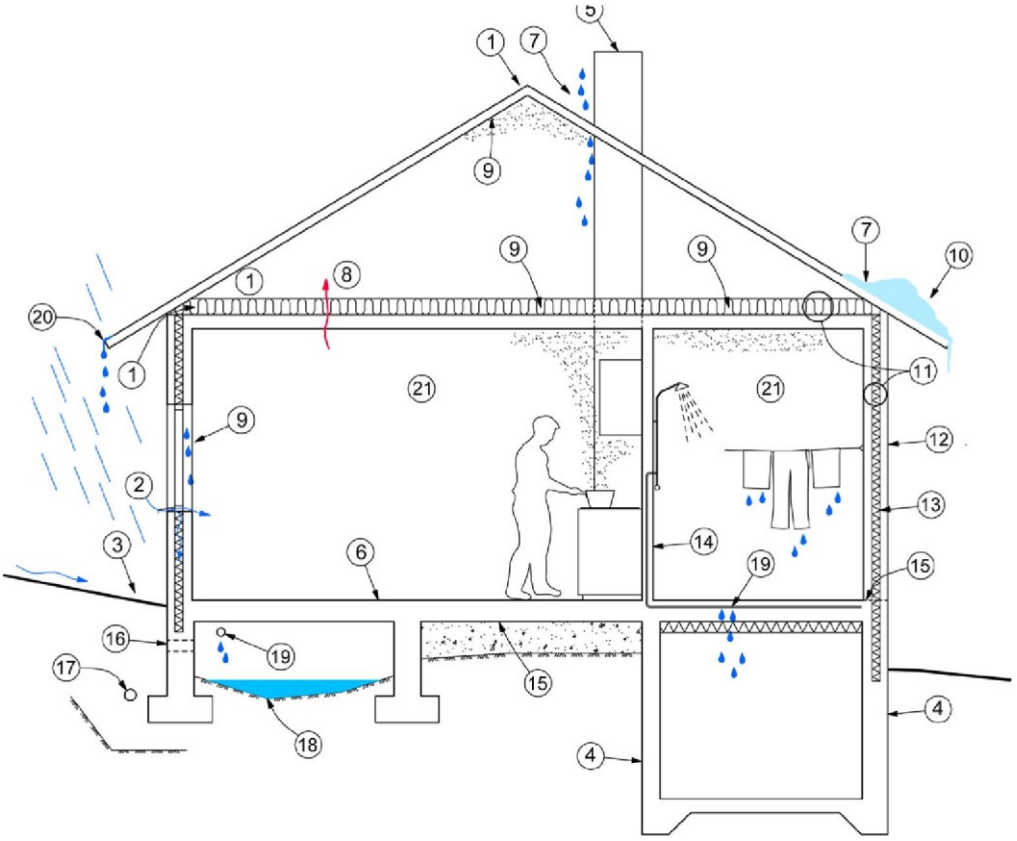
[2] Vid materialfukthalten RH ≤ 75 % föreligger mögelrisk endast för mycket känsliga material, förutsatt att temperaturen överstiger över 20 °C och att fuktbelastningen är jämn under flera månader. Jämför kapitel 6, bild 6.5 och tabell 6.5.

[3] Förutsätter att helhetssituationen beaktas, vilket vanligtvis baseras på erfarenhetsbaserad kunskap om konstruktionens funktion.

[4] I vissa fall av vattenläckor kan reparationsåtgärder undvikas, om konstruktionen torkas tillräckligt snabbt.

[5] Med undantag för specialfall där fukthalten kan överstiga 90 % eller befinna sig inom det kapillära området under längre perioder. Sådana fall är till exempel konstruktioner ovanför vattenisoleringen i våtutrymmen, såsom fästmassa för kakel, fogmassa och keramiska plattor, betongytplattor på vattenisolering med bitumen i våtutrymmen samt våtrumsbetongväggar mellan lägenheter där det finns ett duschutrymme på väggens båda sidor.

[6] I marken antas den relativa fuktigheten i porluften vara 100 % som utgångspunkt för projektering, men fukten kan tidvis till och med ligga i det kapillära området. Bottenbjälklagskonstruktionens funktion kan inte bedömas enbart utifrån fuktnivån under konstruktionen.



1 Bristfällig ventilation i vindsbjälklag
2 Fönsterläckage
3 Felaktig markutformning
4 Bristfällig vattenisolering
5 Oskyddad skorsten/rökkanal
6 Ytbeläggning av alltför fuktig konstruktion
7 Takläckage
8 Luftläckage
9 Kondens
10 Isdammar orsakade av värmeläckage
11 Brister i ångspärr och/eller värmeisolering
12 Läckage i fasad
13 Brister i fasadens ventilation
14 Bristfällig vattenisolering i våtutrymmen
15 Avsaknad av kapillärbrytande skikt
16 Ventilationsbrister i krypgrund
17 Bristfällig dränering
18 Felaktig markutformning, brister i gruslagret
19 Rörläckage
20 Brister i ledning av regnvatten
21 Otillräcklig ventilation i förhållande till fuktproduktionen

Bild 7.8. De vanligaste bristerna i byggnaden som förorsakar fuktskador.

7.2

Konstruktioners skador

7.2.1

De vanligaste fuktskadorna i byggnader

Skaderisken för konstruktioner bedöms utifrån erfarenheter av långtidshållbarhet och tidigare skador hos konstruktionslösningar samt med byggnadsfysikaliska beräkningar. Här presenteras exempel på skador som kan användas som stöd vid bedömning av skaderisken. Skaderisken bedöms dock alltid på byggnadsfysikalisk grund, eftersom fuktbelastningar varierar från fall till fall. De vanligaste bristerna i konstruktioner som ökar risken för fukt- och mikrobskador presenteras i bild 7.8.

Som följande behandlas hur konstruktionernas åldrande påverkar skadeprocessen, skador på inomhusytor samt grunderna för olika byggnadsdelars byggnadsfysikaliska funktion och byggnadsdelars skador.

7.2.2

Byggnadsmaterialens åldrande

På basen av byggnadens ålder och reparationshistoria kan bedömas olika materials skick och potentiella problemområden som är typiska för byggnader från den aktuella byggnadsperioden.

Byggnadsmaterialen kan med tiden förlora egenskaper som är viktiga för funktionen.

Vid bedömning och undersökning av eventuella skador i konstruktioner riktas uppmärksamheten redan i utredningens inledningsskede på åldern hos de material som är viktiga ur skadesynpunkt. Prognoser för byggnadsmaterials och konstruktioners tekniska livslängd presenteras i anvisningskortet *KH 90-00403. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* (Rakennustietosäätiö RTS, 2008; ny version RT 103766). Brukstidsprognoserna ger en ungefärlig uppskattning av materialets skick och behovet av förnyelse. Behovet av att förnya konstruktioner och material upptäcks ofta först när den gamla konstruktionen eller materialet redan förorsakat skador på byggnaden. Fel i planering, byggande, användning och underhåll påskyndar åldrandet av konstruktioner och byggnadsmaterial samt förkortar deras livslängd.

Vid bedömningen av åldrandet beaktas de underhållsreparationer och renoveringar som framkommit i utredningen av byggnadens reparationshistoria, då material kan ha förnyats. Det är också bra att klarlägga underhållsintervallerna för vissa konstruktioner, såsom dräneringssystemet.

En typisk orsak till fukt-och mögelskador som uppstår till följd av materialets åldrande har tidigare ofta varit vattenläckage i låglutande tak (s.k. platta tak). Livslängden för bitumenmembran som användes på låglutande tak under 1970–1990-talen var typiskt 20–30 år. För gummibitumenmembran med polyesterväv som blev vanligare efter 1990-talet är den uppskattade livslängden 30–50 år. Regn och rinnande vatten lossar och transporterar bort det granulat- eller singellager som skyddar membranet, och UV-strålning försämrar membranets flexibilitet. Genom att använda skyddsskikt med singel elimineras UV-strålningens skadliga effekt på membranet, vilket förlänger dess livslängd. Mekaniska påfrestningar, såsom gång på taket, försvagar också membranet. Vatten som samlas i sänkorna i taket kan frysa, och isens temperaturväxlingar belastar taktäckningen. En läcka i ett låglutande tak kan under flera år skada takkonstruktionen utan att läckaget upptäcks.

I bild 7.9 visas ett gammalt plåttak på en byggnad från 1900-talets början där plåtläggningen är cirka 50 år gammal. Takbjälklagets vattentäthet kan vara bristfällig, till exempel vid plåtskarvar, inre hörn och vid takfoten.

I våtutrymmen uppstår fuktskador när plastmattor och plasttapeter som fungerar som vattenisolering åldras. Plastmaterialet blir skört och plastmattans limfogar släpper i vägguppviket, och mattans skarvar öppnas på grund av materialets krympning. Plasttapeter och plastmattor som vattenisolering är känsliga för utförandefel i skarvar, vilket har förkortat materialens livslängd.

På fasadytor är elastiska fogar vid element- och fönsteranslutningar problematiska på grund av deras relativt korta livslängd, som varierar mellan 15 och 25 år. På grund av felaktiga arbetsmetoder blir livslängden ofta ännu kortare. Fogarna är mycket viktiga för fasadens vattentäthet. Ofta underskattas dock deras betydelse vid planering av underhållsreparationer. Trots att de elastiska fogarna har åldrats och blivit obrukbara, inväntar man en mer omfattande fasadrenovering, med följden att fukt- och mögelskador uppstår i konstruktionerna.

Dräneringens livslängd är 50–60 år. Dräneringssystemet bör inspekteras regelbundet i samband med underhåll av fastigheten. Baserat på inspektionen utförs nödvändiga underhållsåtgärder, såsom spolning av rörsystemet. Det nödvändiga underhållsintervallet beror på hur dräneringen har utförts, fyllnadsjordens kvalitet och om regnvattnet leds till dräneringsnätverket.



Bild 7.9. Gammalt plåttak där brister i vattentätheten har konstaterats. Bilder: J. Sievola, Vahanen Oy.

De ovan nämnda faktorerna påverkar bland annat på mängden slam som transporteras i rörsystemet och de varierar mycket mellan olika byggnader. Även marksättning och växters rötter kan försämra dräneringens funktion. Det är vanligt att kontroll och underhåll av dränering försummas. Även om fastighetens underhåll har kontrollerat dräneringen, bör en konditionsgranskare åtminstone stickprovsvis kontrollera och bedöma dräneringens skick och funktion från några inspektionsbrunnar.

Korrosion av åldrande vattenledningar, avlopp och värmeledningsrör förorsakar otaliga fukt- och mögelskador.

7.2.3

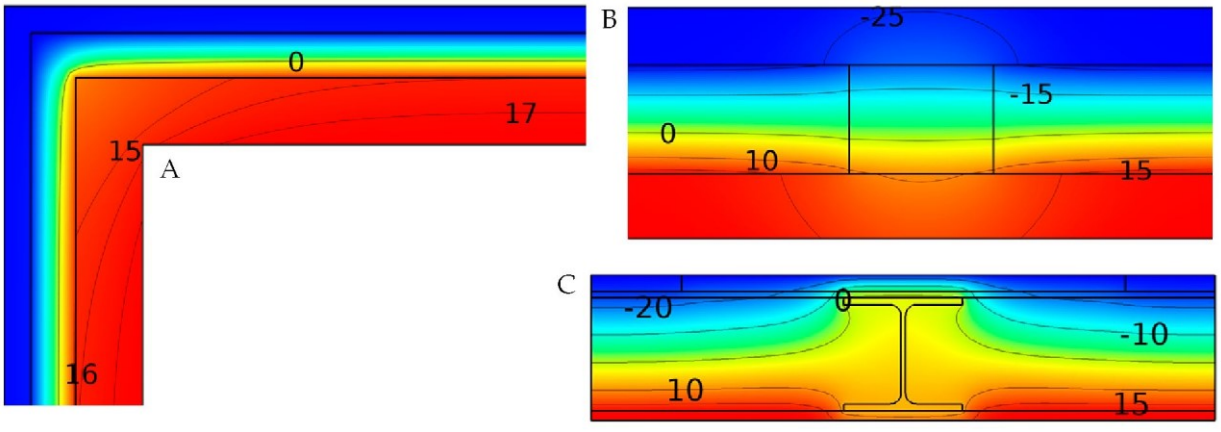
Inre ytor

Fuktbelastningen på en yta som gränsar mot inomhusutrymmet beror på inomhusluftens temperatur, relativa fuktighet och ytans temperatur. Det finns risk för uppkomst av mikrobiell skada på ytan om dess temperatur är så låg att den omgivande luftens fukthalt orsakar en relativ fuktighet på 80 % eller mer vid ytan. En mycket låg temperatur gynnar dock inte mikrobtillväxt, se kapitel 6. Den kritiska yttemperaturen för mögelbildning, baserat på inomhusluftens temperatur och relativa fuktighet, kan bestämmas med hjälp av bild 5.9 i kapitel 5, se exempel 5.1.

Inomhusluftens fukthalt kan uppskattas utifrån utomhusluftens fukthalt och fukttillskottet från inomhusmiljön, se avsnitt 5.3. Utifrån mätresultaten för inomhusluftens temperatur och relativa fuktighet beräknas dess absoluta fukthalt (g/m^3). Från inomhusluftens fukthalt dras uteluftens fukthalt, och det erhållna fukttillskottet jämförs med dimensioneringsvärden för fukttillskott (mitoitusarvot, se RIL 107-2012). Om mätresultaten avviker tydligt från dimensioneringsvärden, undersöks orsaken till fuktbelastningen.

Fukthalten i inomhusluften ska mätas som en kontinuerlig mätning under minst ett dygn för att säkerställa att varierande faktorer inte leder till felaktig tolkning av mätresultaten. Sådana varierande faktorer kan vara till exempel duschning, matlagning, rengöring av utrymmen, olika driftlägen för ventilationssystemet samt antalet människor.

Yttemperaturen kan uppskattas genom beräkning med handräkningsmetoder eller genom mätning. Utomhusförhållanden, tryckförhållanden i byggnaden och byggfel påverkar yttemperaturen, vilket försvårar analysen av mätresultaten. Även i byggnadsfysikaliskt felfria konstruktioner kan yttemperaturen vara lägre än omgivande ytor, till exempel i hörn och vid stommens strukturer. I bild 7.10 visas hur konstruktionens form, fukt i värmeisoleringen och köldbryggor påverkar yttemperaturen i några enkla exempelfall.



Bilderna 7.10 a, b och c. Temperaturfördelning i stationärt tillstånd. Utomhustemperatur -28 °C inomhustemperatur +20 °C a) Ytterhörn. Yttre skal av 80 mm betong, 160 mm mineralull och 150 mm innerskal av betong. b) motsvarande konstruktion som i punkt a men med fuktig mineralull i mitten av konstruktionen. c) Mineralullisolerad yttervägg med trästomme, där en stålprofil, som bär upp vindsbjälklaget, är installerad inuti. Bilder: J. Saarinen, Vahanen Oy.



Bild 7.11. En ofördelaktigt placerad frånluftsventil med tanke på våtutrymmets ventilation. Bild: P. Jäppinen, Vahanen Oy.



Bild 7.12. Fuktskada i golv och golvlist orsakad av ett läckande vattenrör. Bild: E. Kauriinvaha, Vahanen Oy.

För hög fukthalt i inomhusluften kan bero på bristfällig ventilation och felaktig placering av till- och frånluftsventiler i rummen. I bild 7.11 ses ett exempel på en frånluftsventil med ofördelaktig placering för våtutrymmets ventilation. Placering av frånluftsventilen omedelbart ovanför dörren i våtutrymmen främjar uppkomsten av mögelproblem. Luft som kommer in genom dörrspringan stiger direkt upp i frånluftsventilen, vilket gör att duschhörnan inte ventileras tillräckligt.

Felaktig användning av våtutrymmen kan också leda till höga fukthalter. I våtutrymmen bör ventilationen effektiveras efter användning, om ventilationen är planerad för detta ändamål.

Ventilationssystemets uppgift är att avlägsna fukt från rumsutrymmena. Ett ventilationssystem som återför en del av fukten ur frånluften kan höja luftfuktigheten i inomhusluften till en skadlig nivå, särskilt om fuktbelastningen i utrymmena är ovanligt hög. Speciellt i små bostäder, där fukten från våtutrymmens frånluft återförs i överdriven mängd till rumsutrymmena, kan det uppstå mögelväxt på ytorna. Även risken för kondens inne i konstruktionerna och de skador detta medför ökar.

I våtutrymmen orsakar den snabba ökningen av luftens temperatur och fuktighet under användning att fukt kondenseras på väggytorna som film- och droppkondens. En kraftig temperaturökning, vid till exempel bastubad, samt konstruktionernas massivitet ökar mängden vatten som kondenseras. Om ytorna i våtutrymmen inte tål kondensvatten uppstår en risk för mögeltillväxt.

Stänkvatten, läckage från synliga rör och kondensvatten på rörens yta skadar ytor som utsätts kontinuerligt eller upprepat för droppande eller stänkande vatten. Skadorna visar sig som mörkfärgning, lossnande ytmaterial och som spår av rinnande vatten. Vattnet kan skada golvbeläggningen under läckagepunkten eller tränga in genom skarvar under beläggningen, varifrån fukten inte kan torka ut.

I bild 7.12 finns ett exempel på en skada i golv och golvlist orsakat av ett läckande vattenrör. Plastmattan har lossnat och golvlistens färg flagnat.

Skador på innerytor kan bero på dold fuktbelastning inuti konstruktionen, så ytskador kan användas för att upptäcka skador längre in i konstruktionen.

7.2.4

Ytterväggar

A. Ytterväggars värme- och fuktteknisk funktion

Ytterväggar (bild 7.7 konstruktion 4) strävar å ena sidan till jämvikt med luftfuktigheten inomhus och å andra sidan med luftfuktigheten utomhus. Ytterväggar utförs vanligtvis så att väggens insida är mer ångtät än utsidan. Ofta innebär detta att man använder en separat ångspärr på inre sidan av värmeisoleringen eller inne i den. Med hjälp av ångspärren begränsas vattenångans diffusionshastighet i konstruktionen, eftersom inomhusluften vanligtvis innehåller mer vattenånga än utomhusluften. Ångspärrens betydelse för hanteringen av inomhusfukt betonas i utrymmen där vattenånghalten i inomhusluften är högre än normalt, såsom i storkök, pappersbruk och bassängutrymmen i simhallar.

Om ångspärren är bristfällig kan vattenånga kondensera i konstruktionens yttre delar. I äldre väggkonstruktioner har man inte nödvändigtvis använt en separat ångspärr, men konstruktionerna kan trots detta fungera väl.

Viktigare än ångtätheten på konstruktionens insida är dess lufttäthet. Okontrollerade luftströmmar transporterar vattenånga in i konstruktionen, där den i värsta fall kan kondenseras till vatten. Luftläckage kan dessutom transportera föroreningar från väggkonstruktionerna till inomhusluften. För att ångspärren ska vara tillräckligt lufttät krävs noggrann planering och utförande av överlappningar, anslutningar och genomföringar. Principerna för hur ångspärren ska utföras varierar beroende på konstruktionstyp. Byggnaders ventilation planeras vanligtvis så att inomhusluften är i lätt undertryck, för att fukten i inomhusluften inte ska tränga ut i mantelns konstruktioner. Undertryck inne i byggnaden förutsätter att ångspärren/luftspärren är lufttät.

Värmeisoleringen i ytterväggen minskar värmeförlusten från inomhusluften till utsidan. På grund av värmeisoleringen uppstår en temperaturdifferens över konstruktionen. Ytterväggens yttre delar är särskilt under den kalla årstiden svalare än inomhusluften, vilket medför att den relativa fuktigheten i materialens porluft i konstruktionens yttre delar stiger. Den relativa fuktigheten bör inte förbli hög under långa tider i konstruktionens yttre delar. Hög relativ fuktighet orsakar i allmänhet inga problem om konstruktionens temperatur ligger under noll.

Alla ytterväggar bör ha tillräcklig uttorkningsförmåga. Äldre väggkonstruktioner har ofta en betydligt sämre uttorkningsförmåga än moderna väggkonstruktioner. Äldre ytterväggar med regelstomme saknar ofta den ventilerade luftspalt som finns i de moderna ytterväggars yttre delar. Trots detta kan konstruktionen ändå torka tillräckligt tack vare materialens hygroskopicitet och till exempel springorna i väggens utvändiga panel.



Bild 7.13. Exempel på lång takfot som avsevärt minskar regnbelastningen på väggen. Bild: K. Viljanen, Vahanen Oy.

Dessutom leder väggarnas lägre värmeisoleringsnivå till ett större värmeflöde, vilket främjar uttorkning. Behovet av väggens uttorkningsförmåga står alltid i relation till den fuktbelastning väggen utsätts för.

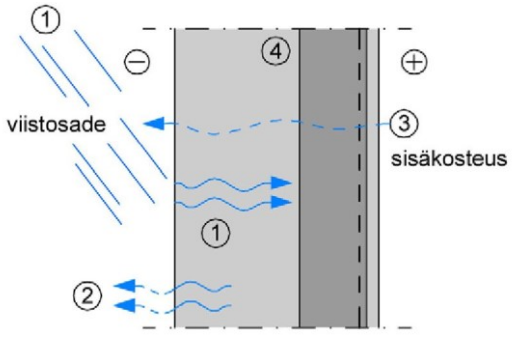
Väggkonstruktioner bör vara täliga mot slagregn. Regnvatten kan öka fukthalten i konstruktionen genom att sugas upp kapillärt i fasadytan eller genom att rinna in, eller transporteras via konvektionsströmmar, via otätheter i konstruktionen. Ytterväggar bör fungera som regnrockar, det vill säga regnvatten som träffar fasaden leds bort kontrollerat från konstruktionens yta. Byggnadens fönster- och dörranslutningar samt takfotens konstruktion (bild 7.13) påverkar hur mycket regnvatten som tränger in i ytterväggen.

Massiva, d.v.s. homogena ytterväggskonstruktioner

Massiva ytterväggskonstruktioner är till exempel massiva tegelväggar, lättklinker- och lättbetongblockväggar, betongväggar samt timrade ytterväggar. En typisk egenskap för massiva ytterväggskonstruktioner är deras stora förmåga att binda fukt. Ytterväggskonstruktionen kan innehålla mycket byggfukt, som avlägsnas långsamt. Slagregn kan tränga djupt in i väggkonstruktionen, men efter att regnet upphört avdunstar vattnet ut ur konstruktionen innan skador uppstår. Därför är höga fukthalter som uppmätts djupt inne i konstruktioner inte nödvändigtvis ett tecken på fuktskada.

Ytskiktsmaterial som används på massiva ytterväggskonstruktioner ska väljas så att fukten kan avdunsta ut genom ytskiktet. Uttorkningen av en massiv yttervägg beror mest på luftens strömningshastighet på grund av vinden och solstrålningens intensitet på den yttre ytan. Den fuktttekniska funktionsprincipen för en massiv yttervägg visas i bild 7.14.

Tilläggsisolering på insidan av massiva ytterväggskonstruktioner sänker konstruktionens temperatur och utsätter till exempel murade tegelväggar för frostskador, eftersom en kallare konstruktion torkar långsammare och uttorkningen kan till och med upphöra helt. Om den invändiga isoleringen är mycket tjock ökar detta sannolikheten för fuktskador i konstruktionen på lång sikt. En tillräckligt tunn invändig värmeisolering kan fungera om byggnadens användning genererar endast lite fukt till inomhusluften.



1 Slagregn (viistosade) sugs upp kapillärt i konstruktionen.
2 Efter att regnet upphört avdunstar vattnet som sugits upp i konstruktionen.
3 Fukt som transporteras inifrån ut genom diffusion tränger igenom konstruktionen utan att kondensera.
4 Om en massiv konstruktion består av flera lager, bör lagrens vattenångmotstånd minska utåt så att fukten kan förflytta sig ut från konstruktionen utan att orsaka skador.

Bild 7.14. Fuktteknisk funktion för massiva ytterväggar.

Möjliga orsaker till höga fukthalter i massiva ytterväggskonstruktioner är bl.a. kapillär vattenupptagning eller sprickor i konstruktionens yttre yta, byggfukt, vattenskador kopplade till ytterväggens anslutningar eller takläckage, icke fungerande invändig tilläggsisolering, interna rörläckage i konstruktionen samt markfuktbelastning som kan bero på bristfällig dränering eller vattenisolering på väggens utsida. I massiva tegelväggar kan det dessutom finnas hålrum där regn- eller läckagevatten kan tränga in och sprida sig djupare i konstruktionen.

Den normala fuktnivån på utsidan av kapillärt sugande massiva väggar varierar från torrt till det kapillära fuktområdet. I väggens inre delar ligger fuktnivån normalt inom det hygroskopiska området, under 75 % relativ fuktighet.

Tegel-ull-tegel- och tegel-ull-betongytterväggar

Särskilt på 1960-talet användes ofta en konstruktionstyp för ytterväggar där den bärande konstruktionen bestod av en murad eller betongbaserad innervägg med mineralullsisolering utanför denna och ett renmurat tegelytterskal. Konstruktionen är vanlig bland annat i skolbyggnader. Konstruktionstypen utfördes länge utan en separat luftspalt bakom yttre tegelmuren, vilket började bli vanligare först på 1980-talet. Luftspalten bakom tegelmuren har, utöver ventilationsfunktionen, även till uppgift att leda ut läckvatten från ytterskalet till utsidan av byggnaden.

Om luftspalten saknas kan vatten vid slagregn tränga in i värmeisoleringen genom den yttre murningens fogar och fönsteranslutningar. På grund av att luftspalten saknas är konstruktionens uttorkningsförmåga mycket begränsad, vilket har lett till omfattande fuktskador i värmeisoleringen, fönsterkonstruktionerna och fönsterramar. Fuktskadorna yttrar sig som mikrobtillväxt i mineralullen samt mikrob- och rötskador i fönstren och i de träkonstruktioner som utgör deras ramar.

Konstruktionstypen karakteriseras dessutom av det bärande inre skalets bristfälliga lufttäthet. Brister i lufttätheten förekommer särskilt vid fönster- och dörranslutningar. Det bärande innerskalet kan också vara en oputsad renmurad vägg, vilket gör att luftläckage även förekommer i tegelfogarna. Fuktskador inne i väggkonstruktionen, i kombination med den dåliga lufttätheten hos det inre skalet, har ofta lett till att denna konstruktionstyp orsakat problem med inomhusluften.

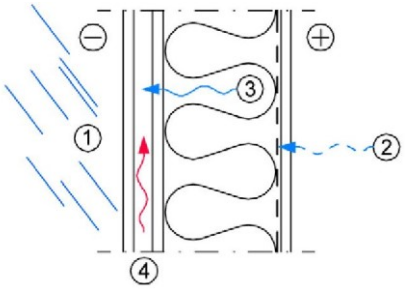
I väggar som består av flera skikt ligger konstruktionens normala fuktnivå inom det hygroskopiska fuktområdet. Ett undantag från detta är konstruktionens yttre skikt, såsom en tegelfasad, betongfasad, träpanel m.m., där ytmaterialen tål fuktnivåer inom det kapillära området. I konstruktionens yttre delar kan den relativa fuktigheten tidvis vara hög, 80–100 %. Denna fukt får dock inte tränga inåt i konstruktionen på ett skadligt sätt, utan den bör avdunsta till utomhusluften från fasaden och via luftspalten. Med tanke på konstruktionens långsiktiga hållbarhet bör även ytmaterialen hållas så torra som möjligt.

Ytterväggskonstruktioner med regelstomme

Den fukttekniska funktionen hos en ventilerad flerskiktsvägg med regelstomme visas i bild 7.15. Ett exempel på en sådan konstruktion är yttervägg med trästomme.

I en ytterväggskonstruktion med flera skikt har fasaden som uppgift att hindra att slagregn tränger in i konstruktionen. Fasaden och dess anslutningar till andra byggnadsdelar, såsom fönster och dörrar, bör vara vattentäta. Vatten som tränger in bakom fasaden vid fönster och dörrar bör ledas ut från konstruktionen. Denna egenskap bör även finnas i väggkonstruktionens andra detaljer.

Att ånggenomgångsmotståndet hos ytterväggens konstruktionsskikt minskar utåt möjliggör att konstruktionen kan torka utåt genom diffusion.



1 En tät fasad hindrar slagregn att komma in i konstruktionen.
2 Det ång- och lufttäta skiktet på värmeisoleringens varma sida hindrar skadlig transport av inomhusfukt genom diffusion och konvektion till konstruktionens kalla delar.
3 Konstruktionsskiktens ångmotstånd minskar mot väggens utsida, så att fukt i konstruktionen transporteras ut genom diffusion.
4 Fukt som hamnat i luftspalten ventileras ut och vatten leds ut ur konstruktionen.

Bild 7.15. Fuktteknisk funktion för en yttervägg med flera skikt och regelstomme.

Ett ång- och lufttätt skikt placerat på den varmare sidan av värmeisoleringen förhindrar att fukt från inomhusluften tränger in i ytterväggskonstruktionen och dess kalla delar genom diffusion och konvektion. Dessutom hindrar det ång- och lufttäta skiktet luftläckage genom konstruktionen mot inomhusutrymmena, speciellt när dessa är satta i undertryck i förhållande till utomhusluften.

För att det lufttäta skiktet på konstruktionens insida ska fungera är det avgörande att det ansluter korrekt till golv, vindsbjälklag, dörröppningar och fönster. Dessutom kan till exempel hur skarvarna i plastskikt (överlappning, tejpning) har utförts ha stor inverkan på ångspärrens lufttäthet. Vid genomföringar kan det förekomma luftläckage om genomföringstätningar inte har använts.

I den yttre delen av en ventilerad, skiktad vägg används ett vindskyddsskikt. Vindskyddet ska förhindra att utomhusluft tränger in i värmeisoleringen. Okontrollerade luftströmmar i isoleringsskiktet kan kyla ner väggkonstruktionen, vilket kan leda till att vattenånga kondenserar på ångspärren eller väggens insida. Lufttrycket som påverkar konstruktionen utifrån kan orsaka okontrollerade luftströmmar genom väggkonstruktionen från utomhusluften till inomhusluften.

Syftet med luftspalten (bild 7.15 punkt 4) är att avlägsna vatten och vattenånga som hamnat i luftspalten. Fukt som överförs från inomhusluften till konstruktionen avlägsnas som vattenånga med luften som strömmar genom luftspalten. När luftspalten fungerar som den ska, kondenseras vanligtvis inte någon betydande mängd diffusionsfukt i konstruktionen.

Luftspalten är även avsedd att avlägsna byggfukt ur ytterväggskonstruktionen. Dessutom fungerar luftspalten som ett kapillärbrytande skikt för regnvatten i ytterväggskonstruktionen och leder ut vatten och leder bort vatten som trängt in genom den yttre fasaden.

Det måste finnas en total tryckdifferens i luftspalten för att luften ska röra sig i spalten. I ytterväggens luftspalt uppstår tryckdifferensen genom temperaturskillnader och vindpåverkan. Luftspalten måste vara tillräckligt bred för att möjliggöra luftflöde. Förutom rätt bredd är det viktigt att luftspalten utgör en öppen luftväg längs hela sin sträckning och att luftspaltens övre och nedre delar har fri förbindelse med utomhusluften.

Avsaknad av luftspalt fördröjer uttorkningen av ytterväggens isoleringsskikt. Normala byggtoleranser leder ibland lokalt till otillräcklig luftspalt, och i vissa fall gör en annars tillräcklig spalt ingen nytta om den av någon anledning har blivit lokalt tilltäppt.

Syllar (bottenreglar) utsätts ofta både för markfukt och fuktbelastning orsakad av bristande vattentäthet i ytterväggskonstruktionen. Bild 7.16 visar en s.k. falsk sockelkonstruktion, där syllen är placerad under sockelytans nivå. Torkförmågan för syllen i en falsk sockelkonstruktion är dålig, eftersom det utanför syllen finns betongsockeln och eventuellt ett fuktisoleringsskikt, till exempel bitumenbestrykning. I dag rekommenderas ytterväggskonstruktioner utföras så att syllen är placerad högre än marknivån och att grundmurens utsida inte höjer sig framför syllen, vilket förbättrar konstruktionens uttorkningsförmåga.

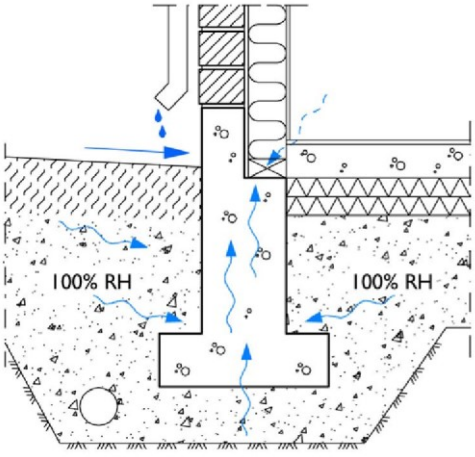


Bild 7.16. En långsamt uttorkande falsk sockelkonstruktion kan skadas både av vatten som tränger igenom tegelfasaden och av kapillärt stigande markfukt underifrån. Även kondensation av fukt från inomhusluften på den falska sockelns insida är möjlig om ångspärren är bristfällig.

En ytterväggskonstruktion med trästomme kan ha som fasadbeklädnad till exempel en tegel- eller brädbeklädnad som är ventilerad på baksidan.

I äldre byggnader kan baksidan av fasadbeklädnaden vara oventilerad.

I träregelväggars konstruktion är den inre skiktningen oftast en skivkonstruktion med en ångspärr i plast bakom. Ångspärrens lufttäthet är i allmänhet bättre om den är installerad en bit in i värmeisoleringsskiktet, jämfört med om den ligger direkt bakom innerväggsskivan. Detta minskar risken för att till exempel elinstallationer punkterar ångspärren. Ångspärren ska dock tydligt befinna sig på konstruktionens varma sida, så att förhållandet mellan isoleringens tjocklek vardera sidan om ångspärren är högst 1:3. Till exempel så att det innanför ångspärren finns 50 mm och utanför 150 mm mineralull. Om ångspärren placeras i konstruktionens svalare yttre delar, kan fukt från inomhusluften kondensera på dess insida under de kalla årstiderna.

Ett värmeisoleringsskikt utanför trästommen höjer trästommens temperatur och sänker därmed den relativa fuktigheten i dess omgivning. Ju mer isolering som finns utanför stommen, desto bättre är situationen när det gäller att förebygga mikrobtillväxt.

I den nedre delen av tegelbeklädda träregelväggar används numera vattenavledare, som leder ut vatten som trängt in bakom tegelfasaden. Vattenavledaren består oftast av bitumenmembran.

I träregelväggar kan den normala fuktnivån i konstruktionsskikten bakom fasaden och ventilationsspalten anses vara ca 75 % relativ fuktighet. För att undvika mikrobskador bör den relativa fuktigheten inte överskrida detta värde under längre perioder när temperaturen ligger över 0 °C. Dock kan den relativa fuktigheten vid vindskyddsskiktet vara även högre än detta om fukttåliga vindskyddsmaterial används.

Tegelfasadens särskilda egenskaper

Det är typiskt för en tegelfasad att den blir våt och släpper igenom vatten vid regn, vilket är normalt för konstruktionen och orsakar ingen skada så länge fukten kan avlägsnas på ett kontrollerat sätt från konstruktionen.

En konstruktion med tegelfasad fungerar korrekt då den ventileras med utomhusluften via öppna vertikalfogarna i tegelväggens nedre del, luftspalten samt väggens övre del. För tegelfasader är det vanligt att överflödigt murbruk i väggens nedre del täpper igen de vertikalfogar som är avsedda att vara öppna (bild 7.17). Igentäppta vertikalfogar förhindrar att fukten leds bort från konstruktionen enligt plan. Dessutom kan murbruk som ligger an mot värmeisoleringen överföra fukt från tegelfasaden till isoleringen. Om vertikalfogarna placeras i den näst nedersta tegelraden, minskar risken för att de täpps igen av överflödigt murbruk.

Vatten som rinner längs tegelfasadens baksida ska ledas ut ur konstruktionen på ett kontrollerat sätt. Detta kräver bland annat att murkramlor lutar nedåt. För att en träregelväggskonstruktion ska fungera väl är det särskilt viktigt att skadligt mängder fukt inte slipper in bakom fasaden (bild 7.18).



Bild 7.17. Överflödig murbruk täpper igen luftspalten i en tegelbeklädd yttervägg med regelstomme. Bild: Kosteus- ja hometalkoot, 2012.



Bild 7.18. Uppsamlad snö mot väggen har vätt den nedre delen av en tegelbeklädd yttervägg med trästomme. Bild: M. Pitkäranta, Vahanen Oy.

Elementytterväggar av betong eller metall

Ytterväggar av betongelement (sandwich-elementväggar, skalelementväggar) består av betongskal med ett mellanliggande värmeisoleringsskikt. Denna typ av väggkonstruktion blev vanlig i Finland på 1960-talet i samband med att elementbyggandet ökade. Numera används också sandwich-element med plåt-ull-plåt där värmeisoleringen kan bestå av cellplast eller mineralull.

För sandwich-elementväggens långsiktiga hållbarhet är det avgörande att elementfogningen är täta, så att regnvatten inte tränger in bakom ytterskalet. I betongelement har fogningen oftast gjorts med väderbeständig fogmassa på en bottenlist. Ofta har underhåll och reparation av dessa fogar försummats. Med tiden kan fogmassan ha släppt från underlaget eller skadats genom sprickbildning (bild 7.19). Betongelement har tillverkats både utan och med ventilation, med spårad isolering. I elementfogarna används ventilationsrör eller -kanaler.

För lätta sandwich-element av typen plåt-ull-plåt, som användes till exempel i industrihallar och ventilationsmaskinrum, baserar sig den fukttekniska funktionen på att elementens inre och yttre skikt är täta mot både vatten och vattenånga. Fogarna mellan elementen tätas till exempel med butylfogband med en foglist ovanpå. I praktiken har man observerat brister i plåtelementväggars vattentäthet, särskilt vid genomföringar och andra öppningar.

Elementens släta utsida gör att slagregnvatten vid blåsigt väder drivs uppåt längs plåten, vilket kräver korrekt utförda bleck eller motsvarande vattenavledningslösningar i konstruktionen. På sommaren kan värmeutvidgning ge upphov till stora deformationer i plåtelementen, vilket kan försämra fogarnas vattentäthet. Dessa formförändringar kan också orsaka böjningar i väggarna om elementens rörelse inte har tillåtits.

I anslutningen mellan vägg- och takelement av typen plåt–ull–plåt är det svårt att uppnå lufttäthet i takets luft-/ångspärr där den ansluter till ytterväggen, på grund av rörelser i konstruktionerna. Vid en konditionsundersökning kan denna anslutning granskas, särskilt om man misstänker att fukttransport genom konvektion har förekommit i takkonstruktionen.

Fukthalten i värmeisoleringen bör inte ligga i det kapillära området. Den relativa fuktigheten i väggen kan dock tillfälligt vara hög, till exempel precis bakom elementets yttersta yta när ytan kyls ner under natten.

Skivfasader

Fasadskivorna i en skivfasad kan vara baserade på stenmaterial, träbaserade material eller metall (bild 7.20). I fasader med skivbeklädnad måste det säkerställas att regnvatten inte tränger in bakom skivan på ett sätt som orsakar skada i den bakomliggande konstruktionen, utan i stället leds ut från konstruktionen bakom skivan. I skivornas fogar kan till exempel EPDM-gummiremsor eller butyltejp användas. För att leda bort vatten kan dessutom stål- eller plastlister användas. I putsade skivfasader är regnvattentätheten bättre än i skivfasader med öppna fogar. I skivfasader bör finnas en luftspalt bakom skivan.





Bild 7.19 I den vänstra bilden är fogarna täta och det finns vattenavledningsrör i de nedre hörnen av elementen. I den högra bilden är fogen otät. Bilder: M. Pitkäranta och K. Laine, Vahanen Oy.



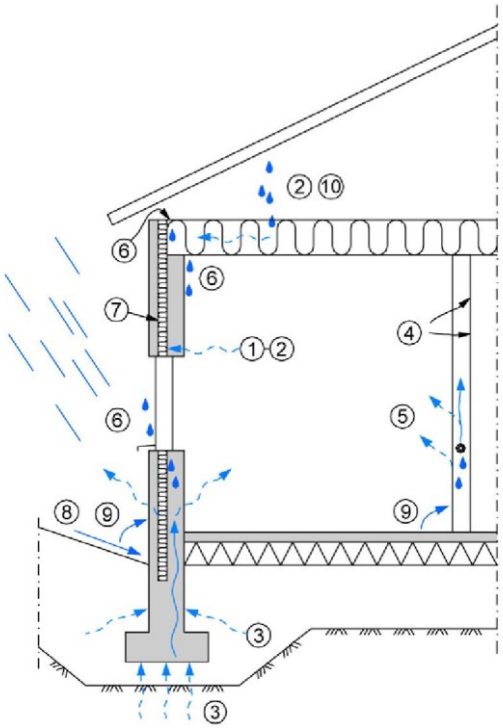


Bild 7.20. Fasader utförda med fibercement- och plåtskivor. Bilder: K. Viljanen, Vahanen Oy.

I vissa fall används två separata skivlager i skivfasader, vilket ger ytterligare skydd mot inträngning av regn i konstruktionen. Lösningar med två lager av skivor kan behövas bland annat i höga byggnader vid kusten.

B. Bedömning av skaderisken i ytterväggar

Vanliga skademekanismer för ytterväggar visas i bild 7.21.



1 Fuktdiffusion från inomhusluften till konstruktionens kalla delar.
2 Fuktkonvektion inifrån till kalla utrymmen, när byggnaden har övertryck i förhållande till kalla utrymmen.
3 Kapillär stigning av vatten från mark till väggar
4 Brister i vattenisoleringen i våtutrymmen
5 Rörläckage inne i konstruktionen
6 Regn som tränger in i eller igenom ytterväggen
7 Igensättning av luftspalt
8 Regnvatten och vatten från snösmältning rinner mot byggnaden samt bristfällig bortledning av regnvatten
9 Stänkvatten
10 Vattenläckage från tak tränger in i ytterväggskonstruktionen

Bild 7.21. Orsaker till fuktskador i väggar.

Massiva väggkonstruktioner

Vid konditionsundersökning av massiva väggkonstruktioner kan väggens fukttillstånd bedömas med en ytfuktindikator, vars resultat ligger till grund för mer noggranna fuktmätningar, till exempel med borrhålsmätning.

Ett förhöjt fuktinnehåll i massiva konstruktioner yttrar sig ofta som blåsor och lossnande av ytspackel och målarfärg från underlaget, vilket också kan användas för att rikta in mätningarna. Vid borrhålsmätningar anses relativa fuktighetsvärden på 80–100 % vid mätning från konstruktionens insida vara förhöjda.

Vid bedömning av skador i massiva väggar bör man beakta att stenbaserade och murade konstruktioner i allmänhet är mycket fukttåliga. I äldre konstruktioner har man dock använt puts och spackel som ofta innehåller organiskt material (t.ex. benmjöl). Sådana spackelmassor kan lättare skadas av alltför hög fukthalt.

Även väggar och spackelytor som inte innehåller organiskt material kan skadas av hög fuktighet. Damm som samlas på spacklets yta kan utgöra tillräcklig näring för mikrobtillväxt. Exempelvis kan en renmurad tegelvägg skadas på detta sätt. I sådana fall är det viktigt att utreda fuktbelastningen.

Vid undersökningar bör man beakta att vägar för vatten att rinna i massiva konstruktioner främst förekommer på ytorna av konstruktionen.

Tegel-ull-tegel- och tegel-ull-betongytterväggar

Vid konditionsundersökning av tegel-ull-tegel- och tegel-ull-betongytterväggar är fokus på yttre skalets fuktteknisk funktion och inre skalets lufttäthet. För den yttre skalmuren granskas tätheten sensoriskt i olika anslutningar, såsom vid fönster- och dörröppningar. Typiska läckagepunkter förekommer vid anslutningar mellan fönsterbleck och karmar samt mellan smygar och yttre skalets tegelmur. En vanligt läckagepunkt är också anslutningen mellan fönstrets vertikala smygar och tegelytterskalet.

Parallellt med granskning av ytterskalets vattentäthet utvärderas också eventuella läckagevattens skadeverkan på väggkonstruktionen. Om det finns en fungerande luftspalt i konstruktionen, som även effektivt leder bort läckagevatten, kan konstruktionen klara sig utan skador trots att ytterskalet läckor. Vid en konditionsundersökning utreds om det finns en luftspalt samt om det finns ventilationsöppningar i väggens nedre och övre del som står i kontakt från utomhusluften. Dessutom granskas om det finns kontrollerad avledning av läckagevatten inne i konstruktionen vid väggens sockelanslutning och ovanför fönster och dörrar. I undersökningen utnyttjas befintliga planeringar och vid behov görs konstruktionsöppningar.

I en del äldre tegelbeklädda konstruktioner har L-balkkonstruktioner använts ovanför fönstren. Vid vattenläckage kan vatten samlas ovanpå balken och lokalt höja konstruktionens fukthalt.

Ytterväggens värmeisolering kan även undersökas för att utreda om det finns en eventuell mikrobskada. I vissa fall kan skadorna konstateras redan sensoriskt (tydlig lukt av mögel eller jordkällare i isoleringsutrymmet), men vanligtvis krävs laboratorieanalys av prover tagna från isoleringen. Prover tas från de mest riskutsatta områdena samt i tillräcklig omfattning från övriga delar.

Risken för att mikrober och andra föroreningar inuti väggen sprids till inomhusluften bedöms genom att undersöka lufttätheten av ytterväggskonstruktionens inre skal. Lufttätheten undersöks med hjälp av spårrök eller spårgasmätning. Med rök kan man identifiera betydande läckagepunkter, bl.a. vid fönsteranslutningar. Vid spårgasmätning släpps spårgas in i ytterväggens värmeisoleringsutrymme, varpå man med spårgasdetektorn kan lokalisera även mindre läckagevägar.

Väggkonstruktioner med reglar

Vid en konditionsundersökning av regelväggskonstruktioner bör man bedöma bland annat fasadens vattentäthet och ventilationsförmåga, väggens lufttäthet på insidan samt materialens skick. Genom att öppna väggen kan man kontrollera materialens skick och fukthalt, luftspaltens funktion samt bedöma konstruktionens lufttäthet.

I träregelväggar är den största skaderisken förknippad med syllen (nedre regeln) och brister i ventilationen av ytterväggens yttre del. Syllenvirket skadas dock inte utan betydande fuktbelastning. Sådan belastning kan komma från markfukt eller regnvatten som når sockeln. Vattenånga från inomhusluften kan också transporteras till syllen genom diffusion. Syllen kan tåla en viss fuktbelastning genom att torka ut uppåt, mot inomhusluften eller utomhusluften. Genom en öppning i konstruktionen kan syllens kondition fastställas genom sensorisk bedömning och mätning av träets fuktnivå. För att bedöma syllens skick är det vanligtvis motiverat att såga loss ett provstycke.

Vid fuktmätningar i konstruktionen kan man använda stiftmätare i trä- och skivmaterial samt temperatur- och fuktgivare i värmeisoleringen. När man bedömer mätningarnas tillförlitlighet måste man beakta faktorer som kan orsaka mätfel.

Vid tillfälliga mätningar installeras en givare i värmeisoleringsskiktet, men man bör undvika att sticka in givaren rakt in i mitten eller genom värmeisoleringen. Mätningen bör göras endast på värmeisoleringens inre eller yttre yta, där det inte finns någon betydande temperaturdifferens mellan mätpunkten och mätaren. Begränsningen gäller mätningar som utförs när utomhusluftens temperatur skiljer sig tydligt från inomhusluftens temperatur. Alternativt, om man mäter igenom isoleringen, måste man ta hänsyn till den värme som leds av givaren och den möjliga mätavvikelsen detta orsakar. En tillfällig fuktmätning ger vanligtvis inte en tillräcklig bild av det snabbt föränderliga förhållandena i isoleringsutrymmet. Det rekommenderas att man gör kontinuerliga mätningar.

Vid tolkning av fuktmätningsresultat måste man även beakta att den tillfälliga fukthalten i konstruktionsskikten, som är i kontakt med utomhusluften, påverkas kraftigt av väderförhållandena och utomhusklimatet vid mättillfället. Solstrålning på en fasad- eller takyta kan på kort tid flytta fukt till exempel till utsidan av ångspärren (s.k. sommarkondens), och det höga tillfälliga fuktvärdet uppmätt i det aktuella konstruktionsskiktet kan felaktigt tolkas som ett tecken på alltför hög fukthalt i konstruktionen. Även uppvärmning av konstruktionen kan förflytta materialfukt.

Vid bedömning av fuktnivåerna i konstruktionens yttre delar bör fokus ligga på konstruktionens långsiktiga funktion och det observerade skicket, snarare än på enskilda mätresultat. Till exempel bedöms betydelsen av gamla fuktspår i konstruktionen eller lokal och tillfällig uppfuktning bedömas från fall till fall, med hänsyn till konstruktionens funktion och eventuella inverkan på inomhusluften.

Förekomsten av mikrobskador i väggar med regelstomme undersöks genom sensorisk bedömning av ytor och konstruktionsöppningar, och vid behov genom materialprover från träytor eller värmeisolering. Från hårda materialytor kan tas även ytprov genom bestrykning. Rötskador upptäcks lätt sensoriskt, och vid behov kan träets hållfasthet testas, till exempel med en kniv. Vid skador i träregelväggar måste även orsaken till skadan klarläggas och åtgärdas i samband med reparationsåtgärder (t.ex. en läckande fasaddetalj eller bristfällig ventilation).

Fuktskador i ytterväggar med regelstomme koncentreras ofta till anslutningar, såsom runt fönster. Skadan kan synas utifrån som mörkfärgning av tegelfasaden, lossnande murbruk mellan tegelstenarna eller som kalkutfällningar på fasadytan. Skadan kan också vara dold, till exempel när läckagevatten tränger in i konstruktionen.

Den vanligaste typen av skada är att värmeisoleringen blir våt på grund av långvarig fuktbelastning, vilket kan orsakas av till exempel takläckage eller bristfällig vattenisolering i våtutrymmen. Ibland kan en alltför tät eller annars olämplig ytbeläggning på fasaden försämra väggkonstruktionens torkningsförmåga. I väggens nedre del är isoleringen i den delade sockelns spalt (sockeldelningen) ofta i kontakt med marken och befinner sig i fuktig miljö som är gynnsam för mikrobtillväxt, varför mikrobtillväxt kan förekomma i sockeldelningens nedre del. I sockeldelningar har man bland annat använt mineralull, cementspånskivor och korkskivor. Sockeldelning är en vanlig konstruktion också i ytterväggar av typen tegel-ull-tegel (bild 7.22). Om anslutningen mellan vägg och golv inte är lufttät, kan föroreningar från sockeldelningen spridas till inomhusluften via luftläckage.

Det är vanligt att det tidvis uppstår gynnsamma förhållanden för mikrobtillväxt inne i ytterväggskonstruktionen, speciellt på utsidan av värmeisoleringsskiktet. Eftersom den skiktade ytterväggskonstruktionen ofta är i direkt kontakt med utomhusluften, transporteras föroreningar som gatudamm, pollen, trafikföroreningar och mikrober in i väggen med luftströmmarna.

Växtlighet på fasaden, såsom klätterväxter (bild 7.23), kan försämra väggens uttorkning utåt, täppa till ventilationsspalter och med sina rötter orsaka strukturella skador på dräneringssystemet. Av denna orsak bör mängden växtlighet på fasaden minimeras, och vid en konditionsundersökning bör man bedöma om växtligheten haft skadliga konsekvenser för konstruktionens funktion.

Ytterväggens inre skal bör vara lufttätt för att förhindra att föroreningar som normalt finns i konstruktionen tränger in i inomhusluften. Ett inre skal av betong är i sig lufttät, men i anslutningar till andra konstruktioner förekommer ofta brister i tätheten om dessa anslutningar inte särskilt har tätats. I ytterväggar som är beklädda med skivor eller är renmurade på insidan förekommer det också ofta luftläckage (bild 7.24). Luftläckornas omfattning och betydelse bör alltid bedömas från fall till fall.

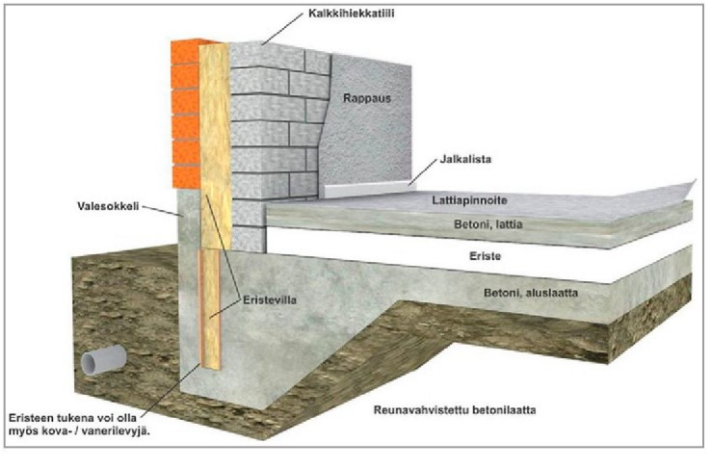


Bild 7.22. Värmeisoleringen i en sockeldelning kan befinna sig i kontinuerligt fuktig miljö, vilket kan leda till att den blir mikrobskadad. Luftläckage från konstruktionen kan orsaka inomhusluftproblem. I bild valesokkeli = falsk sockel, reunavahvistettu betonilaatta = kantförstärkt betongplatta. Bild: Kosteus- ja hometalkoot, 2012.

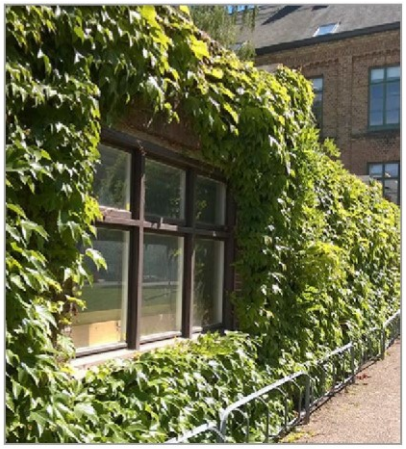


Bild 7.23. Riklig växtlighet på fasaden kan störa konstruktionens funktion. Bild: K. Viljanen, Vahanen Oy.

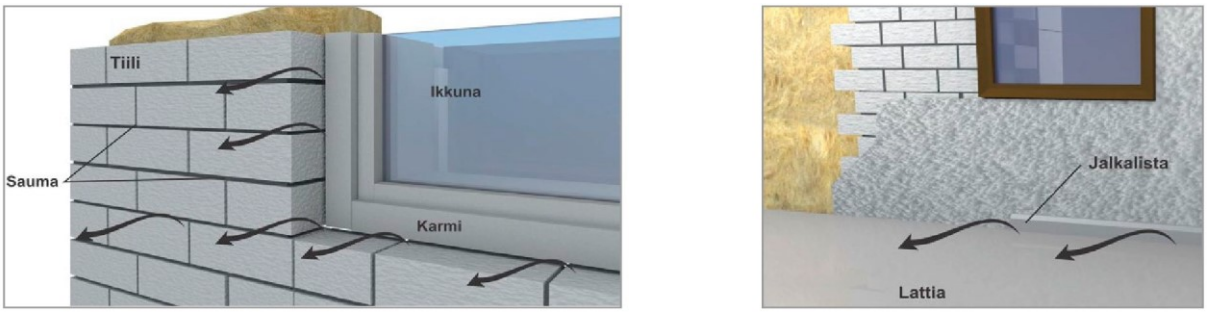


Bild 7.24. Om ytterväggens inre skal eller dess anslutningar till andra konstruktioner inte är lufttäta kan föroreningar transporteras från ytterväggens isoleringsutrymme till inomhusluften. I bilden ett innerskal som murat av kalksandtegel, där möjliga läckagepunkter finns vid anslutningar och fogar. Bild: Kosteus- ja hometalkoot, 2012.

Diffusion i väggar med regelstomme

Utgångspunkten för funktionen hos väggkonstruktioner med regelstomme är att konstruktionsskiktens ånggenomsläppligheten ökar från väggens inneryta mot luftspalten.

För mycket fukt från inomhusluften som diffunderar ut i väggens yttre delar kan orsaka omfattande skador i hela byggnadsdelen. Ångspärrens betydelse för funktionen hos en träväggskonstruktion har behandlats i exemplen i bilderna 7.25 och 7.26. Bild 7.25 visar ett exempel på temperatur- och fuktfördelning under vintertid i en konstruktion med ångspärr som fungerar korrekt ur diffusionssynpunkt. Beräkningen av fördelningen beskrivs bland annat i publikationen *Rakennusfysiikka, Perusteet ja sovelluksia* (Siikanen U., 2014).

Bild 7.25 visar en konstruktion som är acceptabel ur diffusionssynpunkt eftersom vattenångans partialtryck (p_i) inte vid någon punkt överstiger vattenångans partialtryck i mättnadstillstånd (p_k), och den relativa fuktigheten (RH) inte är skadligt hög. Vattenångans partialtryck (p_i) minskar från insidan mot utsidan, men den relativa fuktigheten (RH) ökar när temperaturen (T) sjunker. Den relativa fuktigheten 77,5 % på insidan av byggskivan som fungerar som vindskyddsskiva beror på uteluftens höga relativa fuktighet, 87 %.

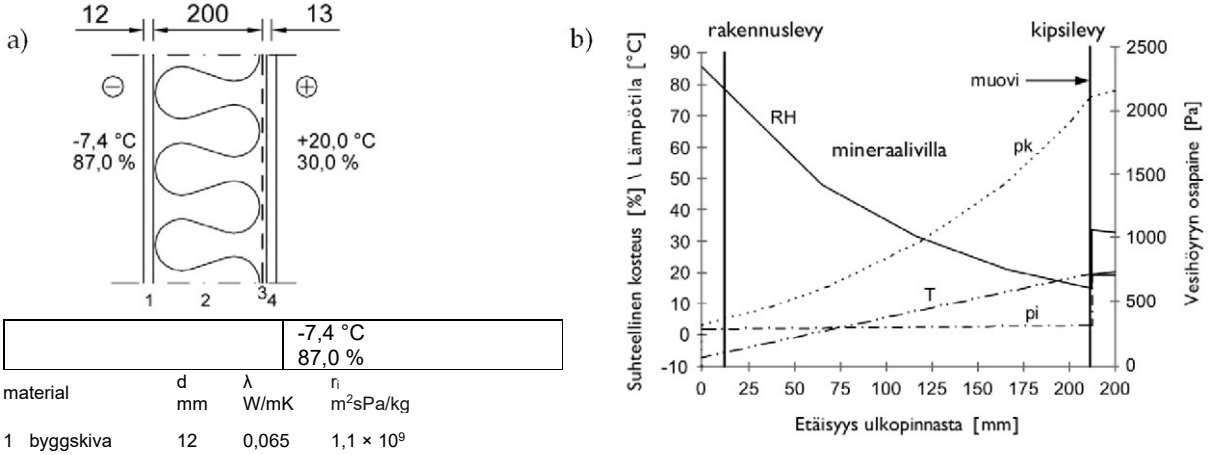
Bild 7.26 visar en motsvarande beräkning för en konstruktion som i övrigt är likadan, men där ångspärren i stället för plast är ett ånggenomsläppligt luftspärrpapper (kraftpapper).

Den relativa fuktigheten mellan mineralullen och byggskivan (vindskyddsskivan) är 100 %, eftersom luftspärrpapprets ångmotstånd är endast ungefär 1/500 av motståndet hos en 0,2 mm tjock plastfilm. Fuktighet från inomhusluften samlas på den varma sidan av vindskyddsskivan eftersom byggskivan släpper igenom mindre vattenånga än pappret och mineralullen.

Temperatur- och fuktfördelningarna i bilderna 7.25 och 7.26 motsvarar ett stationärt tillstånd där förhållandena antas vara konstanta och konstruktionen antas ha uppnått jämvikt i förhållande till sin omgivning. Om förändringarna av inom- och utomhusförhållandena över tid beaktas måste beräkningen göras med hjälp av ett byggnadsfysikaliskt beräkningsprogram. Ett exempel på en sådan modellering med beräkningsprogram finns i bilderna 7.27 och 7.28.

I bild 7.27 visas ett exempel på variationen av relativ fuktighet under ett år i en träregelvägg med ångspärr, och i bild 7.28 motsvarande för en träregelvägg utan ångspärr, när fukt transporteras genom diffusion. Förändringarna i relativ fuktighet visas vid tre olika punkter i värmeisoleringsskiktet.

De höga fuktnivåerna som diffusionen ger upphov till, i konstruktionen med ångspärr 88 % och i konstruktionen utan ångspärr 100 %, förekommer vintertid i de kalla delarna av konstruktionen. Eftersom fuktflödet till dessa konstruktionsdelar ökar när utomhustemperaturen sjunker, beror skillnaderna i fuktnivåer mellan väggkonstruktioner på ångspärren, som minskar fuktflödet som diffunderar från insidan till utsidan.



			-7,4 °C 87,0 %
material	d mm	λ W/mK	r_i m^2sPa/kg
1 byggskiva	12	0,065	$1{,}1 \times 10^9$
2 mineralull	200	0,05	1×10^9
3 plast	0,2	-	500×10^9
4 gipsskiva	13	0,23	$0{,}5 \times 10^9$

Bild 7.25. Exempel på temperatur- och fuktfördelningen i en yttervägg med trästomme och klanderfri diffusionsfunktion. Bild a: den granskade konstruktionstypen samt inomhus- och utomhusluftförhållanden, bild b: fukt- och temperaturfördelning i ett tvärsnitt av konstruktionen. Fuktfördelningen är fördelningen av vattenånga som transporteras genom diffusion i ett stationärt tillstånd under vintertid. I bild vesihöyryn osapaine = vattenångans partialtryck.

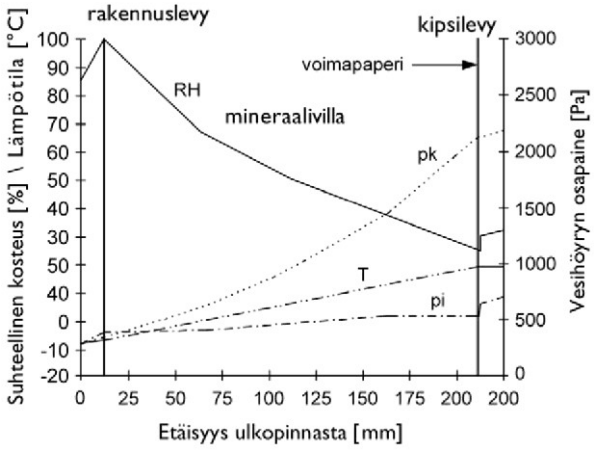
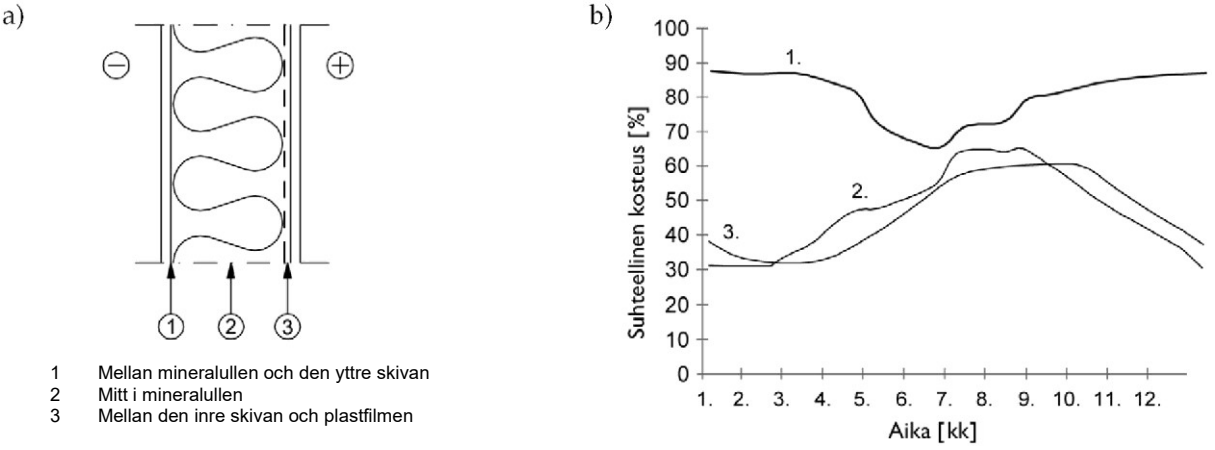


Bild 7.26. Fukt- och temperaturfördelning i exemplets konstruktion, där ångspärren består av luftspärrpapper (kraftpapper).

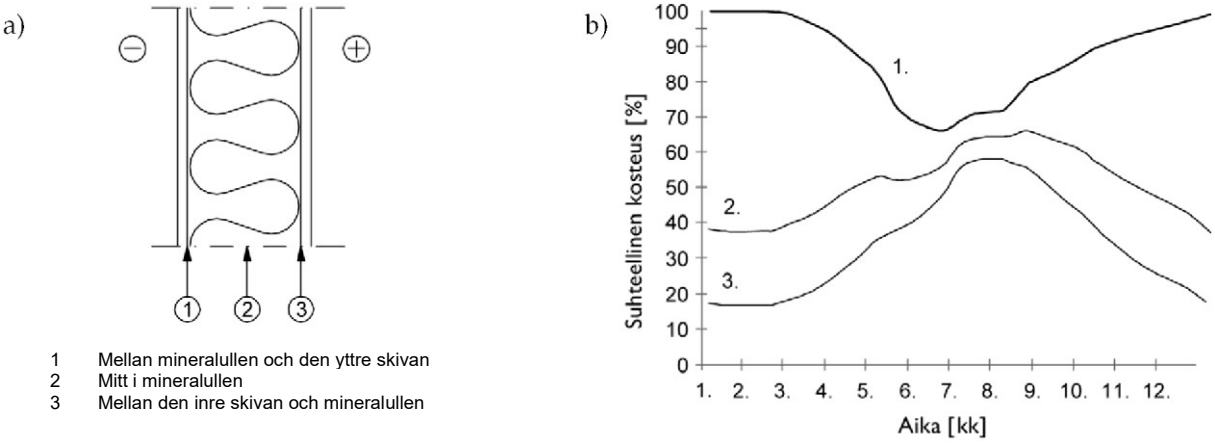
En granskning med ett byggnadsfysikaliskt beräkningsprogram återspeglar konstruktionens funktion bättre än en granskning i stationärt tillstånd.

Mögelrisken i konstruktionen påverkas, utöver den relativa fuktigheten, också av temperaturen och fuktens verkningstid. Det råder risk för mögel när konstruktionens temperatur är högre än 0 °C. Utredning av mögelrisken på grund av diffusion genom mätning är mer tillförlitligt under hösten och vintern än under sommaren, eftersom fuktigheten i konstruktionens yttre delar är som lägst under sommaren, se bild 7.27 och 7.28.



1 Mellan mineralullen och den yttre skivan
2 Mitt i mineralullen
3 Mellan den inre skivan och plastfilmen

Bild 7.27. Exempel på variationen i relativ fuktighet under ett år i en yttervägg med trästomme och ångspärr, när fukten transporteras genom diffusion. Källa: H. Lehtonen, TKK, Talonrakennustekniikan laboratorio.



1 Mellan mineralullen och den yttre skivan
2 Mitt i mineralullen
3 Mellan den inre skivan och mineralullen

Bild 7.28 Exempel på variationen i relativ fuktighet under ett år i en yttervägg med trästomme utan ångspärr, när fukten transporteras genom diffusion. Källa: H. Lehtonen, TKK, Talonrakennustekniikan laboratorio.

Mögelrisken i konstruktioner på den varma sidan av ytterväggens värmeisolering är störst vid köldbryggor och där luftströmmar kyler ytan, samt i områden där värmeisoleringen är bristfällig eller saknas helt. Speciellt uteluft som strömmar längs konstruktionen på den varma sidan av värmeisoleringen kyler utsidan av det inre skalet, se bild 7.29.

Intern konvektion i konstruktionen kan avsevärt kyla ner ytor, i områden utan värmeisolering strömmar luften enligt bild 7.30. Risken för fuktskada finns mellan innerbeklädnaden och ångspärren.

Risken för mögel på inre skalets utsida beror på nedkylning av ångspärren, vilket ökar diffusionen av fukt från inomhusluften genom det inre skalet. En ångspärr som är placerad på utsidan av det inre skalet minskar mängden vattenånga som tränger igenom konstruktionen inifrån, vilket leder till att fukt ackumuleras i innerskalet och i utrymmet mellan innerskalet och ångspärren, se bild 7.29. Dessa fall av mögelrisk karaktäriseras av stora lokala variationer.

Elementytterväggar av betong med yttre betongskal eller med metallytor

Den mikrobiologiska funktionen hos betongsandwich-element undersöktes i en studie som blev klar 1999, *Betonielementtijulkisivujen mikrobiologinen toimivuus*. Studien visade att isoleringsutrymmet i betongelement inte är särskilt gynnsamt för mikrobtillväxt, och att mikrobtillväxt förekom i betydande mängd endast när det fanns betydande brister i vattentätheten hos elementets ytterskal (Pessi A-M., m.fl., 1999).

I samband med betongväggskonstruktioner påverkar utförandet av innerskalets fogar, t.ex. gjutfogar, konstruktionens lufttäthet. Bristfälliga gjutfogar tillåter att luft rör sig genom innerskalet.

Vid fuktteknisk undersökning av plåt-ull-plåt-element bör vattentätheten hos fogarna mellan elementen bedömas, till exempel genom att lossa foglister. Vatten som trängt in i konstruktionen genom fogar i fasaden kan rinna obehindrat nedåt i spalten mellan elementen. Om vatten har trängt in i konstruktionen, kan detta vanligtvis observeras som vattenläckage i väggarnas nedre delar.

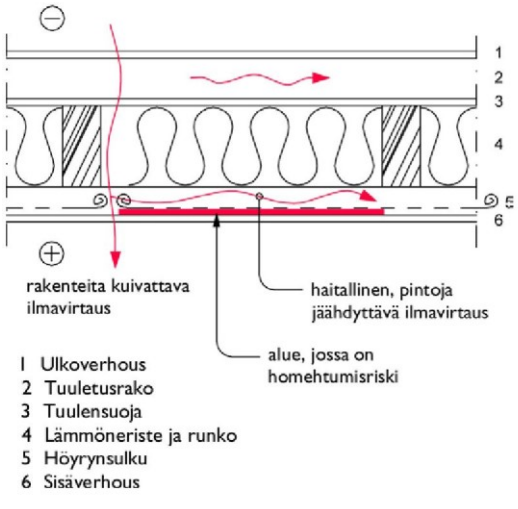


Bild 7.29. Principskiss över inverkan av luftströmning i en värmeisolerad konstruktion. I det rastrerade området mellan ångspärren och innerskivan finns risk för fuktskada. I bild rakenteita kuivattava ilmavirtaus = luftflöde som torkar ut konstruktionerna, haitallinen, pintoja jäähdyttävä ilmavirtaus = skadlig luftström som kyler av ytor, alue, jossa on homehtumisriski = område med mögelrisk.

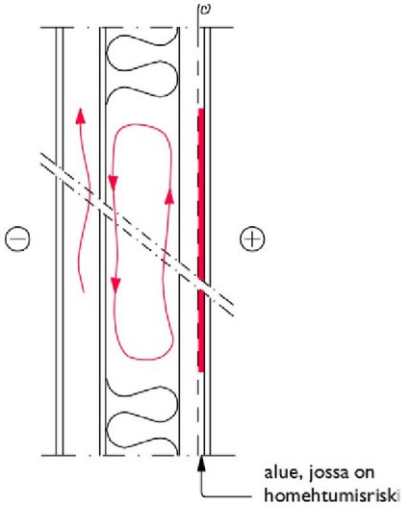


Bild 7.30. Luftströmning som sker vintertid i ett oisolerat utrymme medför risk för fuktskada mellan innerbeklädnaden och ångspärren.

Påverkan av fukt som transporteras med konvektion på väggkonstruktionerna

När en byggnad eller en del av den har ett övertryck i förhållande till ett kallare utrymme, transporteras fukt från inomhusluften genom konvektion till konstruktionens kalla delar via luftgenomsläppliga material och otätheter i konstruktionen. Fuktkonvektion orsakar vanligtvis lokala skador i närheten av luftläckagevägar, där fukthalterna blir höga.

Den mängd fukt som transporteras genom konvektion via luftläckagevägar är i allmänhet betydligt större än den mängd fukt som transporteras genom ett intakt material genom konvektion eller diffusion. Fuktkonvektion är alltid riskabel när temperaturerna i konstruktionens yttre delar sjunker under inomhusluftens kritiska temperatur, se tabell 5.7.

I praktiken varierar de tryckskillnader som orsakar konvektionsflöden väldigt mycket beroende på årstid, byggnadstyp, väggens höjdposition, jfr exempel 5.6 samt vid byggnadens olika användningssituationer. Dessutom beror tryckskillnaden mellan utomhus- och inomhusluften kraftigt på inställningen av ventilationssystemets till- och frånluftsflöden. Öppning och stängning av fönster och dörrar ändrar tryckskillnaden tillfälligt.

En platsgjuten, oskadad betongkonstruktion är typiskt tätare än till exempel en regelkonstruktion av trä. Otätheter kan finnas till exempel i fogar mellan element, i fogar vid fönster och dörrar samt andra byggnadsdelar, vid genomföringar och i skadade delar av luftspärren.

Byggnadens lufttäthet beror i hög grad på konstruktionslösningarna, utförandet av byggnadsdelarna och mängden av otätheter.

Kapillär transport av vatten från marken till väggar

Fuktskador orsakade av vatten som transporteras kapillärt från marken är vanliga i konstruktioner som har direkt kontakt med marken. Skadorna kan visa sig till exempel som bubblor och flagning av ett tätt ytskikt, såsom målarfärg, bild 7.31a, eller som rötskador, bild 7.32. Fukt kan också tränga in i golvets ytstrukturer och skada golvbeläggningen.

Vattnets stighöjd beror, förutom på materialets kapillaritet, också på avdunstningen från konstruktionen. I en konstruktion med tät yta stiger vattnet högre än i en konstruktion utan ytbeläggning. Eftersom avdunstningen genom en tät yta är mindre, blir mängden vatten i en konstruktion med tät yta större. På grund av den låga ånggenomsläppligheten lossnar ett tätt ytmaterial lättare från underlaget än ett ytmaterial med god ånggenomsläpplighet. Vattnets stighöjd ökar när konstruktionens tjocklek ökar, eftersom den avdunstande ytan minskar i förhållande till den massa som transporterar vattnet kapillärt (bilder 7.31b och c). Utifrån den skadade områdets form, ytbeläggningens fuktgenomsläpplighet och konstruktionens tjocklek kan man uppskatta hur stor den kapillära fuktbelastningen är.

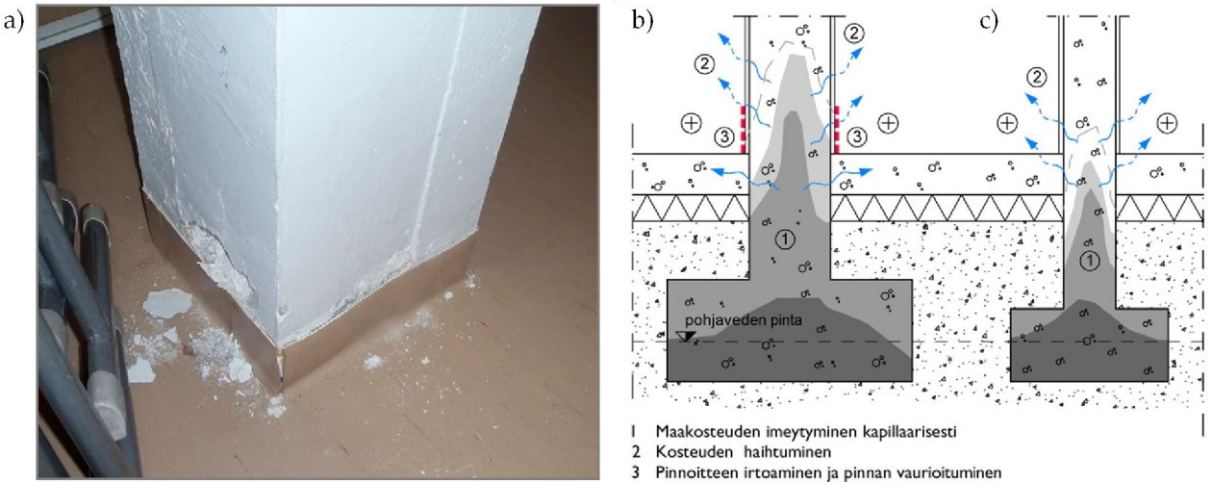


Bild 7.31. Lossnande ytbeläggning på grund av kapillär uppsugning av vatten och exemplets skadeprincip. I bilderna b och c visas inverkan av strukturens tjocklek på den kapillära stighöjden. I bild maakosteuden imeytyminen kapillaarisesti = kapillär uppsugning av markfukt , kosteuden haihtuminen = avdunstning av fukt, pinnoitteen irtoaminen ja pinnan vaurioituminen = ytbeläggningen lossnar och ytan skadas. Foto: T. Lammi, Vahanen Oy.

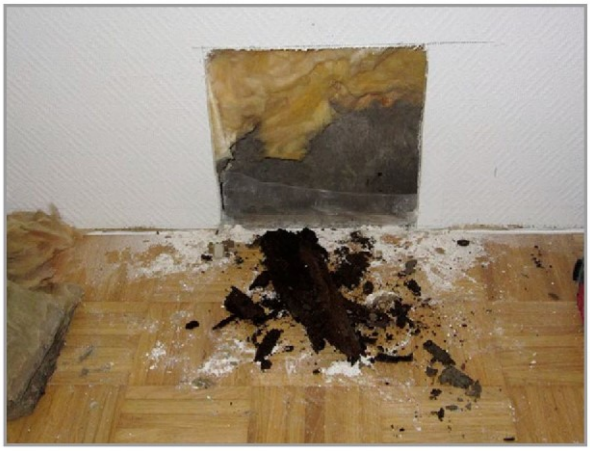
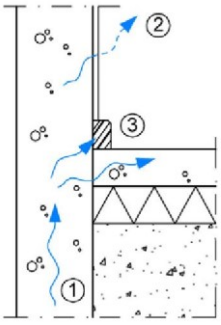


Bild 7.32. Fuktskada i nedre delen av en vägg mot mark, orsakad av kapillär uppsugning av vatten. Syllen i en falsk sockelkonstruktion har murknat. Bild: J. Saarinen, Vahanen Oy.

Kapillär fukt kan transporteras från ett material till ett annat och skada konstruktioner som inte har direkt kontakt med marken eller fritt vatten. I bild 7.33 visas ett exempel på en golvlist som skadats av bakomliggande konstruktionens kapillära fukt.



2 Ytbeläggningen lossnar och fukten avdunstar

3 Fuktigheten i golvlisten ökar på grund av fukten t i bakomliggande konstruktion

1 Kapillär stigning till bakomliggande struktur



Bild 7.33. Golvlist som skadats av kapillär fukt i bakomliggande konstruktion och skadeprincipen för exempelfallet. Foto: Vahanen Oy.

Bristfällig vattenisolering i våtutrymmen

Bristfällig vattenisolering i våtutrymmen leder till att fukt tränger in i konstruktionen. Den inträngande fukten sprider sig kapillärt över ett stort område under vattenisoleringsskiktet. Konstruktionen torkar ut vid läckageområdet genom diffusion, vilket är betydligt långsammare än den kapillära uppsugningen av vatten. Skadorna kan visa sig på den motsatta sidan av våtutrymmets mellanväggar (bilder 7.34 och 7.35). Läckagets storlek, konstruktionens torkförmåga mot andra utrymmen och materialens förmåga att binda fukt inverkar på om konstruktionen skadas eller inte.

I en skivvägg med trästomme uppstår fuktskador snabbt och väggens bärande träkonstruktioner möglar och murknar. Pappersytan på gipsskivor skadas lätt av fukt och mikrober. I väggar med stålstomme rostar stålskenorna, och mineralullen möglar med tiden vid långvarig fuktbelastning (bild 7.34). I kaklade konstruktioner sugs fukt genom fogbruket till fästbruket och därifrån vidare till konstruktionen, om tätskiktet inte är vattentät (bild 7.35).





Bild 7.34. Vänster bild: Våtutrymmets mellanvägg öppnad från motsatt sida. Kartongytan på väggens gipsskiva har börjat mögla. Höger bild: De nedre delarna av den rivna våtrumsväggen har skadats på grund av bristfälligt tätskikt. Stålregeln mot golvet har rostat igenom. Bilder P. Puuska, Vahanen Oy.

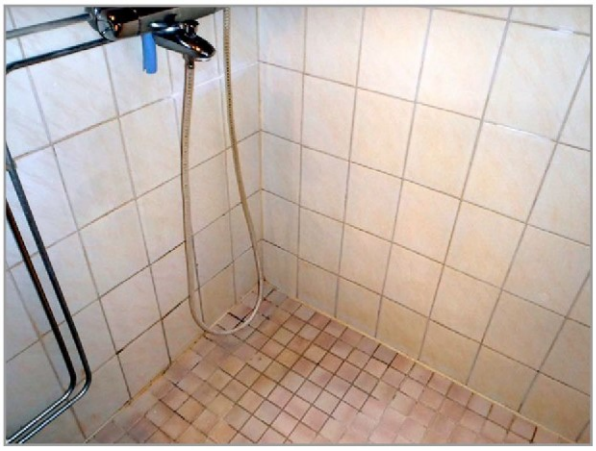




Bild 7.35. Skadad väggyta på andra sidan av väggen som avgränsar till våtutrymme. Våtutrymmets bristfälliga tätskikt har orsakat fuktskada. Bild: A. Puhka, Indoor Quality Service Oy.

I murade konstruktioner sugs vatten kapillärt genom en spricka i tätskiktet och sprids snabbt över ett stort område. Bild 7.36 visar det område där vatten har absorberats i bränt lertegel och kalksandsten en timme efter att vattnet började tränga in.

Bild 7.37 visar exempel på duschhörn där skarvar och genomföringar i plastmattan, som fungerar som tätskikt, är otäta, vilket gör att vatten kan tränga in i väggkonstruktionen. Bilden visar ett exempel på en dålig planeringslösning. Genomföringarna för vattenrör är placerade i den nedre delen av duschhörnet i våtutrymmet. Läckage vid genomföringarna orsakar snabbt fuktskador i väggkonstruktionerna.

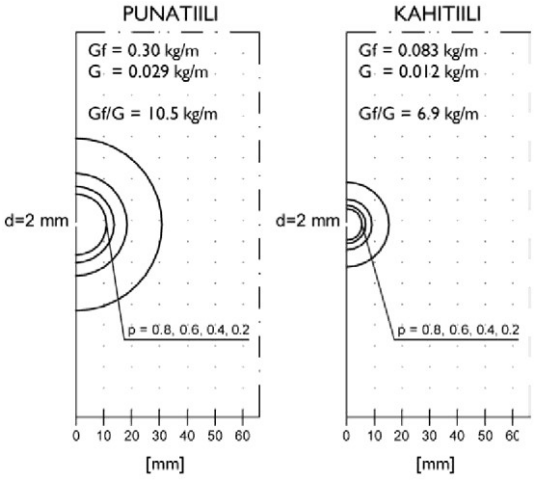


Bild 7.36. Vattnets uppsugningsområde i rött tegel och kalksandsten en timme efter att uppsugningen startade. Vattnets sugs kapillärt genom en spricka i tätskiktet. Källa: Lehtinen T. och Viljanen M.,1996.





Bild 7.37. Vänster bild: En skarv i den plasttapet som fungerar som tätskikt har gått upp i nedre högra hörnet. Höger bild: Läckande genomföringar av vattenledningsrör i nedre delen av duschhörnet. Bilder: P. Laamanen, Vahanen Oy.

Vid användning av kamteknik vid applicering av fästmassan för kakel, bildas luftfickor bakom kaklingen där vatten kan tränga in genom fogarna. I sådana fall måste tätskiktet bakom kaklingen vara absolut sammanhängande och vattentätt, för att förhindra att vatten skadar bakomliggande konstruktion. Om väggarna i våtutrymmet är kaklade och plastmatta används som tätskikt på golvet, kan vatten rinna från håligheterna bakom väggkaklet ner bakom plastmattans uppvik, genom en otät skarv mellan plastmattan och väggens tätskikt. Bild 7.38 visar en demonterad väggkakling i ett våtutrymme med luftfickorna i fästmassan samt en uppvikt plastmatta med en öppnad skarv.

I våtutrymmen används elastisk fogmassa i kaklingens vertikala hörn samt i anslutningen mellan golv och vägg. Dess uppgift är att utjämna spänningar som uppstår på grund av konstruktionernas rörelser vid temperaturväxlingar och krympning vid uttorkning. Skador i fogmassan är inte nödvändigtvis ett problem om tätskiktet bakom kaklet är intakt. Bild 7.39 visar en sprucken elastisk fog. Om föroreningar och fukt tränger in i konstruktionen genom sprickan kan det uppstå luktproblem. Vid en konditionsundersökning bör man även i detta riskfall bedöma betydelsen av den undersökta platsen läge för eventuella fukt- eller inomhusluftproblem.

I äldre våtutrymmen har mellanrummet mellan golvbrunnen och förhöjningsringen inte tätats (bild 7.40). Genom denna otätade skarv kan betydande mängder fukt tränga in i konstruktionen.

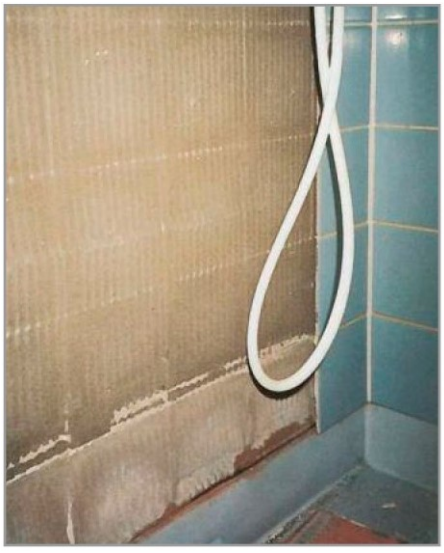


Bild 7.38. Luftfickor bakom demonterad plattsättning och otät fog i uppvikt plastmatta. Bild: V. Pekkala, Vahanen Oy.



Bild 7.39. Våtutrymmets elastiska fog har lossnat från sina fästytor i golv-vägg-anslutningen. Bild: K. Viljanen, Vahanen Oy.





Bild 7.40. Otätad förhöjningsring är en vanlig läckagepunkt i äldre våtutrymme. Bilder: P. Puuska, Vahanen Oy.

Fuktskada orsakad av läckage från ett rör installerat i väggkonstruktionen

Vattenledningar och avloppsrör som är installerade inne i konstruktionerna utgör alltid en risk för fukt- och mikrobskador. Det är ofta svårt att upptäcka ett rörläckage innan fuktskadan visar sig. Tiden det tar innan fuktskadan upptäcks beror på läckagets omfattning, byggnadsmaterialens vattengenomsläpplighet och läckagevattnets flödesväg. Vid ett läckage som sipprar påverkar även byggnadsmaterialets vattenupptagningsförmåga på när skadan blir synlig. Ett rörläckage inne i konstruktionen kan yttra sig som mörkfärgning av ytan eller att ytbeläggningen lossnar, se bild 7.41.



Bild 7.41. Rörläckage inne i konstruktionen yttrar sig på ytan av konstruktionen. Bild: E. Salo, Vahanen Oy.

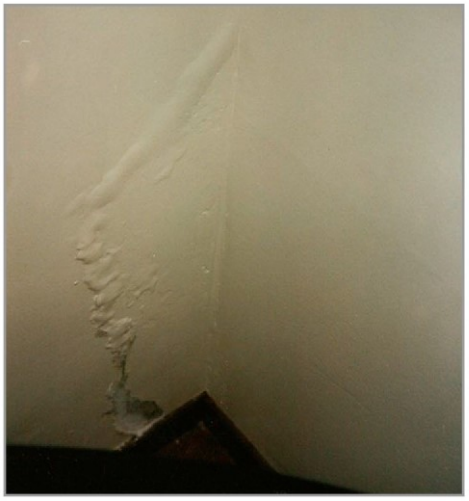


Bild 7.42. Fuktskadan på betongväggen mot mark berodde på ett läckande avloppsrör inne i väggkonstruktionen. Bild: P. Laamanen, Vahanen Oy.

Bild 7.42 visar ytbeläggning som lossnat till följd av en fuktskada. I källarvåningen i en radhuslägenhet upptäcktes en fuktskada i gillestugans markanslutna betongvägg. Skadan tydde på ett rörläckage eller brister i grundens dränering och fuktisolering. Enligt konstruktionsritningarna var dräneringen och källarväggarnas vattenisolering i ordning. Enligt vatten- och avloppsritningarna gick kökets avloppsrör från första våningen inuti väggkonstruktionen till den angränsande bastun. Rivning av bastuns paneler och värmeisolering avslöjade ett läckage i köksavloppet. Läckaget hade orsakat omfattande skador på konstruktionerna i bastun, våtutrymmet och tvättstugan i källarvåningen. Skadorna kunde upptäckas först efter att konstruktionerna öppnats.

Ett rörläckage kräver alltid snabba reparations- och uttorkningsåtgärder. I vissa fall kan konstruktionerna torkas utan omfattande reparationsarbeten, förutsatt att det inte finns fuktkänsliga material i konstruktionerna.

Regnvatten som tränger in i ytterväggen

Regnvatten som tränger in i ytterväggen kan skada väggkonstruktionen. Fogarna mellan betongfasadelement är ofta otäta, och regnvatten tränger igenom dem in i väggkonstruktionen. Bild 7.43 visar en skadad fog i ett betongfasadelement. Bild 7.44 visar en ytterväggskonstruktion där regnvatten har runnit in innanför skalelementet genom en otät elementfog.



Bild 7.43. Fasadelementets fog är skadad. Fogen har ett tydligt hål. Bild: T. Lammi, Vahanen Oy.



Bild 7.44. Regnvatten har trängt in innanför elementet genom en otät fog. Bild: P. Laamanen, Vahanen Oy.



Bild 7.45. Regnvatten har trängt in genom skalmuren. Källa: Lehtinen T., 1989.

Fogarna i en murad tegelfasad släpper igenom vatten. För att ytterväggen ska fungera fuktteknisk är det avgörande att fukten ventileras bort och att vattnet leds ut från luftspalten. Bild 7.45 visar hur ett läckage i tegelfasaden yttrar sig på insidan av tegelmuren. Regnvatten rinner ner längs tegelmurens insida och sugs delvis upp kapillärt i konstruktionen runt läckagepunkten.

Bild 7.46 visar ett exempel där nedrinnande vatten leds via en tät underkonstruktion delvis ut från byggnaden och delvis till inre delar av golvkonstruktionen ovanpå den marklagda plattan. Värmeisolering och träkonstruktionerna i väggens nedre del blir fuktiga och skadas.

Regnvattnets inverkan på fasaden beror också på fasadmaterialets kapillära egenskaper samt på eventuella springor och sprickor i fasadmaterialet (bild 7.47).

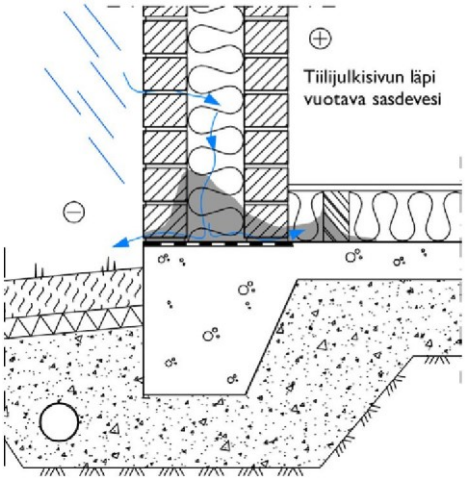


Bild 7.46. Exempelfall på fuktskada i den nedre delen av väggen orsakad av regnvatten som trängt igenom tegelfasaden.

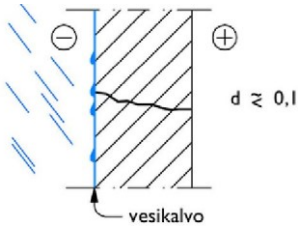
Obehandlat tegel suger upp vatten kraftigt, vilket innebär att en vattenfilm bildas på ytan endast efter långvarigt regn. Betong har en betydligt lägre kapillaritet än tegel, vilket gör att en vattenfilmen bildas snabbare. Kraftigt övertryck från utomhusluften ökar vatteninträngning i fasaden, se bild 7.47 punkt e. På ytan av täta material bildas en vattenfilm, och vattnet börjar rinna nedåt på grund av gravitationen. Vattenfilmen kan också drivas uppåt av vindtryck på täta materialytor. Material med täta ytor är till exempel plåt och plast.

I punkterna a-d i bild 7.47 presenteras bedömningar av hur läckagets storlek påverkar den mekanism genom vilken vattnet tränger in i konstruktionen.

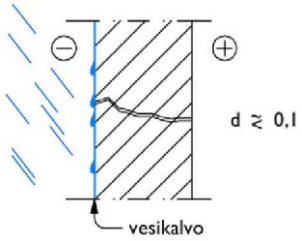
På låglutande tak kan regnvatten tränga in i ytterväggskonstruktionen genom en felaktigt utförd takfotskonstruktion, bild 7.48. Vatten som samlas vid takfoten kan tränga in i väggkonstruktionen om yttertakets vattenisolering inte har lagts ut över takfoten ända till utanför fasadens yta. Vid blåsigt väder kan regnvatten tränga in i väggkonstruktionen även längs fasadytan under takfotsplåten, om en motplåt saknas eller om den är bristfälligt utförd.

En liknande bristfällig konstruktion visas i bild 7.49, där bitumenbeläggningen slutar vid ytterkanten av en plywoodskiva utan att vikas nedåt, så att vattnet kan ledas till plywoodskivans undersida och därifrån till takfots- eller väggkonstruktionen.

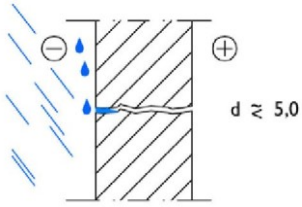
Slagregnsbelastningen som fasaden utsätts för påverkas av nederbördsmängden, vindens hastighet och riktning samt byggnadens geometri. I bild 7.50 ses hur fasadputsen på ett höghus har blivit vått på de områden där slagregnsbelastningen har varit som störst, det vill säga i byggnadens övre delar och hörn.



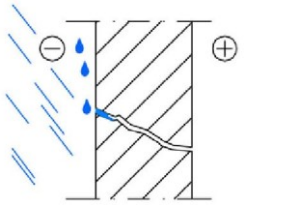
a) d<0,1 mm: kapillärsugning är den dominerande transportformen för vatten



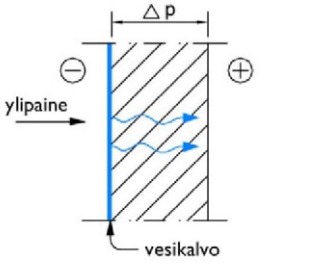
b) d<0,1 mm: tryckskillnaden över konstruktionen orsakar flöde av vatten till konstruktionen så länge som det finns ett enhetligt vattenlager över springan, beroende på tryckskillnadens storlek kan flöde även ske genom en springa som är riktad uppåt



c) d<5,0 mm: den horisontella vektorkomponenten i dropparnas fallhastighet medför att regnvatten transporteras till konstruktionen som droppar



d) regnvatten förflyttas nedåt in i en öppen spricka eller fog på grund av gravitationen



e) regnvatten sugs kapillärt upp i poröst material, till exempel tegel, kraftigt övertryck i utomhusluften i förhållande till inomhusluften underlättar vattnets uppsugning i konstruktionen genom otätheter

Bild 7.47. Regnvatten tränger in i ytterväggskonstruktionen. Angivna bredder för läckställen är riktgivande. I bild vesikalvo = vattenfilm
Bilder enligt Nevander L. och Elmarsson B. (2011).

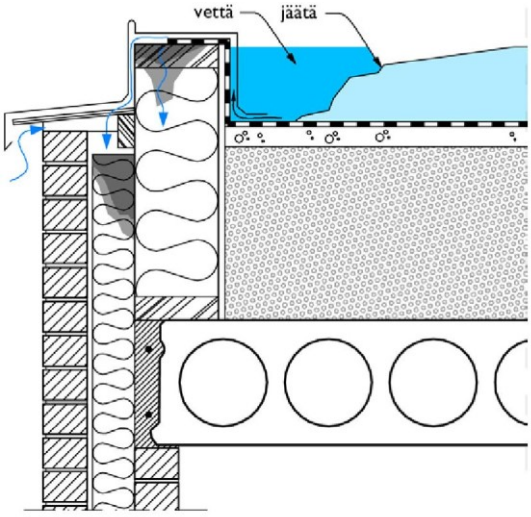


Bild 7.48 Felaktig takfotskonstruktion där uppsamlat vatten på taket tränger in i ytterväggen. Vid blåsigt väder tränger regnvatten även in i ytterväggen på grund av att motplåt saknas.



Bild 7.49. I takfotskonstruktionen på ett låglutande tak bör taktäckningen vinklas ner över underlagsskivans ytterkant som en droppnäsa, vilket saknas i bildens konstruktion. Bild: K. Viljanen, Vahanen Oy.



Bild 7.50. Fasadputsen i de övre delarna och hörnen av ett höghus har blivit vått på grund av slagregn. Skador konstaterades i putsen på det våta området. Bild: P. Räisänen, Vahanen Oy.

Anslutningarna mellan fasaden och tillhörande konstruktioner, såsom fönster, är kritiska punkter där otätheter kan medföra att regnvatten tränger in i konstruktionen. Till exempel kan felaktig lutning på fönsterbleck leda till att vatten rinner in både i väggkonstruktionen under fönstret och på fönsterkarmen. Bild 7.51 visar ett exempel på fönsterbleck med fel lutning. Regnvatten har orsakat skador på fönsterkarmen och den underliggande tegelfasaden.

Om anslutningen mellan fönsterblecket och fönstrets nedre karm är otät, rinner regnvatten direkt eller längs fönstret via springan in i väggkonstruktionen. I exemplet i bild 7.52 finns det en tydlig springa i anslutningen mellan fönsterblecket och karmen. Fönsterblecket har en för liten lutning.
I bild 7.53 syns en springa mellan fönsterblecket och tegelmurningen samt mellan täcklisten och teglet, genom vilken snett fallande regn kan tränga in i väggkonstruktionen.

Brister i regnvattensystemets funktion orsakar fuktbelastning på ytterväggen och grundkonstruktionerna, bild 7.54. Exempel på skador som ett bristfälligt regnvattensystem kan orsaka på grundkonstruktioner presenteras i avsnitt 7.2.6.

Tilltäppning av luftspalten

Luftspaltens funktion kan bedömas genom att jämföra ritningar med det utförda, öppna konstruktioner och kontrollera att luftspalterna är öppna. Ytterväggens luftspalt kan vara tilltäppt i över- eller nederkant eller någonstans däremellan. I murade konstruktioner kan bruksspill täppa till luftspalten antingen längs hela höjden eller i spaltens nederkant. Förutom att minska ventilationen kan bruksspill också leda in vatten som trängt igenom tegelfasaden in i väggens inre delar.



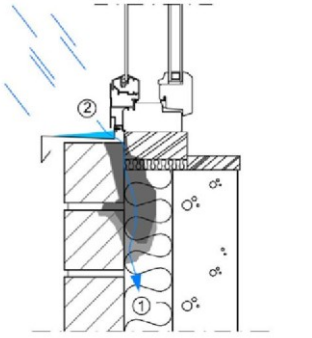


Bild 7.51. Fönsterbleck som felaktigt lutar in mot byggnaden och skadeprincipen i exemplet. I bild vesi valuu julkisivun taakse = vatten rinner in bakom fasaden, veden kerääntyminen; karmin vaurioituminen ja sammaloituminen = vatten samlas; karmen skadas och blir mossbeväxt. Foto: M. Pitkäranta, Vahanen Oy.

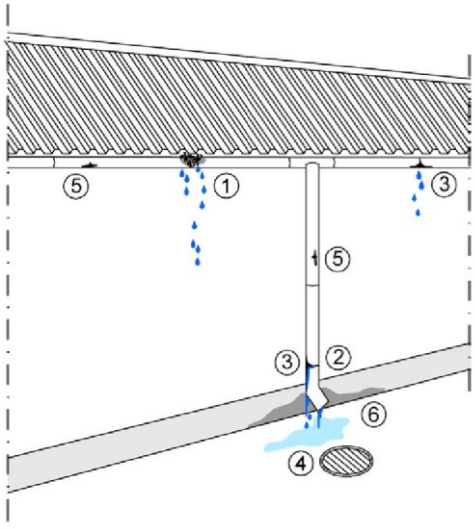




Bild 7.52. Det finns en tydlig springa mellan fönsterblecket och karmens nedre del, vilket orsakar risk för fuktskador i underliggande konstruktionen. Bilder: E. Kauriinvaha, Vahanen Oy.



Bild 7.53. Elastisk fogning saknas i anslutningen mellan fönster och fasad. Bilder: K. Laine, Vahanen Oy.



1 Hängränna täpps igen och svämmar över
2 Stuprör täpps igen
3 Skarvarna i systemet läcker
4 Regnvatten rinner ut från skarvar och hamnar alltför nära byggnaden
5 Systemet går sönder och rostar
6 Stänkvatten väter sockeln

Bild 7.54. Brister i regnvattensystemets funktion.



Bild 7.55. Luftspalt igentäppt av murbrukspill. Bild: E. Salo, Vahanen Oy.

Bild 7.55 visar ett exempel där luftspalten bakom en murad fasad är tilltäppt av brukspill.

Murbruk som fallit ner i den nedre delen av en bred luftspalt i en murad konstruktion kan täppa till de vertikala fogar i fasaden som avsetts vara öppna, vilket förhindrar ventilation av konstruktionen och hindrar vatten som trängt igenom tegelfasaden från att rinna ut ur luftspalten, se bild 7.56.

I fallet som visas i bild 7.56 finns brukspill också högre upp i luftspalten, men spalten är inte flödesmässigt helt blockerad längs hela höjden. Ventilationen fungerar inte som planerat på grund av att spalten är tilltäppt längst ner.

I äldre byggnader har skalmurskonstruktioner ofta utförts antingen med en mycket smal luftspalt eller helt utan luftspalt. I sådana fall är konstruktionens förmåga att torka betydligt försämrad, och regnvatten kan tränga skadligt långt in i konstruktionen.

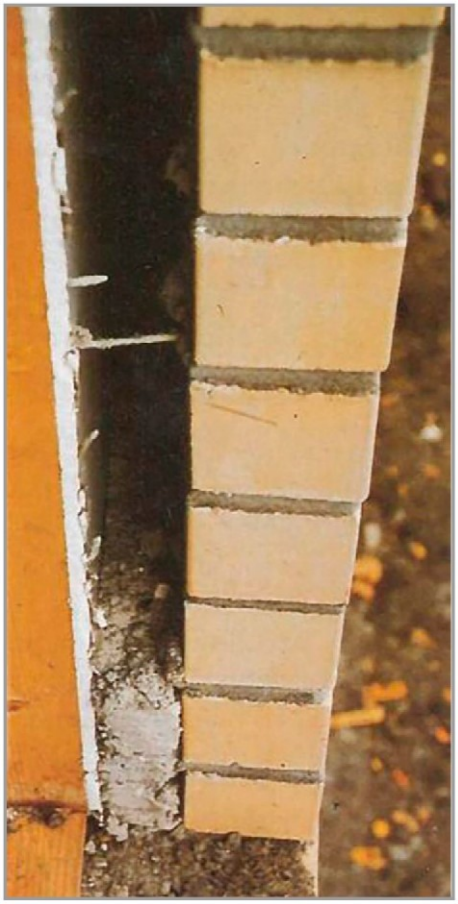


Bild 7.56. Murbruk som fallit ner i den nedre delen av en bred luftspalt förhindrar ventilation av konstruktionen och vatten som trängt igenom tegelfasaden från att komma ut genom de vertikalfogar som lämnats öppna i nederkanten. Källa: Lehtinen T. och Viljanen M., 1989.

Sockelns höjd, fasadbeklädnadens avstånd från marken och bristfälligt dagvattensystem

Stänkvatten skadar fasadbeklädnad som ligger alltför nära markytan. En låg sockel innebär alltid en risk för fukt- och mögelskador i väggens nedre delar samt i anslutningen mellan vägg och golv. Bild 7.57 visar exempel på fasadskador orsakade av låg sockelhöjd och bristfällig avledning av regn- och ytvatten.

7.2.5

Yttertak och vindsbjälklag

A. Yttertakets och vindsbjälklagets värme- och fuktteknisk funktion

Yttertaket och vindsbjälklaget fungerar tillsammans som en helhet. Yttertaket ska vara vattentätt, även vid kraftigt slagregn och då vatten samlas i pölar på taket. Vattentätheten ska säkerställas i taktäckningens skarvar och i takets detaljer. Vindsbjälklagskonstruktionen ska dessutom ha tillräcklig värmeisoleringsförmåga över hela konstruktionen för att förhindra skadligt värmeläckage från inomhusutrymmena till vindsutrymmet.

Yttertakskonstruktioner delas vanligen in i låglutande (lutning 1:80–1:10) och branta tak (lutning ≥1:10) (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012). Funktionsprinciperna hos olika typer av vindsbjälklagskonstruktioner visas i bild 7.58.

Om regnvatten eller vattenånga från inomhusluften tränger in i vindsbjälklagskonstruktionen måste konstruktionen ha tillräcklig uttorkningsförmåga (vanligen i form av luftspalt, -spår eller -utrymme) för att fukten ska kunna avlägsnas utan att orsaka skador.

Takkonstruktioner utförs numera typiskt som ventilerade konstruktioner. Numera används oventilerade låglutande takkonstruktioner främst i kallförråd eller motsvarande byggnader. Före 2000-talet byggdes låglutande tak med betong- eller korrugerat plåtunderlag med skivisolering och bitumenmembran allmänt utan ventilation. I vissa sällsyntare fall har även branta tak tidigare utförts utan ventilation.

Ett specialfall av låglutande tak är tak med lättklinker, som ventileras längs värmeisoleringens hela höjd. Uttorkningsförmågan hos ett tak med lättklinker är i allmänhet tillräcklig, såvida det inte finns tydliga brister i ventilationslösningen.

Vindsbjälklagets inre skikt måste alltid vara lufttätt, så att inomhusluften i byggnaden inte kan tränga in i konstruktionen genom läckagepunkter. Vanligtvis förutsätter detta en omsorgsfullt monterad luft- eller ångspärr. Den fukt som den varma inomhusluften innehåller kan skada vindsbjälklaget om den kondenserar i stora mängder på konstruktionens kalla ytor. Å andra sidan förhindrar ett lufttätt innerskikt även att eventuella föroreningar transporteras till inomhusluften. Den fuktmängd som passerar igenom vindsbjälklagets ångspärr genom diffusion är i regel obetydlig i förhållande till den fuktmängd som transporteras med luftläckage.

Tätheten hos takbrunnar och andra genomföringar är avgörande för låglutande taks fuktteknisk funktion. Med tillräcklig lutning på taktäckningen säkerställs att vattnet leds kontrollerat till brunnar och avlopp. Dessutom är fukthantering under byggtiden viktig för att minimera byggfukten, särskilt med tanke på att taken oftast har stora ytor.





Bild 7.57. Vänster bild: En konstruktionslösning där vatten som rinner från stupröret inte leds till dagvattenbrunnen, utan istället blöter ner yttervägen. Regnvattnet sugs upp av marken intill grundmuren. Höger bild: Stensättningssanden som lagts mot fasadens tegelfasad har lett fukt in i väggkonstruktionen. Bilder: T. Lammi och M. Pitkäranta, Vahanen Oy.

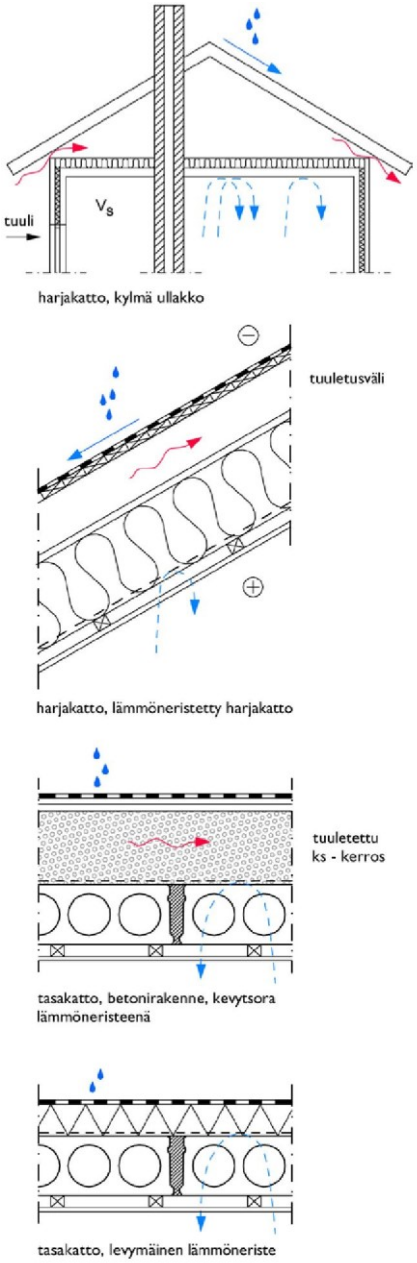


Bild 7.58. Fuktteknisk funktionsprinciper för vindsbjälklag. I bild harjakatto, kylmä ullakko = sadeltak, kallvind, tuuletettu ks-kerros = ventilerat lättklinkerskikt,

På branta tak används, förutom sammanhängande täckmaterial, även icke-sammanhängande taktäckningar såsom tegeltak. Vid användning av icke-sammanhängande täckmaterial krävs ett underlagstak under taktäckningen för att säkerställa vattentäthet. Underlagstaket kan binda fukt, begränsa mängden fukt som överförs från vindsbjälklagets ventilationsutrymme till yttertakets undersida och leda bort vatten som kondenserat på plåtens undersida och trängt in genom taktäckningens skarvar.

Underlagstakets vattentäthet över hela takytan, inklusive genomföringar och uppvik, är avgörande för funktionen hos en brant takkonstruktion. Underlagstaket ventileras ovanifrån och vanligtvis även underifrån, med undantag för s.k. vindskydds-underlagstak, som är ovanliga i Finland. Vattnet som rinner på underlagstaket ska ledas ut ur konstruktionen på ett kontrollerat sätt (se även bild 7.71).

På branta tak säkerställs takets ventilation med tillräckligt stora luftöppningar vid takfoten och nocken. Takets ventilationslösning anpassas efter taktypen och takets dimensioner. Takets ventilation grundar sig på naturlig konvektion, men vindtrycket förbättrar luftväxlingen.

Inomhusfukt transporteras till vindsutrymmet genom vindsbjälklaget via diffusion eller konvektion. Byggnader med balanserad ventilation har typiskt övertryck i de övre delarna och undertryck i de nedre delarna. Luftflödets riktning är därför oftast från rumsutrymmet mot vindsbjälklagskonstruktionerna. Av denna orsak är lufttätheten hos ångspärren i vindsbjälklaget avgörande för att förhindra fukttransport genom konvektion. Å andra sidan är mängden föroreningar som transporteras genom konvektion från vindsutrymmet till inomhusluften genom konvektion i praktiken mycket liten. Skorstenseffektens betydelse är störst under vintern, när temperaturskillnaden mellan inomhus- och utomhusluften är stor. Vid kraftig vind kan tryckförhållandena dock förändras tillfälligt. Tryckförhållandena påverkas också av ventilationssystemets funktion. Det är viktigt att notera att om byggnaden har ett kraftigt undertryck orsakat av ventilationen, kan även betydande mängder föroreningar från yttertakets konstruktioner ledas in i inomhusluften (se avsnitt 5.5).

Betydande fuktbelastning på branta takkonstruktioner uppstår ofta under byggskedet, när byggfukten torkar ut ur nya material. Uttorkningen av byggfukten kan orsaka kondensering av vattenånga på ytor i vindsbjälklaget. Torkning av vindsutrymmet bör effektiviseras vid behov.

Vindsutrymmen i branta tak som ventileras med utomhusluft strävar efter att nå jämvikt med utomhusluftens fukthalt (bild 7.7 konstruktion 1 och bild 7.59). Yttertaket leder regnvatten kontrollerat bort från byggnaden, vilket innebär att med ett fungerande vindsbjälklag ligger vindsutrymmets konstruktioner inom det hygroskopiska fuktområdet (bild 7.7 konstruktion 2). Överflödig fuktighet kan ansamlas i konstruktionerna främst genom läckage i yttertaket, kondens på undersidan av underlagstaket, luftläckage från inomhusluften eller inträngande yrsnö. Även i låglutande tak (bild 7.7 konstruktion 3) är fuktnivån på samma nivå som i utomhusluften, eftersom konstruktionerna vanligtvis ventileras med utomhusluft.

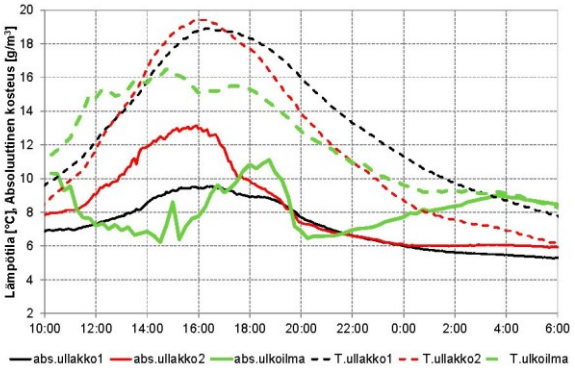


Bild 7.59. I ett vindsutrymme strävar luftens fukthalt (abs.ullakkol och abs.ullakko2) efter jämvikt med utomhusluften (abs.ulkoilma), men vindsluftens absoluta fuktighet kan tillfälligt stiga över utomhusluftens nivå, till exempel när vindsbjälklaget utsätts för solstrålning. Enligt mätningarna på vinden ventileras punkt 1 bättre än punkt 2. I grafen visas dessutom temperaturerna vid motsvarande mätpunkter.

I låglutande tak kan det dock tillfälligt förekomma höga relativa fukthalter, upp till 100 %, till exempel under täckningen vid kall uteluft, vilket vanligtvis inte är skadligt för konstruktionens funktion. Den genomsnittliga fuktmängden i värmeisoleringen bör dock hålla sig inom det hygroskopiska området. För mineralull innebär detta till exempel en fukthalt på under 1 kg/m^3.

B. Bedömning av risken för skador på yttertak och vindsbjälklag

Yttertak

Den vanligaste skaderisken i yttertakskonstruktioner uppstår till följd av läckage i taktäckningen. Skarvar och anslutningar vid genomföringar, såsom takbrunnar, skorstenar, ventilationskanaler och takfönster, kan vara otäta (bild 7.60 och 7.61). Vid blåsigt väder kan regnvatten även transporteras uppåt längs takytan och tränga in i konstruktionerna bland annat via otätheter i uppdragningar.

Eventuella läckageställen i yttertak kan undersökas underifrån genom sensorisk granskning av inomhus tak- och väggytor samt av träkonstruktioner under yttertaket i vindsutrymmen. Inomhus kan eventuellt fuktpåverkade områden kartläggas med en ytfuktindikator.

Efter lokalisering av läckagestället kan eventuella skador i konstruktionerna som orsakats av läckaget bedömas.

Granskaren bör beakta att betydande mängder fukt kan komma in i konstruktionerna även på kort tid från vattenläckage.

Omfattningen av en skada orsakad av regnvatten som trängt igenom yttertaket beror på vattnets flödesvägar. Flödesvägarna kan bedömas utifrån konstruktionsritningar, under regnväder eller genom vattenprov. Vattenläckan, fuktskadan och platserna där dessa visar sig på insidan kan vara horisontellt långt ifrån varandra. På bild 7.60 leds regnvatten från en otät genomföring i yttertaket till vindsutrymmet, där det rinner vidare till en överlappningsskarv i ångspärren och därefter genom fogar eller sprickor i betongplattorna in i rummet.

Det kan ta lång tid innan ett takläckage och en fuktskada blir upptäckt, särskilt om takläckaget är litet, om vattnet rinner in i en konstruktion där det inte omedelbart upptäcks, eller om byggnadsmaterialen binder mycket fukt.

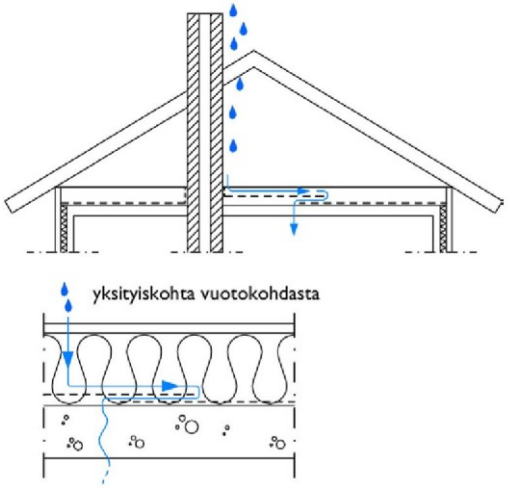


Bild 7.60. Skadestället i yttertaket och det ställe där skadan visar sig på insidan ligger olika i horisontellt led. Vatten rinner via ångspärrens överlappsskarv på vinden och betongelementens fog till inomhusutrymmet. I bild yksityiskohta vuotokohdasta = detalj av läckageställe.



Bild 7.61. En öppnad vindsbjälklagskonstruktion som har fuktskador orsakade av läckage från skorstensplåtens anslutning. Bild: K. Viljanen, Vahanen Oy.





Bild 7.62. Vattnet från snön som smält på grund av takets värmeläckage har frusit vid takfoten. I den högra bilden syns också fuktspår i den övre delen av tegelfasaden från takläckage. Bilder: J. Sievola och H. Tuovinen, Vahanen Oy.

Om värmeisoleringen i vindsbjälklaget i fallet på bild 7.60 består av sågspån eller cellulosaisolering, fördröjer den mängd vatten som binds i isoleringen upptäckten av läckaget. Om läckaget är litet kan det dröja flera år innan det märks i inomhusutrymmena.

Takmaterialets livslängd kan bli kortare än den tekniskt beräknade brukstiden, till exempel när materialet skadas på grund av yttre påfrestningar. Sådan kan till exempel vara mekaniskt slitage, rörelser och böjningar på grund av temperaturväxling, vattenansamlingar och isbildning på taket, isens rörelser samt ansamling av mossa och skräp. Som en följd av dessa faktorer fungerar inte takets vattenavrinning enligt plan.

Vatten samlas i sänkor på taket, i takets skarvar, i gropar som uppstått till följd av böjning av bärande takkonstruktioner, runt igensatta takbrunnar eller på ställen där snö och is har bildat vallar. Avsaknad av motfall vid stora genomföringar leder till vattenansamling. Om en takbrunn täpps till, kan det leda till uppdämning och översvämning av vatten, så att vatten kan tränga in i tak- och väggkonstruktioner genom otätheter.

Is kan bildas vid takfoten på byggnader där taket har värmeläckage (bild 7.62). Värmeläckage kan uppstå till exempel på grund av avbrott i värmeisoleringen eller oisolerade ventilationskanaler i vindsutrymmet. Dålig ventilation i takets luftspalt förvärrar isbildningen. Värmeläckage smälter snötäcket på taket, varvid smältvattnet rinner ner till den kalla takfoten och fryser. Vattnet som frusit vid takfoten bildar en isdamm som ytterligare ökar isbildningen vid takfoten. Isdammar kan även förekomma på andra delar av taket. Det uppdämda vattnet kan tränga in i takkonstruktionen, till exempel genom otäta uppvik och olika slags otätade överlappningar av takmaterialet. Uppdämning är vanligast när temperaturen varierar runt 0 °C. Bild 7.63 visar en isdamm vid takfoten och principen för hur den orsakar vattenläckage.

Yttertakets genomföringar kan fungera som värmebryggor och överföra värme från inomhusluften till taket. Värmen smälter snön i närheten av genomföringen. Det smälta vattnet rinner mot kallare områden och fryser. Det frysta vattnet dämmer upp vattnet till en pöl runt genomföringen (bild 7.64).

Spår av läckagevatten som syns i innertaket kan ha annan orsak än ett läckage i yttertaket. De spår av läckagevatten som syns i bild 7.65 har uppkommit i samband med en tidigare reparation av taket. En inspektion av yttertaket visade att takbeläggningen är relativt ny och i gott skick. Vid intervjuer med personalen framkom att skyddspresenningarna som täckt de öppnade konstruktionerna hade slitits bort av ett oväder under veckoslutet, vilket gjorde att regnvatten trängde in i konstruktionerna.

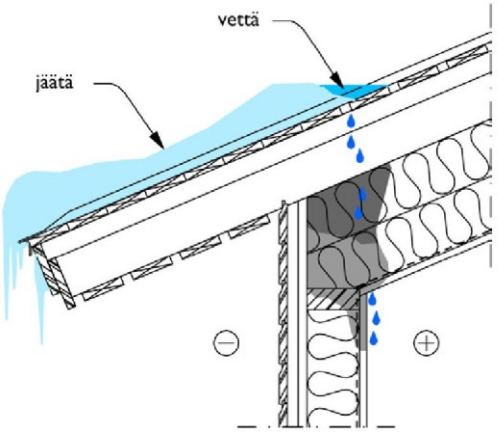


Bild 7.63. Vattenpöl som orsakats av en is- och snödamm som bildats vid takfoten.



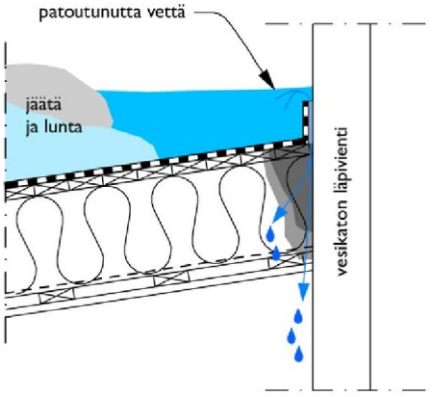
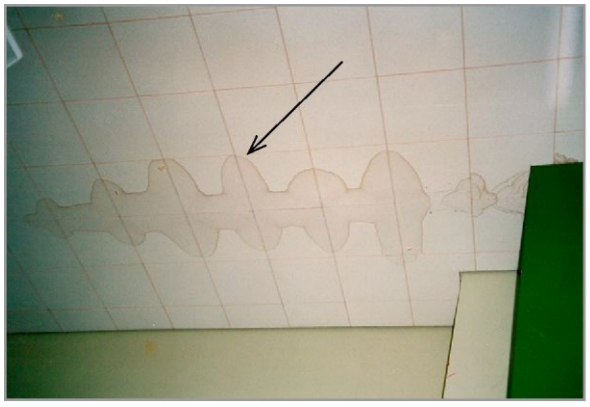


Bild 7.64. Uppdämning av vatten på taket orsakat av en varm genomföring och skadeprincipen i exempelfallet. I bild patoutunutta vettä = uppdämt vatten, vesikaton läpivienti = genomföring i yttertak. Foto: P. Laamanen, Vahanen Oy.



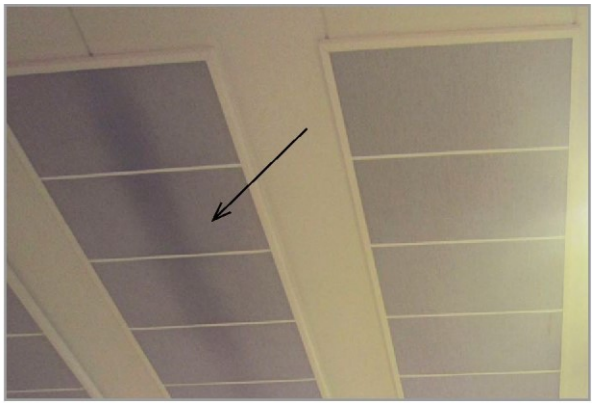


Bild 7.65. Vänster bild: spår av läckande vatten i klassrumstaket. Skadorna hade uppstått i samband med reparation av yttertaket. Obs. Spår som orsakats av fukt ska inte förväxlas med mörkare partier orsakade av luftläckage (bilden till höger, spår i takets akustikskiva vid håldäckets fog). Bilder: P. Laamanen och M. Pitkäranta, Vahanen Oy.

Vattenläckage som upptäckts i utrymmen under låglutande tak kan förekomma också under byggfuktens uttorkningsfas, vilket inte ska förväxlas med läckage i yttertaket. Dessutom kan fukt från inomhusluften kondensera på takets undersida till exempel vid köldbryggor.

Vindsbjälklag

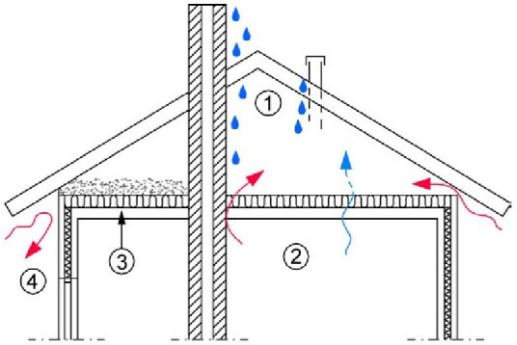
Skador på vindsbjälklaget på grund av läckage i yttertaket har behandlats i avsnittet *Yttertak*.

Vid konditionsundersökningar av vindsbjälklagskonstruktioner koncentrerar man sig på alla väsentliga värme-, fukt- och strömningstekniska faktorer som påverkar den aktuella takkonstruktionens funktion. Fukthalten i vindsutrymmet beror på den mängd fukt som tillförs, avlägsnas eller binds i konstruktionerna. Fukthalten påverkas av temperaturskillnaden mellan det ventilerade vindsutrymmet och utomhusluften, utomhusluftens fukthalt, diffusion och konvektion av fukt från inomhusluften samt fukttillskott från eventuella takläckage.

Utomhusluftens fuktighet förs in i vindsutrymmet i huvudsak genom konvektion via ventilationsluften. De fuktbelastningar som påverkar vindsbjälklagskonstruktionerna visas i bild 7.66.

Fukt överförs till kalla konstruktionsdelar genom diffusion om vindsbjälklaget inte är ångtätt. När det gäller diffusion fungerar och skadas vindsbjälklagskonstruktioner på liknande sätt som ytterväggar, se avsnitt 7.2.4.

Skador orsakade av fuktkonvektion uppstår i vindsutrymmet när luftströmmar förekommer inifrån genom vindsbjälklaget eller genom otätheter i konstruktionen (bild 7.67) upp till vinden, och takkonstruktionens temperatur ligger under rummets kritiska temperatur. Överskottsfukten kondenserar i yttertakets konstruktioner och kan frysa på vintern. När det frusna vattnet smälter kan det droppa ned på vindsbjälklaget och orsaka lokal risk för fuktskada. Dessutom kan byggfukt utgöra en betydande fuktbelastning i nya byggnader.



1 Yttertaket läcker på grund av otät taktäckning och/eller vid genomföringar
2 Inomhusfukt transporteras till kalla konstruktioner med diffusion och konvektion
3 Hög fuktighet i vindsbjälklag
4 Ventilationen fungerar bristfälligt om värmeisoleringen täpper igen luftspalten

Bild 7.66. Vindsbjälklaget fuktbelastningar.

Ur fuktkonvektionssynpunkt är lufttätheten hos vindsbjälklagets ångspärr (bild 7.67) samt tätningarna mellan olika konstruktionsdelar och genomföringar (bilder 7.68 och 7.69) särskilt kritiska. Fukt från inomhusutrymmen med övertryck kan genom konvektion tränga upp i vindsutrymmet via otäta fogar eller genomföringar mellan håldäck (bild 7.68). Konditionsgranskaren bör bedöma om ångspärrens skarvar och konstruktionens genomföringar är lufttäta och om konstruktionens ventilation är tillräcklig i förhållande till dess täthet.

I en byggnad med sadeltak samlas den fukt som rör sig med luften vid taknockens högsta punkt. Den kondenserade fukten kan droppa eller rinna ner på vindsbjälklaget och eventuellt vidare till inomhusutrymmen och väggkonstruktioner, bild 7.69.



Bild 7.67. Skarv i ångspärr med överlappning men utan tejpning sett uppifrån genom en grop som gjorts i blåsullen. Bild: K. Viljanen, Vahanen Oy

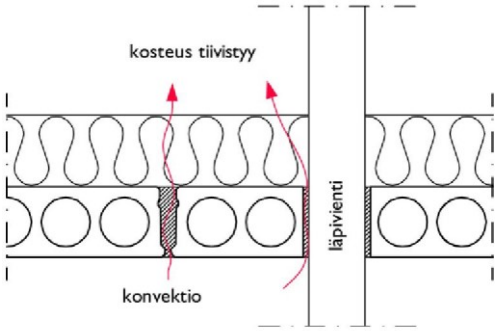


Bild 7.68. I ett vindsbjälklag med håldäckskonstruktion kan fuktig inomhusluft transporteras genom otätt utförda fogar och genomföringar till vindsutrymmet.

I tak med dålig eller obefintlig ventilation kan den fukt som samlas vid nocken orsaka mögel- eller till och med rötskador i träkonstruktionerna.

Nattetid sjunker temperaturen på en kall vind på grund av så kallad nattlig motstrålning, se avsnitt 5.5. Under kalla, vindstilla nätter kan plåttakets temperatur snabbt sjunka upp till 10 °C lägre än utomhustemperaturen, vilket leder till att fukt kondenseras på plåtens undersida. Samma effekt uppstår om det ligger kvar snö länge efter att utetemperaturen stigit över 0 °C. Snön på yttertaket fungerar å ena sidan som värmeisolering under kalla nätter, men kan å andra sidan hålla temperaturen i takkonstruktionens ventilationsutrymme lägre än utomhustemperaturen, vilket ökar risken för kondens på yttertakets insida. Vindsbjälklagets förmåga att binda fukt påverkar i sin tur kondensbildningen på undersidan av plåten, så att kondensationen minskar när fuktkapaciteten ökar.

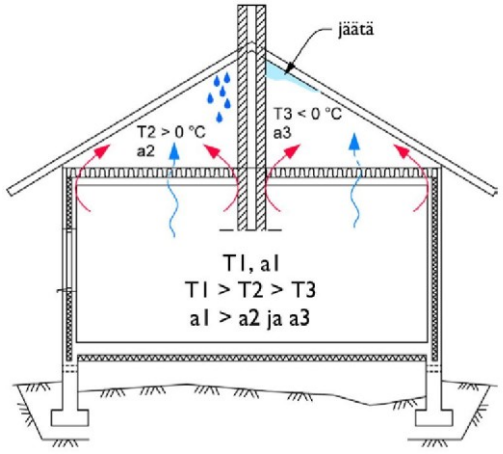


Bild 7.69. Fukttransport till vindsutrymmet genom konvektion. I bilden är T temperaturen och a är luftens absoluta fuktinnehåll.



Bild 7.70. Otät anslutning mellan underlagstaket och genomföring. Bild: P. Räisänen, Vahanen Oy.



Bild 7.71. Tillräcklig utsträckning av underlagstaket utanför vägglinjen. Bild: K. Viljanen, Vahanen Oy.

I äldre takkonstruktioner bör man kontrollera om det finns underlagstak och om den är rätt utförd. Om underlagstaket saknas eller är bristfälligt utförd, ska man bedöma om detta har orsakat skador på konstruktionerna. Om genomföringarna i yttertaket inte har tätats omsorgsfullt rinner vatten som strömmar på underlagstaket ner till vinden vid sidan av genomföringen (bild 7.70). Spikar och skruvar som används för att fästa taktäckningen perforerar ofta underlagstakets material.

Underlagstaket bör sträcka sig åtminstone utanför ytterväggslinjen (bild 7.71). Annars kan vatten som rinner ovanpå underlagstaket ledas in i konstruktionerna på ett skadligt sätt.

Risken för fuktskador påverkas av mängden ventilationsluft i vindsbjälklaget och dess förmåga att binda fukt. Vindsutrymmet ventileras med hjälp av den tryckskillnad som vinden, temperaturskillnader eller ett mekaniskt ventilationssystem ger upphov till. Konditionsgranskaren ska bedöma om vindsbjälklaget ventileras tillräckligt.

Ventileringen av ett vindsbjälklag som ventileras med hjälp av vind och temperaturdifferenser kan vara otillräcklig, om

- det finns för få ventilationsöppningar och/eller -springor eller om de är för små
- ventilationsöppningarna eller -springorna är igentäppta (bild 7.72
- luftspalterna är för trånga eller om de är igentäppta (bild 7.73)
- det finns skuggområden i ventileringen
- byggnaden ligger på en vindskyddad plats, så att tryckdifferensen över byggnaden inte är tillräcklig, se avsnitt 5.5
- byggnadens stomdjup är stort
- ventilationsutrymmet är för lågt
- temperaturskillnaden mellan ventilationsutrymmet och utomhusluften samt taklutningen är liten
- vindsbjälklaget är sektionerat.



Bild 7.72. Man har försökt åtgärda luftspalten mellan yttertakets underlagstak och värmeisoleringsullen med brädstumpar. Bild: P. Laamanen, Vahanen Oy.



Bild 7.73. Montering av takbjälklagets isoleringsmaterial mot underlagstaket har medfört fuktskador i bjälklaget. Bild: T. Manninen, Vahanen Oy.

I exemplet i bild 7.72 blockerar värmeisoleringen luftspalten, och vindsutrymmets dåliga ventilation har försökt förbättras genom att korrigera luftspalten mellan underlagstaket och isoleringsullen med brädstumpar. Avvikande från planerna hade man i byggskedet glömt ventilationen vid nocken och underlagstakets brädor hade murknat.

Ventilationsluftens förmåga att binda fukt beror på utomhusluftens relativa fuktighet och på om ventilationsluften värms upp i ventilationsutrymmet. När luften värms upp sjunker den relativa fuktighet och mättnadsunderskottet ökar, vilket i sin tur ökar ventilationsluftens förmåga att binda fukt. I motsatt fall, om ventilationsluften kyls ner, avger ventilationen fukt till konstruktionen.

Bild 7.73 visar ett exempel på en fuktskada som uppstått i samband med en takrenovering, där tilläggsisolering installerats ovanpå gammal sågspånsisolering. Renoveringen av övre bjälklaget hade gjorts utan att lämna en luftspalt mellan underlagstaket och den nya värmeisoleringen. För att en sådan konstruktion ska fungera, borde underlagstaket ha varit ånggenomsläppligt (vindskyddsunderlag), men så var inte fallet här. Vattenånga hade samlats i värmeisoleringsskiktet, vilket ledde till att de träkonstruktioner som bar upp isoleringen hade murknat på vissa ställen så mycket att taket hade sjunkit ner. Vid rivningsarbetet observerades att värmeisoleringen i övre bjälklaget var fuktigt. På undersidan av underlagstaket observerades droppformad kondens.

Vid fuktmätningar i vindsbjälklag kan man använda sig av tillfälliga eller kontinuerliga mätningar. I praktiken görs oftast tillfälliga mätningar, till exempel när temperaturen och fuktigheten i takets värmeisolering mäts med en givare. En utmaning vid kortvariga mätningar är att tolka mätresultatet, eftersom det representerar en enskild punkt på taket, en specifik plats i konstruktionen och dessutom ett visst mättillfälle. Till exempel kan den relativa fuktigheten i värmeisoleringen i ett låglutande tak förändras med upp till 40 procentenheter under en timme när solljuset träffar taket (Viljanen K., 2012).

Den mest tillförlitliga tillfälliga mätmetoden för att fastställa fuktnivån i vindsbjälklaget är en torknings-vägningsmetod, där ett prov tas från takets värmeisolering genom hela dess höjd. På så sätt representerar provet hela höjden för konstruktionens värmeisolering. Dessutom kan fuktmängden [kg/m^3] i provet lättare analyseras, eftersom fuktinnehållet i materialet förändras långsammare än den relativa fuktigheten i materialets porluft.

Mätpunkternas placering och mätmetoderna som används i takkonstruktioner måste alltid planeras noggrant i förväg.

Konditionsutredaren ska bedöma om fukthalten som uppmätts i vindsbjälklagets värmeisolering är förhöjd och, om så är fallet, om kan den tillåtas torka ut utan torkåtgärder utan att det medför risk för fuktskador eller hälsorisker.

7.2.6

Väggar, grundkonstruktioner och bottenbjälklag mot marken

A. Marknära konstruktioners värme- och fuktteknisk funktion

Ventilerad grundtyp, s.k. krypgrund

I krypgrunder (bild 7.7 konstruktion 9) varierar luftens relativa fuktighet under olika årstider beroende på de rådande temperatur- och fuktförhållandena i utomhusluften (bild 7.74). Förhållandena i krypgrunden formas av flera faktorer, såsom värmeisoleringen i bjälklaget mot uppvärmda inomhusutrymmen, ventilationen i kryputrymmet, fuktproduktionen från markytan, samt hur snabbt temperaturen förändras i markytan och konstruktionerna (termisk diffusivitet) vid förändringar i utomhustemperaturen.

Krypgrunden och marken under byggnaden är värmetekniskt trögt, det vill säga temperaturen i krypgrundens luft ändras långsammare än utomhustemperaturen. I mitten av krypgrunden sker ändringarna långsammare än vid ytterkanterna. På vintern är krypgrunden oftast varmare än utomhusluften och den inkommande kalla luften torkar ut kryputrymmet. Då sjunker den relativa fuktigheten i krypgrunden, eftersom den absoluta fuktmängden i utomhusluften är låg under vintern. På sommaren är krypgrundens temperatur lägre än utomhustemperaturen.

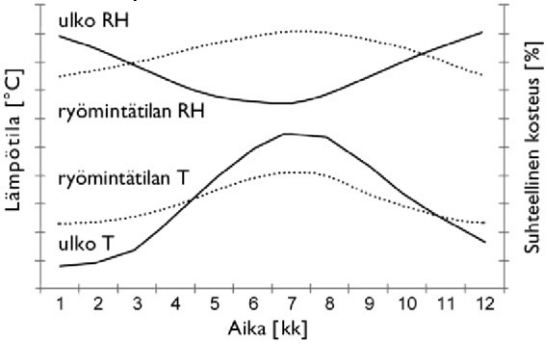


Bild 7.74. Principbild av variationen i luftens temperatur och relativa fuktighet i en ventilerad krypgrund under ett års tid. I bild ryömintätila = krypgrund.

När fuktig utomhusluft strömmar in genom ventilationsöppningarna till det svala kryputrymmet, stiger den relativa fuktigheten i krypgrunden.

Om de konstruktioner som avgränsar krypgrunden är värmetekniskt tröga, kan ökad ventilation under sommaren höja fukthalten i kryputrymmet, eftersom alltmer varm och fuktig utomhusluft strömmar in i den kallare krypgrunden. Detta kan leda till så kallad sommarkondens, där utomhusluftens fuktighet kondenserar på ytor som är kalla efter vintern, vilket fuktar konstruktionerna. Ökad ventilation under vintern torkar ut krypgrunden, men kan också kyla ner en dåligt isolerad golvkonstruktion. Variationerna i krypgrundens och utomhusluftens temperatur och relativ fuktighet visas i bild 7.74.

I en välventilerad krypgrund utan för mycket fuktavgivning från marken är den relativa fuktigheten i luften i krypgrunden vanligtvis mellan 60–80 %. Det är dock vanligt att den relativa fuktigheten i krypgrunden sommartid varierar mellan 80–95 % och tillfälligt kan stiga upp till 100 %.

Hur väl krypgrunden ventileras beror på ventilationsöppningarnas sammanlagda effektiva yta och deras placering i grundmuren, utrymmets öppenhet samt mikroklimatet. Riktlinjer för ventilation av krypgrunder finns i publikationen *RIL 107-2012. Rakennuksen veden- ja kosteudeneristysohjeet* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012). Kraftig fuktproduktion från marken kan inte kompenseras genom ventilering av krypgrunden.

Fuktavgivningen från marken i en krypgrund beror bland annat på grundvattennivån och markens kapillaritet. Fuktavgivningen kan minskas med ett kapillärbrytande lager på botten av krypgrunden, vilket vanligtvis består av makadam. Även plastfilm har använts för att begränsa markens fuktproduktion. Enligt nuvarande riktlinjer rekommenderas inte användning av plastfilm, men i renoveringsobjekt kan perforerad plastfilm användas i undantagsfall. I sådana fall får det inte finnas organiskt material som kan mikrobskadas under plastfilmen (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012).

Temperaturen i krypgrunden kan höjas något genom att värmeisolera den kalla markytan med till exempel lättklinker. En temperaturhöjning sänker den relativa luftfuktigheten i krypgrunden sommartid. Samtidigt minskar isoleringsskiktet markens fuktavgivning.

Att markytan lutar bort från byggnaden och dräneringen fungerar är viktiga faktorer för att hindra ytvatten från att ta sig in i krypgrunden. I krypgrunden bör markytans lutningar förhindra att vatten samlas i pölar på parkytan.

I extremfall kan högre fukthalter än de ovan nämnda riktvärdena accepteras i krypgrunder, om det är tekniskt och ekonomiskt svårt att eliminera fuktkällorna, om bottenbjälklaget är av betong och om konstruktionen är lufttät. Helt lufttäta konstruktioner är dock svåra att åstadkomma, så krypgrunden bör i första hand vara fuktteknisk fungerande.

Bottenbjälklagskonstruktionen mellan krypgrund och rumsutrymme

Den normala fuktnivån i bottenbjälklag beror på förhållandena i krypgrunden och inomhusluften samt på bottenbjälklagets konstruktionstyp. Fuktnivåerna varierar mycket och den fuktnivå som kan anses acceptabel beror på de material som använts i bottenbjälklaget (avsnitt 6.2.3).

I ett bottenbjälklag av betong (bild 7.7 bild 5) bör fuktnivån ligga inom det hygroskopiska området, det vill säga den relativa fuktigheten ska vara under 98 %. På undersidan av bottenbjälklaget eller insidan av sockeln kan det tidvis förekomma till och med kondenserad fukt. Situationen kan ändå vara acceptabel om det i bottenbjälklaget inte finns organiskt material som kan mikrobskadas, såsom gamla formbrädor, eller om den höga fukthalten förekommer endast tillfälligt. I den övre delen av bottenbjälklagskonstruktionen varierar den relativa fuktigheten typiskt i intervallet 60–85 %, beroende bland annat på konstruktionstyp, byggnadens ålder, använda ytmaterial och eventuell golvvärme. De uppmätta fukthalterna i bottenbjälklaget (g/m³) bör ligga mellan krypgrundens och inomhusluftens genomsnittliga fukthalter. Närmare anvisningar om beläggning av betongkonstruktioner och om fuktgränsvärden för olika beläggningsmaterial finns i publikationen Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen (Merikallio T., m.fl., 2007; ny version by 76, 2024).

I krypgrundskonstruktioner med betongbjälklag som är värmeisolerade med cellplast ovanpå den bärande konstruktionen kan byggfukt i konstruktionen höja den relativa fuktigheten till höga nivåer vid värmeisoleringens under- eller översida. Detta är i allmänhet inte skadligt, eftersom förhållandena för mikrobväxt är ogynnsamma i konstruktioner av typen betong–cellplast–betong, förutsatt att isoleringsutrymmet är rent och att inget byggavfall har lämnats kvar där. Konstruktionen måste dock kunna torka ut på lång sikt, och den underliggande krypgrunden ska vara fuktteknisk fungerande.

I bottenbjälklag av trä (bärande balkar av trä, s.k. trossbotten) är det i allmänhet svårare att uppnå lufttäthet för bottenbjälklagets insida jämfört med betongkonstruktioner. Den relativa fuktigheten i krypgrunden bör begränsas till under 80 % för att undvika att gynnsamma förhållanden för mikrobtillväxt uppstår. Med fukttåliga vindskyddsskivor kan dock en högre fukthalt i krypgrunden accepteras.

För träbjälklag kan den fuktteknikska funktionen vid behov förbättras genom att värmeisolera bottenbjälklagets undersida, och därigenom täcka de bärande träkonstruktionerna.

Bottenbjälklag mot mark

Bottenbjälklagskonstruktioner mot mark (bild 7.7 konstruktion 7) kan vara i kontakt med kapillärt uppstigande markfukt, vilket kan leda till höga fukthalter i bjälklagets konstruktioner (bild 7.75). I grundkonstruktioner (bild 7.7 konstruktion 8) som pålar, grundplattor och de yttre delarna av grundmurar kan å andra sidan till och med fukthalter inom det kapillära området accepteras. Förutom kapillärt uppstigande fukt finns det även andra möjliga orsaker till höga fukthalter i bottenbjälklag, såsom byggfukt, fuktvandring från marken genom diffusion, vattenskador ovanifrån, interna rörläckage i konstruktionen eller värmekällor i marken (bl.a. varma rör). Storleken på diffusionen av vattenånga påverkas av temperaturdifferensen mellan bottenbjälklagskonstruktionen och det underliggande gruslagret. Ju tjockare värmeisolering i bottenbjälklaget som ligger mot marken, desto mindre diffusion av vattenånga från marken upp till konstruktionen.

Jordlagret under byggnaden har året runt en temperatur på cirka +10...+20 °C Den relativa fukthalten i markens porer ligger typiskt mycket nära 100 %, även om grundvattennivån kontrolleras genom dränering. Därmed råder det gynnsamma förhållanden för mikrobtillväxt i marken under byggnaden. Höga relativa fuktvärden och mikrobiella mängder som uppmäts i jordlagret under ett marknära bottenbjälklag innebär inte nödvändigtvis att bjälklagskonstruktionen är fuktskadad. I sådana fall måste konditionsundersökaren bedöma om föroreningar från marken kan spridas till inomhusluften och försämra luftkvaliteten.

I bjälklagskonstruktioner mot mark bör det finnas ett kapillärbrytande skikt, som ett lager grov makadam med lite finmaterial, som förhindrar markfukt från att kapillärt tränga upp i konstruktionens ytskikt eller i övrigt påverka bjälklaget negativt. Ett kapillärbrytande skikt kan även utgöras av värmeisolering i cellplast. Ett fungerande dräneringssystem ska säkerställa att vattennivån inte stiger för högt, vilket skulle kunna göra att kapillärt stigande markfukt når en nivå där den kan förorsaka skador i bottenbjälklagets material.

I äldre bjälklagskonstruktioner mot mark har plastfolie använts för att kontrollera markfukt. Folien kan vara placerad ovanpå marken, mitt i fyllnadsmaterialet, under värmeisoleringen eller mellan värmeisoleringen och betongplattan. Vid nyproduktion används ångspärr i plast numera i regel inte marknära konstruktioner.

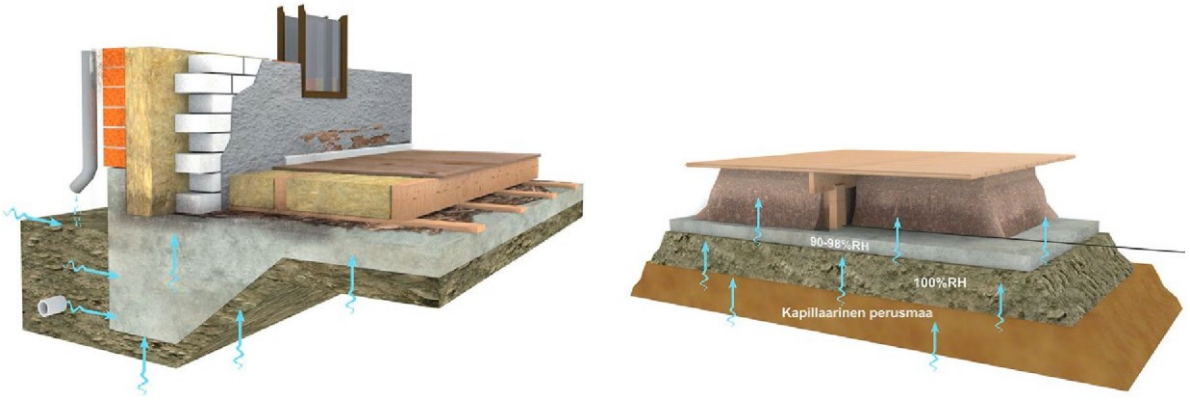


Bild 7.75. Bottenbjälklagskonstruktioner mot mark. I den vänstra bilden en kantförstärkt platta mot mark och ovanpå den ett mineralullsisolerat trägolv på träreglar. I den högra bilden ett sågspånsisolerat trägolv ovanpå plattan. I båda fallen kan det uppstå skador på grund av markfukt, speciellt på värmeisoleringens undersida. Bild: Kosteus- ja hometalkoot, 2012.

Detta grundar sig på en funktionsprincip där man inte vill begränsa fukttransport från konstruktionen till marken eller tvärtom med plastfolie.

I bottenkonstruktioner mot mark förhindras numera ytvatten från att tränga in i konstruktionen eller den underliggande marken med hjälp av dränering intill sockeln och i undergrunden samt genom utformning av markytan. Äldre byggnader har inte nödvändigtvis dränering, men en del av byggnaderna fungerar väl trots detta.

I de övre delarna av en betongplatta mot mark tillåts inte höga fukthalter om det ovanpå plattan finns ett uppreglat trägolv eller andra skadekänsliga material i konstruktionen. Även fuktkänsliga ytmaterial på golvet, såsom plastmattor, begränsar den fuktnivå som anses acceptabel i betongplattans övre delar. Ytmaterialen i bottenbjälklagskonstruktioner mot mark bör vara tåliga mot potentiell fuktbelastning och om möjligt även diffusionsöppna (god genomsläpplighet för vattenånga). De flesta keramiska plattor, massagolv och färger med god ånggenomsläpplighet tål en fuktbelastning som till exempel plastmattor kan ta skada av. För de flesta mattlim anses 85 % relativ luftfuktighet vara den kritiska gränsen, vilket innebär att värdet på den relativa fuktigheten i limmet under mattan inte får stiga över detta värde under längre tid. Den kritiska gränsen vid tidpunkten för beläggning är vanligtvis 85–90 % RH. I välfungerande konstruktioner mot mark stabiliseras fuktnivån under plastmattor till en nivå under 80 % RH.

Den fukt- och värmetekniska funktionen för bottenbjälklag mot mark behandlas mer grundligt i publikationen *Maanvastaisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus* (Leivo V. och Rantala J., 2002).

Väggar mot mark

Väggar mot mark (bild 7.7 konstruktion 10) är vanligtvis utförda med konstruktioner av betong eller lättklinkerblock. På väggens utsida kan det finnas till exempel ett bitumenbaserat tätskikt, en grundmursmatta eller en s.k. funktionell vattenisolering (t.ex. dränerande värmeisolering). I väggar med vattenisolering av bitumen eller med grundmursmatta är värmeisoleringen, oftast cellplast, placerad utanför dessa skikt.

I väggar mot mark bör värmeisoleringen inte placeras på väggens insida, men ofta har detta ändå gjorts, speciellt i äldre byggnader (bild 7.76). Det finns flera typer av konstruktionslösningar. En variant av detta är en källarvägg med invändig tegelmurning och isolering av mineralull eller cementspånskiva. Det största problemet med en tegelklädd värmeisolerad vägg är att tegelmuren och värmeisoleringen sträcker sig under bottenplattan ner i fuktiga förhållanden, vilket kan leda till att värmeisoleringen blir mikrobskadat och kapillär uppsugning av fukt längs tegelmuren.

Ytskikten på insidan av väggkonstruktioner mot mark bör vara fuktbeständiga och diffusionsöppna. Sådana material är till exempel spackel och färger med god ånggenomsläpplighet och fukttålighet.

Med dränerande fyllning intill grunden, till exempel makadam, leds sjunkvatten till dräneringsrören. I äldre byggnader har man vanligtvis inte använt dränerande material i grundfyllningen och inte heller installerat dräneringsrör, vilket ökar fuktbelastningen på konstruktionerna. Gamla dräneringssystem kan vara byggda av lertegelrör, vars vattenavledningsförmåga inte motsvarar dagens dräneringsrör.



Bild 7.76. Väggar mot mark som är murade av block. Värmeisolering på insidan kan skadas av markfukt, speciellt i den nedre delen. Bild: Kosteus- ja hometalkoot, 2012.

Dagvatten kan dessutom ha letts till dräneringssystemet, vilket försämrar dräneringens funktion jämfört med separata system.

I källarväggar byggda av murblock förbättrar slamning av blockens in- och utsida väggens vattentäthet, lufttäthet och värmeisoleringsförmåga. I blockkonstruktioner utan slamning uppstår okontrollerade luftflöden, vilket kan bland annat transportera vattenånga från inomhusluften till konstruktionerna. I väggar mot mark kan luftläckage även förekomma via anslutningen mot bottenbjälklagskonstruktionen.

I väggar mot mark kan det förekomma köldbryggor i den del av väggen som ligger ovanför jorden. I väggar av lättklinkerblock används numera ofta isolerblock i den övre delen av väggen, vilket förhindrar uppkomsten av sådana köldbryggor. I betongkonstruktioner kan värmeisolering ha placerats på utsidan av betongen eller utförts som en sandwichkonstruktion för samma syfte. Väggens ovanjordsdel bör dessutom vara tillräckligt vattentät och fukttålig, eftersom yt- och regnvatten inte får tränga in från sockeln till väggkonstruktionen mot mark.

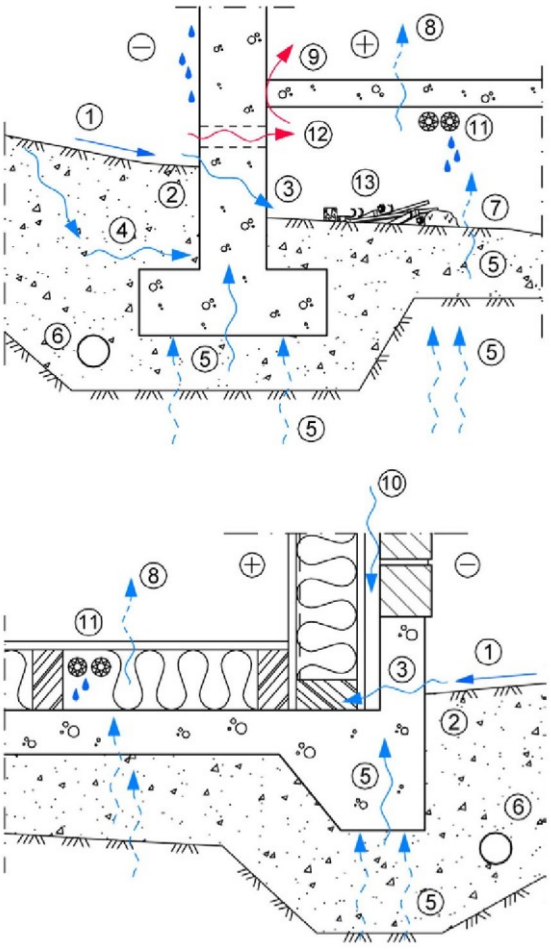
Den fuktttekniska funktionen hos väggkonstruktioner mot mark bestäms till stor del av markens fuktförhållanden, och i planeringen utgår man ifrån att den relativa fuktigheten i markens porluft är 100 %. Förutom diffusion är andra fuktkällor i källarväggar inomhusluftens fukt, byggfukt, markfukt och ytvattnets som rinner i marken.

Den normala fuktnivån i väggar mot mark varierar beroende bland annat på om det finns ett vattenisolerande skikt i väggen och var den är placerad. I äldre byggnader har man använt bitumenstrykning på insidan av betongväggen, vilket innebär att den del av konstruktionen som ligger utanför tätskiktet kan befinna sig inom det kapillära fuktområdet under normala förhållanden. Den normala fuktnivån i väggar mot mark ligger tydligt inom det hygroskopiska området, om det yttre tätskiktet samt det kapillärbrytande skiktet under bottenkonstruktionen och grundplattan fungerar som de ska. I välfungerande väggkonstruktioner mot mark sjunker fukthalten i väggarnas inre delar till under 70 % RH. Om markfukt kommer åt att stiga kapillärt upp i väggen kan den relativa fuktigheten i väggens nedre del stiga till 90–100 %.

Källarutrymmen har ofta bristfällig ventilation vilket ökar fukthalten i källarluften. I undersökningarna bör inverkan av källarluftens temperatur på förhållandena i utrymmet och konstruktionernas funktion bedömas. Uppvärmning av källaren sänker den relativa fuktigheten i inomhusluften och även i väggarna.

B. Bedömning av skaderisk för konstruktioner mot mark

De vanligaste orsakerna till fukt- och mikrobskador i grunder visas i bild 7.77. Skadan grad och omfattning beror på fuktbelastningen och konstruktionslösningarna.



1 Ytvatten rinner in i byggnaden
2 Bristfälligt dagvattensystem
3 Inträngning av ytvatten i krypgrunden och andra konstruktioner
4 Trycksatt vatteninträngning i krypgrund och andra konstruktioner
5 Kapillärstigning av vatten från byggnadsgrunden till konstruktionerna
6 Brister i dräneringen
7 Hög fuktavgivning i krypgrunden
8 Fukttransport genom diffusion
9 Fukttransport genom konvektion
10 Inträngning av regnvatten till grundkonstruktioner genom otätheter i överliggande konstruktioner
11 Rörläckage i krypgrund
12 Otillräcklig ventilation i krypgrunden
13 Byggavfall i krypgrunden

Bild 7.77. De vanligaste orsakerna till fukt- och mögelskador i grundkonstruktioner.

Kapillär transport av vatten in i konstruktioner i golv och väggar mot mark, pölbildning i krypgrunden eller kapillär uppstigning av vatten till markytan i krypgrunden är de vanligaste och mest skadliga orsakerna till fukt- och mögelskador i konstruktioner mot mark.

Vid undersökningar av krypgrunder bedöms bland annat krypgrundens ventilationsförmåga, markens fuktnivå, kondensen på ytor i konstruktioner, eventuella mikrobiella lukter, synlig förekomst av mögel- och rötskador i konstruktionerna samt mängden organiskt material i krypgrunden. Vid behov ska undersökningarna även inkludera mätningar för att bedöma bottenkonstruktionens lufttäthet och tryckförhållanden mellan krypgrunden och inomhusluften.

Ytvatten rinner in i byggnaden

Ytvatten rinner in i grundkonstruktionerna om marken lutar mot byggnaden eller om det nära markytan finns berg som lutar mot byggnaden. I bild 7.78 lutar marken mot byggnaden. Ansamling av vatten intill sockeln har orsakat fuktskador i den nedre delen av ytterväggen med falsk sockel. På grund av bristande lufttäthet i anslutningen mellan golv och vägg transporteras oren luft till inomhusluften.
Markytan intill byggnaden kan sjunka efter bygget, särskilt om marken inte har komprimerats omsorgsfullt. Ju mindre lutning markytan har bort från byggnaden, desto noggrannare måste allt byggarbete utföras för att regnvatten inte ska ledas mot grundkonstruktionerna.

I Finlands byggbestämmelsesamling, del *C2 Fukt. Föreskrifter och anvisningar. 1998* (ByggBS C2- 1998) samt i publikationen *RIL 126-2009. Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2009) är den rekommenderade marklutningen 1:20 över en sträcka på 3 m. De rekommenderade marklutningarna visas i bild 7.79.

I bild 7.80 visas gården till en byggnad där det asfalterade området framför ytterdörren har lutning in mot byggnaden.

Vid en konditionsundersökning kan man utifrån byggnadsritningar eller genom att gräva intill sockeln bedöma om ytvatten kan rinna in bakom den utvändiga värmeisoleringen, grundmursmattan eller tätskiktet och därmed tränga in i väggkonstruktionen.

Byggarbeten på gårdsområdet, såsom plantering intill väggen och asfaltering, kan höja markytans nivå. I bild 7.81 visas ett exempel på en gårdsplan som asfalterades i efterhand. I samband med asfalteringen höjdes marknivån så mycket att krypgrundens ventilationsöppningar hamnade helt eller delvis under marknivån. På grund av detta installerades ventilationsrör i öppningarna, vilket försämrade krypgrundens ventilation jämfört med den ursprungliga lösningen. Dessutom medförde höjningen av marknivån att sockelhöjden minskade, vilket ökade fuktbelastningen på den nedre delen av väggkonstruktionen i jämförelse med ursprungsläget.

Förutom att höja marknivån gör asfaltering markytan tät. Vatten rinner lätt på asfaltytan, och om lutningen går mot byggnaden tränger ytvatten in i byggnaden eller i den intill- och underliggande marken.



Bild 7.78. Markyta med lutning mot byggnaden leder in ytvatten bredvid sockeln. Bild: J. Saarinen, Vahanen Oy.

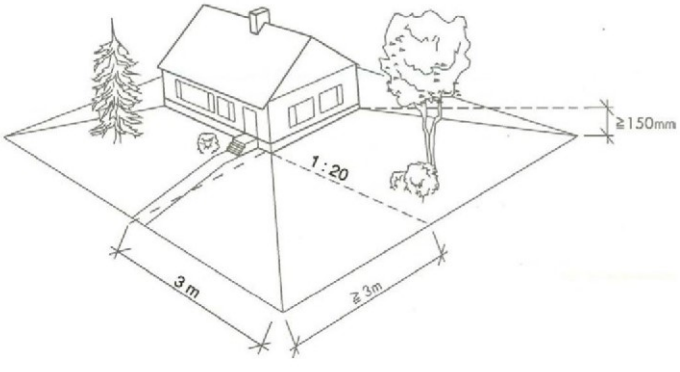
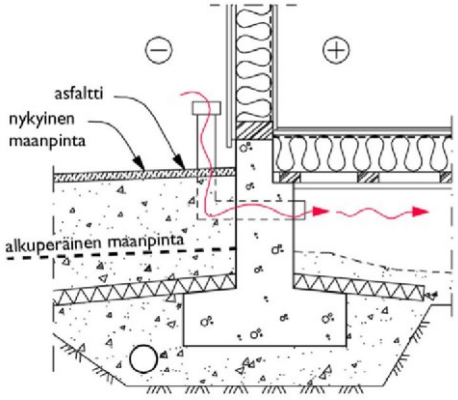


Bild 7.79. Markytans lutningar intill en byggnad enligt rekommendationerna. Bildkälla: Miljöministeriet, 1999.



Bild 7.80. Fönstrens nederkant ligger under gårdens markyta, och den omgivande markytan lutar mot byggnaden. Lösningen medför risk för fuktskada. Bild: T. Lammi, Vahanen Oy



På grund av höjning av marknivån har ventilationsrör monterats i ventilationsöppningarna. Minskningen av ventilationsöppningens effektiva yta försämrar krypgrundens ventilation.

Bild 7.81. Ventilationsrör har installerats i krypgrundens ventilationsöppningar på grund av att marknivån höjts till följd av asfaltering av gårdens. Skadeprincipen i exempelfallet.



Bild 7.82. Bristfällig takavvattning leder regnvattnet till tegelfasaden. Bild: J. Saarinen, Vahanen Oy.



Bild 7.83. Vatten stänker mot väggen och väter ner källarväggen. Bild: T. Väisänen, Vahanen Oy.

Bristfälligt regnvattensystem

Fuktbelastning orsakad av ett bristfälligt regnvattensystem kan, utöver ytterväggar och fasad, även riktas mot grundkonstruktionerna. På bild 7.82 är vattenavledningen från taket till stupröret inte vattentät, vilket gör att en del av vattnet läcker rakt in i väggkonstruktionen. Motsvarande fenomen kan även uppstå om stupröret blir tilltäppt.

I exemplet i bild 7.83 stänker regnvattnet mot byggnadens sockel och orsakar fuktbelastning på källarväggen. Stupröret leder vattnet till en dagvattenbrunn, men vid kraftigt regn blöter stänkande vatten ner sockeln/källarväggen.

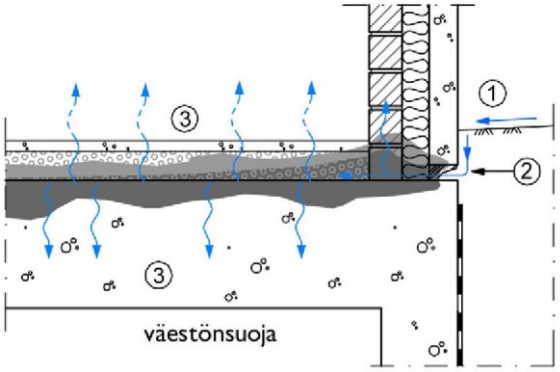
Regnvatten ska ledas från stupröret på markytan tillräckligt långt bort från byggnaden (>3 m) eller till ett dagvattenavlopp. Regnvattensystemet får inte kopplas ihop med dräneringen. Bristfällig avledning av regnvatten nära byggnaden vid stuprören är en vanlig orsak till fuktskador i grundkonstruktioner och väggens nedre del.

Inträngning av ytvatten i krypgrund och konstruktioner

Vatten som rinner mot byggnaden tränger in i grundkonstruktionerna om tätskiktet är bristfälligt eller om det finns läckageställen i konstruktionen. Bild 7.84 visar uppkomsten av en skada i mellanbjälklaget mellan skyddsrummet och första våningen. Markytan utanför byggnaden lutar mot byggnaden.

Inträngning av tryckande vatten i grundkonstruktionerna

Vattentryck förekommer i grundkonstruktioner om nivån för grundvatten eller hängande grundvatten ligger ovanför grundläggningsnivån eller om dräneringsrören är igensatta. Dessutom kan sjunkvatten orsaka tillfälligt vattentryck mot konstruktionerna när marken tinar och under tiden när marken inte är frusen. I det förstnämnda fallet måste konstruktionerna ha särskild vattentrycksisolering, se *RT 83-11032. Vedenpaineeneristys* (Rakennustietosäätiö RTS, 2011). Till följd av vattentrycket tränger vattnet in i eller genom konstruktionen om vattenisoleringen är bristfälligt eller om det finns läckage i konstruktionen. Bild 7.85 visar en källarvägg där smältvatten har runnit in på insidan genom sprickor. Väggen saknar vattenisoleringsskikt och den asfalterade markytan utanför lutar mot byggnaden.



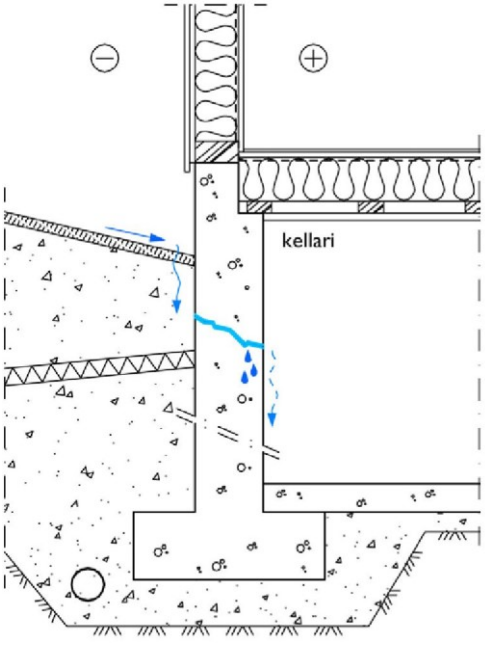
1 Markytan utanför lutar mot byggnaden. Regn- och smältvatten rinner in mot byggnaden.

2 I betongytterväggens gjutning har det blivit kvar 50x100 mm plankbitar (formstöd), som går igenom betongkonstruktionen. Plankbitarna som blivit kvar i betongen murknar och vatten som runnit fram till väggen kan genom öppningarna rinna in ovanpå skyddsrummets betongmellanbjälklag.

3 Vattnet som runnit ut på betongmellanbjälklaget sugs kapillärt upp i betongen, tegelväggen och lättklinkern. Från lättklinkern sugs vattnet upp till ytplattan av betong och skadar golvets ytskikt.

Bild 7.84. Fuktskada i skyddsrumstak, orsakat av ytvatten. Bildkälla: Kurnitski J., m.fl., 1996.





Ytvatten rinner mot byggnaden på ett tätt ytskikt med lutning mot byggnaden.

Bild 7.85. Läckande spricka i källare och principen i exempelfallet. Foto: E. Kauriinvaha, Vahanen Oy.

Kapillär transport av vatten till konstruktioner

Vatten transporteras kapillärt från marken till grundkonstruktionerna om de saknar vattenisolering eller annat kapillärbrytande skikt. Vatten som tagit sig in i konstruktionen fortsätter att sprida sig kapillärt, och fukthalten ökar också på konstruktionens insida, se bild 7.86.

Vatten i marken sugs upp i en betongplatta som ligger direkt mot marken, om det inte finns ett tillräckligt kapillärbrytande skikt under den, vanligtvis ett kapillärbrytande gruslager. Ett felaktigt kapillärbrytande skikt är ofta orsaken till fuktskador i golvkonstruktioner mot mark. I sådana fall saknas det kapillärbrytande skiktet helt, eller så är det för tunt i förhållande till den kapillära vattenstigningen. Det kapillärbrytande skiktets tillräcklighet kan inte bedömas tillförlitligt enbart utifrån konstruktionsritningar utan kännedom om gruslagrets kapillära egenskaper.

Med hjälp av fuktmätningar i konstruktionerna kan man uppskatta mängden fukt som transporteras till den markburna bottenbjälklagskonstruktionen, transportens riktning, som också kan vara från konstruktionen mot grusbädden, transportmekanismerna samt, utifrån dessa uppgifter, bedöma funktionen hos det kapillärbrytande skiktet. Genom att öppna upp konstruktionen i det marknära bottenbjälklaget kan man kontrollera konstruktionstypen och konstruktionernas skick. När konstruktioner öppnas bör man vara försiktig så att golvvärmerör inte skadas.

Bristfällig dränering

Vanliga brister i dräneringssystemet är planeringsfel, installationsfel, skador, igensättning och brister i underhållet.

Planeringsfel inkluderar bland annat felaktig höjdplacering och felaktig horisontell placering, samt att dränering helt eller delvis saknas, till exempel att kontrollbrunnar saknas.

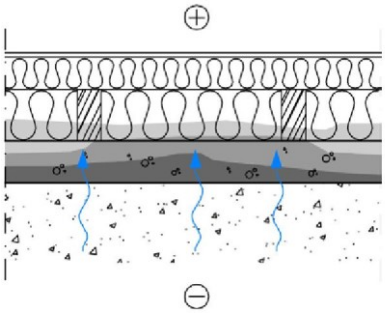


Bild 7.86. Platta mot mark som skadats av kapillär transport av vatten.

I allmänhet bör det finnas dränering runt en byggnad. På områden med mycket vattengenomsläpplig mark, som på genomsläppliga åsar, kan man utelämna dräneringen. Om byggnadens grundläggningsdjup är stort kan dränering behövas även under byggnadens mittområden. Det finns anvisningar för planering av dränering i publikationen *RIL 126-2009. Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2009) och *RIL 107-2012 Rakennuksen veden- ja kosteudeneristysohjeet* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012) samt i Finlands Byggbestämmelsesamling del *C2 Fukt. Föreskrifter och anvisningar- 1998* (ByggBS C2-1998).

Installationsfel i dräneringen är till exempel felaktig höjdplacering och felaktig horisontellt läge, felaktiga lutningar och användning av fel typ av fyllnadsmaterial i dräneringslagret. Dessutom kan själva installationen av nätverket vara slarvigt utförd när det gäller detaljer, till exempel byggs inga inspektionsrör, eller dräneringsrören ansluts inte till inspektionsrören eller dräneringsbrunnarna tillräckligt noggrant. Alltför snäva böjar i dräneringsrören förhindrar underhållsspolning.

Dräneringssystemet kan skadas under byggskedet, till exempel i samband med fyllningsarbeten intill byggnaden eller markarbeten relaterade till gårdsarbeten. Ojämn sättning av marken, sättningar i inspektionsrör och dräneringsbrunnar samt tjällyftning av marken kan skada dräneringssystemet under byggnadens användningstid. Dräneringssystemet kan täppas till exempelvis av finkorniga markämnen som tränger in i rörsystemet, av trädrötter som växt in i systemet, av tjäle eller av utfällningar av järnrikt vatten. Dessutom kan dräneringssystemet blockeras av skräp och annat material som kommit in i eller slängts ner i inspektionsrören. Rörsystemet kan vara igentäppt i rören intill byggnaden eller längre bort, mellan byggnaden och platsen där dräneringsvattnet leds bort.

Ett bristfälligt dräneringssystem ökar fuktbelastningen på grundkonstruktionerna. Vid en konditionsundersökning ska alltid hela dräneringssystemet granskas, inklusive de delar som finns runt byggnaden och mellan byggnaden och dräneringsvattnets utlopps. Vid granskningen ska man också ta hänsyn till hur ojämn sättning av marken på tomten kan påverka dräneringens funktion.

Bild 7.87 visar ett exempel på ett byggnadsobjekt där man på grund av de fuktskador som ett bristfälligt dräneringsnätverk orsakat var tvungna att bygga ett nytt dräneringssystem och ny vattenisolering för grundkonstruktionerna.



Bild 7.87. Bygge av dräneringssystem i renoveringsobjekt. I bilden syns utgrävningen intill byggnaden samt i den installerade dräneringsrör och inspektionsrör, samt vattenisoleringen för grundmuren. Bild: J. Ahokas, Vahanen Oy.

Fuktbelastning från vattendiffusion i källarväggar och bottenbjälklag

Under den kalla årstiden transporteras fukt från krypgrunden genom diffusion till kalla byggnadsdelar i anslutning till krypgrunden, till exempel delar av grundmuren som gränsar mot utomhusluften. Fukt som transporteras genom diffusion från inomhusluften orsakar ytterligare belastning på grundkonstruktioner med krypgrund och platta på mark.

I bild 7.88 ses en skadad bärande träbalk i trossbotten som ligger mot en oisolerad betonggrundmur. Bild 7.89 visar den beräknade fuktfördelningen i konstruktionen i bild 7.88 vid utomhustemperaturen +5 °C.

I beräkningsexemplet i bild 7.89 ligger träbottenbjälklagets fuktnivå inom det kritiska området för skada, i de delar som ligger mot betonggrundmuren. Till dessa delar transporteras fukt från inomhusluften och krypgrunden genom diffusion i riktning mot lägre ånghalt.



Bild 7.88. Skadad anslutning mellan träbottenbjälklag och betongrundmur. Bild: E. Kauriinvaha, TKK, Talonrakennustekniikan laboratorio.

Fukt samlas på den täta och kalla betongytan, vilket är en vanlig orsak till fuktskador i dessa konstruktioner, se bild 7.90.

Vid konstruktionsplanering antas den relativa fuktigheten i marken och på undersidan av en platta mot mark generellt vara 100 %. Om bottenbjälklagets värmeisolering är installerad ovanför betongplattan och golvbeläggningen består av ett material med låg ånggenomsläpplighet, såsom en plastmatta, är den relativa fuktigheten vid betongplattans ovansida typiskt nära 100 %. I sådana fall är fuktbelastningen på konstruktionerna ovanför betongplattan hög, och speciellt träkonstruktioner, exempelvis golvreglar, befinner sig inom skaderiskområdet. I äldre bottenbjälklag mot mark förekommer det inte nödvändigtvis någon värmeisolering under betongplattan, utan isoleringen finns helt och hållet ovanpå den markburna betongplattan. Om det i denna situation finns en fuktspärr på betongplattans ovansida, kan vattenånga under fuktiga somrar kondensera på fuktspärrens ovansida.

Den kylande effekten av luftläckage kan också öka mängden fukt som transporteras till de aktuella byggnadsdelarna genom diffusion. Bilden 7.91 visar skaderiskområdena för en platta mot mark utan värmeisolering undertill.

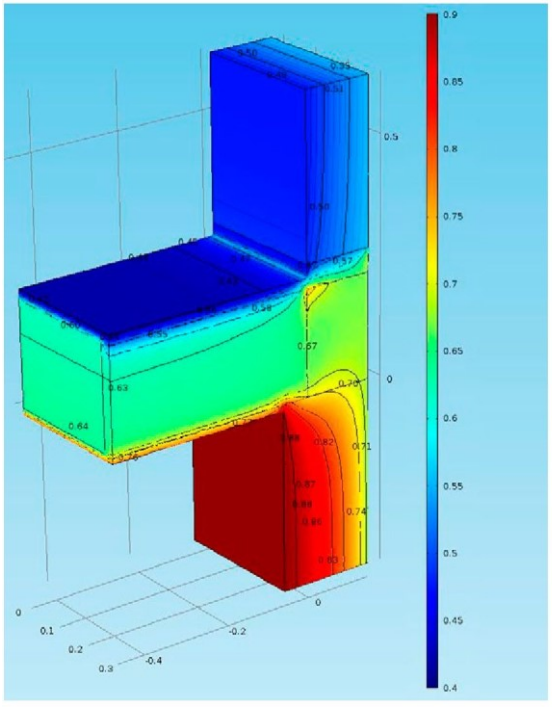


Bild 7.89. Exempel på beräknad fördelning av relativ fuktighet vintertid i ett träbottenbjälklag som vilar mot en betonggrundmur, jfr bilderna 7.88 och 7.90. Relativ fuktighet: rött = 80–90 %, gult 65–80 % och blått 40–65 %. I krypgrunden 90 % RH, inomhus 40 % RH.

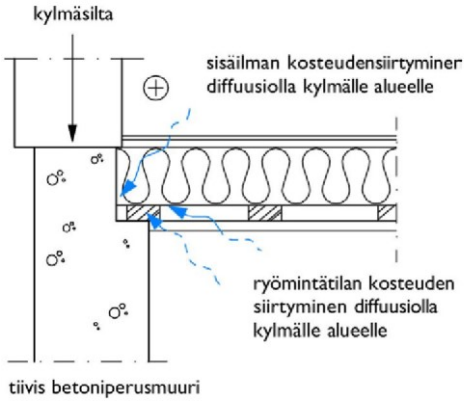


Bild 7.90. En grundmur utan värmeisolering fungerar som en tät ytteryta och köldbrygga (kylmäsilta).

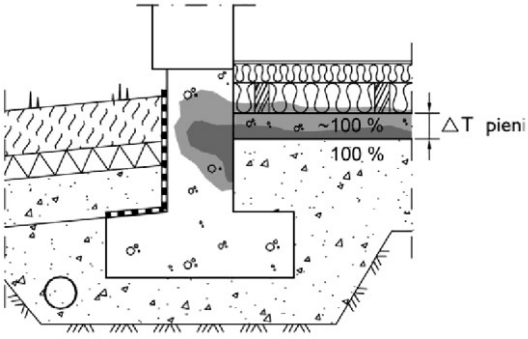


Bild 7.91. Platta mot mark utan värmeisolering under. Områden med risk för fukt- och mögelskador är rastrerade.

Inverkan av den eventuella ångspärrplasten på en marknära bottenkonstruktions fukttekniska funktion bedöms från fall till fall.

I väggar mot mark kan riktningen för vattenångans diffusion variera. Om det har använts ångspärr i den invändiga värmeisoleringen i källarväggen, kan vattenånga samlas i konstruktionen. Lufttät cellplastisolering och mur av lättklinkerblock fungerar i allmänhet bättre som invändig värmeisolering än mineralull i skivform.

I äldre källarväggar kan man inte vara säker på kvaliteten hos väggens ytbeläggning. En ångtät ytbeläggning kan leda till fuktskador i konstruktionen, särskilt vid fuktbelastning utifrån.

En köldbrygga ovan jord i källarväggen kan orsaka att inomhusluftens fukt kondenserar på väggens insida, vilket främst kan leda till mindre olägenheter som till exempel att färgen på ytan skadas.

Vid undersökningar av invändigt isolerade källarväggar kan man göra en konstruktionsöppning för att säkerställa väggens uppbyggnad och sensoriskt eller med provtagning bedöma om väggkonstruktionen är skadad.

Fuktnivån i källarväggar kan undersökas med en ytfuktindikator och vid behov med borrhålsmätning. Förhöjda fukthalter kan också upptäckas sensoriskt, som skador i väggens färg- och spackelyta. En fungerande vattenisolering i en väggkonstruktion mot mark bör inte punkteras utan särskilt giltiga skäl. I så fall måste man säkerställa att öppningen försluts tätt, och att punkteringen inte leder till att fukt tränger in i konstruktionen.

Vid bedömning av källarväggars fuktnivå ska man beakta fuktens möjlighet att torka ut mot inomhusluften och marken. Fukt i väggen torkar inåt genom diffusion om det inte finns en vattenisolering eller ångspärr på insidan av konstruktionen. Källarväggen kan också torka utåt om konstruktionen innehåller en grundmurskiva eller en värmeisolering som fungerar som vertikal dränering.

Fuktkonvektionsbelastning i grundkonstruktioner

När ett varmt utrymme har övertryck i förhållande till ett kallt utrymme, transporteras luftens fuktighet genom konvektion via läckagepunkter till konstruktionernas kalla delar, vilket gör att den relativa fuktighet där ökar. Läckagepunkter finns till exempel vid genomföringar, konstruktionernas skarvar och skadade delar i ång- och/eller luftspärrar samt bristfälligt utförda anslutningar till dem. Tryckskillnader i byggnaden varierar mycket beroende på konstruktionernas täthet, årstid, yttre förhållanden och hur ventilationssystemet används, se avsnitt 5.5.

I bild 7.92 visas variationen i tryckskillnaden över en ventilerad bottenkonstruktion orsakad av ventilationssystemet under ett dygn. Bilden visar också den relativa fuktigheten i det ventilerade bottenbjälklaget. När tryckskillnaden är positiv har rummet övertryck, och luftens strömningsriktning går från rumsutrymmet mot krypgrunden och fuktkonvektionen ger en fördröjd ökning av den relativa fuktigheten i bottenbjälklaget.

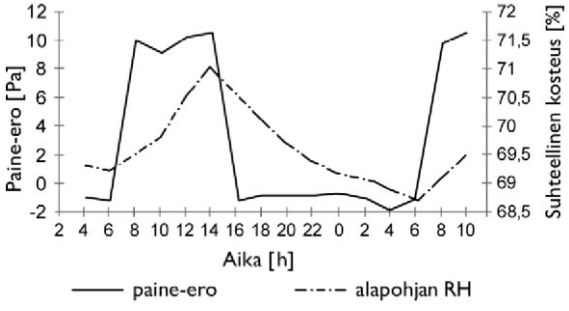


Bild 7.92. Tryckdifferensen över bottenbjälklaget orsakad av ventilationssystemet och förändringen av relativ fuktighet i det ventilerade bottenbjälklaget på grund av fuktkonvektion. Rummet har övertryck i förhållande till krypgrunden när tryckskillnaden är positiv. Källa: TKK, Talonrakennustekniikan laboratorio.

I bilden framgår att ventilationssystemet startar kl. 6:00 på morgonen och stängs av kl 14:00. Under övriga tider är endast frånluftsventilation från s.k. smutsiga utrymmen igång, vilket gör att rummet blir undertrycksatt i förhållande till krypgrunden. Mängden tilluft i ventilationssystemet är för stort i förhållande till mängden frånluft.

I bild 7.93 presenteras ett fall där otätheter i ångspärren i en marknära vägg av lättklinkerblock kan leda till en jordkällarliknande lukt i inomhusutrymmena eller till att fukt från inomhusluften ansamlas i konstruktionen. I sådana fall torkar fukten ut långsamt, på grund av den ångtäta aluminiumpappern på insidan och det oventilerade jordlagret på utsidan. Slamning av lättklinkerblocken förbättrar konstruktionens lufttäthet.

Regnvatten som kommer in i grundkonstruktioner via otätheter i övre konstruktioner

När en konditionsundersökning påvisar läckor i taket, i regnvattensystemet eller i fasaden, ska man särskilt säkerställa att vatten inte också leds neråt av gravitationen och vidare till grundkonstruktionerna. I sådana fall är risken för fuktskador i grundkonstruktionerna stor, särskilt om konstruktionslösningarna är sådana, att det vatten som rinner i väggkonstruktionerna inte slipper ut genom anslutningen mellan väggen och grundkonstruktionen. I grundkonstruktionen kan vattnet ledas bland annat till sockeldelning, dräneringslagret eller bottenbjälklaget. I det sistnämnda fallet blir fuktskadorna ofta mest omfattande, med ökad risk för fuktskador även i mellanväggarna.



Bild 7.93. Otätt ställe i ångspärren upptäckt i nedre delen av en lättklinkervägg mot mark i en bastu. Bild: K. Viljanen, Vahanen Oy.

Rörläckage

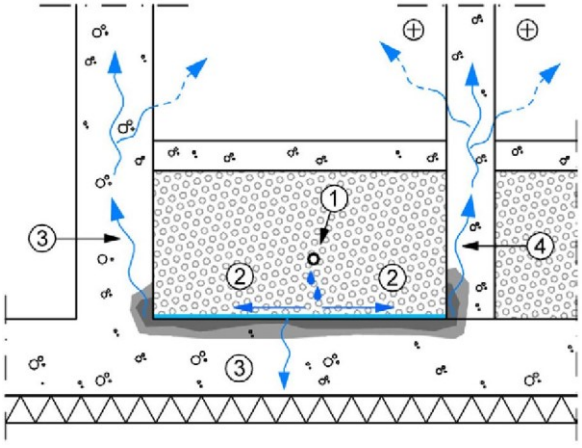
Vattenläckage från rör installerade i bottenbjälklaget kan, utöver själva bottenbjälklagskonstruktionen, även orsaka skador i väggkonstruktioner. Rören går sönder bland annat på grund av ålder, frysning, termiska rörelser, konstruktionslösningar eller sättningar i konstruktionerna. Konstruktionslösningen i bild 7.94 är känslig för skador. Ett vattenrör utan yttre skydd korroderar mycket snabbt i lättklinker. Vatten som rinner ner på betongplattan och stannar där skadar syllarna i mellanväggarna och de nedre delarna av andra byggnadsdelar.

I bild 7.95 finns ett exempel på skador i träreglar orsakade av vattenläckage under ett reglat trägolv. Träreglarna är mer skadade upptill än i mitten, eftersom vatten absorberas lättare längs träets fiberriktning än vinkelrätt mot fiberriktningen.

Speciellt i skålformade betongbottenbjälklag kan vattenläckage ge upphov till omfattande skador, eftersom vattnet rinner långa sträckor längs betongytan och kan inte rinna ut ur skålen. En plastfolie eller bitumenstrykning på betongplattans yta underlättar vattnets spridning.

Utöver rörbrott kan även felaktig installation av rör orsaka en fuktskada i grundkonstruktionen.

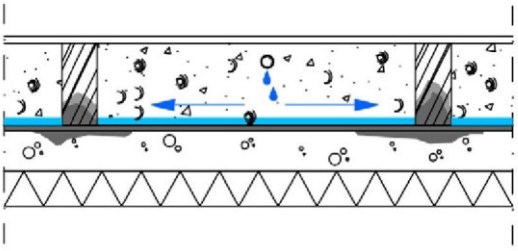
I bild 7.96 visas ett exempel på röranslutning där avloppsröret från ovanliggande handfat inte har anslutits tätt till avloppet i golvet. Vattnet från handfatet rinner ut via anslutningen ned i bottenbjälklaget.



1 Rörläckage orsakad av korrosion
2 Vattenströmning på betongplattan.
3 Kapillär uppsugning till betongkonstruktion
4 Kapillär uppsugning till mellanväggskonstruktion

Bild 7.94. Ett vattenrör som är försänkt bottenbjälklagskonstruktionen går sönder på grund av planerings- eller installationsfel och vattenläckan skadar strukturer i anslutning till bottenbjälklaget.





Vattnet sugs upp kapillärt lättare i träets fiberriktning än tvärs emot fiberriktningen.

Bild 7.95. Fuktskada i träregling orsakad av vattenläckage i bottenbjälklagskonstruktionen. Skadeprincipen i exempelfallet.



Bild 7.96. Fuktskada orsakad av fel installerad avlopp. Bild: P. Sekki, Vahanen Oy.

Om en fuktskada har orsakats av en rörskada ska alltid orsaken till rörskadan utredas. Utifrån detta görs en bedömning av behovet av en konditionsundersökning av hela rörsystemet, eftersom en eventuell förnyelse av rörsystemet påverkar valet av alternativa metoder för att reparera fuktskadorna. Anvisningar gällande konditionsundersökningar av rörsystem finns till exempel i publikationen *LVV-kuntotutkimusopas 2013* (Suomen LVI-liitto SuLVI rf, 2013).

Luftfuktighet i krypgrund

En förhöjd luftfuktighetsnivå i krypgrunden kan orsaka mögelskador på material i kontakt med kryputrymmet. Fuktnivån bör jämföras med de materialspecifika förhållanden som ger förutsättningar för mögeltillväxt.

Krypgrundens momentära värme- och fuktteknisk funktion kan bedömas med kortvariga mätningar av förhållandena i kryputrymmet.

För att säkerställa kryputrymmets långsiktiga värme- och fuktteknisk funktion bör långtidsmätningar göras under olika årstider. Under långtidsmätningarna ska utomhusförhållandena mätas samtidigt för att mätresultaten ska kunna tolkas rätt. Detta är särskilt viktigt vid kortvariga mätningar. Resultaten från mätningarna av förhållanden jämförs med de fuktbelastningar som påverkar kryputrymmet.

Hög fuktavgivning från marken i krypgrunden

Fuktavgivningen från marken i krypgrunden är hög när det finns fritt vatten i utrymmet eller när fukt transporteras kapillärt till markytan i krypgrunden. Om en hög fukthalt i krypgrunden beror på dessa faktorer räcker i allmänhet inte enbart förbättrad ventilation för att säkerställa att grundkonstruktionerna hålls torra. Hög fuktavgivning från marken är den vanligaste orsaken till fuktskador i krypgrunder.

Marken i kryputrymmet undersöks genom att gräva en underökningsgrop i marken och bedöma jordmaterialets kvalitet (kapillaritet) och fukthalt sensoriskt. Fuktiga områden på marken syns som mörkare fläckar på kryputrymmets botten.

Skador kan uppstå på ytorna av kryputrymmets konstruktioner eller så kan fukten transporteras in i konstruktionerna kapillärt, genom diffusion eller konvektion, vilket gör att skador även kan förekomma inuti konstruktionerna. Vilken fukttransportmekanism som är mest betydelsefull för skadorna beror på konstruktionslösningarna samt tryckförhållandena mellan rummet och kryputrymmet. I bild 7.97 är den viktigaste orsaken till skador i krypgrunden en alltför hög fuktavgivning från marken. Markfyllningen i krypgrunden är finfördelad sand, vilket möjliggör kapillär fukttransport till markytan.



Bild 7.97. Fukt- och mögelskada i krypgrund, orsakad av alltför hög fuktproduktion. Markfyllningen består av finkornig sand som gör det möjligt för fukt att transporteras kapillärt till markytan. Dessutom är krypgrunden låg och ventilationen bristfällig. Bild: P. Sekki, Vahanen Oy.

Om plastfolie har använts för att förhindra fuktavgivning från marken bör det vid undersökning av krypgrunden kontrolleras om plastfolien påverkar krypgrundens funktion negativt, till exempel om det finns organiskt nedbrytbart material under plasten eller om det uppstår vattenpölar ovanpå plasten.

Otillräcklig ventilation i krypgrunden

Ventilationens tillräcklighet i krypgrunden bedöms utifrån konstruktionslösningarna samt den fuktbelastning som kommer inifrån byggnaden och från marken. Fuktbelastningen i krypgrunden minimeras i byggnadsplaneringen genom byggnadstekniska åtgärder. Ventilationen är otillräcklig om fuktnivåerna i krypgrunden är höga trots de byggnadstekniska åtgärderna.

Otillräcklig ventilation kan, beroende på konstruktionslösningarna, gälla hela krypgrunden eller bara en del av den.

En vanlig orsak till otillräcklig ventilation är att ventilationsöppningarnas area är för liten samt användning av galler, nät och ventilationsrör i ventilationsöppningarna, vars påverkan inte tagits i beaktan i planeringen. Galler, nät och ventilationsrör minskar den effektiva arean av krypgrundens ventilationsöppning. Den effektiva arean påverkas också av ventilationsrörets geometri.

Ojämn placering av krypgrundens ventilationsöppningar, grundmurarna som avgränsar utrymmet och andra konstruktioner som avdelar det öppna utrymmet försämrar den lokala ventilationen. I bild 7.98 visas ventilationsrör för byggnadens krypgrund sett utifrån.

Hinder framför eller nära ventilationsöppningar, såsom växter och andra byggnader, försämrar ventilationen i krypgrunden. Trots att ventilationsöppningarnas area motsvarar rekommenderade värden kan krypgrundens ventilation vara otillräcklig om tryckskillnaden över utrymmet är för liten på grund av mikroklimatets inverkan. I exemplet i kapitel 5.7 visas att ventilationsförmågan mellan olika hus i en husgrupp kan skilja sig med mer än tio gånger vid samma vindhastighet och riktning.

I en mekaniskt ventilerat kryputrymme (mekanisk frånluft eller till- och frånluft) bör luftombytet som fläktarna skapar och funktionaliteten av eventuella styrprinciper för ventilationen bedömas. Även den mekaniska ventilationen bör omfatta hela kryputrymmet.

Byggavfall

Med byggavfall avses, ur mögelskadesynpunkt, byggnadsmaterial som lämnats kvar i grundkonstruktionerna men som inte hör till dem, samt växtlighet, trädrötter och stubbar som inte röjts bort tillräckligt från byggplatsen.





Bild 7.98. Ventilationsrör till krypgrund. I den vänstra bilden visas röret utifrån och i den högra bilden visas rörets ände i krypgrunden. Bilder: J. Saarinen, Vahanen Oy

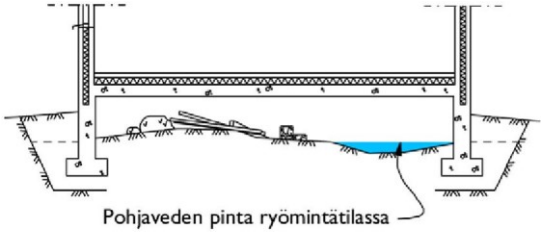




Bild 7.99. Krypgrund med byggavfall och skadeprincipen för exempelfallet. Bild: P. Räisänen, Vahanen Oy.



Bild 7.100. Krypgrund där formbrädorna lämnats kvar efter rivning av formen. Bild: P. Räisänen, Vahanen Oy.

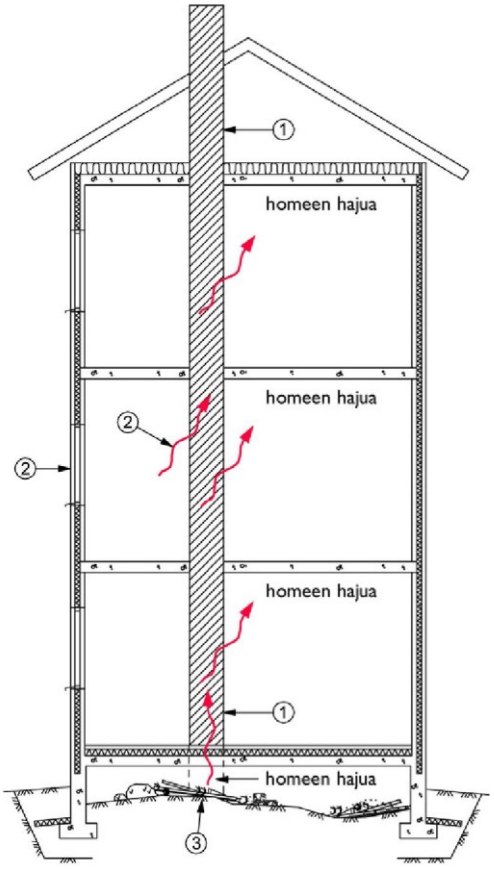
Organiskt byggavfall är ett bra växtunderlag och en bra näringskälla för mikrober i krypgrunder och marknära grundkonstruktioner.

I bild 7.99 visas en krypgrund där markytan är täckt av stora mängder byggavfall. I platsgjutna betongkonstruktioner kan det också förekomma kvarlämnade formbrädor eller formbrädor som vid rivning lämnats kvar i krypgrunden, se bild 7.100.

Mikrobiella föroreningar kan spridas till ovanliggande utrymmen genom otätheter i konstruktioner och orsaka olägenheter i byggnadens inomhusluft. Risken för att skadliga ämnen tränger in i bostadsutrymmena beror på byggnadens tryckförhållanden och luftflödesvägar, se avsnitt *Lufttäthet för konstruktioner mot mark.*

I bild 7.101 sprids mögellukt från byggavfall via ett installationsschakt för VVS och el, eftersom det finns en tydlig luftströmningsväg från krypgrunden till inomhusutrymmena, men luktens inträde i inomhusutrymmena beror på byggnadens tryckförhållanden. I en byggnad med mekanisk frånluftsventilation har inomhusutrymmet undertryck i förhållande till både krypgrunden och utomhusluften. Om det finns en strömningsteknisk förbindelse från krypgrunden till VVS-schaktet, kan den mögliga luften i krypgrunden sprida sig till övre våningsplan beroende på byggnadens tryckförhållanden. Eftersom tryckförhållandena i en byggnad varierar kraftigt över tid, se avsnitt 5.6, kan luktproblemen på motsvarande sätt variera mycket mellan olika våningsplan.

Bedömning av det mikrobiologiska skicket av bottenbjälklag behandlas mer i slutet av avsnitt 6.2.3.



1 Otät murad kanal med övertryck i förhållande till rumsutrymmet.
2 Öppnande av ett fönster kan ändra tryckförhållandena så att rumsluft strömmar in i kanalen.
3 Mögligt byggavfall i krypgrunden

Bild 7.101. Mögellukt från byggavfallet i krypgrunden transporteras via VVS-schaktet till rumsutrymmen.

Lufttäthet i konstruktioner mot mark

Bottenbjälklagskonstruktioner bör alltid vara så lufttäta som möjligt, eftersom de är i kontakt med marken där det alltid förekommer föroreningar. Eventuella fuktbelastningar och mögelskador i bottenbjälklagskonstruktionerna ökar skadligheten av luftströmmarna som tränger in i inomhusluften via bottenbjälklaget.

Bottenbjälklagskonstruktioner med betongplatta har i regel bättre lufttäthet än trossbottnar med träbjälklag och ventilerat kryputrymme. En platsgjuten betongplatta är lufttätare än elementbaserade konstruktioner. I bottenbjälklag med håldäck utgör elementens gjutfogar och genomföringar typiska ställen för luftläckage. I trossbotten är ång- och luftspärrens täthet avgörande, och även vindskyddsmaterialet och utförande av vindskyddskiktet påverkar konstruktionens lufttäthet. I äldre byggnader finns det vanligtvis inga lösningar som skulle förbättra lufttätheten vid anslutningen mellan bottenbjälklag och vägg, liksom radonskydd. Det bör också beaktas att i porösa blockväggar kan föroreningar och lukter också tränga in genom konstruktionen. Bild 7.102 visar en otät genomföring i bottenbjälklaget.

Vid marknära konstruktioner är en jordkällarliknande lukt ofta ett tecken på luftläckage i konstruktionerna, och dessutom förstärks lukten av bristfällig ventilation i källarutrymmena.

Lufttätheten av bottenbjälklag mot mark eller med krypgrund kan vid inomhusmiljötekniska undersökningar mest tillförlitligt testas genom att mata in spårgas under konstruktionen och observera om spårgasen tränger igenom konstruktionen.



Bild 7.102. Otät genomföring i bottenbjälklaget, fotograferat från krypgrunden. Det finns mögel på undersidan av betongbjälklaget. Bild: P. Laamanen, Vahanen Oy.

Vid undersökningarna måste det säkerställas att inomhusutrymmet har ett undertryck i förhållande till byggnadens undersida under tiden för spårgasmätningen. I konstruktioner mot mark kan transporten av spårgasen ta lång tid eftersom gasen rör sig långsamt genom markskiktet.

7.2.7

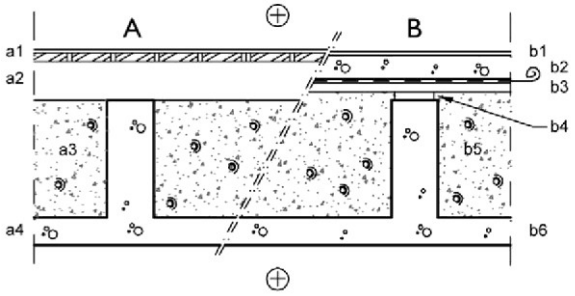
Mellanbjälklag

A. Mellanbjälklags värme- och fukttekniska funktion

Möjliga orsaker till förhöjda fukthalter i mellanbjälklag (bild 7.7 konstruktion 11) är bland annat byggfukt, vattenskador eller interna rörläckor i konstruktionen samt fuktbelastning via ytterväggarna. Vatten- och avloppsrör samt organiska värmeisoleringar i mellanbjälklag av typen plattbärlag eller dubbel platta ökar risken för mikrobskador.

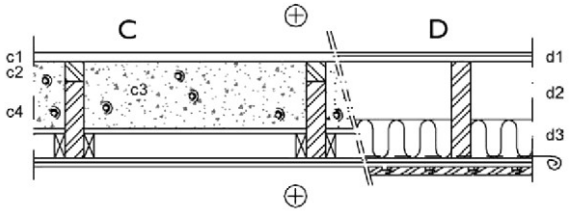
I äldre, mer än tio år gamla byggnader närmar sig fukthalten i mellanbjälklag av stenbaserade material jämviktstillståndet och kan vara nära den genomsnittliga fukthalten i inomhusluften, det vill säga beroende på årstid cirka 40–60 % RH. Detta beror i hög grad på ånggenomgångsmotståndet hos konstruktionens ytskikt, den fukthalt som förekommit vid installation av ytbeläggningen samt de rådande förhållandena på konstruktionens olika sidor, speciellt luftens fukthalt. Temperaturen i mellanbjälklagskonstruktioner har vanligtvis stabiliserats till rumstemperatur. Fuktbelastningen som golvbeläggningar utsätts för kan bedömas utifrån samma kritiska gränsvärden som gäller för bottenbjälklag, det vill säga den relativa fuktigheten under golvbeläggningen, i limskiktet, får inte långvarigt överstiga 85 % RH. Det kritiska fuktgränsvärdet för golvbeläggningar ligger i allmänhet vid 85–90 % RH beroende på golvmaterial. Resultat från fuktmätningar i mellanbjälklag av betong, till exempel snittmätning, borrhålsmätning eller provbitsmätning, jämförs med dessa nämnda gränsvärden.

Om fukt kommer in i värmeisoleringslagret i stegljudsdämpade mellanbjälklag kan fukten sprida sig över stora ytor på betongplattan under isoleringen. Uttorkningen av konstruktioner med stegljudsisolering sker långsamt, men processen kan påskyndas exempelvis med tryck- och sugtorkning. Vid mindre läckage behöver man inte nödvändigtvis riva konstruktionen, förutsatt att inga material med organiskt innehåll förekommer.



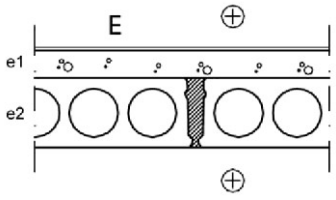
a1 Golvbräden och ytmaterial
a2 Golvreglar
a3 Fyllnadsmaterial
a4 Underliggande platta

b1 Golvets ytmaterial
b2 Armerad betongplatta
b3 Formbrädor
b4 Utjämningsreglar
b5 Fyllnadsmaterial
b6 Underliggande platta



c1 Golvbräda
c2 Förhöjningsregel
c3 Fyllnadsmaterial
c4 Träbjälkar

d1 Byggskiva
d2 Träbalk
d3 Ljudisoleringsull



e1 Ytbetong
e2 Håldäck

Bild 7.103. Exempel på mellanbjälklagskonstruktioner. A: plattbärlag med reglat golv, B: plattbärlag med betongplatta, C: trämellanbjälklag, D: modernt trämellanbjälklag och E: modernt betongmellanbjälklag.

I gamla bjälklagskonstruktioner med fyllningsskikt förekommer det nästan alltid mikrobiella föroreningar i de organiska fyllnadsmaterialen, och det kan även finnas skadliga ämnen. Anslutningen mellan trämellanbjälklag och massiv ytterväggskonstruktion kan vara känslig för fuktskador, eftersom fukt från den massiva ytterväggskonstruktionen kan överföras till träkonstruktionen och skapa förutsättningar för rötskador. I bild 7.103 presenteras olika typer av mellanbjälklagskonstruktioner.

Massiva betongkonstruktioner och fyllnadsskikt i skyddsrum kan förbli fuktiga under lång tid, varför fuktmätningar bör användas för att bedöma den fuktbelastning som påverkar ytskiktskonstruktionerna. Om ytskikten tål fuktbelastning väl, behöver en hög fukthalt i fyllnadslagret inte nödvändigtvis innebära ett problem. Fyllnadsskiktet utgör i regel en gynnsam miljö för mikrobtillväxt, vilket innebär att särskild uppmärksamhet bör ägnas åt planering av säkerställandet av lufttätheten i konstruktionens anslutningsdetaljer.

Vid reparationsåtgärder av mellanbjälklag bör man beakta eventuella ändringar i konstruktionens fukt- och värmetekniska funktion. Mellanbjälklagens värme- och fuktteknik behandlas i publikationen *Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen* (Asikainen V. och Peltola S., 2008).

I mellanbjälklag med håldäck borrar man vanligtvis hål i undersidan av plattans båda ändar, så att vatten från byggtiden kan rinna ut. Det kan bli kvar vatten i hålrummen trots dräneringshålen, vilket kan kräva att ytterligare hål borras i hålrummen. Vattnet i hålrummen kan orsaka fuktbelastning, bland annat om det rinner ut på golvytor i den färdiga byggnaden.

B. Bedömning av skaderisken för mellanbjälklag

Mellanbjälklag kan bli fuktiga på grund av städvatten. Dessutom kan regnvatten som kommer in genom öppna fönster lokalt höja fukthalten under golvbeläggningen. Även runt vattenuttag är fuktbelastningen ofta högre än normalt. Att lägga golvbeläggning på ett för vått mellanbjälklag, det vill säga installation innan den relativa fuktigheten i betongens ytskikt understiger golvbeläggningens specifika gränsvärdet för relativ fuktighet, kan leda till skador på golvbeläggningen, limmet eller spacklet. I äldre byggnader är skador på spackel vanligare än idag.

Vid undersökning av mellanbjälklag bedöms vanligtvis fuktinnehållet i betongens ytskikt från bjälklagets ovansida. Till detta lämpar sig till exempel en ytfuktindikator och vid behov mer noggranna byggfuktmätningar. Resultaten från fuktmätningar under golvbeläggningen bör bedömas utifrån golvmaterialets fukttålighet samt erfarenhetsmässigt.

I betongbjälklag bör man vid bedömning av ytfukt beakta de tjockare konstruktionsdelarna, där fuktnivån i betongen lokalt kan vara högre. Sådana är till exempel områden vid balkar i betongbjälklaget.

Fukttekniska konditionen hos skiktade mellanbjälklagskonstruktioner bör i regel undersökas genom öppning av konstruktioner. Organiska fyllnadsmaterial kan bli fuktskadade i mellanbjälklagskonstruktioner. Platsen för konstruktionsöppningen bör väljas omsorgsfullt vid den punkt där skadan misstänks vara störst. Ofta är det nödvändigt att öppna konstruktionen åtminstone mitt på mellanbjälklaget samt vid anslutningen till ytterväggen. Vid ytterväggen bör man särskilt kontrollera skicket på träbalkar och fyllnadsmaterial, eftersom vattenånga från inomhusluften kan kondensera på det kalla området mellan fyllnadsmaterialet och väggen. Bild 7.104 visar en mellanbjälklagskonstruktion av typen plattbärlag i ett småhus byggt på 1950-talet.



Bild 7.104. Plattbärlag i betong och golvreglar i dåligt skick. Bild: K. Viljanen, Vahanen Oy.



Bild 7.105. Mikrobskadad linoleummatta. Bild: H. Tuovinen, Vahanen Oy.

Undersökningsprinciper som lämpar sig för mellanbjälklag av betong beskrivs i publikationen *Hyvät tutkimustavat betonirakenteisten lattioiden muovipäällysteiden korjaustarpeen arviointi* (Keinänen H., 2013; ny version Muovimatolla päällystetyt betonilattiat - Vauriot, korjaustarpeen arviointi ja korjaaminen, Terveet tilat 2028, 2022).

Linoleummatta kan skadas av mikrober till följd av fuktbelastning (bild 7.105). I fallet i bilden mättes en relativ fuktighet på 95–98 % under mattan, och en kraftig mikrobiell lukt kunde förnimmas. Mattans organiska juteväv fungerar som näring för mikrober.

Under kvartsvinylplattan i bild 7.106 uppmättes en relativ fuktighet på 90–95 %. Plattan var nedbruten och limmet hade en stickande lukt. Fukten hade transporterat kalkutfällning till betongytan och underlagsbetongen hade torkat snabbare vid plattfogarna än på andra ställen.

Vid bedömning av plastmattans skick kan man observera mattlimmets färg på det misstänkta skadeområdet och jämföra med färgen på ett torrt område. Bild 7.107 visar en provöppning av en gammal plastmatta som var limmad direkt på betongen. Limmet var missfärgat inom det fuktiga området.

Mattlimmets färg indikerar inte alltid en skada. Mattlimmet kan ha normal färg men ändå vara skadat, som i bild 7.108. Mattan hade installerats ovanpå gamla vinylplattor, vilket hindrade fukt i limmet från att avdunsta till omgivningen. Limmet var vid öppningstillfället, ett par år efter installationen, fortfarande klibbigt. Å andra sidan kan limmet ha god vidhäftning även inom skadade områden, även om svag vidhäftning generellt anses indikera skador i limmet.



Bild 7.106. Under borttagna kvartsvinylplattor avslöjades fuktig betong. Bild: H. Tuovinen, Vahanen Oy.



Bild 7.107. Vid kontroll av plastmattans skick observerades missfärgat lim. Bild: H. Tuovinen, Vahanen Oy.

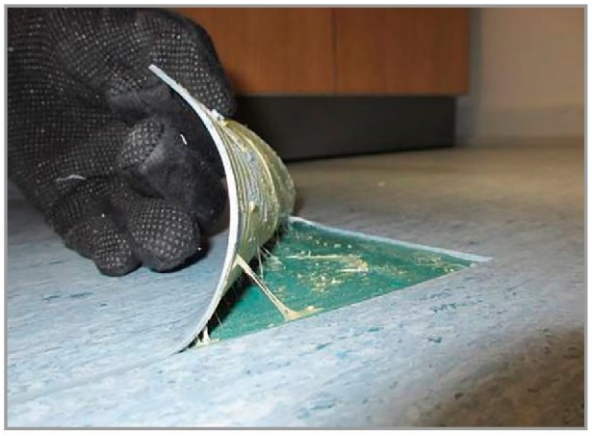


Bild 7.108. Plastmattans lim hade skadats av för hög fuktighet Bild: H. Tuovinen, Vahanen Oy.

I äldre mellanbjälklag av typen plattbärlag eller dubbel platta har man använt material som kan vara känsliga för fuktskador eller som kan avge skadliga ämnen. Som värmeisolering har man använt sågspån, sågdamm, kutterspån, halm, mossa och torv. Dessutom har man i konstruktionen som tyngdlager använt till exempel koksslagg. Ytan av den nedre plattan kan ha en bitumenstrykning. Konditionsundersökaren måste bedöma om bitumenstrykningen fortfarande idag kan vara skadlig för byggnadens användare.

Vanligtvis har de mest lättflyktiga PAH-föreningarna avdunstat från dessa äldre strykningar, men det kan fortfarande mätas betydande halter PAH-föreningar i inomhusluften. De tyngre PAH-föreningarna (t.ex. benso(a)pyren) finns fortfarande kvar i gamla strykningar, vilket innebär att strykningens skick påverkar dess påverkan på inomhusluften. För att bedöma risken för olägenhet kan ett PAH-luftprov tas enligt RT-kortet *RT 20-11160. Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet* (Rakennustietosäätiö RTS, 2014b). I avsnitt 3.7.3 behandlas skadliga ämnen som en del av konditionsundersökning närmare.

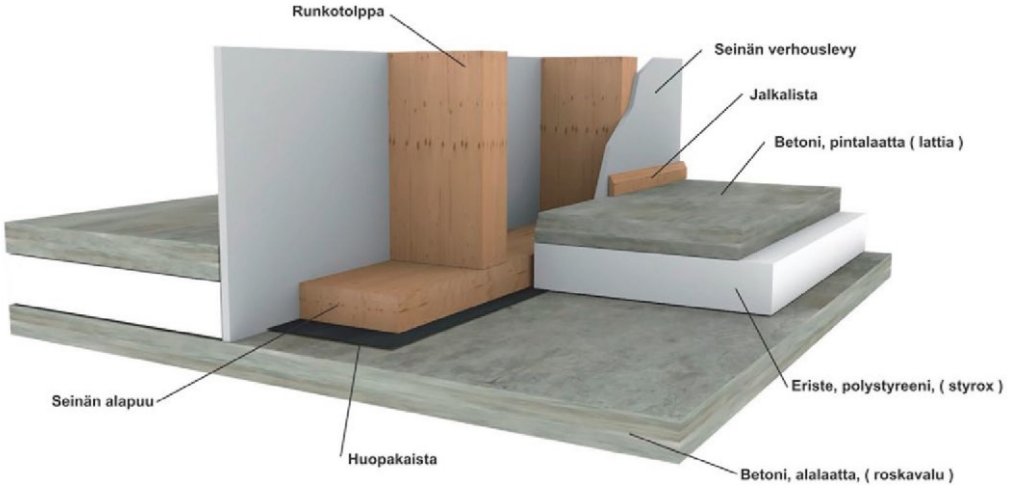


Bild 7.109. Mellanvägg av trä som står på betongplatta mot mark. I bild runkotolppa = stående regel, seinän verhouslevy = beklädnadsskiva i vägg, pintalaatta = ytplatta, seinän alapuu = väggsyll, huopakaista = våd av bitumenfilt, roskavalu = gjuten på mark. Bild: Kosteus- ja hometalkoot, 2012.

7.2.8

Mellanväggar

A. Mellanväggars värme- och fuktteknisk funktion

Mellanväggar (bild 7.7 konstruktion 6) är i kontakt med inomhusluften, så deras normala relativa fuktighet ligger kring 20–60 % beroende på årstid. Detta gäller även mellanväggar i våtutrymmen från och med baksidan av tätskiktet.

Ett specialfall bland mellanväggar är betongvägg mellan två bostäder, med våtutrymme på båda sidorna. I sådant fall kan fukthalten i betongväggen, på grund av tätskiktens ånggenomsläpplighet, stiga till en nivå över 90 % utan att orsaka skada.

Fukthalten i mellanväggar kan lokalt vara förhöjd i väggarnas nedre delar, till exempel på grund av kapillär markfukt. I mellanväggar grundade mot mark kan kapillär fukt stiga i tegelväggar och murade konstruktioner, och deras bruksfogar, ovanför betongplattans övre kant.

I äldre mellanväggar kan syllen och stående regelverk sträcka sig ner under ytskiktsbetongen (bild 8.109). Mellanväggen kan då skadas i sin nedre del om det saknas en isoleringsremsa under syllen och/eller om fuktbelastningen från marken är kraftig. Även i nyare betongbottenbjälklag mot mark med värmeisolering på undersidan kan mellanväggarnas träkonstruktioner sträcka sig under överkanten av betongplattan.

Mellanväggar kan också bli fuktiga av till exempel vatten som används vid rengöring av golven. I skivväggar bör skivorna monteras med ett mellanrum mot golvytan, så att vatten inte kan stiga kapillärt upp i konstruktionen. I vissa fall kan fukt tränga in i mellanväggar uppifrån, exempelvis om vägginstallationer gjorts innan yttertaket blivit färdigt eller om yttertaket läcker. Skivväggar torkar vanligtvis ganska snabbt till inomhusluften eftersom deras temperatur är hög och skivor utan ångspärr är ånggenomsläppliga.

B. Bedömning av skaderisken för mellanväggar

Skicket för mellanväggars nedre delar kan kontrolleras okulärt och genom att kartlägga fuktnivån med en ytfuktindikator, tillfälliga fuktmätningar i konstruktionen och kompletterande borrhålsmätningar i bottenbjälklaget. Skivbelagda mellanväggar kan även öppnas för att okulärt granska konstruktionens och materialens skick. Lufttätheten i anslutningen mellan mellanvägg och bottenbjälklag kan undersökas med hjälp av spårrök eller en spårgasmätning.

Trälistverk som sockel- och tröskellister kan skadas av överdriven användning av vatten vid golvrengöring. Listernas skick kan bedömas okulärt och samtidigt kan man kontrollera skicket för väggens nedre delar.

Den skadliga effekten av förhöjd fukthalt bör bedömas med hänsyn till själva mellanväggens material och ytebeläggningar samt ånggenomsläppligheten och fukttåligheten hos materialen både i mellanväggen och angränsande bottenkonstruktion.

BILAGOR

Bilaga 1. Enkätblanketter

Blankett 1: Användarenkät

1. Hur länge har ni arbetat i denna byggnad? ____

2. I vilket rum arbetar ni huvudsakligen?
Kontrollera nummern för utrymmet i planritningen i slutet av rapporten. _____

3. Inomhusluftens kvalitet vid er arbetsstation:
Har ni vid er arbetsstation observerat:

- alltför låg eller hög temperatur:
  - ☐ Nej
  - ☐ Ja, ibland
  - ☐ Ja, hela tiden
- kalla golv- eller väggytor:
  - ☐ Nej
  - ☐ Ja, ibland
  - ☐ Ja, hela tiden
- känsla av drag:
  - ☐ Nej
  - ☐ Ja, ibland
  - ☐ Ja, hela tiden
- otillräcklig ventilation:
  - ☐ Nej
  - ☐ Ja, ibland
  - ☐ Ja, hela tiden
- instängd rumsluft:
  - ☐ Nej
  - ☐ Ja, ibland
  - ☐ Ja, hela tiden
- ovanligt torr rumsluft:
  - ☐ Nej
  - ☐ Ja, ibland
  - ☐ Ja, hela tiden
- avvikande lukter i rumsluften:
  - ☐ Nej
  - ☐ Ja, ibland
  - ☐ Ja, hela tiden

4. Har ni observerat andra brister i ventilationen?

- ☐ Nej
- ☐ Ja, vad?_____

5. Har ni observerat vattenläckage eller andra eventuella tecken på fuktskador i lokalerna? Tecknen kan vara till exempel mörkare områden, färgförändringar eller att ytskikt lossnar. I vilka utrymmen har tecken observerats? Ange rummets nummer enligt den bifogade planritningen. Ni kan även markera observationerna direkt på planritningen.

_____

6. Har ni känt avvikande lukter i inomhusluften, såsom källarlukt, lukt som tyder på avlopp eller kemiska materialemissioner? I vilka utrymmen? Ange rummets/rummens nummer enligt den bifogade planritningen. Ni kan även markera observationerna direkt på planritningen.

_____

7. Misstänker ni att inomhusluften orsakar olägenhet för er? Vilka utrymmen gäller misstanken? Ange rummets/rummens nummer enligt den bifogade planritningen. Ni kan även markera observationerna direkt på planritningen._____

8. Anser ni att problemen med inomhusluftens kvalitet är kopplade till något särskilt väderförhållande eller särskild årstid? Vilken?_____

9. Vill ni lämna annan respons gällande temperaturförhållanden, ventilation, fuktskador eller inomhusluftens kvalitet?_____

Tack för era svar.

[I slutet av enkäten bifogas byggnadens planritning, där alla utrymmen är entydigt numrerade.]

Blankett 2: Boendeenkät

1. Lägenhetens nummer:_____

2. Hur länge har ni bott i er nuvarande lägenhet: __

3. Hur många personer bor i er lägenhet?

_____

4. Inomhusluftens kvalitet:

- **Vad är temperaturen i er lägenhet?** ___°C.

Är temperaturen för hög/låg?

2. Har ni i er lägenhet lagt märke till:

- kalla golv- eller väggytor:
  - ☐ Nej
  - ☐ Ja, var?_____
- känsla av drag:
  - ☐ Nej
  - ☐ Ja, var?_____
- otillräcklig ventilation:
  - ☐ Nej
  - ☐ Ja, var?_____
- instängd rumsluft:
  - ☐ Nej
  - ☐ Ja, var?_____
- ovanligt torr rumsluft:
  - ☐ Nej
  - ☐ Ja, var?_____

5. Har ni observerat brister i ventilationen?

- ☐ Nej
- ☐ Ja, var?_____

6. Bildas det imma på vardagsrums- eller sovrumsfönstren i er lägenhet under vintern?

- ☐ Nej
- ☐ Ja, ytan på det inre fönstret
- ☐ Ja, insidan på det yttre fönstret

7. Använder ni luftfuktare i er lägenhet?

- ☐ Nej
- ☐ Ja

8. Har ni justerat ventilationsventilerna i er lägenhet?

- ☐ Nej
- ☐ Ja

9. Har ni lagt märke till eventuella tecken på fuktskador i er lägenhet? Tecknen kan vara till exempel mörkare områden, färgförändringar eller att ytskikt lossnar.

- ☐ Nej
- ☐ Ja, var? _____

Vad har fuktskadorna berott på?

- ☐ Takläckage
- ☐ Fönsterläckage
- ☐ Läckage i ytterväggar
- ☐ Rörläckage
- ☐ Apparatskador (t.ex. diskmaskin)
- ☐ Fukt stigit upp från marken till väggar/golv
- ☐ Orsaker som jag inte känner till
- ☐ Annat, vad? _____

10.Har ni känt avvikande lukter i inomhusluften i er lägenhet, såsom lukt av jordkällare, lukt som tyder på avlopp eller kemiska materialutsläpp?

- ☐ Nej
- ☐ Ja, var? _____

10. Misstänker ni att inomhusluften orsakar olägenhet för er?

_____

11. Anser ni att problemen med inomhusluftens kvalitet är kopplade till något särskilt väderförhållande eller särskild årstid, vilken? _____

12. Vill ni lämna annan respons gällande temperaturförhållanden, ventilation, fuktskador eller inomhusluftens kvalitet?_____

Tack för era svar.

Blankett 3: Disponentblankett

Intervju/enkät med servicepersonal

1. Byggnad:

2. Finns det fuktskador i byggnaden? I vilka utrymmen? Ange rummets/rummens nummer enligt den bifogade planritningen. Ni kan också markera observationerna direkt på planritningen.

- ☐ Nej
- ☐ Synligt mögel:_____
- ☐ Mögellukt:_____
- ☐ Fuktiga eller mörka områden på golvbeläggningar:_____
- ☐ Fuktiga eller mörka områden på väggar:

  _____
- ☐ Fuktiga eller mörka områden i tak:

  _____
- ☐ Ytskikt lossnar eller flagnar, i vilka rum:___
- ☐ Avvikande lukter liksom lukter som tyder på jordkällare, avlopp eller kemiska materialutsläpp:_____
- ☐ Annat, vad:_____

Vad har fuktskadorna berott på?

- ☐ Takläckage
- ☐ Fönsterläckage
- ☐ Läckage i ytterväggar
- ☐ Rörläckage
- ☐ Apparatskador (t.ex. diskmaskin)
- ☐ Fukt stigit upp från marken till väggar/golv
- ☐ Orsaker som jag inte känner till
- ☐ Annat, vad?_____

3. Anser ni att fuktskadorna och problemen med inomhusluftens kvalitet är kopplade till något särskilt väderförhållande eller särskild årstid, vilken?_____

_____

4. Hur ofta utförs service på byggnadens ventilationssystem?

- ☐ Behöver ingen service
- ☐ När det inträffar fel
- ☐ Regelbundet

5. Vad anser ni om ventilationssystemets funktion i byggnaden?

- ☐ Dålig
- ☐ Måttlig
- ☐ Bra

Kommentarer gällande ventilationen:_____

_____

6. Immar byggnadens fönster vintertid?

- ☐ Nej
- ☐ Ja, ytan på det inre fönstret
- ☐ Ja, insidan på det yttre fönstret

I vilka utrymmen?_____

7. Vilka renoveringar eller andra reparationer har utförts i byggnaden och när?_____

8. Har några av följande utredningar gjorts i byggnaden?

Fuktmätningar, var?_____
Konditionsbedömningar_____
Termofotografering_____
Konditionsundersökningar, vad?_____
Mikrobiella undersökningar av inomhusluft eller material, vilka?_____
Andra undersökningar gällande konstruktioners skick eller inomhusluftens kvalitet, vilka?

9. Kommentarer och övrig information:

_____

Tack för era svar.

[I slutet av enkäten bifogas byggnadens planritning, där alla utrymmen är entydigt numrerade.]

Bilaga 2. Identifiering av material

I bilaga 2 behandlas material som påträffas i samband med utförande av fukt- och inomhusmiljötekniska konditionsundersökningar i byggnader, och som förekommer speciellt i äldre byggnader. De material som presenteras är sådana som kan identifieras sensoriskt. Därför behandlas inte t.ex. olika slags bruk, spackel eller färger i detta sammanhang. Nyare byggmaterial presenteras mer omfattande i publikationen *RIL 255-1-2014 Rakennusfysiikka I. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset, kapitel 5* (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2014).

Avsikten med bilaga 2 är att skapa en helhetsbild av de behandlade materialens användningstid, användningsområden och användningsrelaterade risker med avseende på inomhusluftens kvalitet. Eventuella skadliga ämnen i materialen behandlas närmare i avsnitt 3.7.3 samt RT-kortet *RT 20-11160, Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet* (Rakennustietosäätiö RTS, 2014b).

Isolerings- och tätningsmaterial

Asbesthaltiga material

Beskrivning: Asbest är en obrännbar fiber som inte bryts ner biologiskt. Huvudsakligen bundet till andra material eller ytbelagt i olika konstruktioner. Asbesthaltiga sprutmassor delvis blåa (krokidolit), isoleringsmaterial bruna (amosit, antofyllit) och cementprodukter, friktionsytor och tätningar vita (krysotil).

Användningsändamål: Värme- och brandisolering i bland annat sprayfärger, papp, filt, kartong. Som ljudisolering främst i form av asbestcementcellulosa och sprutbar isolering. Har dessutom använts i bland annat isolering av rör, beredare och pannor, samt i matt- och bitumenlim och i golvmassor och bruk.

Användningstid: Sedan 1910-talet. Användes i stor omfattning 1960–1990. Sprutisolering förbjöds 1976. Förbud mot användning sedan 1994. Asbest förekommer fortfarande allmänt i byggnader.

Skador/olägenheter: Fibrerna är inte skadliga när de är fast bundna i byggnadsmaterial. När asbestfibrer frigörs till luften är de mycket finfördelade, små nålformade fibrer, som kan orsaka sjukdomar i andningsvägarna. Speciellt sprutad isolering är i sig lös och dammar lätt, och därför speciellt skadlig. Asbesthaltiga material bör alltid beaktas vid planering och genomförande av konstruktionsöppningar (se avsnitt 3.7.4).



Koksslagg

Beskrivning: Främst ett askliknande material, men kan också innehålla stora korn. Koksslagg uppstår som biprodukt vid förbränning av stenkol och koks. I materialet kan det även finnas asbest som lossnat från tillverkningskärlen.

Användningsändamål: Fyllnadsmaterial i vinds-, mellan- och bottenbjälklag samt som värmeisolering i ytterväggar till exempel mellan tegelmurar. Koksslagg har också använts som tillsatsämne i slaggbetong och gipsbruk (se bl.a. Luginomassa).

Användningstid: Sedan början av 1900-talet.

Skador/olägenheter: Svavelföreningar i slaggen korroderar rör- och järndelar som är i kontakt med materialet.




Kork ("Antihyd", "Sorex", "Expansit")

Beskrivning: Främst brunt, skiv- eller granulatformat isoleringsmaterial tillverkat av naturkork. Skivor som används som isolering har expanderats genom uppvärmning. I skivformade isoleringsprodukter är bindemedlet oftast bitumen. Skivornas tjocklek är vanligtvis 20–50 mm, men kan även förekomma i andra tjocklekar. God brandtålighet (förkolnar rykande, antänds ej). Fäst i betong exempelvis med varm bitumen.

Användningsändamål: Värmeisolering i ytterväggar, vindsbjälklag och grunder. Bättre och dyrare värmeisolering än sågspån. I mellanbjälklag även i form av korkkross.

Användningstid: Sedan 1800-talet. Störst användning under 1940–1950-talen. Minskad användning från och med 1960-talet.

Skador/olägenheter: Fungerar som växtunderlag för mikrobiell påväxt i långvarigt fuktutsatta konstruktioner. Mikrobskadade korkskivor har en kraftig stickande lukt i fuktigt tillstånd.




Halm ("Berger-skiva", "OL-HA"-halmskiva)

Beskrivning: Halm, halmklipp, vasskivor vävda med ståltråd eller en varmpressad halmskiva limmad mellan kartongskivor. Halmskivor har också använts som underlag för puts. I golvkonstruktioner kan det också finnas sand, torv eller mossa i halmisoleringen. Möjligen har bitumen delvis använts som bindemedel.

Användningsändamål: Ljud- och värmeisolering i vinds-, mellan- och bottenbjälklag samt ytterväggar.

Användningstid: Från 1800-talet till 1950-talet. Vanligt i början av 1900-talet.

Skador/olägenheter: Som organiskt material är det under fuktiga förhållanden ett bra växtunderlag för olika slags mikrober.




Spännpapper, -papp, papptapet, pappskiva ("Tako-", och "Lulosa"-tapet, "Panka-dupplex", "Enso-" "Ensonit-", "Valkolit"-pappskivor)

Beskrivning: Papper i rulle tillverkat av träslipmassa, som har fästs fuktig med nubb i över- och nederkant samt hörn. Spännpapp fästes som vertikala våder, tapet som enhetliga stycken motsvarande väggens längd och höjd. Pappskivorna är tillverkade av flera lager papp och är som regel 4,5–6 mm tjocka. Dagens papp är vit på ena sidan, äldre är helt och hållet bruna. Papp kan ytbehandlas direkt.

Användningsändamål: Luftspärr i ytterväggar (spännpapp) och i takkonstruktioner (spännpapper) samt bakom yttre brädbeklädnad (pappskivor).

Användningstid: Från och med 1870-talet. Användes i stor omfattning fram till 1960-talet. Pappskivor speciellt under 1920–1950-talen. Tillverkningen av spännpapper har upphört.

Skador/olägenheter: Tål inte konstant fuktighet. Förlorar spänningen under inverkan av fukt. Alltför hård inspänning i början kan medföra att pappret/pappen spricker då den torkar. Som organiskt material är det under fuktiga förhållanden ett bra växtunderlag för olika slags mikrober.




Sågspån, kutterspån

Beskrivning: Delvis eller tätt packad träisolering som är en biprodukt från trä- och sågverksindustrin. Ofta packad i konstruktionen som cirka 250 mm höga lager.

Sågspån är ofta blandat med kutterspån (spån från hyvelmaskin), glasflisor eller kalk. Ovanpå isoleringslagret har det ofta installerats till exempel byggavfall, torkat bruk eller sand, i renoverade objekt även cellulosa- eller mineralullsisolering.

Användningsändamål: Värmeisolering i vindsbjälklag och värme- och ljudisolering i botten- och mellanbjälklag samt ytterväggar.

Användningstid: Från 1700-talet till 1950-talet. Allmänt under 1920–1940-talen. Används fortfarande i viss utsträckning.

Skador/olägenheter: Som organiskt material är det under fuktiga förhållanden ett bra växtunderlag för olika slags mikrober. Kan innehålla trä som behandlats med träskyddsmedel.




Cellulosaisolering ("Ekovilla", "Termex")

Beskrivning: Mycket finfördelat, ljusgrå cellulosaisolering. I regel framställd av återvunnet tidningspapper. Kan installeras genom blåsning. Behandlad med brandhämmande bormineraler.

Användningsändamål: Värmeisolering i form av blåsull i vinds-, botten- och mellanbjälklag samt ytterväggar.

Användningstid: Från 1940-talet, tillverkats i Finland sedan 1970-talet. Används fortfarande.

Skador/olägenheter: Dammar kraftigt vid installation/rivning. Vid kraftig fuktbelastning kan bor som fungerar som mögelhämmande medel sköljas bort, vilket gör att isoleringen kan fungera som växtunderlag för mikrober. Isoleringsdammet misstänks kunna ge irritationssymtom, om det kommer in mycket damm i inomhusluften till exempel på grund av brister i ångspärren.




Cementbunden spånskiva (”tojaskiva”, "Tojax")

Beskrivning: En tjock isoleringsskiva av träspån som bundits med cement och kemiska tillsatsämnen. Skivan är vanligtvis 50 mm tjock men även skivor med andra tjocklekar har tillverkats. Skivans mitt är vanligen glesare än kanterna. Skivan uppvisar små fuktrörelser i samband med torkning och eventuell vätning. I bärande konstruktioner är cementbundna spånskivor vanligtvis fästa med kalkcementbruk, spikar eller bitumen.

Användningsändamål: Värmeisolering i botten- och vindsbjälklag, ytterväggar, socklar och stegljudsisolering i mellanbjälklag. Även som gjutformar och underlag för puts (speciellt i trähus). Som akustikmaterial i takytor.

Användningstid: Från 1920-talet. Störst användning under 1940–1960-talen. Tillverkas fortfarande.

Skador/olägenheter: Tål fukt bättre än ”rena” trämaterial, men under ständig fuktbelastning möglar och murknar träet i materialet. Som akustikmaterial kan det samla damm och vara svårstädat.





Skumglas, cellglas ("Foamglas", "Foamit", "Hasopor")

Beskrivning: Grå skumaktiga krossbitar som pressats av returglas (skumglas, ljusgrått) eller skivor (cellglas, mörkgrått, innehåller dessutom sand, dolomit, kalk och kol). Tillverkas genom att hetta upp en massa av glaspulver och tillsatsämnen (skumglas på band, cellglas i formar). Kyls ned sakta (skumglas spricker och blir till kross). Cellglas skärs till skivor efter svalning. Materialen har en ojämn yta med blåsor. Miljövänliga produkter.

Användningsändamål: Skumglas bland annat som värmeisolering och för kapillärbrytning. Cellglas som värmeisoleringsmaterial i konstruktioner mot mark, ytterväggar samt låglutande takkonstruktioner. Materialen har god brand- och fukttålighet. Även god motståndskraft mot vattenånga, hetta och tryck.

Användningstid: Cellglas har tillverkats i USA sedan 1930-talet och från 1960-talet även i Europa. Cellglas tillverkas inte i Finland. Skumglas har tillverkats i Europa sedan 1982 och i Finland sedan 2011. Används fortfarande.

Skador/olägenheter: När cellglas går sönder har den stickande lukt på grund av det svavelväte som materialet innehåller.





Tjärpapp och -papper

Beskrivning: Papp som behandlats med trätjära. I början av 1900-talet var impregneringsmedlet stenkolstjära. Dagens tjärpapper är behandlade med bitumen.

Användningsändamål: Luftspärrpapper i vägg-, golv- och takkonstruktioner, ibland också på ytan av t.ex. rörisolering.

Användningstid: Från 1870-talet. Tillverkas fortfarande.

Skador/olägenheter: Äldre material innehåller PAH-föreningar, vars utsläpp är mycket små om inte materialet rörs. Vid hantering ökar utsläppen betydligt.





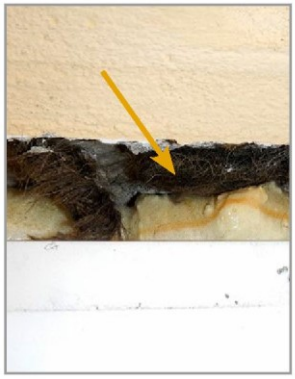
Drev och snören

Beskrivning: Organiskt material som används som värmeisolering och för att förhindra luftläckage, liksom halm, mossa, torv, sågspån, lin, linrester, hampa, eller tidigare rivna manillarep eller jutesäckar, samt vojlock som filtats av nötkreaturs hår. I yttre delar är drev ofta tjärat (tjärdrev).

Användningsändamål: I regel i anslutningen mellan två trädelar, till exempel fogar mellan timmerstockar, hörnförband samt allmänt även i fönsterkarmkonstruktioner.

Användningstid: Fram till 1950-talet. Bland annat linband används fortfarande i timmerhus.

Skador/olägenheter: Som organiskt material är det under fuktiga förhållanden ett bra växtunderlag för olika slags mikrober. Drev kan ha tjärats, så de kan innehålla PAH-föreningar.





Torv och mossa ("Wisu-skiva", "Silenda")

Beskrivning: Som sådan som värmeisoleringsmaterial i konstruktioner. Under värmeisoleringslagret finns vanligtvis ett vindskyddsskikt (t.ex. näver/tidningspapper) samt en tyngdfyllning ovanpå av sand eller torkade brukssmulor. Specifika torvprodukter har innehållit asfalttjära (torvströ) eller bitumen (torvskiva).

Användningsändamål: Ljud- och värmeisolering i vinds- mellan- och bottenbjälklag. Speciellt i hus med tegel- och betongstomme användes torvströ även i ytter- och mellanväggar

Användningstid: Från 1800-talet till 1950-talet. Allmänt under 1920–1930-talen.

Skador/olägenheter: Som organiskt material är det under fuktiga förhållanden ett bra växtunderlag för olika slags mikrober.





Ureaformaldehydskumisolering (”UFFI”, ”ureaskum”)

Beskrivning: Ett av harts- och härdarlösning tillverkat vitt skum som härdar i konstruktionen. Installerat genom sprutning. Kan ha krympt mycket vid torkning. Skört och mjukt material. Sammansättningen varierar.

Användningsändamål: Isoleringsmaterial speciellt vid tilläggsisolering av träbeklädda, sågspånsisolerade ytterväggar, samt till exempel i fönsterkarmsanslutningar. Användes speciellt i renoveringsobjekt.

Användningstid: Fram till 1970-talet. Särskilt vanlig under 1960–1970-talen.

Skador/olägenheter: Sammansättningen har varierat mycket. Kan upplösas nästan helt efter en längre tid, speciellt om den blivit våt. Frigör formaldehyd när den blir våt. Kan mögla under fuktiga förhållanden. Damm kan irritera andningsvägarna.





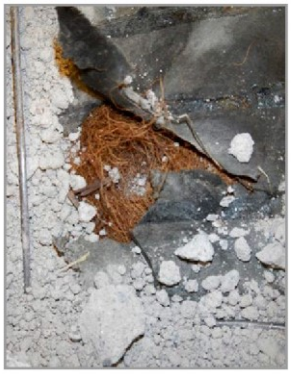
Kokosisolering

Beskrivning: Isolering av kokosnötens fibrer som formats med olika bindemedel.

Användningsändamål: Har använts huvudsakligen i annat än byggprodukter. I byggprodukter observerad som värmeisolering eller stegljudsisolering till exempel som fastsydd i tjärpapp (motsvarande tillverkad av mineralullprodukter på 1960-talet). Sällsynt.

Användningstid: 1950-talet, eventuellt också andra decennier.

Skador/olägenheter: Som organiskt material är det under fuktiga förhållanden ett bra växtunderlag för olika slags mikrober.

Kiselgur ("A-massa", "Eristys 3", "Eristys 1")
Beskrivning: Till färgen gyllenbrun eller vit jordart. Materialet är ofta blandat med sand, lera, kalk eller organiskt ämne, av vilka det organiska ämnet ofta är avlägsnat genom bränning före användning. Materialet har god värmetålighet. Bearbetade material kan innehålla asbest.

Användningsändamål: Har använts som värme- och ljudisoleringsmaterial som sådant eller bearbetats till skivor eller tackor. Som värmeisolering för vatten- och pannaggregats samt värmecentralers rör, samt i värmepannor och varmvattenberedare ofta i 2–5 mm tjocka skikt när den totala isoleringstjockleken är cirka 20–50 mm. Ovanpå isoleringslagret har det vanligtvis satts gasväv som har ytbehandlats och målats. Dessutom har kiselgur använts som tillsatsmedel i till exempel cement.

Användningstid: Första halvan av 1900-talet.

Skador/olägenheter: Kan innehålla asbest. Kiselgur dammar lätt. Se Asbesthaltiga material.




Vatten- och fuktisoleringar

Bitumen
Beskrivning: Svart isoleringsmaterial som framställs ur naturasfalt eller råolja genom destillation. Kan till exempel strykas på ytan av en konstruktion. Som tillsats i olika material förbättrar materialets fukttålighet. Det material som använts vid husbyggnation mjuknar vid höga temperaturer (cirka 70…120°C). Vanligtvis under ytskikt, vilket gör att det inte kan upptäckas utan att söndra materialet.

Användningsändamål: Vatten- och fuktisolering samt binde- eller impregneringsmedel i olika slags pappers-, papp- och skivprodukter.

Användningstid: Från slutet av 1800-talet. Används fortfarande.

Skador/olägenheter: Fukt- och vattenisoleringar som tillverkats före år 1987 kan innehålla asbest. I äldre isoleringar har även använts stenkolstjära, som innehåller PAH-föreningar. Obs. befintliga lager kan ha använts upp även efter att tillverkningen upphört.




Stenkolstjära, -beck
Beskrivning: Stenkolstjära är en vätskeformig biprodukt från koksning (torrdestillering) av stenkol. Fortsatt destillering vid hög temperatur ger hård eller stel massa, stenkolsbeck. Färgen är brunsvart. Lukten är karakteristisk. Har delvis också innehållit asbest som bindemedel. Stenartat beck mjuknar vid höga temperaturer (cirka 50– 60 °C). Kan finnas under ytskikt, vilket gör att det inte kan upptäckas utan att söndra ytskiktet.

Användningsändamål: Som träskydd (tjära), fukt- och vattenisolering i golvkonstruktioner, i murade väggar samt tegelfogar (beck).

Användningstid: Från 1800-talet till åtminstone 1950.

Skador/olägenheter: Stenkolstjära och -beck innehåller kreosot som ger materialet dess karakteristiska stickande, tjärliknande lukt (”lukt av järnvägssliprar”). Vid rivning av konstruktioner frigörs skadliga ämnen i partikel- och gasform, bland annat PAH-föreningar. Utsläppen från orörda gamla konstruktioner är ofta mycket små men vid bearbetning kan utsläppen öka betydligt. Utsläppen från en skadad yta känns ofta som lukt i rumsluften.



Gjutasfalt

Beskrivning: Blandning av naturasfalt eller stenkolstjära/-beck och sand. Ett tätt svart asfaltlager under ytskikt, vilket gör att det inte kan upptäckas utan att söndra materialet. Vanligtvis cirka 1–20 cm tjockt lager. Blandningen av stenkolstjära och sand har på finska kallats ”pirunpoika”.

Användningsändamål: Vattenisolering av grundmur samt golv i källarutrymmen, badrum och kök. I slutet av 1800-talet och början av 1900-talet som en mörkgrå massa direkt som golvbeläggning och golvlister.

Användningstid: Från 1800-talets slut till 1900-talets början i inomhusutrymmen.

Skador/olägenheter: Spillolja har använts vid tillverkningen. Kan innehålla oljekolväten, PAH-föreningar och metaller. Se stenkolstjära och -beck.



Filtisoleringar
("Galvano", "Osmo"-takfilt, "Semptal", "Ruberoid", "Icopal", "Karhu", "Villadrit")

Beskrivning: Svart, några millimeter tjockt mattliknande produkt. Ursprungligen impregnerade med stenkolstjära, senare ofta med bitumen. På vattentaket ovanpå filten kan finnas ströskikt (kan innehålla asbest). Om det finns strö på båda sidorna av filten har materialet god brandtålighet (dubbelgrusad takpapp).

Användningsändamål: Vattentakstäckning, vattenisolering för konstruktioner mot mark, som kapillärbrytande skikt och för att leda vatten i konstruktioner.

Användningstid: Från slutet av 1880-talet. Tillverkas fortfarande.

Skador/olägenheter: I gamla produkter finns asbest och produkter impregnerade med stenkolstjära innehåller PAH-föreningar.



Byggskivor

Gipskartongskiva **("Kipsoniitti", "Gyproc", "Gipsonit", "Knauf")**

Beskrivning: En skiva tillverkad av överbliven gipsmassa från gipssten och avsvavlingsprocessen med papp-/kartongyta vanligtvis limmade på båda sidor. I konstruktioner är vanligen åtminstone skarvarna spacklade och ytan målad/tapetserad/plattsatt. Brandsäker.

Föregångare till dagens gipsskiva är bland annat luginomassa-, riksi- och kokolitskivor samt murblock.

Användningsändamål: Särskilt som beklädnadsskiva för vägg- och takkonstruktioner inomhus.

Användningstid: Från 1920-talet. Numera ett mycket vanligt material.

Skador/olägenheter: Gipsskivor för torra utrymmen har dålig fukttålighet. Får lätt mikrobskador på pappytan. Tillväxt förekommer även i skivans gipsmassa.





Kokolit

Beskrivning: En skiva tillverkad av fibrer från kokosnöt, gips och sand med korrugering på ena sidan (underlag för puts). I allmänhet med spont på alla sidor. Syftet med kokosfibrerna är att förbättra gipsets hållfasthet, seghet och isoleringsförmåga.

Användningsändamål: Främst som beklädnadsskiva i mellanväggar, men även som innertaksyta i trämellanbjälklag.

Användningstid: Från början av 1900-talet. Föregångare till dagens gipsskivor.

Skador/olägenheter: Blir mikrobskadad vid långvarig fuktbelastning.



Fibercementskiva ("Mineriitti", "Eterniitti", "Vartti"-, "Tuplavartti"-täckning, "Luja", "Karaatti")

Beskrivning: Hård skiva tillverkad av cement och förstärkande fibrer. God mekanisk hållfasthet och brandtålighet.

Användningsändamål: Som utvändig beklädnadsskiva och som taktäckningsmaterial. Även i konstruktioner inomhus, bland annat som väggskivor i våtutrymme.

Användningstid: Från 1920-talet. Innehöll asbest fram till 1990-talets början, därefter har andra förstärkningsmaterial använts.

Skador/olägenheter: God fukttålighet, drabbas inte lätt av mikrobiella skador. Innehåller ofta asbest, vilket alltid måste beaktas vid planering och genomförande av konstruktionsöppningar.





Luginomassavägg (”Kananpaskaseinä”, ”Kanasen seinä”, ”Lugino"-skiva)

Beskrivning: En massa framställd av gips, sand, koksslagg och bindemedel. Putsades mot en brädform eller göts mellan formbrädor. Väggytan behövde putsas före ytbeläggning eller tapetsering. Senare förekom även separata murblock. Väggtjockleken som regel 50–70 mm. I brottytan ses koksslagget som tydliga svarta bitar.

Användningsändamål: Främst som mellanväggskonstruktion i torra utrymmen, men även som väggkonstruktion för luftkanaler.

Användningstid: Främst under 1900-1950. Murblock från och med 1920-talet.

Skador/olägenheter: God fukttålighet. Transporterar fukt till omgivande konstruktioner och ytbeläggningar.





Golvbeläggningar och golvytkonstruktioner

Linoleum dvs. korkmatta

Beskrivning: Golvbeläggning som tillverkas huvudsakligen av vegetabiliska produkter (kork- och trämjöl, linolja och harts) samt pigment- och kalkstensmjöl. Modern linoleum kan ha polyuretanbeläggning. Monteras genom limning. Har mycket god slitstyrka. Ofta marmorliknande mönstring. Tjocklek 2–4 mm. Äldre beläggningar har i huvudsak varit rullprodukter. Linoleum kan skiljas från plastmatta bland annat genom juteväven på undersidan och den karakteristiska lukten. Mattan kan också vara monterad ovanpå lumppapp.

Linoleum ska särskiljas från plastgolvbeläggningar, vars skador till följd av fukt orsakar annan typ av emissioner. Obs! Linoleum är en annan produkt än s.k. korkgolv som huvudsakligen tillverkas av kork, där man kan urskilja naturkorkens struktur på ytan.

Användningsändamål: Golvbeläggning i bostäder och olika slags offentliga utrymmen.

Användningstid: Från 1910-talet. Särskilt allmän på 1930-talet. Tillverkas fortfarande.

Skador/olägenheter: Kan innehålla asbest eller metaller. Materialet har en stark karakteristisk lukt. Vid nedbrytning avges bl.a. aldehyder till inomhusluften, vilka har låg lukttröskel. Som organiskt material är det ett bra växtunderlag för olika slags mikrober under fuktiga förhållanden. Felaktig ytbehandling förstör materialet, vilket leder till att ljust, irriterande damm frigörs från ytan.





Magnesiamassa ("B-pansarmassa", "C-pansarmassa", "pansarmassa", "underlagsmassa för lättbeläggningar", "Kimmo", "Sorel-cement", "Finnlon")

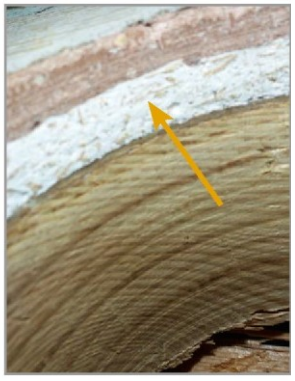
Beskrivning: Massagolv som tål hårt slitage, tillverkat av magnesit och fyllnadsmedel Som fyllnadsmedel användes bland annat talk, korkmjöl, sågmjöl och asbest. Har vanligtvis använts i offentliga lokaler.

Användningsändamål: Ett ljust eller vitt utjämningsskikt ovanpå betong-, stål- eller trägolv, till exempel under linoleummattor. Som golvbeläggning förekom enfärgat eller mönstrat, eller som separata färdiga plattor.

Användningstid: Främst under 1930–1970-talen.

Skador/olägenheter: Innehåller magnesiumklorid som korroderar metaller, till exempel vid rörgenomföringar i golv. Som asbesthaltigt material ska magnesiamassa alltid beaktas vid planering och genomförande av konstruktionsöppningar i golv från den aktuella tidsperioden.





Vinylplatta ("Finnflex"- och "Flex"-plattor, "Hovi-platta")

Beskrivning: En golvbeläggning bestående av limmade plattor. Plattornas storlek vanligtvis 250x250 mm eller 300x300 mm.

Användningsändamål: Golvbeläggning på botten- och mellanbjälklag i torra utrymmen.

Användningstid: Från och med 1950-talet. Tillverkas fortfarande.

Skador/olägenheter: Fram till slutet av 1980-talet var det vanligt att vinylplattor innehöll asbest. För montering användes tidigare bitumenlim (svart, till vänster i bilden), som också kan innehålla asbest, till skillnad från senare använda mattlim (gula). Asbesthaltiga material bör alltid beaktas vid planering och genomförande av konstruktionsöppningar.





Stenmaterial

Lättklinker, lättklinkerbetong (”Leca”, klinkerbetong)

Beskrivning: Lättklinker är expanderade korn som tillverkats genom sintring av lera, vilka kan bindas med cement till block, plattor eller element. Obrännbart, tål väderväxlingar väl.

Användningsändamål: Lättklinker används löst bland annat som värmeisolering på yttertak och som kapillärbrytande och värmeisolerande skikt i marken. Lättklinkerbetong används som element och block, bland annat i grundläggningar och i ytterväggskonstruktioner, t.ex. som värmeisolerande skikt.

Användningstid: Från och med 1950-talet. Används fortfarande.

Skador/olägenheter: Fukt ökar risken för korrosion på ståldelar och rör i konstruktionen. Spån och annat organiskt byggavfall som hamnat i lättklinker möglar lätt i fuktiga konstruktionsdelar.





Lättbetong, ånghärdad lättbetong "Siporit", "Siporex", "Cellit", "Solux", "Betocel", "gasbetong", ”skumbetong”)

Beskrivning: Huvudsakligen ett ljusgrått, nästan vitt material som är lätt att bearbeta till exempel genom sågning. Grundråvarorna är cement och sand, masugnsslagg samt kalk, vatten och aluminiumpulver. Porerna bildas genom en kemisk reaktion med aluminiumpulvret. Ånghärdas vid hög temperatur och ångtryck i en autoklav.

Användningsändamål: Bärande konstruktion eller värmeisolering i ytter- och innerväggar, som block eller olika slags element. Används även i vinds- och bottenbjälklag samt till exempel i balkar över fönster. I brandväggar och -murar på grund av sin goda brandtålighet.

Användningstid: Från och med 1930-talet. Används fortfarande.

Skador/olägenheter: I produkter som inte ånghärdats kan uppstå fuktrörelser. Kraftiga fuktrörelser kan orsaka sprickbildning. Ånghärdad lättbetong transporterar fukt kapillärt snabbare än betong. Får mikrobskador på ytan lättare än betong. Materialet har ibland en karakteristisk sötaktig lukt.





Källor

Palomäki E. och Arbetshälsoinstitutet, 1993. Rakennusmateriaalit ja terveys. Rakennustieto Oy, Helsingfors.
Kaila P., 1997. Talotohtori. Rakentajan pikku jättiläinen. WS Bookwell Oy, Porvoo.
Rakennustietosäätiö RTS, 2014. RT 20-11160 Haitta-ainetutkimus, Rakennustuotteet ja rakenteet. Rakennustieto Oy, Helsingfors.
Siikanen U., 1996. Rakennusaineoppi. Rakennustieto Oy, Helsingfors.
Neuvonen P., 2006. Kerrostalot 1880-2000 - arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen. Rakennustieto Oy, Tammerfors.
Neuvonen P., Mäkiö E. och Malinen M., 2002. Kerrostalot 18801940. Rakennustieto Oy, Tammerfors.
Wegelius E. A., 1952. Talonrakennustekniikan käsikirja 2. Kustannusosakeyhtiö Kirjamies, Helsingfors.

Fotografier i bilaga 2

Vahanen 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.

Bilaga 3. Mall för undersökningsplan

Undersökningsplan. Fukt- och inomhusmiljöteknisk konditionsundersökning

Centralskola X
Delar B och C

1 Allmänna uppgifter

1.1 Objekt

Centralskola X
Adress

1.2 Beställare

Fastighetsägare Kommun X
Adress

Kontaktperson NN, e-postadress

1.3 Planen utarbetad av

Oy Konditionsundersökning Ab
Adress

Kontaktperson NN, e-postadress

1.4 Undersökningens syfte

Syftet med undersökningen är att på ett heltäckande sätt utreda de faktorer som påverkar inomhusluftens kvalitet i Centralskola X. Baserat på den enkätundersökning till lokalernas användare som genomfördes i slutet av 2015 misstänks det att det förekommer problem relaterade till inomhusluftens kvalitet i lokalerna. Utifrån undersökningarna utarbetas rekommendationer för reparationsåtgärder, som kan fungera som underlag för planering av reparationerna i objektet.

1.5 Utgångsuppgifter

För utarbetandet av undersökningsplanen har följande utgångsmaterial varit tillgängliga:

- Observationer vid platsbesöket 27.8.2015, Oy Konditionsundersökning Ab
- Fastighetens konditionsbedömning, 10.10.2001, Kartläggning Oy
- Enkät om inomhusklimat, 10.5.2016, Arbetshälsoinstitutet
- Originalritningar ARK (arkitektur), RAK (konstruktion) och VVS (ventilation, värme, sanitet), tillhandahållna av beställaren
- Ritningar ARK, RAK och VVS från grundrenoveringstiden, tillhandahållna av beställaren

1.6 Beskrivning av objektet

Centralskola X är byggd på 1950-talet (del B) och tillbyggd på 1970-talet (del C) och 1990-talet (del A). Delarna B och C har grundrenoverats år 1990 i samband med byggandet av tillbyggnaden A. Byggnaden har två till fyra våningar ovan jord. B- och C-delarna har dessutom en källarvåning. De bärande konstruktionerna är av betong och tegel. Bottenbjälklaget är en betongplatta mot mark. Mellanbjälklagen i del B är plattbärlag i betong, medan delarna C och A har håldäckskonstruktion. Ytterväggarna i B-delen är av typen tegel-ull-tegel och i delarna A och C av typen betong-ull-tegel. Fasaderna är putsade. Yttertaket är falsat plåttak. I bild 1 visas en ritning där byggnadens delar A, B och C har märkts ut.

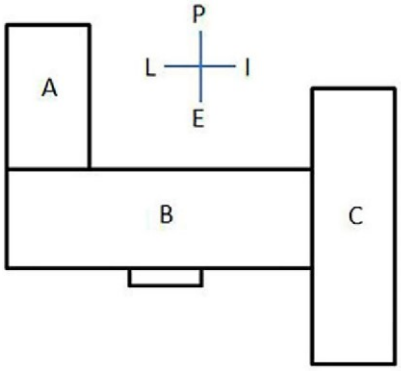


Bild 1. Ritning där byggnadens delar A, B och C har märkts ut. Undersökningarna begränsar sig till delarna B och C. Bilden är riktgivande, inte i skala.

2 Undersökningens innehåll

Syftet med undersökningen är att med hjälp av sensoriska metoder och mätningar, öppning av konstruktioner samt analys av materialprov fastställa vilka konstruktioner som måste åtgärdas för att förbättra inomhusluftens kvalitet. Dessutom undersöks ventilationen, som är en viktig faktor för inomhusluftens kvalitet. Närmare undersökningar, mätningar och öppning av konstruktioner riktas på basen av kartläggningen som görs i början av undersökningen och resultaten från enkäten om inomhusklimat som genomfördes våren 2015. I undersökningsrapporten presenteras, utöver slutsatser och åtgärdsrekommendationer, också alternativ för rekommenderade reparationsmetoder och materialval.

Undersökningen omfattar följande undersökningsåtgärder i centralskolbyggnadens del B och C:

Konstruktioner och inomhusluft

- Innan fältundersökningarna inleds studeras de gamla planerna (ARK, RAK, VVS och el) som beställaren tillhandahållit samt tidigare undersökningar. Ritningarna används för att fastställa vilka konstruktioner som planerats för objektet, deras avsedda funktion och riskområden samt övriga utgångsuppgifter för fältundersökningarna.
- En sensorisk genomgång av alla utrymmen utförs och en ytfuktkartläggning av riskområden. I samband med detta dokumenteras bl.a. synliga fuktskador och andra faktorer som kan påverka inomhusluftens kvalitet i byggnaden.
- Inspektion av rörkanaler och kryputrymmen utförs i den mån de är åtkomliga via inspektionsluckor eller lätta öppningar i konstruktionerna. Eventuellt nödvändiga mer omfattande öppningar i konstruktionerna överenskoms separat.
- Brister i vattentätheten hos mantelns yttre ytor (yttertak och fasader) undersöks sensoriskt i den omfattning som väderförhållandena tillåter. Fasadens skick bedöms sensoriskt i den mån det är möjligt utan att använda personlyft.
- Markens lutningar på gårdsområdet och bortledningen av regnvatten bedöms sensoriskt i den mån det är möjligt vid denna tid på året.
- Konstruktionstyperna för ytterväggar samt vinds-, mellan- och bottenbjälklag fastställs genom öppning av konstruktioner i de delar där detta bedöms nödvändigt utifrån dokumentgranskning och sensoriska observationer.
- Det finns beredskap för att utföra s.k. snittmätningar för bestämning av fukthalten under golvbeläggningar (cirka x–x st. mätpunkter), samt vid behov byggfuktmätningar inne i konstruktionen med s.k. borrhålsmetod (cirka x–x st. mätpunkter). Dessutom görs vid behov kortvariga mätningar av relativ fuktighet i konstruktionerna.
- Skicket på limmade golvbeläggningar bedöms i första hand sensoriskt i samband med snittmätningarna.
- Behovet av provtagning av flyktiga organiska föreningar (VOC) och andra kemiska föroreningar i inomhusluften bedöms separat utifrån övriga observationer i konditionsundersökningen. Eventuell provtagning och antal prover avtalas separat med beställaren.
- Skicket på de bedömda riskområdena undersöks genom konstruktionsöppningar.
- Materialprover för mikrobanalys tas i nödvändig omfattning (cirka x–x st. prover, eventuella tilläggsprover avtalas separat).
- Bedömning av städnivån och dammigheten i lokalerna samt visuell uppskattning av mängden dammavlagringar på höga ytor.
- Undersökning av rumsdammets sammansättning samt identifiering av fiber- och partikelkällor i lokalerna genom SEM- och grundämnesanalys av ytdamm (cirka x–x st. prover).
- Bestämning av halten av mineralullfibrer i rumsluften med två veckors nedfallsprov (cirka x–x st. prover).
- Den fukttekniska konditionen av vindsutrymmen bedöms genom sensoriska observationer från vinden samt genom konstruktionsöppningar i vindsbjälklagen.
- Lufttätheten i anslutningar och genomföringar i ytterväggar samt botten-, mellan- och vindsbjälklag undersöks med hjälp av spårrök och vid behov med spårgasteknik. Det bereds att utföra spårgastester på x–x konstruktioner. Om ytterligare tester avtalas separat.
- Byggnadens tryckförhållanden, inomhusluftens radonhalt, koldioxidhalt samt fukt- och temperaturförhållanden övervakas stickprovsmässigt genom kontinuerliga mätningar under cirka 1–2 veckors tid (x–x st. tryckdifferenssensorer, x–x st. CO_2-sensorer, x–x st. temperatur- och fuktsensorer, x–x st. radonmonitorer).

Ventilation

- Ventilationsaggregatens skick, renhet och driftstider kontrolleras i de utrymmen som omfattas av undersökningen.
- Tilluftskanalernas renhet bedöms stickprovsmässigt genom inspektionsluckor och bakom ventilerna.

- Kontrollmätningar av till- och frånluftsflöden görs stickprovsmässigt i cirka 10–15 procent av de undersökta utrymmena.
- Bedömning av luftvolymernas tillräcklighet och överensstämmelse med planerna samt luftfördelningen i förhållande till utrymmenas användning.
- Luftflödenas riktning och tryckskillnader i inomhusutrymmen bestäms med hjälp av spårrök.

Undersökningsrapport

- Både den fukt- och inomhusmiljötekniska undersökningen samt ventilationsundersökningen rapporteras i en gemensam undersökningsrapport. I rapporten redovisas de genomförda undersökningar, observationer, resultat, resultatens analys samt slutsatser och åtgärdsförslag som underlag för reparationsplaneringen.
- Undersökningsresultaten gås igenom tillsammans med beställaren och presenteras vid ett separat tillfälle för lokalernas användare.

För ytterligare information gällande undersökningsplanen kan fås av Kondition Undersökare, tfn 044 123 5678.

Esbo 1.9.2016

Kondition Undersökare
Oy Konditionsundersökning Ab

Bilaga 4. Rapportmall och exempel på konditionsundersökningar

Mall för fukt- och inomhusmiljöteknisk konditionsundersökningsrapport

Omslag/Titel

- Exempelvis: Undersökningsrapport, Fukt- och inomhusmiljöteknisk konditionsundersökning
- Objektets namn och rapportens datum, namn på företaget som gjort undersökningen

Sammanfattning [längd vanligtvis högst en A4, inte nödvändig i korta rapporter]

- Undersökningens syfte
- Genomförda undersökningar och mätningar
- Viktigaste observationer
- Slutsatser och rekommenderade åtgärder

Innehållsförteckning [inte nödvändig i korta rapporter]

1 Allmän information

- Undersökningsobjekt
- Beställare av undersökningen och fastighetsägare, om annan än beställaren
- Den som utfört undersökningen och ansvarig person(er)
- Syfte/mål med undersökningen
- Tidpunkt för undersökningen
- Eventuella andra parter

2 **Översikt av objektet** [kort beskrivning av objektets grundläggande egenskaper]

- Byggnadsår och eventuell tidpunkt för grundrenovering
- Användningsändamål
- Viktigaste stom- och andra konstruktionslösningar och -material, samt typ av ventilationssystem
- Planritning eller lokaliseringsbild, eventuell avgränsning av undersökningsområdet
- Kända problem med inomhusluften

3 **Utgångsuppgifter** [Bakgrundsinformation som erhållits från beställaren, eller notering om det inte finns tillgängligt]

- Företeckning över dokument, t.ex. underhållsdokumentation, tidigare utredningar, huvudritningar, konstruktionsritningar, beskrivningar av reparationsarbeten, uppgifter mottagna per e-post (rubrik, avsändare, datum)
- Hänvisning till muntliga informationskällor (t.ex intervjuer med teknisk personal) och erhållna uppgifter
- Eventuell sammandrag av resultaten från utgångsuppgifterna (vanligen tidigare undersökningar)

4 Undersökningsmetoder

- I en mindre undersökning kan metoderna redovisas i ett eget avsnitt. I mer omfattande utredningar kan de läggas som en separat bilaga som hänvisas till i texten.
- Metoderna grupperas enligt det som undersöks, t.ex. fuktmätningar, luftflödesmätningar, tryckskillnadsmätningar, mätningar av luftläckage och lufttäthet, konstruktionsöppningar osv.
- Mätningar utförda av konditionsundersökaren själv: mätutrustning, funktionsprinciper, eventuella inställningar, kalibreringar samt grunder för tolkning av resultaten, eventuella begränsningar, referensvärden/anvisningar som använts vid tolkning av resultaten.
- Laboratorieanalyser: provtagningsutrustning, provtagning, transport av prover, analysmetoder och deras begränsningar, använda expertlaboratorier och vid behov uppgifter om deras kvalitetssystem eller certifieringar (t.ex. Finas-certifiering), referensvärden/anvisningar som använts vid tolkning av resultaten.
- Konstruktionsöppningar: uppgifter om utförare (undersökaren själv/externt företag), ungefärlig storlek på öppningarna, skyddsåtgärder.

5 Resultat av konstruktionstekniska undersökningar

- I omfattande fukt- och inomhusmiljötekniska konditionsundersökningar presenteras observationer, slutsatser och åtgärdsrekommendationer per byggnadsdel. Utöver detta presenteras i slutet av rapporten ett sammandrag av de rekommenderade åtgärderna.
- I mer begränsade utredningar redovisas observationerna för olika byggnadsdelar efter varandra, tillsammans med eventuella mätresultat. Därefter följer separata slutsatser och åtgärdsrekommendationer.
- Exempel på kapitelindelning i en omfattande undersökning:

5.1 Bottenbjälklag och väggar mot mark

5.1.1 Konstruktion

- Den granskade byggnadsdelen beskrivs genom att lista konstruktionens skikt och tjocklekar.
- Vid behov används bilder (fotografier, utdrag ur ritningar eller en ritade skisser) för att visa anslutningar och detaljer
- Planenlighet och avvikelser

5.1.2 Observationer och mätresultat

- Observationerna beskrivs i löpande text, och kärnpunkterna markeras gärna även i en planritning som placeras i texten eller som bilaga.
- Konstruktionens skick, tekniska brister, vid behov avvikelser från bestämmelser och anvisningar
- Fuktskador, mikrobiell påväxt, skadliga ämnen, avvikande lukter
- Mätresultaten (fukt, mikrober, materialemissioner etc.) redovisas i tabellform, i texten eller i planritningen, mät- och provtagningspunkter markeras i planritningen.
- Mät-och provtagningspunkternas exakta läge i byggnaden
- Inbäddat i texten läggs illustrerande bilder: I synnerhet:
  - översiktsbilder
  - skador och andra brister
  - konstruktionsöppningar

5.1.3 Slutsatser och åtgärdsförslag

- Slutsatser om byggnadsdelens skick samt orsakerna till fel och skador
- Riskbedömning (bedömning av omfattning och sannolikhet för inverkan på inomhusluften från observerade avvikelser, användarnas exponering för föroreningar samt övriga risker)
- Brister, fel och skador som kräver åtgärder, åtgärdsområden
- Rekommenderade (alternativa) reparationsprinciper och hur brådskande de är
- Andra faktorer som bör beaktas vid planering av reparationer
- Saker som lämnat oklara, behovet av eventuella tilläggsundersökningar

5.2 *Fasader, ytterväggar, fönster och dörrar* [som ovan]

5.3 *Mellanbjälklag, mellanväggar och ytstrukturer* [som ovan]

- Obs! Även rörkanaler och -tunnlar, fastighetstekniska schakt, slutna hålrum t.ex. under trappor

5.4 *Vindsbjälklag och yttertak* [som ovan]

5.5 *Gårdsområden* [som ovan]

6 Resultat från undersökningar av VVS-system

6.1.1 Beskrivning av ventilations-/VVS-system

6.1.2 Luftfördelning och luftmängder till utrymmena

6.1.3 Ventilationssystemets renhet

6.1.4 Slutsatser och åtgärdsförslag

7 Resultat av mätningar av inomhusluftens förhållanden och föroreningar

7.1.1 Tryckskillnader

7.1.2 Koldioxidhalt

7.1.3 Inomhusluftens temperatur och relativa fukthalt

7.1.4 Mätning av föroreningar (t.ex. mineralullsfibrer, mikrober, VOC)

7.1.5 Radon

7.1.6 Slutsatser och åtgärdsförslag

8 Resultat från andra utredningar

- Resultat och slutsatser från användarenkät, symtomenkät eller enkät om inomhusklimat som genomförts som en del av undersökningen
- Övriga utredningar och deras slutsatser

9 Sammanfattning av de viktigaste rekommenderade åtgärderna

- En lista över de viktigaste rekommenderade åtgärderna
- Åtgärderna ordnas efter omfattning, kostnad och/eller angelägenhetsgrad

10 Datering och underskrifter

- Rapporten dateras med det datum då den levereras.
- Rapporten undertecknas av den person eller de personer som ansvarar för undersökningen och slutsatserna

Bilagor

1. Använda undersökningsmetoder
   I en begränsad undersökning kan de använda undersökningsmetoderna presenteras som en del av den egentliga texten. Vid omfattande undersökningar som en separat bilaga, till vilken det hänvisas i texten.
2. Planritningar där mät- och provtagningspunkterna är markerade
3. Planritning där de viktigaste observationerna är markerade
4. Originala analyssvar från laboratorium
5. Eventuella andra bilagor, t.ex. noggrannare mätresultat

Exempel på konditionsundersökningar

Exempel 1. Symtom som kopplas till bostad och utredning av inomhusluft

Utgångsläge och uppdrag

I en lägenhet på nedersta våningen i ett cirka 25 år gammalt flervåningshus förekom tidvis lukter, och det upplevdes symptom som misstänktes vara relaterade till inomhusluften. Uppdraget var att utreda faktorer som försämrar inomhusluftens kvalitet i lägenheten, samt att identifiera reparationssätt för eventuella fel eller skador. Tillsammans med beställaren (disponenten) kom man överens om att genomföra en kartläggning av tillgänglig bakgrundsinformation, en okulär besiktning och en riskbedömning, samt att intervjua den boende. Ett skriftligt avtal upprättades för uppdraget, där bland annat omfattning, ansvarsperson, kostnadsuppskattning (tidsåtgång, timdebitering), leveranstid och övriga villkor fastställdes. Man kom överens om att utförande av eventuella konstruktionsförstörande undersökningar skulle beslutas separat utifrån besiktningsresultaten.

Utgångsuppgifter

Dokument. Från den tekniska disponenten erhölls omfattande konstruktionsritningar, utifrån vilka konstruktionstyper och riskerna kopplade till konstruktionerna klarlades. Den undersökta byggnaden var ett elementhus med s.k. bokhyllestomme. Ytterväggarna bestod av betongsandwichelement med tegelplattor på ytan, profilerad mineralull som värmeisolering, invändiga mellanväggar av gipsskivor med träregelstomme, och botten- och mellanbjälklaget av håldäckselement. Under bostadsdelen var bottenbjälklaget ventilerat och isolerat med cellplast från undersidan. Byggnaden hade mekanisk frånluftsventilation utan individuell reglering per lägenhet.

Intervjuer. Före besöket intervjuades fastighetens disponent, som informerade att bostadens diskmaskins avloppsslang hade läckt några år tidigare, men att läckaget hade sannolikt varit begränsad till ett litet område och golvbeläggningen hade förnyats på det fuktiga området. Det fanns ingen skriftlig dokumentation om skadan eller reparationen. Den boende intervjuades per telefon före besiktningen. Enligt den boende hade det ibland kunnat kännas en obestämd, avvikande lukt i lägenheten. Flera personer hade upplevt irritation i luftvägar och ögon i lägenheten, vilket lindrades när de inte vistades där. Den boende berättade att läckaget i köket hade åtgärdats genom att byta golvbeläggningen på ett mycket litet område runt diskmaskinen, och misstänkte att reparationen hade utförts bristfälligt.

Preliminär riskbedömning

Utifrån ritningarna konstaterades inga särskilda risker i konstruktionerna, utan riskerna bedömdes vara kopplade till noggrannheten i det ursprungliga byggarbetet, konstruktionernas åldrande och lokalernas användning. Omfattningen av reparationen av diskmaskinsläckaget bedömdes som eventuellt otillräckligt. De lukter och symtom som lokalernas användare upplevt kunde tyda på bl.a. mikrobskador eller skador på plastmattor, men orsaken till eller platsen för problemet kunde inte avgöras på basen av dem.

Undersökning

Besiktning och mätningar

Tidpunkten för besiktningsbesöket avtalades med disponenten och den boende. Vid besöket inspekterades lägenheten sensoriskt och med ytfuktindikator. I området kring det gamla läckaget i köket kontrollerades de nedre delarna av skåpskivor och lätta mellanväggar, och golvlister samt sockelskivor lossades i samband med detta, dock utan att förstöra konstruktioner. På utsidan kontrollerades utförandet av och vattentätheten för elementfogarna i fasaden samt fönster-, dörr- och balkonganslutningar. Fuktbelastningen och ventileringen av socklar och bottenbjälklaget bedömdes genom observation av terrängformer, regnvattenavledning, socklar och dräneringssystem. Tryckförhållandena i lägenheten mättes som en kortvarig mätning över byggnadsmanteln på båda sidor av byggnaden (mot gatan och innergården) samt mellan lägenheten och trapphuset. Dessutom kontrollerades luftens rörelseriktning och luftflödets ungefärliga styrka uppskattades vid ventilationens till- och frånluftsdon med hjälp av spårrök.

Observationer och mätresultat

Sensorisk bedömning av ytor och inomhusluftens kvalitet. Inga avvikelser som pekar på fuktbelastning eller mikrobskador kunde observeras i lägenheten. Ingen avvikande lukt konstaterades i inomhusluften under besiktningen. Lägenheten var allmänt sett prydlig och i gott skick, och ytorna var väl åtkomliga för inspektion.

Bottenbjälklag. Golvbeläggningen i lägenheten var laminat, som enligt observation genom en lossad tröskel var installerad ovanpå en gammal plastmatta. Omfattningen av reparationen efter läckaget i köket eller den gamla plastmattans skick kunde inte avgöras utan att förstöra konstruktioner. Inga avvikande värden konstaterades vid ytfuktmätningen i golven. Ytfuktkartläggningen begränsades till våtutrymmen eftersom betongens fukthalt inte kan fastställas genom laminat såvida inte konstruktionen är mycket våt.

Ytter- och mellanväggar. Inga avvikelser konstaterades med ytfuktindikator i de nedre delarna av ytterväggarna eller i våtutrymmens väggar. Inte heller bakom golvlister i väggarnas nedre delar inom det område där köksläckaget eventuellt kunde ha påverkat, observerades tecken på skador såsom missfärgning av material eller mjukning av gipsskiva eller spackel.

Ventilation och tryckskillnadsmätning. Frånluftsventilerna var placerade i köket, badrummet och toaletten. Luftens strömning vid ventilerna var kraftigt och hade rätt riktning. Tilluften kom in genom springventiler i fönstren. Ventilerna var öppna och rena och den boende var medveten om deras korrekta användning. Tryckskillnaden över ytterväggen vid bostaden var -12... -14 pascal (Pa) och till trapphuset -5 Pa. Väderförhållandena vid undersökningstillfället var lugna, så vinden påverkade inte mätresultaten.

Observationer från utsidan. Byggnaden låg i en svag sluttning, lägenheten låg på nedre sluttningens sida. Lägenhetens golvyta låg cirka +15... +60 cm över markytans nivå, och under lägenheten fanns förmodligen ett ventilerat utrymme. Inga ventilationsöppningar kunde ses och det var inget tillträde till utrymmet. Inga brister i vattentätheten konstateras på fasaderna, och fönsterblecken var ändamålsenliga. Fogmassorna i elementskarvarna hade hårdnat något men var fortfarande hela.

Slutsatser

Orsaken till eventuellt problem med inomhusluften kunde inte påvisas med konditionsbedömningsmetoder. Den gamla eventuellt fuktskadade plastmattan och det oventilerade utrymmet under bottenbjälklaget utgjorde dock en eventuell risk. Utrymmets ventilation bedömdes som bristfällig, och ingen information om utrymmets renhet erhölls. Lägenheten hade dessutom ganska kraftigt undertryck, vilket ökade risken för luftläckage genom konstruktioner.

Åtgärdsrekommendationer

- Inga reparationsåtgärder
- Ytterligare undersökningar:
  - Rivning av laminatgolvet i köket och kontroll av den gamla plastmattans skick
  - Öppning och fotografering av utrymmet under bottenbjälklaget genom inspektionshål som borras i sockeln
  - Vid behov spårgasmätning från utrymmet under bottenbjälklaget till inomhusluften

Undersökningen rapporterades skriftligt och lämnades till beställaren. Slutsatserna gicks igenom per telefon och det diskuterades om fortsatta undersökningar.

Fortsättning

Genomförande av föreslagna vidare undersökningar och deras kostnader avtalades per e-post. Öppning och återställning av konstruktioner enligt konditionsundersökarens anvisningar sköttes av ett renoveringsföretag som husbolaget använder.

Resultat av vidare undersökningar

Laminatgolvet i köket revs och plastmattan kontrollerades. Plastmattan konstateras vara gammal men oskadad och reparationen efter läckaget bedömdes ha varit tillräcklig. I sockeln gjordes två inspektionsöppningar med diamantborr, genom vilka organiskt byggavfall upptäcktes på en otillräckligt dränerad grusgrund. Ventilation av utrymmet hade inte ordnats på ett ändamålsenligt sätt i denna byggnadsdel, vilket ledde till att fukt och föroreningar från nedbrytande byggavfall samlats i utrymmets luft. I utrymmet fanns en tydlig mikrobiell lukt. I samband med rivningen av golvbeläggningen utfördes ett spårgasprov där spårgas matades in i det underliggande utrymmet och spridningen av den till lägenheten kontrollerades med en detektor. I anslutningen mellan ytterväggen och bottenbjälklaget konstaterades tydliga luftläckage på byggnadens ena fasad.

Åtgärder

Tillträde till krypgrunden ordnades genom att bygga en inspektionslucka i sockeln. Byggavfall rengjordes från utrymmet och dräneringen av markytan förbättrades med makadam. Kryputrymmet fick ändamålsenlig ventilation genom ventilationsöppningar som borrades i sockeln. Anslutningen mellan yttervägg och bottenbjälklag tätades mot luftläckage medan golvlaminatet var borttaget. Eftersom den egentliga föroreningskällan hade avlägsnats, var tätningen en säkerhetsåtgärd. Dessutom beslutade den boende att ta bort den gamla plastmattan under laminatet och montera en helt ny golvbeläggning. På husbolagets styrelses beslut inspekterades övriga motsvarande krypgrunder i byggnaden och de förbättrades efter behov.

Information och uppföljning

Disponenten informerade den boende om undersökningens slutsatser och nödvändiga åtgärder samt kom överens om tidtabellen för undersökningar och reparationer. Den boende ombads att följa upp den upplevda kvaliteten på inomhusluften efter reparationerna och meddela disponenten om situationen cirka två månader efter att åtgärderna slutförts.

Enligt uppgift från den boende hade inga avvikande lukter förekommit efter reparationen.

Exempel 2. Känd fuktskada

Utgångsläge och uppdrag

I ett cirka fyra år gammalt egnahemshus förekom takläckage vintertid. Uppdraget var att utreda orsaken till läckorna, eventuella fuktskador inne i konstruktionerna samt utarbeta ett förslag på reparationsmetod. Med beställaren (husets ägare) avtalades om att göra en utredning av tillgänglig bakgrundsinformation, riskbedömning och konditionsundersökning av yttertak och vindsbjälklag. En skriftlig offert lämnades för arbetet där bland annat arbetets innehåll, ansvarsperson, kostnadsbedömning (tidsåtgång, timdebitering), leveranstid och övriga avtalsvillkor fastställdes. Arbetet beställdes via e-post enligt offerten.

Utgångsuppgifter

Dokument. Objektets huvudritningar och yttertakets konstruktionsritning skaffades för objektet. Yttertakets konstruktionsritning presenteras i bild 1. Byggnaden hade sadeltak och snedställda innertak parallellt med yttertaket. Taktäckningen var betongtakpannor. Enligt konstruktionsplanerna var en 70 mm luftspalt planerad mellan underlagstaket och värmeisoleringen. Konstruktören hade lagt till anteckningen ”luftspaltens ska ventileras från nocken” i tvärsnittsritningen för takkonstruktionen.

Intervjuer. Husets boende berättade att hen har bott i huset i två år. Under båda vintrarna har yttertaket läckt. Läckagen hade skett 2–3 gånger per vinter under töväder som följde efter längre köldperioder. De senaste läckagen hade observerats föregående vecka och de var de mest omfattande hittills.

Riskbedömning

Konstruktionsritningarna och de läckage som beskrevs tydde på kondensering av vattenånga i takkonstruktionen. Bedömningen stöddes av platsbesöket. Byggnadens nock saknade den ventilationslösning för luftspalten som nämns i ritningarna. Inne i byggnaden, bakom kornischerna, fanns bruna spår av rinnande vatten. En undersökning med ytfuktindikator visade avvikande värden på den ena takhalvan och bakom kornischerna.

Undersökning

Fältundersökningar

I undersökningen öppnades taktäckningen och vindsbjälklagets värmeisoleringar på fyra ställen; vid takfoten på båda sidorna, vid nocken och mitt på takfallet. Undersökningen gjordes i januari. Följande konstaterades:

- Som underlagstak var en underlagsplast som inte släpper igenom vattenånga.
- Underlagstaket hängde på vissa ställen emot värmeisoleringsullen.
- På undersidan av underlagstaket fanns det ett tunt 1–3 mm islager på ena takfallet och vid nocken. Underlagstaket hade på vissa ställen frusit fast i värmeisoleringen. Vid nocken hade underlagstaket vikts över nocken, vilket förhindrade ventilation mellan värmeisoleringen och underlagsplasten.

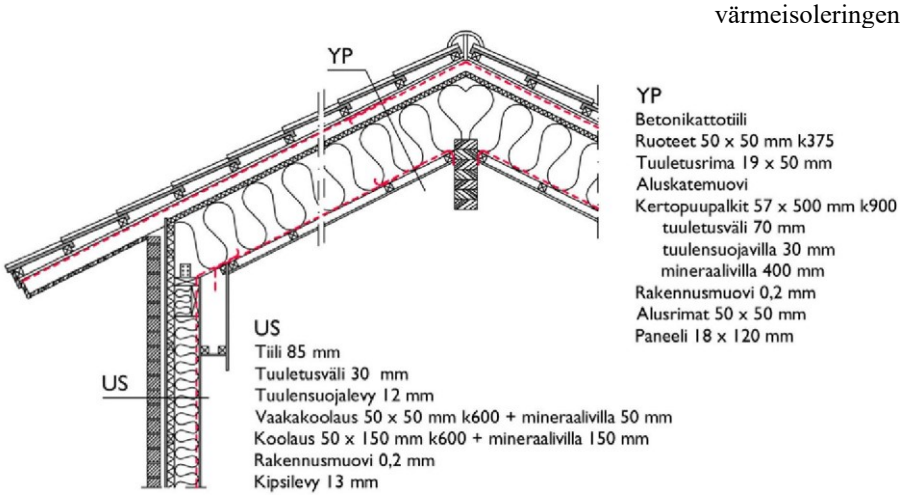


Bild 1. Konstruktionsritning yttertak. I bild vaakakoolaus = horisontell regling, ruoteet = bärläkt, tuuletusrima = läkt, aluskatemuovi = underlagstakplast.

- Vid takfoten var väggkonstruktionens ångspärrsplast först vikt mot takbjälkarna. Efter detta hade ångspärren monterats i taket.
- Överlappningen av takets ångspärr hade gjorts med början från nocken, vilket gör att vatten som rinner ovanpå ångspärren leds ända ner till kornischerna.
- Ångspärrens täthet var bristfällig på ena takhalvan. Överlappningarna var ställvis bara ca 10 cm och tejpade med vanlig förpackningstejp som hade lossnat. Genom att lyfta på plastens kanter kunde man titta in i kornischerna.
- På den andra takhalvan och vid nocken var ångspärrens överlappning ca 40 cm och tejpningen korrekt utförd. Inne i kornischerna syntes bruna spår av rinnande vatten. Annars fanns inga fuktfläckar i byggnadsmaterialen och det fanns ingen lukt i takkonstruktionerna som skulle tyda på mögel.
- Fukt- och temperaturmätningar utfördes både inne i lägenheten och utomhus. Resultaten var normala.

Slutsatser

Genom otätheter i takets ångspärr kan vattenånga från inomhusluften tränga in i takkonstruktionen. Bjälklagets otäthet framhävs p.g.a. paneltaket. Ett tak av skivor vore tätare. Ventilationen mellan värmeisoleringslagret och det täta underlagstaket fungerar inte på grund av den för smalt planerade ventilationsspalten, för mycket hängande underlagsmaterial och avsaknaden av ventiler eller motsvarande ventilationsarrangemang vid nocken.

Vattenånga kondenserar på underlagstakets kalla undersida. Vid töväder smälter isen, droppar ner på plastfilmen och rinner via kornischen in i rummet. Utifrån en sensorisk granskning av vattenläckorna har det ännu inte uppstått mögelskador inne i konstruktionerna. Reparationsarbeten bör utföras under nästa sommar.

Åtgärdsrekommendationer

Takbeläggning och underlagstaket rivs helt. På takstolarna fästs 50 mm x 50 mm förhöjningsreglar för att förbättra luftspalten mellan vindskyddet och underlagstaket. Ett nytt ånggenomsläppligt underlagstak monteras. På nocken ordnas en ventilationskanal i nockens riktning och ventiler. De gamla läkten, bärläkten och takpannorna återmonteras. På den skadade takhalvan lossas kornischerna och innerpanelen och ångspärrplasten tejpas tätt. Samtidigt kontrolleras isoleringens skick på den takhalvan.

Under reparationen görs fler provöppningar på den oskadade takhalvan där mineralullen tas bort ända till ångspärren. Om det under reparationen upptäcks eller finns skäl att misstänka att det finns avvikande mikrobiell påväxt i konstruktionerna, byts ifrågavarande material ut eller så nödvändiga mikrobutredningar görs i ett laboratorium. Kornischerna öppnas och fuktskadade gipsskivor byts ut. Ångspärren i vägg och tak tätas inifrån kornischen. Fuktskadade innerväggars ytmaterial förnyas.

Bilaga 5. Termförklaringar

Förordningen om boendehälsa. Social- och hälsovårdsministeriets förordning SHMf 545/2015 om sanitära förhållanden i bostäder och andra vistelseutrymmen samt om kompetenskrav för utomstående sakkunniga, utfärdad med stöd av 32 § och 49 d § i hälsoskyddslagen, gällande från och med 15.5.2015.

Mögelpåväxt Se Mikrobiell påväxt.

Mögelskada: Se Mikrobskada.

Besiktning: En besiktning är en sensorisk, oförstörande översikt eller inspektion av en byggnad eller en viss byggnadsdel, som utförs vanligtvis utan undersökningsutrustning. Av besiktningen upprättas ett protokoll, vilket kan innehålla förslag till fortsatta åtgärder.

Fukt- och inomhusmiljöteknisk konditionsundersökning: Vid en fukt- och inomhusmiljöteknisk konditionsundersökning undersöks fuktskadade konstruktioner eller konstruktioner som misstänks vara fuktskadade omsorgsfullt. Även andra konstruktionsdelar, material och fastighetstekniska faktorer som eventuellt påverkar inneluften bör undersökas. Konditionsundersökaren analyserar alla resultat och deras betydelse från fall till fall, med hänsyn till byggnaden som helhet. Konditionsundersökaren lägger fram åtgärdsförslag utifrån analysen. Av undersökningen utarbetas en undersökningsrapport som innehåller undersökningsresultaten, analyserna och åtgärdsförslagen.

Fuktskada: En fuktbelastning som leder till att materialets eller konstruktionens fukttålighet överskrids eller att dess egenskaper förändras så att man blir tvungen att reparera eller byta ut konstruktionen eller delar av den (RIL 250-2011). Det skadade materialets utseende, hållfasthet, tekniska funktion och/eller inverkan på välbefinnandet har väsentligt förändrats. En fuktskada medför inte nödvändigtvis mikrobskador. Huruvida en fuktskada fortskrider till en mikrobskada beror på hur länge det råder gynnsamma förhållanden för mikrobväxt (fukt och temperatur) samt på det byggnadsmaterial som blivit fuktigt och som fungerar som näringsunderlag.

Konditionsbedömning: En konditionsbedömning är ett förfarande där byggnadens skick bedöms huvudsakligen sensoriskt. Som hjälpmedel kan icke-förstörande undersökningsredskap användas, till exempel ytfuktindikator. Vid konditionsbedömningen utreds skicket av fastighetens utrymmen, byggnadsdelar, fastighetstekniska system och gårdsområden sensoriskt, reparationsbehovet i fastigheten bedöms och det utarbetas en långsiktig underhållsplan (PTS). I konditionsbedömningen granskas även inomhusförhållanden och energihushållning. Konditionsbedömningen uppdateras eller förnyas vanligtvis vart femte år. Innehåll och genomförande av konditionsbedömningen beskrivs i anvisningskorten KH 90-00535 och KH 90-00501. Jfr. konditionsundersökning och konditionsbesiktning.

Konditionsbesiktning: Konditionsbesiktningen påminner om konditionsbedömningen, men är en mer avgränsad granskning av byggnadens skick. Innehållet i konditionsbesiktningen definieras från fall till fall. Vanligtvis görs en konditionsbesiktning för att uppdatera en tidigare genomförd konditionsbedömning. Konditionsbesiktningen utförs oftast av en person.

Konditionsundersökning: En konditionsundersökning är en metod för att undersöka skicket på konstruktioner eller system som finns i en byggnad. I en konditionsundersökning använder man förutom sensoriska observationer, mätningar och fotografering, även undersöknings- och mätinstrument som söndrar konstruktioner. En konditionsundersökning kan riktas till utvalda konstruktioner, vatten- och avloppssystem, ventilationssystem och faktorer som påverkar inomhusluften. Jfr. konditionsbedömning och fukt- och inomhusmiljöteknisk konditionsundersökning.

Användarenkät: Enkät som riktar sig till dem som använder utrymmet eller till den tekniska personalen. Dess syfte är att kartlägga brister och avvikelser som observerats i byggnaden. Jfr. Enkät om inneluften.

Betydande fukt- och mikrobskada: Med en sådan avses ett konstruktionsmässigt fel som är allvarligare än ringa, och som sannolikt leder till skadlig exponering för kemiska, fysikaliska och biologiska (bl.a. mikrobiella) föroreningar som frigörs från fuktskadade konstruktioner och material. På grund av detta kan reparationsbehovet bedömas som brådskande för att minska eller eliminera exponeringen.

Klassificering av en fukt- och mikrobskada som betydande grundar sig inte enbart på tekniska undersökningar, utan förutsätter också en bedömning av sannolikheten för exponering (Reijula m.fl. 2012). En skada kan vara betydande också om den försämrar konstruktionens mekaniska hållfasthet, som kan konstateras endast med en teknisk bedömning.

Mikrobtillväxt: Med mikrobtillväxt avses mikrobernas tillväxt och förökning i det undersökta materialet. Används ofta som synonym till mikrobiell påväxt.

Mikrobiell påväxt: Mikrobiell påväxt är förekomsten av mikrober som har uppkommit när mögel eller andra mikrober börjat växa på ett byggnadsmaterial. En mikrobiell påväxt kan uppkomma när det tillräckligt länge råder gynnsamma förhållanden för mikrobtillväxt (tillräcklig fukt, temperatur och näring). Vad som är en tillräckligt lång tid varierar från dagar till månader, beroende på förhållandena. Som påväxt betraktas också gamla mikrobförekomster som inte kan odlas men som uppkommit som ett resultat av mikrobtillväxt. Mikrobiell påväxt konstateras i allmänhet utifrån en undersökning av mikroberna (odling eller annan metod) eller en synlig tillväxt (som man ser med blotta ögat eller med mikroskop).

Mikrobskada: Mögel- eller annan mikrobtillväxt betraktas som en skada om det förekommer så mycket påväxt eller på en sådan plats att det försämrar materialets tekniska eller estetiska egenskaper eller om det kan orsaka lukter eller hälsoskadliga utsläpp till inomhusluften. Mikrobiell påväxt som förekommer på konstruktioner inne i en byggnad eller i de inre delarna av yttermanteln betraktas i allmänhet som skada på grund av sannolik koppling till inomhusluften.

En skada där den mikrobiella påväxten är riklig eller där påväxten finns på ett sådant ställe att den försämrar materialets tekniska eller estetiska egenskaper, eller kan medföra lukter eller hälsoskadliga utsläpp till inomhusluften. Förekomster av mikrobiell påväxt i konstruktioner på insidan, eller i de inre delarna, av manteln betraktas i allmänhet som skador med anledning av att det är sannolikt att mikroberna överförs till inneluften.

Mättekniker: En mättekniker är en person som utför en viss mätning enligt undersökarens eller beställarens uppdrag. Mätteknikern analyserar vanligtvis inte resultatet eller ger åtgärdsförslag. Jfr. undersökare.

Mätning av inomhusluft: Mätning av inomhusluft är en mätning av inomhusluftens kvalitet, som omfattar genomförande av mätning (t.ex. temperatur, relativ

Inomhusluftsgruppen planerar och har också hand om kommunikationen med olika parter under processen. Flera kommuner och stora organisationer har också en koordinerande inneluftsgrupp som i allmänhet har tilldelats styrande uppgifter, som att utarbeta undersöknings- och kommunikationsanvisningar, ordna utbildning och följa upp processer.

Enkät om inomhusklimat: En skriftlig enkät riktad till arbetstagarna med syftet att utreda användarnas erfarenheter av de fysikaliska trivselfaktorerna i inomhusmiljön, arbetsarrangemangen och trivseln i arbetet, samt upplevda symptom. De flesta enkäterna grundar sig på den så kallade Örebroenkäten.

Sanitär olägenhet: En sanitär olägenhet är en betydande, skadlig hälsoeffekt. Enligt hälsoskyddslagen är en sanitär olägenhet en sjukdom eller ett symptom på en sjukdom som beror på en faktor eller omständighet i miljön. I hälsoskyddslagen betraktas som sanitär olägenhet också exponering för hälsoskadliga ämnen eller förhållanden som kan orsaka en sjukdom eller symptom på en sjukdom

Hälsoeffekt: En hälsoeffekt är effekten på hälsan av en faktor eller en omständighet i omgivningen.

Undersökare: Undersökaren är den som gör undersökningsplanen och undersökningen, analyserar resultaten och ger åtgärdsförslag. Undersökaren kan ha hjälp av mättekniker. Jfr. ansvarig konditionsundersökare.

Ansvarig undersökare: Konditionsundersökare med ansvar för större objekt, i allmänhet objekt som har problem med inneluften, och för utredningen av dem. Den ansvariga konditionsundersök

aren planerar, samordnar och tolkar de inneluft- och fuktttekniska konditionsundersökningarna och gör en sammanfattning av de utredningar som sakkunniga inom olika specialbranscher har gjort om problemet med inneluften. Utöver den ansvariga konditionsundersökaren kan det för objektet finnas granskare och mättekniker med tillräcklig kompetens för sina ansvarsområden.

Skademekanism: En skademekanism beskriver hur vatten eller fukt transporteras in i en konstruktion och orsakar en fuktskada. Mekanismen beror på ett fysikaliskt fenomen.

fuktighet, koldioxidhalt, radon) eller att luftprov tas och analyseras (t.ex. mikrober, VOC, damm), samt en utskrift av mätresultaten.

Inomhusluftgrupp: En grupp bestående av experter från olika branscher och företrädare för dem som använder en byggnad. Gruppens uppgift är att planera och samordna processen för att lösa problem med inomhusluften och att utvärdera resultaten från undersökningarna och de nödvändiga åtgärderna.

REFERENSER

Adan O., Samson R. (red.), 2011. Fundamentals of mold growth in indoor environments and strategies for healthy living. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Holland.

Alenius H., Haahtela T., Hakulinen A. m.fl., 2007. Majvik II-rekommendationen: Kosteusvauriomikrobeihin liittyvien oireiden selvittely. Suomen Lääkärilehti 62 (2007): 7, s. 654–664.

Asikainen V. och Peltola S., 2008. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. Utbildningsstyrelsen.

Aurola R. och Välikylä T. (red.), 2009. Asumisterveysopas. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen (STM:n oppaita 2003:1) soveltamisopas. Tidningen Ympäristö ja Terveys.

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. tryckningen. 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, USA.

Gunschera J., Fuhrmann F., Salthammer T. m.fl., 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, Sverige.

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. tryckningen.

Härkönen K., 2012. Vaurioitumattomien lattiapintamateriaalien referenssitiedon kartuttaminen bulk-emissiotutkimuksilla. Examensarbete. Tammerfors yrkeshögskola.

Meteorologiska institutet , 2009. Finlands vindatlas. 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. Doktorsavhandling. Lunds universitet, Avdelningen för byggnadsfysik. Lund, Sverige.

Järnström H., 2005. Muovimattopinnoitteisen lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmaongelmatapauksissa. VTT Publikationer 571. Licensiatundersökning. Teknologiska forskningscentralen VTT

Järnström H., 2007. Reference values for building material emissions and indoor air quality in residential buildings. VTT Publikationer 672. Doktorsavhandling. Teknologiska forskningscentralen 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 betonirakenteisten lattioiden muovipäällysteiden korjaustarpeen arviointiin. Examensarbete. Itä-Suomen yliopisto, koulutus- ja kehittämiskeskus Aducate.

Kokko E., Ojanen T., Salonvaara M. m.fl., 1999. Puurakenteiden kosteustekninen toiminta. VTT:s anvisningar 1991. Teknologiska forskningscentralen VTT

Korpi A., 2001. Fungal Volatile Metabolites and Biological Responses to Fungal Exposure (Mikrosienten haihtuvat aineenvaihduntatuotteet ja homealtistuksen biologiset vasteet). Kuopion yliopiston julkaisuja 129. Luonnontieteet ja ympäristötieteet. Doktorsavhandling. 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 riskirakenne - opetusmateriaali. I samarbete med Insinööritoimisto Savora Oy. Kan skrivas ut från: www.hometalkoot.fi/guides.

Kosteus- ja hometalkoot, 2015a. Päättäjän homeopas. Kohti terveitä taloja ja kannattavaa kiinteistönpitoa. I samarbete med: Social- och hälsovårdsministeriet och Finlands Kommunförbund. Kan skrivas ut från: www.hometalkoot.fi/guides.

Kosteus- ja hometalkoot, 2015b. Tilaajan ohje sisäilmaongelmien ratkaisemiseen asunto-osakeyhtiössä. (Även RT-kortet RT 18 - 11144, 2014). Kan skrivas ut från: www.hometalkoot.fi/guides.

Webbkursen Kosteus- ja homevauriot (Fukt- och mögelproblem). Duodecim Oppiportti. Kustannus Oy Duodecim. http://www.oppiportti.fi/op/dvk00010. Publicerad 2014-08-19.

Kovanen K., Heimonen I., Laamanen J. m.fl., 2006. Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt - Altistuminen, mittaaminen ja tuotetestaus. VTT:s anvisningar 2360. Teknologiska forskningscentralen 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. m.fl., 2010. Selätä sisäilmastokiista - viesti viisaasti. Arbetshälsoinstitutet.

Lappalainen S., Reijula K., Tähtinen K. m.fl., 2016. Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen. Arbetshälsoinstitutet.

Lehtinen T., 1989. Tiilijulkisivupintaisten seinärakenteiden sateenpitävyyden kehittäminen; seinärakenteiden rakennevaihtoehdot ja rakennusfysikaalinen toiminta. Diplomarbete. Teknillinen korkeakoulu, Rakennetekniikan laitos.

Lehtinen T. och Viljanen M., 1989. Tiilijulkisivuisen seinärakenteen toiminnan varmistaminen viistosadetta vastaan. Talonrakennustekniikan laboratorion julkaisu 16. Teknillinen Korkeakoulu.

Lehtinen T. och Viljanen M., 1996. Tiilirakenteiden kapillaarinen kosteudensiirtyminen sisätiloihin rajoittuvissa rakenteissa. Talonrakennustekniikan laboratorion julkaisu 44. Teknillinen Korkeakoulu.

Leivo V. och Rantala J., 2002. Maanvastaisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus. Publikation 120. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan osasto.

Leivo V. och Rantala J., 2006. Maanvastaisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus. Publikation 139. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan osasto.

Lindberg R., Wahlman J., Suonketo J. och Paukku E., 2002. Kosteusvirta-tutkimus. Publikation 119. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan osasto.
Lorentzen J., Juran S., Nilsson M. m.fl., 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. och Komonen J., 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Betonitieto Oy.
Metiäinen P., 2012. VOC-yhdisteiden tulkinta asumisterveystutkimuksissa. Tidningen Ympäristö ja Terveys 5-6/2012.
Mäkinen-Kiljunen S. och Mussalo-Rauhamaa H., 2001. Huonepölyn maitoallergeenipitoisuus. Työsuojelurahaston projekti nro 98322. Slutrapport.
Neuvonen P., Mäkiö E. och Malinen M., 2002. Kerrostalot 1880-1940.Rakennustieto Oy.
Neuvonen P., 2006. Kerrostalot 1880-2000 - arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen. Rakennustieto Oy. Nevander L. och Elmarsson B., 2011. Fukthandbok - Praktik och teori. 3. tryckningen. Svensk Byggtjänst, Stockholm, Sverige.
Ojanen T., Peuhkuri R., Viitanen H., Lähdesmäki K. och Vinha J., 2009. Vaihtelevien olosuhteiden mallinnus ja sen vaikutus homeen kasvuriskin arviointiin. I verket: Vinha J. och Lähdesmäki K. (red.). Rakennusfysiikka 2009. Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut. Seminaarijulkaisu 2. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.
Palomäki E., 1993. Rakennusmateriaalit ja terveys. Arbetshälsoinstitutet och Rakennustieto Oy.
Pessi A-M., Suonketo J., Pentti M. och Rantio-Lehtimäki A., 1999. Betonielementtijulkisivujen mikrobiologinen toimivuus. Publikation 101. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikka.
Pietarinen V-M., Tähtinen K., Lappalainen S., m.fl., 2015. Altistumisen arviointi sisäilmaston laatuun vaikuttavien tekijöiden perusteella. Sisäilmastoseminaari 2015, SIY Raportti 33. SIY Sisäilmatieto Oy.
Prezant B., Weekes D. och Miller J. D., 2008. Recognition, Evaluation, and Control of Indoor Mold. American Industrial Hygiene Association. Fairfax, USA.
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 mikrobialtistuminen ja altistumisen vähentäminen rakennusten purku- ja korjaustöissä. Työsuojelujulkaisuja 4. Social- och hälsovårdsministeriet, Arbetarskyddsavdelningen.
Reiman M., Kujanpää L., Junttila S. m.fl., 2005. Rakennusten kosteusvaurioita kuvastava mikrobisto. Tidningen Ympäristö ja Terveys 8/2005.
Salmela A., 2014. Käyttäjäkokemuksia Mycometeristä (Itä-Suomen Yliopisto). Esitelmä Asumisterveystutkimuksia tekevien laboratorioiden neuvottelupäivillä 12.3.2014.
Salonen H. (red.), 2011. Toimiston sisäilmaston tutkiminen. Arbetshälsoinstitutet.
Salonen H., Lahtinen M., Lappalainen S. m.fl., 2014. Kosteus- ja homevauriot - Ratkaisuja työpaikoille. Arbetshälsoinstitutet.
Schleibinger H., Laussmann D,., Bornehag C.G., Eis D. och 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. Publikation 5.
Suomen Betonitieto Oy och Lattian- ja seinänpäällysteliitto ry, 2007. Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet. Betonikeskus ry.
Suomen LVI-liitto SuLVI rf, 2013. LVV-kuntotutkimusopas 2013. Opas lämmitys-, vesi- ja viemäriverkostojen kuntotutkimuksiin. I samarbete med Kosteus- ja hometalkoot. Kan skrivas ut från: http://www.hometalkoot.fi/guides.
Suomen LVI-liitto SuLVI rf, 2016. Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien ja laitteiden kuntotutkimusmenettely (SuLVIn IV-kuntotutkimus): ohjeet ja raporttimallit, versiot 1/2016. Kan skrivas ut från: http://www.sulvi.fi/ajankohtaista/projektit/iv-kuntotutkimushanke/.
Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2000. RIL 1072000. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet.
Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2009. RIL 1262009. Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus.
Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011a. RIL 201-1-2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Eurokoder EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 och EN 1991-1-4.
Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011b. RIL 2502011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen.
Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012. RIL 1072012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet.
Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2014. RIL 255-1-2014. Rakennusfysiikka I. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset.
Strålsäkerhetscentralen, 2014 Sisäilman radon. Strålsäkerhetscentralen STUK.
Säteri J., Jyske P. och Majanen A., 1990. Rakennusten ilmanvaihtuvuuden integroivan merkkiainemittausmenetelmän kehittäminen. Rapport 27. Teknillinen korkeakoulu, LVI-tekniikan laboratorio.
Tuomi T., Lappalainen S., Laaja T., Hovi H. och Svinhufvud J. (red.), 2012. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden (TVOC) tavoitetasot teollisten työympäristöjen yleisilmassa. Tavoitetaso TY-1-2012. Arbetshälsoinstitutet.
Arbetshälsoinstitutet, 2014. Työterveyslaitoksen käyttämiä viitearvoja sisäympäristön ongelmien tunnistamisessa toimistoympäristöissä. Uppdaterad 18.3.2014. Kan skrivas ut från: http://wwwttl.fi/fi/tyovmparisto/sisailma ja sisaymparisto/Sivut/default.aspx.
Arbetshälsoinstitutet, 2016a. Bulk-emissioiden viitearvot eri materiaalityypeille. Uppdaterad 14.3.2016.
Arbetshälsoinstitutet, 2016b. Ohje siivoukseen ja irtaimiston puhdistukseen kosteus- ja homevauriokorjausten jälkeen. I samarbete mellan Kosteus- ja hometalkoot och Suomen JVT- ja Kuivausliikkeiden Liitto ry.

Arbetshälsoinstitutet, 2016c. Kooste toimistoympäristöjen epäpuhtaus- ja olosuhdetasoista (rakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto), joiden ylittyminen voi viitata sisäilmasto-ongelmiin. Uppdaterad 10.6.2016.

Tähtinen K. och Lappalainen S., 2016. Tilaajan ohje sisäilmasto-ongelman selvittämiseen. Arbetshälsoinstitutet. I samarbete med Kosteus- ja hometalkoot. Kan skrivas ut från: http://www.ttl.fi/fi/tyovmparisto/sisailma ja sisaymparisto/Documents/Tilaajan ohje sisailmasto-ongelman selvittamiseen.pdf.

Vepsäläinen M., Pyy O., Sjölund M. m.fl., 2016. Pilaantuneen maa-alueen kunnostushankkeen tilaaminen. Finlands miljöcentrals rapporter 1| 2016. Finlands miljöcentral.

Viitanen H., 2004. Betonin ja siihen liittyvien materiaalien homehtumisen kriittiset olosuhteet - betonin homeenkesto. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. ISBN 951-38-6558-4 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/).

Viljanen K., 2012. Katon polyvinyylikloridikatteen kosteusteknisen toiminnan tarkastelu kenttäkokeella ja laskennallisesti. Diplomarbete. Aalto-universitetets högskola för teknikvetenskaper.

Vinha J., Valovirta I., Korpi M., Mikkilä A. och 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-Fra- med External Walls in Finnish Climatic Conditions: A Method for Determinating the Sufficient Water Vapour Resistance of the Interior Lining of a Wall Assembly. Doktorsavhandling. Tammerfors tekniska universitet.

Miljöministeriet , 1997a. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. Miljöhandledning 28.

Miljöministeriet , 1997b. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjaus. Miljöhandledning 29.

Miljöministeriet , 2014. Pilaantuneen alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta. Miljöförvaltningens anvisningar 6/2014.

Lagar, förordningar, föreskrifter, beslut och anvisningar

Asbestlagen 684/2015. Lag om vissa krav på asbestsanering Utfärdad i Helsingfors 22 maj 2015.

MRL 132/1999. Markanvändnings- och bygglag (1999/132). Utfärdad i Helsingfors 5 maj 1999. Tillgänglig i elektronisk form http://www.finlex.fi/fi/ laki/alkup/1999/19990132

ByggBS C2-1998. Finlands byggbestämmelsesamling. Del C2 Fukt. Föreskrifter och anvisningar. 1998. Miljöministeriet.

ByggBS D2-2012. Finlands byggbestämmelsesamling. Del D2 Byggnaders inomhusklimat och ventilation. Föreskrifter och anvisningar. 2012. Miljöministeriet.

Tillstånds- och tillsynsverket för social- och hälsovården Valvira, 2016. Anvisning för tillämpning av förordningen om boendehälsa. Anvisning 8/2016. Kan skrivas ut på http://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys

Social- och hälsovårdsministeriet, 2003. Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Social- och hälsovårdsministeriets handböcker 2003:1. Kan skrivas ut från: www.stm.fi/julkaisut/hyvinvointi/lista/2003/kaikki

SHMf 268/2014. Social- och hälsovårdsministeriets förordning om koncentrationer som befunnits skadliga Utfärdad i Helsingfors 26 mars 2014. Tillgänglig i elektronisk form http://www.finlex.fi/fi/ laki/alkup/2014/20140268

SHMf 545/2015. Social- och hälsovårdsministeriets förordning om sanitära förhållanden i bostäder och andra vistelseutrymmen samt om kompetenskrav för utomstående sakkunniga(, förordning om boendehälsa) Utfärdad i Helsingfors 23 april 2015. Finns tillgänglig i elektronisk form på https://www.edilex.fi/saadoskokoelma/20150545.pdf

SHMb (944/92). Social- och hälsovårdsministeriets beslut om maximivärden för radonhalten i rumsluft. Utfärdat i Helsingfors 21 oktober 1992.

Strålskyddsförordning (1512/1991). Tillgänglig i elektronisk form http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1991/19911512

HsL 763/1994. Hälsoskyddslagen 763/1994. Utfärdad i Helsingfors 19 augusti 1994. Tillgänglig i elektronisk form http://www.finlex.fi/fi/ laki/alkup/1994/19940763

TTL 738/2002. Arbetarskyddslag 738/2002. Utfärdad i Helsingfors 23 augusti 2002. Tillgänglig i elektronisk form http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738

SRf 715/2001. Statsrådets förordning om kemiska agenser i arbetet. Utfärdad i Helsingfors 9 augusti 2001. Tillgänglig i elektronisk form http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2001/20010715

SRf 205/2009. Statsrådets förordning om säkerheten vid byggarbeten. Utfärdad i Helsingfors 26 mars 2009. Tillgänglig i elektronisk form http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090205

SRf 798/2015. Statsrådets förordning om säkerheten vid asbestarbeten. Utfärdad i Helsingfors 25 juni 2015. Tillgänglig i elektronisk form http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150798

SRb 1406/1993 Statsrådets beslut om personlig skyddsutrustning. Utfärdat i Helsingfors 22 juni 1993. Tillgänglig i elektronisk form http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1993/19931406

SRb 1407/1993. Statsrådets beslut om val och användning av personlig skyddsutrustning i arbetet. Utfärdat i Helsingfors 22 juni 1993. Tillgänglig i elektronisk form http://www.finlex.fi/fi/ laki/alkup/1993/19931407

SRb 793/1999. Statsrådets beslut om personlyft med kran och gaffeltruck. Utfärdat i Helsingfors 8 juli 1999. Tillgänglig i elektronisk form http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1999/19990793

2013/59/Euratom. Rådets direktiv 2013/59/Euratomom fastställande av grundläggande säkerhetsnormer för skydd mot de faror som uppstår till följd av exponering för joniserande strålning (Council directiv on basic safety standards, BSS-direktivet). Europeiska unionens officiella tidning, L 013, 17 januari 2014.

Anvisningskort och standarder

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 määritys.

Rakennustietosäätiö RTS, 2007. KH 90-00394. Kuntotarkastus asuntokaupan yhteydessä. Suoritusohje.

Rakennustietosäätiö RTS, 2008. KH-90-00403. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot.

Rakennustietosäätiö RTS, 2009a. Ratu 82-0347. Asbestia sisältävien rakenteiden purku. Menetelmät.

Rakennustietosäätiö RTS, 2009b. RT 21-10978. Puutavara. Sahattu, höylätty ja jatkojalosteet.

Rakennustietosäätiö RTS, 2010. RT 14-10984. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus.

Rakennustietosäätiö RTS, 2011. RT 83-11032. Vedenpaineeneristys.

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. Undersökning av skadliga ämnen. Tilaajan ohje.

Rakennustietosäätiö RTS, 2014b. RT 20-11160. Undersökning av skadliga ämnen. Rakennustuotteet ja rakenteet.

Rakennustietosäätiö RTS och LVI-Keskusliitto ry, 2007 LVI 39-10409. Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastus. Ilmanvaihdon parannus- ja korjausratkaisut.

Rakennustietosäätiö RTS och Talonrakennusteollisuus ry, 2011a. Ratu 82-0381. Kivihiilipikeä sisältävien rakenteiden purku. Osastointimenetelmä. Menetelmät.

Rakennustietosäätiö RTS och Talonrakennusteollisuus ry, 2011b. Ratu 82-0382. PCB:tä ja lyijyä sisältävien saumausmassojen purku. Menetelmät.

Rakennustietosäätiö RTS och Talonrakennusteollisuus ry, 2011c. Ratu 82-0383. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purku.

Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2000. SFS-EN 13829. Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method (ISO 9972:1996, modified).

Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2004. SFS-EN 374-1. Kemikaaleilta ja mikro-organismeilta suojaavat käsineet. Osa 1: Sanasto ja vaatimukset.

Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 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.

Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 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).

Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2007a. SFS- ISO 10382. Soil quality -- Determination of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls -- Gas-chromatographic method with electron capture detection.

Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2007b. SFS- ISO 14154. Soil quality - Determination of some selected chlorophenols - Gas-chromatographic method with electron-capture detection.

Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2007c. SFS- ISO 18287. Soil quality. Determination of polycyclic aroma- tic hydrocarbons (PAH) - Gas chromatographic method with mass spectrometric detection (GC-MS).

Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2008. SFS-EN 1097-5. Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 5: Kosteuspitoisuuden määrittäminen kuivaamalla lämpökaapissa.

Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2011a. SFS-EN 19911-4. Rakenteiden kuormat. Osa 1-4. Yleiset kuormat. Tuulikuormat.

Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 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).

Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2011c. SFS- EN ISO 16703. Soil quality. Determination of content of hydrocarbon in the range C10 to C40 by gas chromatography (ISO 16703:2004).

Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2012. SFS 5994. Siivouksen tekninen laatu. Mittaus- ja arviointijärjestelmä (INSTA 800:2010).

Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 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.

Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2014b. SFS-EN 14039. Jätteiden karakterisointi. Hiilivetyjen (C10-C40) pitoisuuden kaasukromatografinen määritys.

Finlands Standardiseringsförbund SFS rf, 2015. SFS-EN 12599. Rakennusten ilmanvaihto. Ilmastointi- ja ilmavaihto-järjestelmien luovutukseen liittyvät testimenettelyt ja mittausmenetelmät. (Ventilation i byggnader. Test- och mätmetoder vid överlåtelse av luftkonditionerings- och ventilationssystem.) (Ersätter SFS 5512).

KUVAILULEHTI

<table>
<tr><td>Julkaisija</td><td colspan="2">Terveet tilat 2028 -ohjelma
Ympäristöministeriö</td><td>Julkaisuaika
Helmikuu 2026</td></tr>
<tr><td>Tekijä(t)</td><td colspan="3">Toim. Miia Pitkäranta</td></tr>
<tr><td>Julkaisun nimi</td><td colspan="3">Byggnadens fukt- och inomhusmiljötekniska konditionsundersökning
(Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus)</td></tr>
<tr><td>Julkaisusarjan nimi ja numero</td><td colspan="3">Ympäristöopas 2016</td></tr>
<tr><td>Julkaisun teema</td><td colspan="3">Rakennettu ympäristö</td></tr>
<tr><td>Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>Tiivistelmä</td><td colspan="3">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.

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.

Oppaassa kuvataan tärkeimmät sisäilman laatua heikentävät tekijät ja niiden tutkimusmenetelmät. Sisäympäristön fysikaalisista olosuhteista tarkastellaan ainoastaan kosteutta ja lämpötilaa, jotka liittyvät kiinteästi rakennusten kosteus- ja lämpötekniseen toimivuuteen ja koettuun sisäilman laatuun. Valaistuksen ja melun vaikutuksia ei sen sijaan tarkastella.

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 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, rakenneratkaisujen pitkäaikaiskestävyydestä saatujen kokemusten ja laskennallisten analyysien perusteella. Oppaan liitteisiin on koottu täydentävää tietoa, kuten kyselylomakkeiden malleja ja mallit kuntotutkimussuunnitelmasta ja -raportista. Liitteissä on kuvattu myös erityisesti vanhemmissa rakennuksissa tyypillisesti käytettyjä rakennusmateriaaleja, joita voidaan tunnistaa aistinvaraisesti.</td></tr>
<tr><td>Asiasanat</td><td colspan="3">Rakentaminen, rakennus, kosteusvaurio, homevaurio, sisäilmaongelma, kuntotutkimus, kuntotutkimusraportti, rakennusfysiikka</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Rahoittaja/ toimeksiantaja</td><td colspan="3">Ympäristöministeriö, kestävä rakentaminen ja asuminen, rakennukset ja rakentaminen, Terveet tilat 2028 -ohjelma</td></tr>
<tr><td>Sivuja
236</td><td>Kieli
ruotsi</td><td>Luottamuksellisuus
julkinen</td><td></td></tr>
<tr><td>Julkaisun jakelu</td><td colspan="3">Julkaisu on saatavana internetistä:
https://tilatjaterveys.fi/ohjelma/oppaita-ja-selvityksia</td></tr>
</table>

PRESENTATIONSBLAD

<table>
<tr><td>Utgivare</td><td colspan="3">Sunda lokaler 2028-programmet
Miljöministeriet</td><td>Datum
Februari 2026</td></tr>
<tr><td>Författare</td><td colspan="4">Red. Miia Pitkäranta</td></tr>
<tr><td>Publikationens titel</td><td colspan="4">Byggnadens fukt- och inomhusmiljötekniska konditionsundersökning
(Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus)</td></tr>
<tr><td>Publikationsserie och nummer</td><td colspan="4">Miljöhandledning 2016</td></tr>
<tr><td>Publikationens tema</td><td colspan="4">Byggd miljö</td></tr>
<tr><td>Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>Sammandrag</td><td colspan="4">Fuktskador är en vanlig 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.

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.

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.

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 fuktttekniska 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 sinnesförnimmelser.</td></tr>
<tr><td>Nyckelord</td><td colspan="4">Byggande, byggnad, fuktskada, mögelskada, problem med inomhusluft, konditionsundersökning, konditionsundersökningsrapport, byggnadsfysik</td></tr>
<tr><td>Finansiär/ uppdragsgivare</td><td colspan="4">Miljöministeriet, hållbart byggande och boende, enheten för byggnader och byggande, Sunda lokaler 2028-programmet</td></tr>
<tr><td></td><td>Sidantal
236</td><td>Språk
Svenska</td><td>Offentlighet
Offentlig</td><td></td></tr>
<tr><td>Distribution</td><td colspan="4">Publikationen finns tillgänglig på internet:
https://tilatjaterveys.fi/ohjelma/oppaita-ja-selvityksia</td></tr>
</table>

DOCUMENTATION PAGE

Publisher	Healthy Premises 2028 -programme Ministry of the Environment			*Date* February 2026
Author(s)	Ed. Miia Pitkäranta			
Title of publication	**Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus** (Building moisture and indoor air quality assessment)			
Publication series and number	Environment Guide 2016			
Theme of publication	Built environment			
Parts of publication/ other project publications				
Abstract	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. 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. 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. 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.			
Keywords	Construction, building, moisture damage, mould damage, indoor air problem, condition assessment, condition assessment report, structural physics			
Financier/ commissioner	Ministry of the Environment, Department of the Built Environment, buildings and construction			
	No. of pages 236	*Language* Swedish	*Restrictions* For public use	
Distributor	The publication is available on the internet: https://tilatjaterveys.fi/ohjelma/oppaita-ja-selvityksia			

Inomhusluftproblem orsakade av fukt- och mikrobskador i byggnader medför betydande hälsoeffekter och stora samhällsekonomiska kostnader. Därför är det viktigt att åtgärda fukt- och mikrobskadorna och eliminera orsakerna till inomhusluftproblemen.

En konditionsundersökning av en byggnad med fukt- och mikrobskador eller andra inomhusluftproblem är en väsentlig del av ett renoveringsprojekt. Med konditionsundersökningen klarläggs orsakerna till problemen och skadorna, så att rätt åtgärdsmetoder kan väljas för att reparera byggnaden.

Handboken Byggnadens fukt- och inomhusmiljötekniska konditionsundersökning fungerar som en lärobok och handledning för konditionsundersökare och andra experter som arbetar med byggnaders fukt- och mikrobskador samt inomhusluftsproblem. Handboken ger praktiska anvisningar för yrkespersoner inom byggbranschen om planering, genomförande, analys och rapportering av konditionsundersökningar i byggnader med fukt- och mikrobskador eller andra inomhusluftproblem.

I handboken beskrivs de viktigaste faktorerna som försämrar inomhusluftens kvalitet, samt undersökningsmetoderna för dessa. Av de fysikaliska förhållandena i inomhusmiljön behandlas fukt och temperatur, som båda är centrala för byggnaders fukt- och värmetekniska funktion och hur inomhusluften upplevs. Handboken tar dessutom upp bl.a. relevant lagstiftning, vägledning för beställning av konditionsundersökning samt kraven på kompetens och certifieringsvägar för dem som utför undersökningarna.

SUNDA LOKALER 2028

Sunda lokaler 2028-programmet, miljöministeriet

Publikation tillgänglig:
https://tilatjaterveys.fi/ohjelma/oppaita-ja-selvityksia