

Renovering av golv i "sjuka hus" kan förvärra problemen

Det är inte säkert att renovering av ett golv med fukt- och emissionskador avhjälper problemet. Orsaken är att skadliga kemiska ämnen som bildas när lim kommer i kontakt med för fuktig betong har trängt ned i betongen. De deponerade ämnena kan sedan avges till inomhusluften trots att matta och lim bytts ut. Det visar resultaten av en doktorsavhandling av Anders Sjöberg som disputerades på Chalmers Tekniska Högskolan den 1 juni.

De senaste åren har forskare upprepade gånger visat samband mellan SBS (Sick Building Symptom) och fuktiga byggnader. I senaste numret av den internationella tidskriften "Indoor Air" beskriver *Bornehag et al* en granskning av 61 medicinska forskningspublikationer som sammanlagt visar ett starkt samband mellan fuktiga byggnader och ohälsa i form av luftvägsbesvär såsom fölkylning, pipande andning och astma.

Studierna gör också troligt att det finns ett samband mellan fuktiga byggnader och andra symptom såsom trötthet, huvudvärk och luftvägsinflammationer. Detta är symptom som ofta förknippas med ohälsa i form av SBS i byggnader.

Även om forskningsresultaten som studerades inte kunde klarlägga orsakssambandet mellan fuktiga byggnader och ohälsa så påpekas det i artikeln att det finns tillräckligt med bevis för att motivera preventiva åtgärder mot fukt i byggnader, ur ett hälsoperspektiv.

Fukt ger förhöjda emissioner

Nästa steg i indiciekedjan är de forskningsrapporter som visar sambandet mellan fuktiga byggnadsmaterial och förhöjda emissioner av VOC (Volatile Organic Compounds). Bland annat har det skrivits två licentiatuppsatser på Chalmers, *Wengholt Johnsson* (1995) och *Sjöberg* (1998),

Artikelförfattare är tekn dr **Anders Sjöberg**, Institutionen för Byggmaterial, Chalmers Tekniska Högskola samt Fuktdimensionering AB i Göteborg.



som visar hur fuktnivån i en golvkonstruktion påverkar emissionen av VOC. Rapporterna beskriver hur limmet under golvbeläggningen bryts ner i kontakt med fuktig betong och förhöjda, sekundära, emissioner uppstår. Dessa emissioner kan enligt mätningar med FLEC (Field and Laboratory Emission Cell) på provkroppar vara flera hundra gånger större än materialets egenemissioner.

Anledningen att golv och golvmaterial har hamnat i fokus i emissionsdebatten är dels att de utgör en stor yta i en byggnad som är direkt exponerad mot inomhusluften och dels att de ofta varit skadedrabbade under åren. I ett nyhetsbrev från AK-konsult Indoor Air AB beskriver professor *Lars-Olof Nilsson* på Chalmers "Skadeorsaker i golv och grunder – vad har vi lärt av historien?" på ett intressant och tänkvärd sätt.

Följdskadorna av fukt kan oftast liknas med "okontrollerat kretslopp", om uttrycket tillåts. Det vill säga att material som under lång tid är fuktiga börjar brytas ned, förlora sina egenskaper och dess avsedda funktion. Nedbrytningen är ofta antingen biologiskt betingad, till exempel mögel och röta, eller "kemiskt" betingad som exempelvis alkalisk hydrolys av golvlim vid för tidig matläggning. I samband med nedbrytningen emitteras en stor mängd olika VOC till rumsluften, sammansättningen av dessa ämnen varierar beroende på material och vilken typ av nedbrytning det är frågan om. Ofta betecknar man biologiskt producerad VOC för MVOC (Microbial produced Volatile Organic Compounds).

Koppling mellan kemisk emission och ohälsa

För att föra resonemanget i hamn skulle nu kopplingen mellan emission av VOC eller förekomsten av kemiska ämnen i rumsluften och ohälsa beskrivas. Tyvärr är det sambandet inte helt klarlagt. *Bornehag* hade 1994 problem med att hitta en koppling mellan kemiska ämnen i rumsluften och upplevd ohälsa då han i sin doktorsavhandling "Mönsteranalys av inomhusluft – undersökning av luftkvalitet i sjuka hus med flytspackelproblem" studerade bostadsområdet Dalen i Enskede i Stockholm.

Bornehag tog till mönsteranalys av de kemiska ämnena som hittades i rumsluften i Dalen för att studera sambandet med ohälsa. Med mönsteranalys menas att beakta förekomsten av olika ämnen tillsammans, inte bara var och en för sig. Det kan liknas lite grann med spelet "Master Mind", det gäller att ha alla fyra ploppar-

na med och på rätt plats för att få full utdelning. Genom mönsteranalys kunde ett antal ämnen associeras till lägenheter med kaseinhaltigt flytspackel. Responsen av dessa kemiska ämnen och många fler har senare undersökts på sensibiliserade (överkänsliga) människor i klimatkammar. *Andersson et al* (1997) redovisar en sammanställning över ett stort medicinska studier där man drar slutsatsen att "Indoor air pollution including VOC" med största sannolikhet orsakar hälsoeffekter och komfortproblem. Man lyckas dock inte peka ut enstaka ämnen som kan orsaka SBS. Istället myntas senare begreppet OCIA (Organic Compounds in Indoor Air), som tänkbar orsak till SBS. Begreppet OCIA anges ofta med referens till *Andersson et al* (1997). I artikeln beskrivs också att TVOC/VOC kan användas för att hitta högemitterande material och aktiviteter utan att för den skull ha någon direkt koppling till hälsoeffekter.

Även om man inte kunnat klarlägga sambanden mellan fuktiga byggnader och SBS råder det ett samförstånd bland forskarna och experter på området att det finns något, låt oss kalla det ämne "X", som orsakar besvären hos brukarna. Det vore osannolikt att någon slags "fjärrverkan" från byggnaden, som inte gick att mäta eller på annat sätt observera, påverkade vissa människor och orsakade SBS. Ibland verkar det dock vara så, som exempelvis då en person som mått mycket dåligt under en längre tid i en viss byggnad får symptom bara av att se ett fotografi av byggnaden. Men och andra sidan finns det personer som ätit för mycket prinsesstårter vid något tillfälle och sedan inte kunnat titta åt en prinsesstårta på flera år utan att må illa. Detta med "invand ohälsa" verkar inte vara något specifikt för SBS.

Wolkoff et al (1997) beskriver i en artikel i tidskriften *Indoor Air* att de flesta VOC:s som påträffas i inomhusluften är kemiskt inerta och förekommer dessutom i så låga koncentrationer att de rimligen inte kan orsaka SBS. I artikeln som heter "Are We Measuring the Relevant Indoor Air Pollutants?" diskuterar författarna istället om att vissa oxiderbara VOC:s tillsammans med lämpliga oxidanter, exempelvis ozon, kan bilda kortlivade men irriterande ämnen som möjligen kan orsaka SBS. Dessa kortlivade ämnen ombildas hela tiden och är praktiskt taget omöjliga att mäta, ens på laboratorium.

Empiriska samband mellan fuktiga byggnader och ohälsa

Många lyckade SBS-utredningar i Sverige har använt mätningar av VOC för att hitta

högemitterande material eller "aktiviteter". Det första steget i en utredning är dock inte att börja mäta, utan att kartlägga utbredningen av besvär i byggnaden. Detta har antingen gjorts genom intervjuer, om det är en liten byggnad med få brukare, eller med hjälp av enkätundersökning, om det är ett stort hus med många brukare beskriver Hall och Wessén (1999) i en konferensartikel. Yrkesmedicinska kliniken på regionsjukhuset i Örebro har utformat en frågeenkät som har använts vid många SBS-utredningar, till enkäten finns även ett stort referensmaterial med brukare i "friska byggnader" att jämföra resultat med.

Kunskapen om utbredningen av besvären i byggnaden är utgångspunkt för att hitta orsaken till dem. Granskning av ritningar kan i nästa steg visa att utbredningen av SBS sammanfaller med vissa konstruktionslösningar eller materialval. Ofta har det funnits ett tydligt samband med vissa grundläggningsmetoder och SBS. Även materialval såsom avjämningsmassa eller en tät PVC-matta har i många byggnader haft samma utbredning som SBS-besvärerna. När utredaren hittar sådana samband i utbredning, som stämmer med hans erfarenhet, behövs ofta detta verifieras med en mätning. Det ska helst vara en mätning som kan jämföras med ett kritiskt värde och visa om det är källan till SBS eller inte. Men eftersom vi inte vet vad det är som orsakar SBS vet vi inte heller vad det är som vi ska mäta för att påvisa att det faktiskt är källan till SBS som hittats. Däremot vet vi att det finns ett säkerställt samband mellan fuktiga byggnader och SBS som man kan använda i utredningssyfte.

En "fuktig byggnad" är ur medicinskt perspektiv ett ospecifikt begrepp som innefattar en mängd olika kännetecken på byggnaden. Eftersom varken läkaren eller patienten vanligtvis har ingående kunskap om byggnadsteknik, fuktmekanik eller fuktillståndet i de byggnader där patienten vistas så tar de till enkla och tydliga kännetecken på fukt. Dessa kännetecken är bland annat låglutande yttertak, imma på insidan av fönstret vintertid och förekomsten av silverfiskar.

För en byggnadsfysiker är detta ett naivt sätt att beskriva fuktillståndet i en byggnad, men det är inte desto mindre användbart. Genom att översätta läkarnas kännetecken på en fuktig byggnad till byggnadsfysikerns begreppsvärld fås en fingervisning om vad man ska leta efter vid SBS-utredningar.

Låglutande tak är för en byggnadsfysiker en riskkonstruktion vad gäller vattenläckage. I en sådan konstruktion är det bland annat svårt att få täta anslutningar och en fungerande takavvattning. Många byggnader med låglutande tak har därför fått vattenläckage med påföljande fukt-skador i tak- och vägghkonstruktionen som följd.

Imma på insidan av fönstret vintertid kan visa på en hög fuktbelastning inom-

Förkortningar.

SBS	Sjuka hus problem, "Sick Building Symptom"
VOC	Flyktiga kolväten, "Volatile Organic Compounds"
TVOC	Totala halten flyktiga kolväten, "Total Volatile Organic Compounds"
MVOC	Mikrobiellt producerade flyktiga kolväten, "Microbial produced Volatile Organic Compounds"
OC	Kolväten, "Organic Compounds"
OCIC	Deponerade kolväten i betong, "Organic Compounds In Concrete"
OCIA	Organiska ämnen i inomhusluften, "Organic Compounds in Indoor Air"
VOC-profil	Inträngningsprofil av exempelvis deponerade nedbrytningsprodukter
Tenax-rör	Adsorbentör för VOC-mätningar, rören är packade med "Tenax TA"
GC-FID/MS	Utrustning för analys av Tenax-rör, "Gas Chromatograph with Flame Ionisation detection or with mass spectrometry"
RF	Relativ fuktighet
EF	Flödes hastighet av kemiska ämnen från en yta, "Emission Faktor"

hus. Fukten kan då genom konvektion föras ut i otätheter i väggar och tak och kondensera i kalla delar med en fukt-skada som följd.

Förekomsten av silverfisk tyder på att det är ihållande fuktigt, åtminstone i något skrymsle. Är det så fuktigt att silverfisks-trivs kan det exempelvis ha varit ett läckage från ett vattenrör eller otätheter i badrummets tätskikt som orsakat en fukt-skada.

Alla de här kännetecknen för en fuktig byggnad som läkarna beskriver i svepande ordalag kan en byggnadsfysiker alltså klä med byggetermer. Det handlar nästan uteslutande om någon typ av fukt-skada som går att beskriva med fuktmekanik och mäta med fuktgivare. Alla fukt-skador i en byggnad fångas dock inte upp av de gängse kännetecknen. Därför har läkare i samarbete med byggnadsfysiker utvecklat dessa kännetecken till att bli mer precisa. Exempelvis sker detta genom att exempelvis notera om byggnaden är uppförd med en fukt-känslig grundläggningsmetod.

Utbildade fukt-skadeutredare

Det finns en sammanslutning av fukt-skadeutredare, byggdoktorer, som specialiserat sig på att utreda fukt-skador i byggnader. De får sin grundläggande kunskap att utreda orsakssamband vid fukt-skador av professor Lars-Olof Nilsson och träffas därefter regelbundet för att byta erfarenheter och lära av varandra. Byggdoktorerna går systematiskt till väga och utför huvudsakligen utredningarna enligt följande tre punkter:

1. Visa att det är en fukt-skada och inte någon annan skadetypp!
2. Visa var fukt-källan finns!
3. Visa varför denna fukt-källa kunnat ge en skada, dvs orsakssambandet!

Många gånger kopplas byggdoktorer in på skadefall i andra byggnader än de som direkt kan sägas ha en fukt-skada. Ofta är den utlösande faktorn bakom utredningen att brukarna klagat på SBS. Genom sitt sätt att arbeta hittar byggdok-

torerna ofta fuktrelaterade oegentligheter i byggnaderna. När dessa fukt-skador sedan renoveras, genom att skadade material byts ut och källan till fukten undanröjs, minskar också SBS-besvärerna hos brukarna. Detta sker utan att man egentligen kan förklara hur brukarnas hälsa kunnat påverkas av fukt-skadan. Ibland kan dock en viss andel av besvärerna kvarstå efter åtgärd, det är kanske de som kan liknas vid att må illa av prinsessstårtan efter att ha ätit för mycket eller så kan besvärerna ha ytterligare ett ursprung förutom den åtgärdade fukt-skadan.

Genom att utreda fukt-skador i en byggnad och sedan åtgärda dem har byggdoktorerna byggt upp en stor erfarenhetsbank. De vet vilka konstruktioner som har en uppenbar risk att drabbas av fukt-skador och hur man åtgärdar dem på ett säkert sätt. De besitter också, som grupp, en stor kunskap om vilka typer av fukt-skador som kan orsaka SBS och hur man bäst åtgärdar dessa för att få positivt förändring av brukarnas hälsa.

Alla dessa utredningar av byggdoktorerna, som författaren av denna artikel fått inblick i genom att samarbeta med dem, "publiceras aldrig". Utredningarna dokumenteras som rapporter och åtgärdsförslag och stannar mellan utredare, fastighetsägare och beställaren. Uppföljning av åtgärderna består ofta av att förvaltaren inte längre hör några klagomål från brukarna.

Riktad emissionsmätning mot golv

Ganska ofta vid utredningar av SBS och fukt-skador i byggnader utpekas golvet som källa till förhöjda emissioner. I många fall har riktade emissionsmätningar mot golvet utförts för att visa att det är källan. Denna teknik har bland annat använts av Bornehag (1994), i utredningen av Dalen, samt av Hall och Wessén (1999).

Genom att skära bort 10 • 10 cm matta blottläggs underliggande avjämningsmassa eller betong. På den blottlagda ytan placeras genast en FLEC eller ett exsickatorlock och ett luftprov pumpas genom Tenax-rör för att sedan analyseras med GC-FID/MS. Eftersom mattan har ett högt genomgångsmotstånd för de kemiska ämnena, precis som för fukt, är koncentrationen mycket högre under mattan än i rumsluften, om nedbrytning skett i golvkonstruktionen. Av samma anledning, att mattan utgör ett motstånd, blir emissionshastigheten mycket större från en blottlagd yta än för motsvarande yta med matta.

Resultatet från en riktad mätning mot golvet kan sällan jämföras med mätningar i rumsluften. Koncentrationen av VOC i rumsluften, som kommer från golvet, beror dels av emissionshastigheten från golvet och dels av utspädningshastigheten, det vill säga rummets ventilation. Efter-som mattan har ett högt genomgångsmotstånd blir emissionen från golvytan mycket liten, även i de fall mätningar mot frilagd spackelyta visar höga värden. I en doktorsavhandling från Chalmers visar Sjöberg (2001) att från ytan på en normal PVC matta blir EF (Emission Factor) för butanol från golvet ungefär $8 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ för en fri koncentration på $10 \cdot 10^{-6} \text{ kg}/\text{m}^3$ av butanol under mattan.

Det är osäkert att upprätta gränsvärden för kemiska ämnen eftersom vi inte vet vilka ämnen som orsakar SBS. Erfarenheter från flertalet SBS-utredningar visar dock att om en fri koncentration på $10 \cdot 10^{-6} \text{ kg}/\text{m}^3$ butanol mäts under en limmad matta, enligt metoden i Sjöberg (2001), har limmet utsatts för "kraftig alkalisk hydrolys". Det förekommer och andra sidan redan att gränsvärden skrivs in i åtgärdsförslag efter konsultation med försäljare av emissionsspärrar. Den fria koncentration mellan spärrskikt och matta har då högst fått vara $2 \cdot 10^{-6} \text{ kg}/\text{m}^3$ för butanol och 2-etylhexanol, var för sig, vid uppföljande mätning några månader efter åtgärd.

Misslyckade åtgärder av golv

Vid renovering av golv med "emissions-skada" är det ibland vanligt att man bara beaktar fuktproblematiken som orsakade nedbrytningen. Vid många utredningar är golvet torrt, långt under de gränsvärden som anges för mattläggning i HusAMA, men har ändå höga emissioner av nedbrytningsprodukter. Det är uppenbart att golvet i dessa fall har varit fuktigare tidigare men nu torkat ut. Ett vanligt men "felaktigt" åtgärdsförslag att bara riva ut mattan och limma dit en ny. I bästa fall föreskrivs någon veckas "vädring" eller att översta centimetern betong fräses bort innan ny golvbeläggning limmas på igen. Ibland hjälper dessa åtgärder, men allt för ofta rapporteras återkommande problem i byggnader där man inte beaktat emissionen från nedbrytningsprodukter med tillräcklig omsorg vid renoveringen.

Anledningen till att det inte blir bra fast man bytt ut den gamla "fuktskadade" mattan beror sannolikt på att den inte var källan till emissionen, numera. OC (Organic Compounds) som bildats vid nedbrytning av limmet kan tränga in flera cm i betongen, i extrema fall har byggdoktorer hittat OCIC (Organic Compounds In Concrete) på mer än 10 cm djup. Om man inte beaktar dessa deponerade nedbrytningsprodukter, OCIC, kan det hända att de tränger upp och emittera till rumsluften, under lång tid efter renoveringen, och orsakar SBS.

I de objekt där nedbrytning av golvlimmet orsakats av påskjutande markfukt är det vanligt att åtgärdsförslaget blir en "öppen golvbeläggning". På så sätt kan fukten i golvkonstruktionen försvinna upp i rumsluften och konstruktionen blir torrare. Ett bra exempel på en sådan lösning är att lägga klinkersgolv i källare som saknar ordentligt fuktskydd under betongplattan. Den påskjutande markfukten har då möjlighet att gå upp och avdunsta genom skarvarna mellan plattorna. Klinkersgolv är en förträfflig lösning ur fuktteknisk synvinkel eftersom de inte är känsliga för fukt och ger påskjutande markfukt en möjlighet att torka. Dock har det visat sig att OCIC också kan passera i skarvarna mellan plattorna med kvarvarande, eller i värsta fall ökade, symptom av SBS hos brukarna som följd.

I golv med höga halter av OCIC gäller det att beakta både fuktproblematiken, som ursprungligen orsakade en nedbrytning, och de kemiska ämnena som kan ha trängt långt in i konstruktionen. Ett material som är tätt mot vattenånga, till exempel en plastfilm, behöver inte vara tätt mot OC och andra kemiska ämnen. Det enda som verkar vara riktigt tätt mot OC är glas, en folie av aluminium eller annan metallfolie.

Emissionsspärrar

Det finns idag ett tiotal emissionsspärrar på marknaden som kan användas vid renovering av golv med fuktskadade beläggningar. Enligt försäljarna har spärrskikten positiva egenskaper som ser till att golven blir "sunda". Ett projekt på Chalmers håller för närvarande på att kartlägga egenskaperna hos dessa spärrskikt. Resultaten från projektet beräknas vara färdiga att publicera under hösten och ska kunna användas som beslutsunderlag vid val av spärrskikt vid renovering av golv med höga halter OCIC.

Utredning av "emissions-skadade" golv

För att avgöra vilken metod som är lämplig vid åtgärd av ett golv med fuktskadad beläggning behöver man till att börja med få en klar bild av skadans omfattning. Först och främst är det viktigt att veta utbredningen på emissions-skadan så att skadade områden inte lämnas utan åtgärd. Det kan i så fall få till följd att besvären

kvarstår hos brukarna och utredningen måste göras om. Det är inte heller motiverat att åtgärda oskadade golv "för säkerhets skull", de pengar som en onödigt omfattande åtgärd kostar kan alltid användas på bättre sätt.

Det är viktigt att klarlägga nuvarande fuktillstånd i de skadade områdena. Om betonggolvet fortfarande är fuktigt måste både fukt och emissionsproblematiken beaktas vid åtgärd. Är betonggolvet torrt nu kan det mycket väl ha varit fuktigt tidigare. Genom att utgå från uppmätta fuktprofiler och sedan "beräkna fukttransport baklänges" kan golvet fukthistoria klarläggas. Källan till det ursprungliga fuktproblemet kan identifieras och åtgärdas om så är nödvändigt.

Om det är frågan om en gammal fukt-skada som orsakat alkalisk hydrolys av golvlimmet är det troligt att nedbrytningsprodukter trängt långt in i betongen och orsakat höga halter av OCIC. Detta kontrolleras genom att mäta en VOC-profil enligt Sjöberg (2001), metoden beskrivs summariskt nedan.

Åtgärder av "emissions-skadade" golv

För att få bästa resultat kan man tänka sig att byta allt material som innehåller deponerad OC eller andra kemikalier, vid en renovering. Detta är sällan ekonomiskt motiverat eftersom det i praktiken kan innebära att hela bjälklag måste bilas bort, OCIC har ofta trängt ner i mätbara mängder till mer än 5 cm djup. Det är dock i många fall lämpligt att bila bort eventuell avjämningsmassa eller överbetong, där mycket av nedbrytningsprodukterna har samlats. På så sätt minskas markant den maximala fria koncentrationen av OC i konstruktionen. Denna åtgärd bör dock alltid kombineras med någon av nedanstående åtgärder.

Om emissions-skadan består av en begränsad nedbrytning, av golvlimmet, kan golvet renoveras genom att den gamla mattan tas bort och betongytan rengörs från limrester. På det rengjorda betonggolvet byggs sedan ett tillräckligt tätt skikt upp för att hindra OCIC att avgå till rumsluften i för hög takt. En låg emission av deponerade nedbrytningsprodukter från golvet kan föras bort av en väl fungerande ventilation och på lång sikt blir golvet utvädrat från OCIC. Denna metod, med ett tätt skikt på betongen för att hindra höga emissioner, är även lämpligt att använda i kombination med att man avlägsnar avjämningsmassan eller överbetongen.

Risker med denna lösning är att vi idag inte vet hur hög koncentration fri OC golvet får ha för att metoden ska fungera. Kanske borde man ta till annan åtgärd för att vara på den säkra sidan om den fria koncentrationen av enstaka OC är hög. En ren spekulering, baserad på viss erfarenhet, från författaren är att vid fri koncentration, av enskilda nedbrytningspro-

dukter i betongen, över $5 \cdot 10^{-6} \text{ kg/m}^3$ kan denna metod vara osäker att använda. Vi vet inte heller hur täta spärrskikten är mot OC och andra kemikalier som finns i betonggolvet, här kommer rapporten från Chalmers senare i höst att ge några svar. Slutligen är den största osäkerheten att vi inte känner ämne "X" som orsakar SBS, kanske blir emissionen av detta okända ämne ibland så hög att de känsligaste individerna i byggnaden fortfarande har symptom, även fast golvet är åtgärdat med denna metod.

Om emissionsskadan består av en kraftig nedbrytning, av golvljmet, eller om golvet av någon annan orsak har hög koncentration av fri OC är det svårt att stoppa emissionen med ett tätt skikt. En bättre metod kan då vara att låta OCIC emittera från betongen men ventileras bort innan de når inomhusluften. Detta kan göras med en undertrycksventilerad luftspalt, en sådan kan skapas med ventilerad Platonmatta, Nivellgolv eller annan liknande lösning.

Dessa golvsystem byggs upp på befintligt, förorenat golv, och skapar en luftspalt ovanpå betongen som ventileras. Det är inte nödvändigt att avlägsna avjämningsmassa och överbetong när man använder denna metod eftersom OCIC som emitterar från betongen effektivt kommer att ventileras bort. Till golvsystemet hör en särskild fläkt som kontinuerligt suger ut den förorenade luften ur spalten.

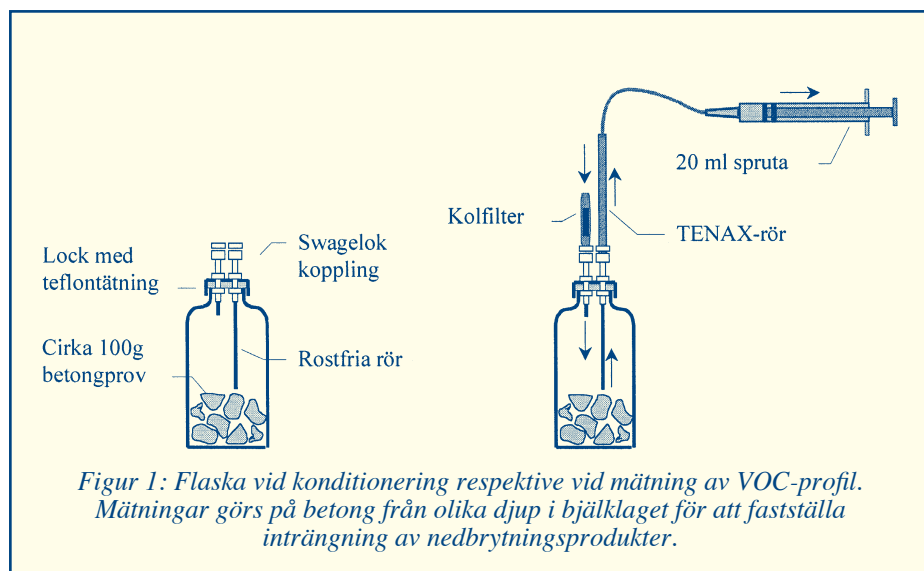
Det är inte säkert att fläkten permanent behöver vara i drift, för all framtid, med denna åtgärd. Efter några år kan koncentrationen av nedbrytningsprodukter ha minskat så mycket, i betongen, att fläkten kan kopplas bort och intagen till luftspalten tätas. Naturligtvis ska en sådan förändring föregås av en mätning av emissionshastigheten och kvarstående OCIC.

Mätning av VOC-profiler

Vid mätning av OCIC är det vanligt att använda VOC-profiler enligt Sjöberg (2001). Vid provtagning i bjälklaget tas då betongbitar ut på samma sätt som vid uttaget prov för RF-mätning, se RBK-manual (2001). Betongprovet, cirka 100g per nivå, tas lämpligen från djup 0–1 cm, 2–3 cm samt 4–5 cm och läggs nivåvis i 250 ml stora glasburkar med tätslutande lock, se figur 1.

Burkarnas lock förses med anslutning till Tenax-rör, sådan anslutningar kan tillverkas genom att borra två hål i flaskan och montera "genomgångar" och swagelockkopplingar som passar på Tenax-rör. Lock med invändig teflonpackning ska användas för att minska depåeffekten i plasten.

Burkarna förvaras i stabilt rumsklimat med cirka 20 °C i tre till sju dagar för att de kemiska ämnena i betongen ska ställa sig i jämvikt med luften i flaskan. Detta sker på liknande sätt som med fukt vid fuktmätning på uttaget prov. Om provet inte direkt kan läggas i glasburkarna vid provtagningen ska de viras in i flera lager aluminiumfolie. Det går bra att använda



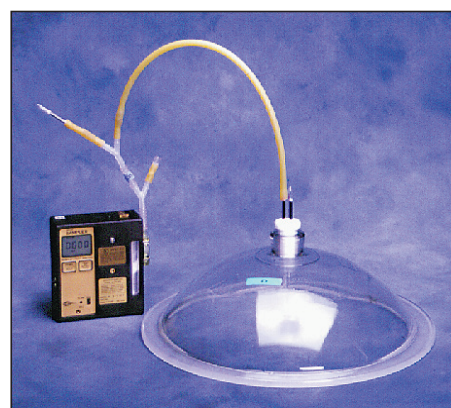
Figur 1: Flaska vid konditionering respektive vid mätning av VOC-profil. Mätningar görs på betong från olika djup i bjälklaget för att fastställa inträngning av nedbrytningsprodukter.

aluminiumfolie för matlagning som kan köpas i matbutiker. "Kläm åt" varje lager och se till att de inte går sönder under transporten till labbet.

När jämvikt mellan VOC i betongbitarna och luften i flaskan ställt in sig sugs 20 ml luft från headspacen, det vill säga luften i flaskan som är i jämvikt med betongen, genom ett Tenax-rör. Använd gärna en 20 ml injektionsspruta. Var noggrann med att suga ut exakt rätt luftmängden då denna måste anges vid efterföljande GC-FID/MS analys av röret för att få "rätt koncentration".

Resultatet som fås när Tenax-röret analyseras anger den "fria koncentrationen" av VOC i luften i betongens porer, på provtagningsdjupet. Det är denna koncentration som är den drivande potentialen för transport av VOC, precis som ånghalten är för fukttransport.

Vid de flesta fall av emissionsskadade golv där VOC-profiler mätts upp har koncentrationen av enskilda ämnen minskat med djupet. I figur 2 visas hur den fria koncentrationen av butanol minskar med djupet i ett bjälklag i Stockholm. Mätvärdena

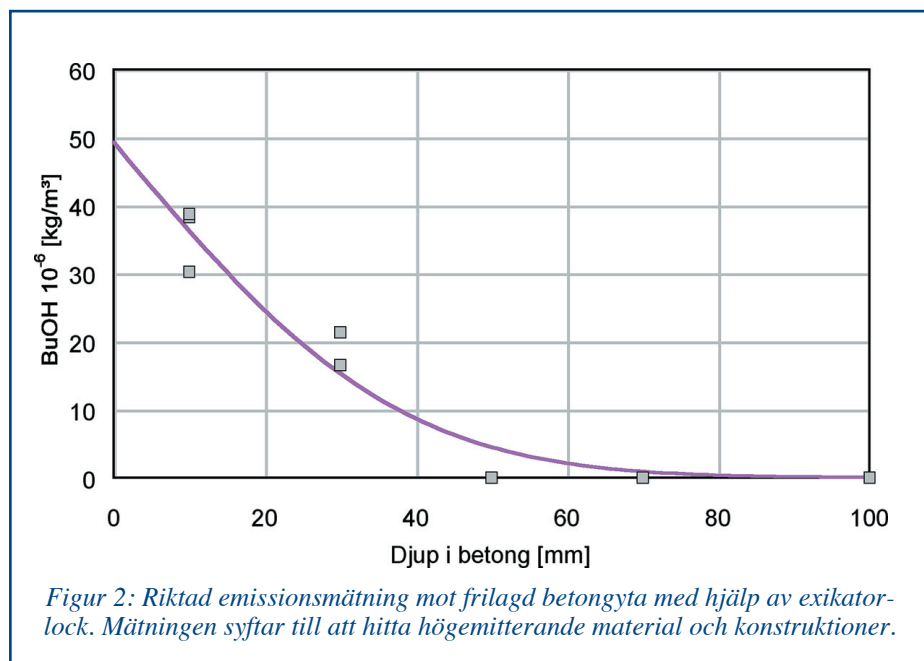


Mätning av tio VOC-profiler i en byggnad med SBS-besvär. På varje mätställe har cirka 100 g betongprov tagits ut på tre djup, ungefär 0–1 cm, 2–3 cm samt 4–5 cm.

har passats mot lösningen av Ficks 2:a lag, "errorfunction", som beskriver koncentrationsförändring till följd av masstransport.

VOC och fuktmekanik

Precis som en hög fuktbelastning i form av ett fuktigt klimat eller en fuktskada gör



Figur 2: Riktad emissionsmätning mot frilagd betongyta med hjälp av exikatorlock. Mätningen syftar till att hitta högemitterande material och konstruktioner.

att materialen ta åt dig fukt, kan material också adsorbera OC och andra kemiska ämnen ur omgivningen. Enligt Sjöberg (1998) kan samma beräkningsmetoder och ekvationer som används för fukttransport också användas för transport och absorption av VOC i byggnadsmaterial.

Genom att tillämpa genomgångsmotstånd på samma sätt som för fukt kan man till exempel bestämma vilken koncentration som kommer att råda mellan ett spärnskikt och mattan efter åtgärd. De materialegenskaper man måste veta är mattans genomgångsmotstånd mot det OC man ska beräkna koncentrationen för. Exempelvis har en homogen PVC-matta ett genomgångsmotstånd, R_{fc} (Resistance, floor covering), mot butanol på $3,7 \cdot 10^6$ s/m enligt Sjöberg (2001).

I ekvationen nedan är c_{mellan} den sökta fria koncentrationen av ett OC mellan spärnskikt och matta. c_{btg} är det högsta värdet på den fria koncentrationen i betongen för ämnet, alltså ett uppmätt värde. c_{rum} är koncentrationen i rumsluften av det OC man ska beräkna koncentrationen för, vanligtvis är den försumbar i jämförelse med den fria koncentrationen i betongen och kan därför sättas till noll. R_s är spärnskiktets genomgångsmotstånd mot det aktuella ämnet, denna materialegenskap hos spärnskiktet kan försäljarna redovisa för de vanligaste nedbrytningsprodukterna, det vill säga för butanol och 2-etylhexanol.

$$c_{mellan} [kg/m^3] = c_{btg} - \frac{R_s}{R_{fc} + R_s} \cdot (c_{btg} - c_{rum})$$

En annan användbar beräkning är att räkna ut emissionsfaktorn från golvet om man vet golvbeläggningens genomgångsmotstånd och maximal fri koncentration av OCIC i betongen. Beräkningarna görs enligt Ficks 1:a lag som beskriver den vanligaste typen av masstransport. Den som strävar efter att jämna ut koncentrationsskillnader mellan olika platser. Ekvationen nedan säger att flödet (EF) beror av koncentrationsskillnaden mellan luften i betongens porer och i rummet, delat med genomgångsmotståndet för mattan mellan dem. Faktorn $3,6 \cdot 10^{12}$ är till för att få rätt enhet på emissionsfaktorn EF , det vill säga [$\mu g/(m^2 \cdot h)$]. Notera att det angivna siffervärdet på faktorn endast gäller när koncentrationer och motstånd anges i SI-enheter.

$$EF [\mu g/(m^2 \cdot h)] = \frac{c_{btg} - c_{rum}}{R_{fc}} \cdot 3,6 \cdot 10^{12}$$

Låt oss räkna ett övningsexempel med en vanlig PVC-matta på ett betonggolv som är så emissionsskadat att det anses kunna vara källan till SBS. När den fria koncentrationen av butanol i ytan på betongen, c_{btg} , är i storleksordningen $11 \cdot 10^{-6}$ kg/m³ måste OCIC beaktas enligt några byggdoktorers erfarenhet. Om R_{fc} antas vara $4 \cdot 10^6$ s/m och c_{rum} försummas blir emissionsfaktorn EF ungefär $10 \mu g/$



Mätning av tio VOC-profiler i en byggnad med SBS-besvär. På varje mätställe har cirka 100 g betongprov tagits ur på tre djup, ungefär 0–1 cm, 2–3 cm samt 4–5 cm.

(m² · h). Notera att denna EF är i storleksordning med en låg egenemission hos en matta.

Konklusion

Vi vet idag att fuktiga byggnader ger upphov till SBS. Vi vet också att fuktiga material ger upphov till höga emissioner av VOC från material. Dessutom har vi starka indicier på att VOC eller andra OCIA orsakar SBS. Även om inte de exakta orsakssammanhanget kan vi med stor sannolikhet säga att fuktskadade material ger upphov till SBS. Speciellt gäller det för material och konstruktioner där man visat att fuktskadan gett upphov till stora mängder nedbrytningsprodukter.

Nedbrytningsprodukterna kan tränga in i materialen och bli kvar där under lång tid. Det är inte ens säkert att de försvinner vid en renovering av den fuktskadade konstruktionen. Ibland kan till och med hälsosymptomen bli värre efter åtgärd då en öppnare golvbeläggning valts.

Slutligen ska framhållas att det finns utredningsrutiner och mätmetoder för OCIC. Om de deponerade nedbrytningsprodukterna beaktas vid utredning och renovering, vid fram för allt fuktskadade betonggolv, finns goda förutsättningar att komma tillrätta med SBS-problemen. ■

Referenser

Andersson K, Bakke JV, Bjørseth O, Bornehag C-G, Clausen G, Hongso JK, Kjellman M, Kjærgaard S, Levy F, Mølhave L, Skerfving S, Sundell J. 1997. *TVOC and Health in Non-industrial Environments*. Report from a Nordic Scientific Consensus Meeting at Långholmen in Stockholm, 1996. Publicerad i Indoor Air Volume 7, No 2, June 1997. Munksgaard International Publishers Ltd. Danmark.

Bornehag C-G. 1994. *Mönsteranalys av inomhusluft – Undersökning av luftkvaliteten i sjuka hus med flytspackelproblem*. Byggeforskningsrådet. R23:1994. Stockholm.

Bornehag C-G, Blomquist G, Gyntelberg F, Järholm B, Malmberg P, Nordvall L, Nielsen A, Pershagen G, Sundell J. 2001. *Dampness in Building and Health*. Nordic Interdisciplinary Review of the

Scientific Evidence on Associations between Exposure to "Dampness" in Buildings and Health Effects (Nordamp) Publicerad i Indoor Air Volume 11, No 2, June 2001. Munksgaard International Publishers Ltd. Danmark.

Nilsson L-O. *Fuktskadeorsaker i golv och grunder – Vad har vi lärt av historien?* AK-tuellt, Nyhetsbrevet från AK-konsult Indoor Air AB i April 2001. www.indoorair.se/nyhetsbrev.

RBK, Rådet för byggkompetens. 2001. *Manual – fuktmetning i betong*. Sveriges Byggindustrier. www.rbk.nu.

Sjöberg A. 1998. *Transportprocesser och reaktioner i belagda betonggolv – olika faktorer inverkan på emission från golvkonstruktioner*. Institutionen för Byggnadsmaterial, Chalmers. P-98:13. 193 sidor.

Sjöberg A. 2001. *Secondary emissions from concrete floor with bonded flooring materials – effect of alkaline hydrolysis and stored decomposition products*. Institutionen för Byggnadsmaterial, Chalmers. P-10:2. 188 sidor.

Wengholt Johnsson H. 1995. *Kemisk emission från golvsystem – effekt av olika betongkvalitet och fuktbelastning*. Institutionen för Byggnadsmaterial, Chalmers. P-95:4. 58 sidor.

Wolkoff P, Clausen PA, Jensen B, Nielsen GD, Wilkins CK. 1997. *Are We Measuring the Relevant Indoor Pollutants?* Publicerad i Indoor Air Volume 7, No 2, June 1997. Munksgaard International Publishers Ltd. Danmark.

Wessén B, Hall T. 1999. *Directed non-destructive VOC-sampling – a method for source location of indoor pollutants*. Konferensbidrag vid Indoor Air 99, 8–13 augusti 1999 Edinburgh, Scotland. Volym 4, sida 420–425.