

INOMHUSKLIMAT

ÖREBRO 2003

Konferens i Örebro 18 - 19 mars 2003

Konferensen är den sjunde i en serie beträffande inomhusklimat. Den första hölls i september 1985 och har därefter återkommit vart tredje år. Konferenserna har haft varierande huvudteman enligt sammanställningen nedan.

1. September 1985 Utredningsstrategier
2. April 1988 Mätteknik
3. Mars 1991 Bättre inomhusklimat i såväl nyproduktion som befintlig bebyggelse
4. Mars 1994 Nya tekniker för att objektivt registrera medicinska effekter av inomhusklimatet och exempel på goda innemiljöer.
5. Mars 1997 Allergi och annan överkänslighet samt materialfrågor.
6. Mars 2000 Nya sjukdomstillstånd samt tolkning av mätresultat.

ISBN 91-973975-1-2

Omslaget: Benita Rennes.

Tryckt på miljövänligt papper.

Förord

Konferensen ”Inomhusklimat Örebro 2003” är den sjunde sedan 1985 som anordnats av Yrkes- och miljömedicinska kliniken vid Universitetssjukhuset Örebro. Vi vill med dessa konferenser sprida kunskaper om aktuella frågeställningar om inomhusklimat och ohälsa. Vi bjuder in framstående forskare och aktörer inom området för att på ett begripligt sätt ge översikter över kunskapsläget inom detta svåra och interdisciplinära område.

Tanken är att konferensdeltagarna skall få med sig kunskaper och verktyg för att kunna fortsätta det viktiga arbetet med att skapa en god innemiljö i våra byggnader.

Örebro mars 2003

Göran Stridh

Kjell Andersson

Wenche Aslaksen

Inger Fagerlund

Innehållsförteckning

		Sida
Session 1	Byggnader förr och nu	7
<i>Cecilia Björk</i>	Så växer och förändras bebyggelsen.	8
<i>Ingemar Samuelson</i>	Inneklimatet förr och nu.	14
Session 2	Dåliga inommiljöer och ohälsoeffekter	21
<i>Göran Stridh</i>	Kemin i fuktskadade miljöer.	22
<i>Nils Hallenberg</i>	Nyttan av mögel-/bakterieprovtagning på material vid skadeutredningar.	28
<i>Aino Nevalainen</i>	Metoder för att bestämma toxiska och irriterande effekter av mögel och bakterier.	40
<i>Stig Rudblad</i>	Slemhinnepåverkan i miljöer med dåligt inomhusklimat.	47
<i>Lars Belin</i>	Allergi, annan överkänslighet och stress – hur kopplas dessa till inommiljön?	53
Session 3	När något har hänt	71
<i>Ingemar Samuelson</i>	Vad bör man som förvaltare göra när klagomål på inomhusklimatet uppträder?	72
<i>Kjell Andersson</i>	Vad säger man till oroliga föräldrar när man upptäckt fukt-/mögelskador i skolan eller på daghemmet?	77

		Sida
Session 4	Aktuella frågeställningar	87
<i>Anders Sjöberg</i>	Inneslutningsmetoder och spärrskikt, ett kontroversiellt ämne.	88
<i>Göran Stridh</i>	Skall vi mäta kemin under golvbeläggningar och hur tolkar vi i så fall mätresultaten?	101
<i>Folke Björk</i>	Högpresterande betong – bra eller dåligt?	109
<i>Lars Mølhøve</i>	Effekter av damm i inomhusluften – erfarenheter från klimatkammarstudier.	123
<i>Lars Ekberg</i>	Förekomst och betydelse av partiklar i inomhusluft.	140
Session 5	Vägar till sunda hus – Ansvar, svårigheter och möjligheter	155
<i>Jari Lalli</i>	Byggherren	156
<i>Per-Olof Carlson</i>	Konsulten	159
<i>Johnny Kellner</i>	Entreprenören	169
<i>Jan Andersson</i>	Förvaltaren	184
<i>Fredrik von Platen</i>	Hur undviker vi framtida problem i byggnader? <i>Dokumentationen till detta föredrag är tillgängligt under 2003 på YMK:s hemsida, www.orebroll.se/ymk</i>	

Deltagande föreläsare

ANDERSSON JAN, fastighetschef, Örebro läns landsting, Örebro.

ANDERSSON KJELL, överläkare, Universitetssjukhuset Örebro, Örebro.

BELIN LARS, docent, Sahlgrenska Universitetssjukhuset, Göteborg.

BJÖRK CECILIA, arkitekt, MSA, Julita.

BJÖRK FOLKE, docent, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.

CARLSON PER-OLOF, miljöansvarig, Scandiaconsult, Stockholm.

EKBERG LARS, docent, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

HALLENBERG NILS, docent, Göteborgs Universitet, Göteborg,

KELLNER JONNY, projekterings- och miljöchef, JM Bostad, Stockholm.

LALLI JARI, chef för teknik- och miljögruppen, Statens Fastighetsverk, Stockholm.

MØLHAVE LARS, docent, Aarhus Universitet, Aarhus.

NEVALAINEN AINO, docent, National Public Health Institute, Kuopio.

RUDBLAD STIG, överläkare, Universitetssjukhuset Örebro, Örebro.

SAMUELSSON INGEMAR, professor, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås.

SJÖBERG ANDERS, tekn dr, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

STRIDH GÖRAN, fil dr, Universitetssjukhuset Örebro, Örebro.

VON PLATEN FREDRIK, stf generaldirektör, Boverket, Karlskrona.

Session 1. Byggnader förr och nu

Så växer och förändras bebyggelsen

Cecilia Björk

Inneklimatet förr och nu

Ingemar Samuelsson

Hur har inneklimatet och brukarkraven förändrats över tiden?

Genom historien har teknologisk utveckling gett nya möjligheter för att utforma bostäder och att uppfylla praktiska behov i vardagen. Under de senaste hundra åren har utvecklingen gått allt snabbare och de som är lite äldre upplever sin barndoms bostäder och byggnader som gammaldags men på ett positivt sätt. I ljuset av senare tiders larm om byggsador, mögelhus och sjuka byggnader blir synen på den gamla byggnaden nostalgisk. Det var bättre förr brukar man säga om byggnader, material och byggnadssätt, då fanns det ingen plastfolie, då var husen inte så täta, då hade vi inga sjuka hus. Frågan är om innemiljön totalt sett var bättre.

För hundra år sedan hade de flesta byggnader varken vatten eller elektricitet. Uppvärmning och matlagning skedde med hjälp av eldning med fast bränsle i spis och kakelugn och bostädernas planlösning bestämdes av värmekällornas placering. Ofta värmdes bara köket och där vistades man under dagen och kvällen. När man gick och lade sig var sovrummet kallt men sängen värmdes med en värmeflaska. Belysning fick man från oljelampor och talgljus. Man hade ingen radio, ingen TV, dator eller musik-anläggning. Innemiljön och kraven på innemiljön var annorlunda förr.



När vi talar om förr i tiden har vi olika perspektiv. Ibland menar vi torp och gårdar från 1800-talet, byggnader som vi idag i stor utsträckning använder som fritidshus. Ibland menar vi byggnader från första delen av 1900-talet, byggnader med stora, ljusa rum, högt i taket, dragiga fönster och charmiga verandor. Vad vi än menar bör vi ha klart för oss att de byggnader från ”förr” som vi jämför med är de byggnader som fått stå kvar. De flesta äldre hus har rivits för att de i något avseende inte uppfyllde de krav man hade anledning att ställa. Så när man jämför förr med nu haltar jämförelsen.

När vi talar om att det var bättre förr menar vi inte hus från miljonprogrammet och framåt. Dessa byggnader innefattar vi bland dem som i något avseende är sämre än som det var ”förr”. Och kanske finns det skäl till detta. Det hände mycket i byggbranschen under mitten av förra seklet. Det blev förändringar i valet av byggnadsmaterial, konstruktioner och ventilation och även i byggprocessen under dessa år, förändringar som ofta var ekonomiskt fördelaktiga men som inte alltid har inneburit bättre byggnader och ibland till och med har lett till skador. Om vi med ”förr” menar byggnader uppförda för mer än 50 år sedan kan vi se att mycket har hänt sedan dess.



En väsentlig förändring i nyare hus är övergången från uppvärmning med öppen eld i kaminer till centralvärme med direktverkande el eller fjärrvärme. Dessa förändringar har lett till billigare och enklare system och bättre komfort för de boende men även till förändringar i ventilationens funktion och har därmed ökat risken för fuktskador. För de flesta småhusägare (och även förvaltare av större byggnader) är det inte känt att valet av uppvärmningssystem kan komma att påverka ventilationsförhållandena och ofta öka risken för fuktskador.

Förr i tiden ventilerades byggnaderna med självdrag. Luften sögs ut genom ventilationskanaler i skorstenen och luften värmdes av den intilliggande rökgaskanalen. På så sätt fick luften bra sug. Tilluft togs in genom springventiler under fönstret eller genom ventiler i väggen och om dessa don stängdes till kom luft ändå in genom otätheter. I dessa äldre hus hade man oftast god luftväxling men fick dragiga rum och energislösande uppvärmning.

Vilken påverkan har förändrad byggteknik, lokalisering av byggnader och ändrade brukarkrav på inneklimatet?

När man bytte ut uppvärmning med öppen eld till andra former och inte längre hade behov av skorsten i byggnaden fick byggnaden heller inte samma utsug av luft. För att bibehålla god luftväxling inne måste byggnaden därför kompletteras med ett fläktsystem. Ett system med mekaniskt utsug av frånluft och tillförsel av uteluft genom ventiler i fasaden ger i princip samma funktion som äldre tiders självdrag med hjälp av en varm skorsten. För att spara energi vill man emellertid återvinna värme ur frånluften och detta har lett till system med både frånluft och tilluft med värmeväxling. Sådana system kan göras energisnåla och kan skapa ett gott inneklimat om de projekteras rätt och sköts och underhålls. Införandet av den statliga obligatoriska ventilationskontrollen OVK har emellertid skett eftersom det visat sig att ventilationssystemen inte alltid fungerar tillfredsställande och ger det inneklimat som var tänkt. Ventilationsystem av denna typ är mera komplicerade och mindre självklara i sin funktion än det gamla självdraget.

Det är svårt att få fullgod ventilationsfunktion när man försöker ventilerade byggnader med självdrag utan att ha utsug genom en varm skorsten. Dels får man ett kraftigt väderberoende system som fungerar bäst när det är kallt och blåsigt dels får man risk för fuktskador beroende på den tryck-

skillnad som är självdragets förutsättning. Många undersökningar i moderna, självdragsventilerade skolor har visat att det dels är svårt att uppnå normenlig ventilation dels förekommer fuktskador på grund av konvektion.

Många byggnader byggs idag industriellt. Stommen kan bestå av prefabricerade bjälklag och pelare, väggarna av prefabricerade element. I detta sätt att bygga finns både möjligheter och risker. Känsliga byggnadsdelar som byggs inomhus och skyddas från regn och vatten kan få fuktskador under transport och montage om de inte skyddas ordentligt och det är under dessa skeden som särskilda kontroller måste göras. Förr byggdes husen på plats med relativt tåliga material som fick torka under lång tid innan husen togs i bruk.

Det sägs ofta att särskilt småhus byggdes på dålig mark under miljonprogrammet och att detta var en del av förklaringen till att så många hus är skadade av fukt och mögel. Jag tror inte att lokaliseringen är den stora orsaken. Det går att bygga bra även på sank, fuktig mark. Det är snarare en fråga om att välja rätt grundläggningssätt. En dålig konstruktion fungerar inte ens på bra mark och en bra konstruktion kan fungera utan anmärkning även på dåligt underlag.

Vilken betydelse har energisparande åtgärder haft för inneklimatet?

Krav på energibesparingar har lett till att man som husägare har tilläggsisolerat på vinden, satt in bättre fönster, bytt från olja till el eller ved och installerat värmeåtervinning ur frånluften. Samhället har stött dessa ombyggnader till energisnåla hus genom bidrag och förmånliga lån. Ett felaktigt energisparande har emellertid ibland lett till sämre innemiljö. Drar man ner på luftväxlingen sparar man energi men man får sämre luftkvalitet. Isolerar man en yttervägg på insidan kan man få fuktskador, t ex frostsprängning i fasaden, isolerar man källaren invändigt kan detta ge mögelpåväxt och elak lukt, tätar man huset utan att förbättra ventilationen kan detta medföra dålig luftväxling och sämre luftkvalitet. Felaktigt isolerade och tätade hus är naturligtvis sämre än hus som är rätt byggda och även sämre än vad husen var förr. En byggnad skall ge god innemiljö till dem som vistas där, det är det främsta kravet. Vill man minska energibehovet för byggnaden skall detta göras med bibehållen god innemiljö annars skall man avstå.

Att energibesparande åtgärder under energikrisen innebar en generellt sett sämre inomhusmiljö är de flesta ense om. Men det behöver inte råda en motsatsställning mellan energibesparing och inomhusmiljö. Rätt utförda är energisnåla hus även sunda och har god inomhusmiljö.

Session 2. Dåliga innemiljöer och ohälsoeffekter

Kemin i fuktskadade miljöer

Göran Stridh

Kemin i fuktskadade miljöer

Oavsett om ett byggmaterial kommer i kontakt med fukt i onormalt hög grad eller ej avger det kemiska ämnen till omgivande luft under lång tid. I allmänhet är avgivningen från ett nyligen producerat material tämligen hög för att med tiden sjunka enligt ett exponentiellt förlopp. Mängden och arten av ämnen som avgår är naturligtvis i första hand beroende på vilka ämnen som ingår i materialet självt. Materialets ytstruktur och ingående ämnens förmåga att migrera i materialet är andra faktorer av betydelse. Sannolikt är emissionen också beroende av årstiden i första hand till följd av omgivande lufts olika absoluta vatteninnehåll. I samband med att uppvärmingen tar sin början under hösten sker en momentan ofta kraftig sänkning av luftens relativa fuktighet. Därvid avger flertalet ytmaterial fukt i form av vattenånga till omgivande luft. Med denna fuktvandring följer kemiska ämnen från materialet. Kemister brukar använda termen vattenångdestillation. Kemiska ämnen i inomhusluften avgivna från ytmaterial i byggnader är alltså naturligt och kan variera med årstiden.

Till följd av dagens högt uppdrivna arbetstempo och i vissa fall ianspråktagande av fuktbelastad mark, t ex gammal åkermark, inträffar stundtals att materialens naturliga avgivning förstärks och ytterligare ämnen kan nybildas. Två huvudsakliga principer kan nämnas: en kemisk och en mikrobiologisk.

Den kemiska vägen följer en välkänd reaktionsväg benämnd hydrolys. Tillgången till vatten är ”bränslet” i reaktionen och pH-värden lägre eller högre än 7 är ”turbon”. I byggnadskonstruktioner av betong med förhöjd fukthalt är den **alkaliska esterhydrolysen** vanligt förekommande. Vid denna reaktion sönderfaller estern (en kondensationsprodukt mellan en syra och en alkohol) i sina beståndsdelar. Den återbildade syran reagerar momentant med alkali i betongen och binds där. Alkohol delen, som oftast är flyktig, kommer däremot att avgas till omgivande luft. I konstruktioner med pH-värde i närheten av 7, t ex i träkonstruktioner, är esterhydrolysen knappt märkbar. En mer utförlig beskrivning av den alkaliska esterhydrolysens betydelse för inomhusluftens kemiska sammansättning ges i senare i denna skrift.

1-butanol (synonymt med n-butanol), isobutanol (synonymt med 2-metylpropanol) och 2-etyl-hexanol är några vanliga alkoholer som uppkommer genom alkalisk esterhydrolys.

Ämnen som uppkommer genom mikrobiell aktivitet är starkt beroende av vilka arter av mikroorganismer som förekommer samt vilka substrat (synonymt med näringsmedel, t ex cellulosa) som finns på det fuktiga stället. Därigenom kan en lång rad av nya kemiska ämnen uppstå genom mikroorganismernas metabolisering av substrat. Genom organismernas benägenhet att snabbt föröka sig vid gynnsamma betingelser, oftast tillgång till fukt, uppkommer snabbt mätbara halter av organiska ämnen, särskilt inom de kemiska klasserna aldehyder, ketoner och alkoholer. I vissa fall kan även svavelhaltiga ämnen av typ mono-, di- och trisulfider samt kväveföreningar främst aminer bildas.

Vilka kemiska ämnen förekommer i ökad utsträckning i miljöer med hög fukthalt?

Vid diskussioner om kemiska ämnen i inomhusluften används ofta begreppen VVOC (very volatile organic compounds), VOC (volatile organic compounds), SVOC (semi volatile organic compounds), POM (particulate organic matter) och samlingsbegreppet TVOC (total volatile organic compounds). Observera att TVOC endast står för summan av VOC. Ibland används begreppet för allt man hittar vid den gaskromatografiska analysen, men detta är felaktigt. Nedan anges temperaturgränser för de olika klasserna

VVOC	ämnen med kokpunkter under ca +50 °C
VOC	ämnen med kokpunkter i intervallet +50 - +290 °C
SVOC	ämnen med kokpunkter i intervallet +290 - +390 °C
POM	ämnen med kokpunkter över ca +390 °C

Nedan ges en uppräknig över vanliga ämnen som förekommer i inomhusluften i ökad utsträckning på grund av förhöjd fukthalt i konstruktionen:

VVOC	<i>formaldehyd</i> , genom fuktassisterad sönderdelning av karbamidlim <i>acetaldehyd</i> <i>propanal</i>
VOC	<i>alifatiska kolväten</i> med 6 till ca 20 kolatomer <i>aromatiska kolväten</i> , särskilt toluen, xylen och trimetylben-sener, i vissa fall naftalen <i>aldehyder</i> med 4 till ca 12 kolatomer (butanal-dodekanal). Även aromatiska, t ex furfural <i>ketoner</i> <i>alkoholer</i> med 3 till ca 14 kolatomer (propanol-tetradekanol). Även aromatiska, t ex fenol <i>alifatiska karbonsyror</i> med 2 till ca 10 kolatomer (ättiksyra-dekansyra) <i>terpener</i> , särskilt α - och β -pinen, limonen och Δ -3-karen <i>glykoletrar</i> , särskilt propylenglykol, dietoxyetanol och dibu-toxyetanol <i>glykoleteracetater</i> , särskilt dietoxyetanolacetat
SVOC	<i>ftalater</i> (mjukgörare i vissa plastmaterial) från metyl- upp till nonylftalat
Övrigt	ammoniak och orto-aminoacetofenon genom sönderdelning av självtvjtjämnannde portlandcementbaserade spackel med tillsats av kasein eller annat protein.

De flesta ovannämnda ämnen finns från början i byggmaterialen men deras avgivningshastighet förstärks då fukt tillkommer.

De mikrobiologiskt producerade kemiska ämnen man brukar associera med förhöjd fukthalt tillhör samma grupper som nämnts ovan. Vissa av ämnena, t ex de lägre alkoholerna, förekommer direkt i produkterna men kan också uppkomma genom såväl kemisk som mikrobiologisk process. Mikrobiellt producerade VOC förekommer oftast i mycket lägre halter i inomhusluften och kräver i allmänhet särskilda provtagnings- och analysmetoder. Ett ofta förekommande ämne vid mikrobiell nedbrytning är geosmin som bildas av jordbakterien *Streptomyces*. Geosmin är ett kraftigt luktande ämne och lukten brukar liknas vid potatiskällarlukt.

Kan man med tekniska mätningar påvisa olika tänkbara källor i miljön?

Det är svårt och i de flesta fall omöjligt att göra direktvisande mätningar, dvs att med något mätinstrument direkt erhålla svar på typ och koncentration av enskilda organiska ämnen i inomhusluft varför man är hänvisad till någon typ av anrikningsförfarande med åtföljande analys på laboratorium. Liksom i flera andra fall av mätningar saknas accepterade provtagnings- och analysmetoder, vilket resulterar i att laboratorier har utvecklat egna metoder. Jämförelsen av resultat från två eller flera laboratorier kan därför vara problematisk. Inom den internationella standardiseringsorganisationen ISO pågår ett arbete som förväntas ge en standardmetod för både provtagnings- och analysmetod förhoppningsvis under innevarande år.

Ett annat krav är att de som analyserar måste ha ingående kunskaper om olika materials beståndsdelar. Viss information erhålls ur varuinformationsbladet för respektive produkt. Den rådande lagstiftningen lämnar emellertid öppet för producenten att helt utelämna ämnen som förekommer i små halter såvida ämnena inte är extremt giftiga. Det kan därför vara mycket svårt för den som skall genomföra en provtagning och analys av en viss inomhusmiljö att veta dels vilken anrikningsmetod och dels analysmetod som skall användas. Oftast används anrikning på polymer, t ex på Tenax® eller Porapac® men vare sig dessa eller någon annan adsorbent är generell, dvs har förmåga att fånga alla i luften förekommande ämnen. Tenax® är den mest använda men denna har några nackdelar. Den lämpar sig för ämnen inom VOC-området men är inte ideal för att kvantitativt anrika ämnen innehållande halogener, svavel- eller kväveatomer.

Ett tredje område av betydelse är att undersökaren måste ha kännedom om vilka kemiska och mikrobiella reaktionsvägar som kan förekomma då byggmaterial kommer i kontakt med fukt. Ett klassiskt exempel är ammoniakproduktion då proteiner utsätts för alkalisk fukt. Varje kemist känner till att proteiner hydrolyseras i alkalisk miljö. Sidokedjor i aminosyrorna med aminogrupeer i proteinet kommer att omvandlas till ammoniak, som bortgår som gas. Vid höga pH-värden, som på betonggolv, kommer även peptidbindningen, som binder samman de olika aminosyrorna i en för varje protein unik sekvens, att sönderdelas med ammoniakproduktion som följd.

En annan vanlig reaktionsväg är den ovan nämnda alkaliska esterhydrolysen, där en ester sönderdelas i sina utgångsprodukter. Vid höga pH-värden är reaktionen ”blixtnabb” så länge det finns tillgång till vatten i vätskeform. Olika lim för PVC- och linoleummattor samt vanliga mjukgörare i PVC-mattor är exempel på estrar. Det har därför blivit rutin att via mätningar av t ex 1-butanol och 2-etylhexanol dra slutsatser om fukt-påverkan på golvkonstruktionen.

Många omättade syror, t ex linolsyra i linoleum och linoljebaserad färg, oxideras av luftens syre. Vid denna process kan betydande mängder aldehyder, ofta i intervallet $C_6 - C_{10}$, avgå till luften. Denna oxidation är inte särskilt snabb. En nystruken linoljefärg avger aldehyder i klart påvisbara halter upp till några månader efter applicering. En linoleummatta har trots mognadsprocessen hos tillverkaren påvisbar avgivning av aldehyder under många månader. Genom att dessa ämnen har en viss slemhinneirritativ effekt kan de vara av särskild betydelse.

Med tekniska mätningar av inomhusluften är det alltså fullt möjligt att påvisa källor i miljön men det kräver kunskaper!

Vilken nytta har man av att mäta kemien i en fuktskadad miljö och var skall man mäta?

Många mätningar av inomhusluftens innehåll av kemiska ämnen genomförs för att kunna förklara varför någon eller några personer i miljön har drabbats av hälsoproblem. De vetenskapliga studier med alkoholer och aldehyder som genomförts pekar dock mot att det för grupper av personer inte finns något samband mellan irritation i nässlemhinna och koncentration av ovannämnda ämnen i de nivåer vi brukar uppmäta. För merparten andra ämnen liksom för övriga målorgan har inga studier utförts. För den enskilde personen är det ytterligare svårare att fastställa samband. Slutsatsen måste därför bli att mätning av koncentrationen av kemiska ämnen i rumsluft för att förklara hälsoproblem i dagsläget inte är en möjlig väg.

Dock kan man ur teknisk synvinkel göra en eller flera mätningar för att fastställa om något eller några material har varit eller är utsatta för sådan fukthalt att den kritiska fuktnivån överskrids. Antag att man har ett fall av misstänkt fuktproblem med en färg på vägg. Var mäter man? Med kännedom om färgens innehåll av kemiska ämnen och vilket underlag den

är applicerad på torde det vara bäst att genomföra en mätning av avgången av kemiska ämnen från färgytan. Tillämpa då ENV 13419 (europeisk förstandard) som beskriver en metod att med ovandelen till FLEC (FLEC=Field and Laboratory Emission Cell) bestämma avgivnings-hastigheten för de ämnen som avgår från färgen. Med ledning av värdet kan man dels beräkna vilket bidrag emissionen från väggfärgen ger till inomhusluften och dels om det skall föranleda någon åtgärd. Motsvarande mätteknik är att föredra vid misstänkt fuktpåverkan på golvbeläggning.

På konsultmarknaden förekommer ett utbud av mätning av emissionen med exsickatorlock (ungefär som en ostkupa). Denna metod ger värden som kan jämföras inbördes men ingen vägledning i vad mån avgivningen ger bidrag till inomhusluften. Avsaknaden av ”normalvärden”, dvs värden vid normala förhållanden gör det svårt att tolka erhållna resultat.

Ett annat, billigare och snabbare sätt är att med utgångspunkt från ett materialprov göra en förenklad sensorisk analys. I första skedet innebär detta att ett antal tränade personer genom att lukta på materialet bedömer lukstens art och intensitet. I tveksamma fall kan man genomföra avancerade kemiska analyser för att exakt bestämma vilka ämnen och i vilka halter som avges. Tyvärr är detta sätt i dagsläget inte accepterat av beställare.

I fall av förmodad mikrobiell aktivitet torde det vara ännu viktigare att en eventuell analys genomförs på det material som misstänks vara påverkat i stället för att mäta i rumsluften. Rumsluften innehåller ämnen som kan komma från många andra naturliga källor, såsom fuktiga kläder, fuktiga blomkrukor eller vid bakning.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att nyttan med mätning av kemin i en fuktskadad miljö är av teknisk natur för att avgöra eventuellt byte. Hälsomässiga slutsatser kan inte dras annat än i extrema fall. En emissionsmätning är att föredra framför en rumsluftmätning. Använd standardiserade metoder då sådana finns, eftersom man kan tolka resultaten och möjliggöra jämförelser med andra mätningar.

Nyttan av mögel-/bakterieprovtagning på material vid skadentredningar

Nils Hallenberg

Det mikrobiella livet. Mikroorganismer är ett samlande begrepp för livsformer som är så små att vi oftast inte kan uppfatta dem utan hjälpmedel. Ibland kan de förekomma i stora ansamlingar och bli högst påtagliga, som t.ex. en brödbit som blivit grön av mögel och som ryker av sporer när vi tar upp den, eller när bakterier gjort mjölken sur och luktar illa. För det mesta märker vi dock inte av dem, trots att de spelar en sådan oerhört stor roll i naturens kretslopp. Bland mikroorganismerna spelar svampar och bakterier den ojämförligt viktigaste rollen. Tillsammans står de för ca 90 % av all nedbrytning av organiska ämnen på jorden – om man bortser från människans förbränning av kolföreningar. Det finns alltså all anledning att närmare bekanta sig med de livsmönster som dessa mikroorganismer uppvisar, inte minst för att vi bättre skall förstå vad som kan hända i ett fuktskadat hus.

De kan vara oerhört små – men varje individ eller koloni har en inneboende förmåga till obegränsad tillväxt. Medan en ordinär sytråd kan ha en tjocklek på ca 3/10 mm så är en svamphyf 50-150 gånger tunnare och dessutom är svamphyforna ofta ofärgade. Bakterier är ofta mindre än 1/1000 mm. Svamphyfer förgrenar sig rikligt och varje liten hyfspets växer mot optimala levnadsbetingelser i sin närhet. Under gynnsamma förhållanden kan en spor – med en diameter på mindre än 5/1000 mm – växa ut till ett svampmycel på flera cm under några dagar. Samtidigt produceras miljontals sporer som var för sig kan börja samma process i närområdet. Bakterier och svampar sprider sig effektivt i luften och de finns därför praktiskt taget överallt. Massförekomster av mikroorganismer kan förväntas då dött organiskt material utsätts för nedfuktning under en längre tid - något som kan inträffa i fuktskadade hus.

Både svampar och bakterier är beroende av fukt för sin tillväxt – men de kan också uthärda långa torrperioder. Är en konstruktion betryggande torr ($RH < ca\ 75\ %$) kommer de successivt att dö, men det är en stor variation mellan olika arter hur länge de kan hålla sig vid liv i någon form av vilstadium.

I den värld de lever finns en hård konkurrens om födan mellan olika arter och individer. I kampen för tillvaron bekämpar de varandra med olika kemiska ämnen – ämnen som ofta är av samma typ som den antibiotika vi använder inom medicinen. Vi har ju lärt oss bekämpa

bakterier och svampar genom att studera hur de själva gör. Bland dessa kemiska ämnen kan det även finnas mycket farliga toxiner, vilket gör att möjligen livsmedel är otjänliga som föda.

Den föda som svampar och bakterier själva behöver för sin fortlevnad utgörs rent allmänt av organiska ämnen som i sin tur byggts upp av andra levande organismer. I byggnadskonstruktioner tänker man ofta på trä och träbaserade produkter som den naturliga födobasen, men genom sin litenhet kan mikroorganismerna hitta erforderlig näring även i material som inte förefaller vara av organiskt ursprung: betong, mineralullsisolering, samt målade ytor är sådana konstruktionsdelar där man också påträffar mikroorganismer. Förmodligen kan det vara tillräckligt med de ämnen som finns lösta i den tillförda fukten för att processen skall komma igång. När en byggnadskonstruktion utsätts för nedfuktning blir tillväxt av mikroorganismer en naturlig konsekvens. Beroende på mängden och varaktigheten hos nedfuktningen, liksom temperatur och typ av näring, kommer många arter att starta sin tillväxt. Det förefaller vara en tillfällighet vilka arter som växer snabbast i en bestämd situation – och därigenom blir dominerande på materialytan. Efter en tid förändrar sig den mikrobiella bilden och nya ockupanter kommer successivt att få en betydelse i den mikrobiella nedbrytningen. Det är i praktiken omöjligt att förutse vilka arter som kommer att växa ut på en fuktskadad materialyta, men erfarenhetsmässigt vet vi i alla fall något om vad slags mikroorganismer som vanligtvis dominerar i vissa situationer. Vid en analys av den mikrobiella förekomsten på en materialyta har därför en klassifikationsmodell arbetats ut vid Botaniska institutionen, Göteborgs universitet. Syftet med klassifikationen är att ge en bild av de mikrobiella processer som pågår rent funktionellt, samt att särskilt beakta de fåtaliga arter/artgrupper som bedöms vara hälsovådliga.

Klassifikation av mikroorganismer – en praktisk systematik för dagligt bruk. Från en funktionell utgångspunkt kan en första indelning av mikroorganismerna basera sig på hur själva livsformen ser ut; om de tillväxer med knoppning eller om de tillväxer genom hyftillväxt.

Till de **knoppande mikroorganismerna** hör bakterier, samt de många gånger större jästsvamparna. Vid tillväxt delar sig cellen och varje del fortsätter sitt liv var för sig. Den här livsformen rymmer inga speciella

sporbildningsstrukturer utan de enskilda cellerna sprids i allmänhet genom att de fastnar på andra partiklar (damm, små vattendroppar o. likn.) som i sin tur sprids med vinden. De knoppande mikroorganismerna behöver mycket fukt för att växa. Cellerna behöver leva i en våt miljö och rent praktiskt innebär det uppmätta RH-värden på 100%.

Till de **hyfbildande mikroorganismerna** hör i första hand svamparna samt vissa bakterier, s.k. actinomyceter. Hyferna söker sig aktivt mot gynnsamma fukt- och näringsförhållanden, och man påträffar hyfer även vid fuktnivåer under 100% RH. Vid speciella klimatkammarförsök har vi kunnat se tillväxt från 85% RH och uppåt. De hyfbildande mikroorganismerna har dessutom speciella sporspridningsstrukturer som gör att de effektivt kan sprida sina sporer med vinden. De hyfbildande mikroorganismerna är lättare att identifiera i mikroskopet än knoppande celler, och de börjar ge sig till känna vid lägre fuktnivåer. Hyfbildande mikroorganismer är därför huvudobjektet vid materialundersökningar avseende mikrobiell tillväxt.

I den ovan nämnda ”praktiska systematiken” delas de hyfbildande mikroorganismerna in i: actinomyceter, mögel, blånadssvamp och röt-svamp. Actinomyceterna är den organismgrupp som i de flesta fall ligger bakom den dåliga lukt som är karakteristisk för mögelhus. Begreppet ”mögel” använts inte helt i överensstämmelse med den botaniska namngivningen utan här avses alla hyfbildande svampar med undantag för röt-svampar (basidsvampar som livnär sig på nedbrytning av cellulosa). Ofta karakteriseras ”möglet” av intensiv sporbildning.

De här uppräknade kategorierna innefattar naturligtvis var för sig ett stort antal olika arter. I de allra flesta fall är våra kunskaper helt otillräckliga för att vi närmare skall kunna uttala oss om betydelsen av om den ena eller andra arten förekommer i konstruktionen. I ett fåtal fall kan vi ge information om att arten kan sättas i samband med hälsorisker. När det gäller träförstörande röt-svampar är det nödvändigt att ge exakt besked huruvida äkta hussvamp förekommer i en svampskada eftersom saneringsåtgärderna blir annorlunda jämfört med andra röt-svampar.

I vilka situationer bör man genomföra mögel- och bakteriemätningar på material?

Mögel- och bakteriemätningar bör göras när indikationer pekar mot massförekomst av mikroorganismer. Sådana indikationer kan vara dålig lukt, missfärgningar av material, rötskador, eller då en konstruktion utsatts för nedfuktning under en längre tid (några veckor eller mer). Gemensamt för materialundersökningar är att de vill ge oss svar på frågan hur det mikrobiella livet ser ut i provbiten eller på dess yta. Mögel- och bakterieanalyser kan vara av stort värde för att tala om var någonstans den lukthalstrande massförekomsten finns, så att vi åtgärdar rätt saker.

Massförekomst av mikroorganismer är ofta svår att bedöma med enbart en okulär besiktning som grund. Det får betraktas som en normal förekomst om provbiten utsatts för varaktig nedfuktning. Om konstruktionen därefter torkat upp finns nästan alltid den mikrobiella påväxten kvar och kan lätt diagnosticeras. Skulle däremot fuktillståndet fortfarande vara högt, kan materialundersökningen ge en indikation på hur långt nedbrytningsprocessen har nått. För trämaterial börjar angreppet som en bakterie- eller mögelskada, men rötsvampar kan efterhand göra sin entré om nedfuktningen är omfattande.

För att mögel- och bakteriemätningar skall vara meningsfulla är det nödvändigt att en noggrann fuktundersökning finns som grund. I vissa fall är fuktorsaken uppenbar, som exempelvis i samband med översvämning eller läckage. I andra fall kan periodvis återkommande nedfuktning ligga bakom problemet och då kan det vara ett rent detektivarbete att finna ut orsakssambanden. Resultat från mögel- och bakteriemätningar blir då viktiga ledtrådar.

Det finns naturligtvis situationer där mögel- och bakteriemätningar kan anses som överflödiga men ändå genomförs för att tjäna som dokumentation i samband med skadeutredningar. Om fuktorsaken är uppenbar och de konstruktionsdelar som utsatts för fukt byts ut, behövs oftast inte någon närmare analys. Det kan också finnas situationer där den mikrobiella påväxten inte behöver vara besvärande, exempelvis fläckvis mögelpåväxt på målade ytor (där man i första hand bör försöka tvätta bort möglet), eller begränsad påväxt på ytor som inte påverkar våra vistelsezoner. I följande situationer rekommenderas däremot mögel- och bakteriemätningar:

- elak lukt från konstruktionen
- rötskadade material
- yttlig påväxt på invändiga ytor i vistelsezonen
- då man är osäker på orsakssambandet mellan upplevd ohälsa och misstänkt nedfuktning i någon angränsande konstruktionsdel.

Hur förfar man vid provtagning och hur tolkar man resultat av mögel- och bakterieanalyser på material?

Mögel- och bakterieanalyser kan göras på olika sätt och ha olika syften. Mikrobiella skador utvecklas ofta i slutna konstruktioner, där även en begränsad nedfuktning leder till ett varaktigt högt fukttillstånd. För att ta ut ett materialprov måste man i regel göra en förstörande provtagning. Visserligen kan skickliga skadeutredare begränsa skadorna och göra håltagningar som är lätta att återställa eller som inte stör den inre boendemiljön, men det rör sig ändå ofta om någon form av åverkan för att kunna ta ut provet. För att undvika håltagningar finns flera metoder som bygger på att man påvisar mikrobiella skador med indirekt detektion. Dessvärre har dessa metoder allvarliga brister. Detektion med hund kan under vissa förutsättningar vara en kompletterande metod för att lokalisera en skada, men tyvärr används hundens detektion ibland som avgörande bevis för mikrobiell förekomst vilket är helt förkastligt. Mätning av luftens halt av s.k. VOC eller halter av mikrobiella partiklar (exempelvis sporer) är sällan eller aldrig en framkomlig väg för att lösa problem som har sitt ursprung i en sluten konstruktion. Att ta provet inne i en misstänkt skadad konstruktion är betydelsefullt inte enbart för mögel- och bakterieanalysen utan även för den nödvändiga fuktundersökningen.

Vid mikrobiell påväxt på invändiga ytor kan det finnas en direkt hälso-risk genom mängden sporer som tillförs inomhusluften. Denna typ av skador är dock ofta lätta att lokalisera okulärt, fuktsambanden lätta att klarlägga och lämpliga åtgärder kan snabbt vidtas. Fortsättningsvis kommer därför endast mikrobiell påväxt i slutna konstruktioner att behandlas.

Vid all provtagning för mögel- eller bakterieanalys är det viktigt att provbiten är representativ för den misstänkt skadade konstruktionen. För att finna samband mellan nedfuktning och mikrobiell påväxt är det

viktigt att proverna tas i en sådan del av konstruktionen där möjligheten för påväxt är så gynnsam som möjligt. Ofta innebär det att materialprovet tas i den kallaste delen där RH-värdet är som högst. Olika material får dessutom olika lätt en mikrobiell påväxt vid en nedfuktningssituation. Material som lätt får mögelangrepp vid förhållandevis låga fuktnivåer är furusplint, samt olika typer av träbaserade skivmaterial (exempelvis kryssfäner, spånskiva, asfaboard). Mindre möglingsbenägenhet återfinns hos exempelvis mineralullsisolering, medan kärnved av furu har en ganska god resistens mot mögelangrepp vid måttlig fuktbelastning. Kemisk behandling av material kan drastiskt minska möglingsbenägenheten, men är sällan någon garanti mot fortsatt mikrobiell tillväxt vid hög fuktbelastning.

Mögel- och bakterieanalys baseras i princip på två olika typer av metoder:

1. Vid direkt mikroskopiering av materialytan kan man med stor säkerhet få en bild av den mikrobiella floran, liksom hur stor mängd (frekvens) som finns. Traditionellt beräknas frekvensen enligt ett klassningssystem, där sparsam påväxt utgör ett normaltillstånd och riklig eller mycket riklig tillväxt anger att massförekomst har utvecklats. Vid direkt mikroskopiering får man besked om frekvensen hos de kategorier som nämnts ovan under ”praktisk systematik”. Provtagningen är enkel genom att det uttagna provet (som typiskt är ca 2x5 cm) inte behöver hanteras lika noggrant som vid ”steril provtagning” (se nedan). Den mikrobiella påväxt som finns på materialytan vid provtagningstillfället finns kvar även vid den senare analysen. En förutsättning är att provet inte utsätts för ytterligare nedfuktning och att provytan bevaras intakt. Provet placeras därför i papperspåse och skickas för analys med post. En nackdel med denna metod är svårigheten att göra exakta artbestämningar vad gäller bakterier och mögel, medan däremot rötsvampar i regel kan klassificeras till art. Den stora fördelen ligger i att allt mikrobiellt liv kan detekteras.
2. Steril uttagning av prover krävs om provet skall användas till odling av de mikroorganismer som kan finnas på materialytan. En hög noggrannhet krävs vid provuttaget för att provytan inte skall besmittas (kontamineras). Verktyg som används vid provtagningen skall dessförinnan desinficeras med sprit och det uttagna provet för-

varas i steril, sluten behållare. På laboratoriet exponeras provet mot ett näringsmedium så att de mikroorganismer som finns på ytan börjar växa. Renodlade svampar eller bakterier kan sedan artbestämmas ("typas"). Ett problem med odlingsmetoden är att tillväxtvillkoren på provytan skiljer sig från dem i odlingskålen. En del kan växa ut mycket snabbt och totalt dominera odlingskålarna medan samma art kanske visar en mycket ringa tillväxt i det aktuella provet. Vissa arter växer långsamt eller inte alls på det artificiella odlingsmediet trots att de mycket väl kan vara vitala och dominerande i själva provet.

Noggrant uttagna prover (men ej nödvändigtvis sterilt) kan även användas för s.k. vitalitetsbestämning. Detta innebär att den mikrobiella påväxten behandlas med ett särskilt ämne som gör att levande hyfer kan särskiljas från döda hyfer. Om exempelvis andelen levande hyfer är låg i förhållande till totalantalet i provet, anser man att den funna påväxten är inaktiv. Metoden är dock otillräckligt vetenskapligt dokumenterad och är särskilt dålig när det gäller att bedöma vitaliteten hos de förekommande sporer. Mögelsporer har i allmänhet betydligt högre gröningspotential än mögelhyfer och riklig förekomst av sporer är därför av betydelse när det gäller eventuella framtida angrepp.

När det gäller rötskador är angrepp av äkta hussvamp särskilt viktiga att särskilja från övriga rötskador. Specifik vitalitetsbedömning av hussvampmycel kan vara värdefull då dess mycel normalt har en hög överlevnadspotential.

För några år sedan genomförde dåvarande Statens Provningsanstalt en jämförelse mellan olika mikrobiologiska laboratorier som utför mögel- och bakterieanalyser. Okända prover skickades ut till de deltagande laboratorierna och de inlämnade analysresultaten jämfördes. Resultatet av denna jämförelse var en förbluffande hög överensstämmelse mellan olika laboratorier.

Tolkningen av ett analysresultat sätter ofta myror i huvudet hos en beställare. Ibland anges den mikrobiella förekomsten genom latinska art- eller släktnamn medan siffervärden anges som mått på frekvensen. Utan ingående mikrobiologisk kunskap kan sådan information vara svår att hantera. I de flesta fall är en klassifikation till grupp (se praktisk systematik ovan) fullt tillräcklig, men i ett fåtal fall har vi nytta av

bestämning till art eller artgrupp för hanteringen av en skada, och då skall naturligtvis sådan artbestämning ske. För det mesta kan vi däremot inte utnyttja den information som art- eller släktesbestämningar ger, helt enkelt därför att vi har för liten kunskap om de enskilda arterna och deras livsvillkor. Mest sannolikt är att det inte betyder såmycket för brukaren vilken art som förekommer på ett materialprov. I ett läge där vi skaffat oss bättre kunskap om hur olika arter uppträder i fuktskadade byggnader kan sådan detaljerad information bli av stor betydelse i detektivarbetet att finna orsakssammanhangen bakom en fuktskada. Under nuvarande förhållanden blir däremot en prioriterad uppgift för mögel- och bakterieanalyser att ange situationer med massförekomst. Laboratieförsök har tydligt visat att den mikrobiella tillväxten inte ökar gradvis på ett enkelt sätt. När fuktnivån kommit över ett tröskelvärde kommer en mikrobiell tillväxt igång och denna tillväxt är accelererande så att massförekomst snart uppnås. I analyserna betecknas massförekomst som riklig eller mycket riklig förekomst och sådan växt kan sättas i samband med nedfuktning i den aktuella konstruktionen.

Vilken nytta har man av att bestämma specifika arter av mögel och bakterier vid skadeutredningar?

Som nämndes ovan under ”praktisk systematik” kan man med direkt mikroskopiering klassificera den mikrobiella förekomsten i ett prov till en grupp. Inom varje grupp finns ett mycket stort antal arter som var för sig kan identifieras med hjälp av mikroskopiskt utseende, specifika odlingsegenskaper, eller innehåll av specifika kemiska ämnen. Det finns också ett fåtal arter som kännetecknas av en specifik ekologi. På de flesta typer av byggnadsmaterial kan ett mycket stort antal arter förekomma och när vi kommer till den faktiska situationen med massutveckling av en enstaka art, så är slumpen den bästa förklaringen till att just den arten fick en sådan dominans.

I samband med utredningar kring en fuktskada i en sluten konstruktion, är det sällan som man behöver mer kunskap om de förekommande svamparna och bakterierna, än till vilken grupp de kan föras, samt om de är rikligt förekommande. Endast ett fåtal arter eller artgrupper kan pekats ut som ”särskilt ohälsosamma”. Ett exempel är *Stachybotrys chartarum*. Arten är lätt att identifiera i mikroskop, samt har en tydlig preferens för fuktskadade gipsskivor och tapeter, men det är långt ifrån den enda som trivs i den miljön. *Stachybotrys chartarum* brukar besk-

rivas som en svamp som är både mutagen, toxisk och nedsätter immunförsvaret. Faktum kvarstår dock att säkra indikationer på ohälsa från denna art knappast går att finna bland dem som vistats i mikrobiellt drabbade hus i vårt land, men självfallet skall försiktighetsåtgärder vidtas när det finns indikationer på massförekomst av *S. chartarum*.

Även övriga svampar kan tänkas påverka vår hälsa i samband med massförekomst, men vår kunskap om detta är liten. För de flesta studerade svamparter som påträffas i byggnader har vi helt enkelt inte kunnat hitta specifika kemiska ämnen som kunnat sättas i samband med människors ohälsa. Eftersom de flesta mikrobiella skador inträffar i slutna konstruktioner utan direkt kontakt med vår vistelsezon, kommer vi heller inte i kontakt med partiklar från dessa mikroorganismer. Som mest påtagligt kan vi känna av deras närvaro i form av dålig lukt och vissa bakterier, s.k. actinomyceter är särskilt uppmärksammade. I åtskilliga situationer har de kunnat påträffas i riklig mängd i fuktig mark under ett hus med krypgrund. Lukten kan tränga upp i bostaden medan de mikroorganismer som alstrar den finns under huset.

Olika arter identifieras framför allt genom sitt mikroskopiska utseende. Introducerandet av molekylära analysmetoder har visat att en stor del av de arter vi klassificerar med angivande av latinska namn i själva verket består av två eller flera "biologiska arter" som för det mänskliga ögat är oskiljbara från varandra. Sådana arter är nästan alltid nära besläktade med varandra men de har divergerat från varandra på grund av skillnader i ekologi. Just en arts ekologi är ju, vid sidan av risk för ohälsa, något vi vill veta från en materialundersökning där enskilda arter specificeras. I vissa materialundersökningar redovisas den mikrobiologiska förekomsten som "arter" eller som "ospecifik art" hörande till visst släkte (exempelvis "*Penicillium sp.*"). Eftersom hanteringen av begreppet "art" är så pass opreciserad så blir också denna del av en materialundersökning till en typ av information som inte kan användas i en skadeutredningssituation. Vill man göra en elak tolkning av sådana rapporter skulle man kunna säga att de latinska namnen sätts in för att ge rapporten en högre status – men de leder knappast till en bättre förståelse hos de personer som är satta till att tolka resultaten.

Till skillnad från mögelsvampar och bakterier är vår kunskap om enskilda rötsvamparter betydligt större, speciellt vad gäller deras ekologi. Medan mögelsvampar och bakterier livnär sig på lösliga ämnen som är associerade till veden, så svarar rötsvamparna för direkt nedbrytning

av vedens huvudbeståndsdelar, cellulosa och lignin. Här kan ofta arttillhörigheten göras exakt genom direkt mikroskopiering och uppgifter om art kan vara av värde vid skadeutredningen. Speciellt viktigt är det att få veta huruvida rötskadan orsakats av äkta hussvamp (*Serpula lacrymans*) eller ej. Då en rötskada påträffas i en byggnad är skadan i allmänhet direkt relaterad till den konstruktionsdel som begjutits med vatten. På så vis är det enkelt att reda ut vad som är orsaken bakom en rötskada – såvida det inte rör sig om äkta hussvamp. Till skillnad från alla andra rötsvampar kan den äkta hussvampen transportera fukt – bl.a. från marken där den ofta har sitt ursprung – och orsaka virkesförstöring trots att själva fuktkällan ligger flera våningar från skadeplatsen. Svampen transporterar vattnet genom ett utvecklat rotsystem, där huvudrötterna kan vara av samma storlek och ha samma funktion som en ordinär trädgårdsslang. En ytterligare olägenhet med den äkta hussvampen är dess beroende av kalk, vilket i byggnader leder till att svampen kan etableras i grundmurar och skorstensmurar, och därifrån kan den vara svår att avlägsna. Dessbättre är våra kunskaper om denna träförstörare ganska god och om angreppet upptäcks i tid finns goda utsikter till rimlig sanering.

Ökar risken för återkommande problem om man avstår från att sanera gamla mögelskador där såväl mögelsporer som bakterier dött sedan länge och som heller inte ger ifrån sig någon dålig lukt?

En svårighet är att veta hur lång tid som skall förflyta innan en svamp skall anses död. De flesta svampar har sannolikt en ganska kortvarig grobarhet hos både sporer och mycel medan vissa mycel, exempelvis från rötsvampar, kan behålla sin vitalitet under lång tid. Vad gäller mögelsvampar som livnär sig på lösliga ämnen i veden – och inte vedens huvudbeståndsdelar – så finns säkert en begränsad livslängd på (uppskattningsvis) högst något år.

Ett annat problem i sammanhanget är det nya virke som man som alternativ tänkt sig att sätta in i utbyte mot det tidigare skadade. Vid tidigare gjorda undersökningar har det visat sig att även nyinköpt virke direkt från brädgården ofta varit utsatt för omfattande mikrobiell påverkan. I fuktkammarförsök har vi kunnat visa att kommersiellt virke börjar mögla vid samma fuktnivåer som dem vi mäter oss fram till i hus med mögelskador. Det finns heller inga studier som visar att virke med begränsad mögelpåväxt, som härrör från en tidigare fuktskada, skulle

börja mögla på nytt vid lägre fuktnivåer i samband med en återuppfuktning. Erfarenhetsmässigt finns dock en misstanke om att blånadsskadat virke lättare får ett nytt angrepp i samband med nedfuktning, jämfört med virke som för ögat ser oskadat ut. I det här sammanhang kan man peka på att man i vissa fall kan sanera en möjlig virkesyta direkt i konstruktionen (tvättning, avhyvling, kemisk behandling) utan att byta ut materialet.

Metoder för att bestämma toxiska och irriterande effekter av mögel och bakterier

Aino Nevalainen

Bakgrund

Det traditionella sättet att evaluera mikrobiologiska exponeringar i inomhusmiljöer är att bestämma koncentrationen och florans av närvarande svampar, och i några fall bakterier. Prover tagits från luft med speciella provtagningsinstrument eller från husdamm, ytor eller skadat material med relevanta tekniker. Analyserna har allmänt varit baserade på odling och identifiering av odlingsbara mikrober, dvs. de mikrobarter som växer i de förhållanden som varit i bruk. Odlingen ger en smal bild av hela mikrobfloran; enligt olika bedömningar utgör andelen endast ca 1% av totalmängden mikrober (Toivola et al. 2001).

Lite nyare metoder har använt bioassays eller bestämning av kemiska markörer av mikrobmaterial. För sådana metoder påverkar mikrobernas aktivitet eller odlingsbarhet inte resultatet, eftersom analysen är baserad på bestämning av mikrobiella komponenter. Endotoxiner eller lipopolysackarider (LPS), som är en cellväggskomponent av gram-negativa bakterier, kan mätas med en bioassay, *Limulus*-test. Detta enzymtest är kvantitativt och anger mängden LPS, som är närvarande i provet. LPS kan också analyseras med kemiska metoder, men resultatet är inte nödvändigtvis identiskt med *Limulus*-testet, eftersom den kemiska metoden bestämmer mängden av makromolekyler, medan endotoxintestet visar dess biologiska aktivitet, analyserad med bioassay (Saraf et al. 1999). På ett analogiskt sätt kan 1,3-beta-glukaner eller ergosterol användas som kemiska markörer för mögelsvampar.

Problemet med dessa analyser är att ingen av dem visats vara tillräckliga för kvantifiering av exponeringen som orsakar hälsoproblem i fuktskadade byggnader. Det viktigaste kravet på en bra metod för exponerings-evaluering är hög korrelation med hälsoeffekter, dvs att det finns dos-/responsrelation mellan det analyserade ämnet och hälsoeffekten. Detta krav kan inte fyllas med tillgängliga metoder, utan man är tvungen att använda indirekta sätt för att bestämma exponeringen.

För mikrobexponeringen gäller inte att bara mäta deras närvaro. Det gäller också att mäta den biologiska aktiviteten som går hand i hand med närvarande mikrobiologiskt material. Ett exempel är bakteriellt endotoxin (se ovan). Det är också viktigt att karakterisera dess "potential, toxicitet"

eller "biologiska aktivitet", som varierar från situation till situation. Det finns redan många bevis på att mögelsvampar och även bakterier kan producera cytotoxiska eller annars potentiella substanser när de växer på byggnadsmaterial (Tuomi et al. 2000, Nielsen et al. 1999, Murtoniemi et al. 2002). Potentialen kan vara beroende av materialet på vilket organismen växer, och därför kan samma mikrobstam ha olika egenskaper under olika förhållanden (Roponen et al. 2001). Detta kan vara en förklaring till varför luftburna mikrober verkar vara mera potenta i innemiljöer än i uteluften.

Det är svårt att mäta mykotoxiner och bakterietoxiner direkt i luften. Koncentrationerna är mycket låga, och prov där koncentrationen överskrider detektionsgränsen skulle kräva mycket långa provtagningstider. Toxiner har påvisats i t ex. husdammsprov från golvmattor (Engalhart et al. 2002). Toxiner är inte specifika för vissa mögelarter, utan samma toxin kan produceras av många arter, liksom samma mögelarter kan producera många olika toxiner. I rapporten Tuomi et al. (2000) påpekas att framodlade mikrobarter och analyserade toxiner inte överstämde särskilt väl. Uppenbart måste man utveckla metodiken vidare innan mikrobtoxiner kan mätas direkt från inneluften och exponeringen evalueras på ett relevant sätt.

Evaluering av toxicitet är inte heller enkel. Toxiska effekter kan fokuseras mot olika cellstrukturer, olika vävnader och olika djurarter kan även reagera på olika sätt. Det finns också olika mekanismer för cytotoxicitet; nekrotiska effekter förstör cellerna snabbt och totalt, medan i den apoptotiska mekanismen cellen programmerats att förstöra sig själv. Ett enkelt test att mäta toxicitet är att använda cellkulturer, exponera celler för den studerade substansen, och räkna andelen döda celler. Man kan använda olika celltyper, men ju mer lika testcellen är de celltyper som är föremål för den faktiska effekten, desto bättre kan testet förutsäga eventuella effekter. I det s.k. MTT-testet använder man t ex. makrofager, som är en celltyp i luftvägarna, och som hör till kroppens ansvarssystem mot främmande material (t.ex. Murtoniemi et al. 2001).

Mikrober och deras produkter kan ge andra effekter än akut toxicitet. De kan inducera en inflammationsreaktion, som gör celler att cellerna producerar specifika markörer. Man kan observera sådana effekter genom att mäta koncentrationen av dessa markörer. Exempel av ämnen som deltar i inflammationsreaktioner är NO (kväveoxid), interleukinerna IL-1 och IL-6

samt ”tumor necrosis factor alfa”, TNFalfa. Dessa reaktioner är relevanta ur hälsosynpunkt, eftersom de exponerades symtom och astma ofta är konsekvenser av inflammation (Barnes et al. 1998). Liknande respons har även visats med humanmakrofager och epitelceller samt i musmodell (Huttunen et al. 2003, Jussila et al. 2001, 2002). Mikrobarter som verkar ha särskilt stark förmåga att inducera inflammation är bakterier; både gramnegativa bakterier vars endotoxin är en välkänd inflammatorisk agens, men även streptomyceter, som är grampositiva, sporformande bakterier, har en anmärkningsvärd potential (Hirvonen et al 1997). Båda bakterietyperna hade högre inflammatorisk potential än två mögelsvampar, *Aspergillus versicolor* eller *Stachybotrys chartarum* (Huttunen et al. 2003).

Irritationseffekter kan vara en mekanism bakom symtom hos exponerade i fuktiga hus. Irritation är ofta resultatet av exponering för flyktiga ämnen (Alarie 1973). I fuktiga hus finns det tiotals substanser som är typiska MVOC-ämnena, dvs. ämnen från mikrobiologisk metabolism och som vanligen orsakar s.k. mögel- eller källarlukt (Wessén och Schoeps, 1996, Wilkins och Larsen 1995). Å andra sidan är de flesta av dessa ämnen inte specifika för mikrobiell metabolism, utan kan ha andra källor i innemiljön. Därför är det svårt att definiera specifika indikatorämnen vars närvaro skulle tala för mögelväxt. Irritationseffekten kan testas med t.ex. ett mustest, men resultatet av sådana tester har inte talat för att MVOC-ämnena skulle vara kausala för symptomutveckling i koncentrationer som observeras i fuktiga hus (Korpi et al. 1999).

Molekylärbioologiska metoder har också tillämpats för snabb och specifik detektion av patogena organismer och mikrotoxiner, som är potentiella vapen för bioterrorism. Utvecklingen har varit mycket snabb under de senaste tio åren. Dessa metoder är baserade på direkt provtagning och online-analys med PCR- eller antigendetektion, biosensor eller kombinationer därav. Tillämpningarna är fokuserade på välkända patogener och mykotoxiner, men de flesta metoderna kan också användas civilt och man kan vänta en relativt snabb metodutveckling för specifik detektion av nämnda organismer. För tillfället har man inte tillräckligt kunskap om vilka organismer i fuktiga hus som skulle vara av värde att detektera.

Vilka nya metoder finns för bestämning av egenskaper hos olika mögel- och bakteriestammar?

De nyaste forskningsresultaten har visat, att man kan karakterisera icke-patogena (icke-infektiösa) mikroarters toxicitet och annan biologisk potential med t.ex. *in vitro*-metoder. Metoderna är baserade på cellkulturer, t.ex. musmakrofager, som visats ge en sensitiv modell för luftvägseffekter, eller humancellsinjer. Med dessa modeller kan man jämföra och evaluera cytotoxicitet och inflammatorisk potential hos olika mögel- och bakteriearter.

Vad gäller för användbarheten av dessa inom forskning och praktiskt utförda skadeutredningar?

Metoderna är baserade på cellkulturer och sensitiva analyser, som kräver bra beredskap vid laboratoriet. De har använts huvudsakligen för forskning, och de har inte ännu validerats för rutinfältprovning eller skadeutredningar. Preliminärt arbete har visat lovande möjligheter för sådana tillämpningar, och sannolikt kan de vara användbara för praktiskt arbete inom 2-3 år.

Vilka metoder kommer att bli mest användbara vid skadeutredningar i framtiden och vilka krav kommer man att ställa på provtagning och analys?

In vitro-metoder som används till karakterisering och kvantifiering av cytotoxicitet och inflammatorisk potential kommer att vara ett viktigt alternativ till kemiska analyser av toxiner och andra skadliga ämnen. De ger en översikt över provets biologiska potential. För praktiska skadeutredningar måste man ha mera kunskap om metodernas validitet innan man vet, om en förhöjd biologisk potential i praktiken kan knytas till boendes eller arbetstagares symtom och hälsoproblem. Å andra sidan är det möjligt att analysera mögelväxtens egenskaper direkt i fältprov. Därför skulle en fältarbetare kunna ta prov på byggnadsmaterial eller mögelväxt enligt laboratoriets instruktioner och skicka detta via post.

En annan framtidsvision är att man genom molekylärbiologiska metoder direkt från ett fältprov kan avgöra om mikrofloran i provet är normal eller har ovanlig sammansättning. Efter det besvärliga utvecklingsarbetet skulle man kunna nå en anmärkningsvärd kapacitet med de nya teknikerna. PCR-metoderna som fokuseras mot att identifiera en viss specifik organism, har under de senaste åren utvecklats för detektion av ämnen för bioterrorism.

Många eleganta applikationer, t ex. PCR kombinerad med antigen-identifiering, har utvecklats för både bakterier, vissa virustyper och mykotoxiner. Här omnämnda teknologier skulle kunna vara viktiga vid civil användning, men då krävs ytterligare utveckling vad avser miljö-mikroberna.

Referenser

Barnes PJ, Chung KF, Page CP. Inflammatory mediators of asthma: An update. *Pharmacol Rev* 1998;50:515-596.

Engelhart S, Looock A, Skutlarek D, Sagunski H, Lommel A, Farber H, Exner M. Occurrence of toxigenic *Aspergillus versicolor* isolates and sterigmatocystin in carpet dust from damp indoor environments. *Appl Environ Microbiol* 2002;68(8):3886-3890.

Hirvonen M-R, Nevalainen A, Makkonen N, Mönkkönen J, Savolainen K. Induced production of nitric oxide, tumor necrosis factor, and interleukin-6 in RAW 264.7 macrophages by *Streptomyces* from indoor air of moldy houses. *Arch Environ Health* 1997;52(6):426-432.

Huttunen K, Hyvärinen A, Nevalainen A, Komulainen H, Hirvonen M-R. More intense production of proinflammatory mediators by indoor air bacteria than fungal spores in mouse and human cell lines. *Environ Health Persp* 2003;111(1):85-92.

Jussila J, Komulainen H, Huttunen K, Roponen M, Hälinen A, Hyvärinen A, Kosma V-M, Pelkonen J, Hirvonen M-R. Inflammatory responses in mice after intratracheal instillation of spores of *Streptomyces californicus* isolated from indoor air of a moldy building. *Toxicol Appl Pharmacol* 2001;171:61-69.

Jussila J, Komulainen H, Kosma V-M, Nevalainen A, Pelkonen J, Hirvonen M-R. Spores of *Aspergillus versicolor* isolated from indoor air of a moisture-damaged building provoke acute inflammation in mouse lungs. *Inhalation Toxicology* 2002;14:1261-1277.

Murtoniemi T, Nevalainen A, Suutari M, Toivola M, Komulainen H, Hirvonen M-R. Induction of cytotoxicity and production of inflammatory mediators in RAW264.7 macrophages by spores grown on six different plasterboards. *Inhalation Toxicology* 2001;13:233-247.

Nielsen KF, Gravesen S, Nielsen PA, Andersen P, Thrane U, Frisvad JC. Production of mycotoxins on artificially and naturally infested building materials. *Mycopathologia* 1999;145:43-56.

Roponen M, Toivola M, Meklin T, Ruotsalainen M, Komulainen H, Nevalainen A, Hirvonen M-R. Differences in inflammatory responses and cytotoxicity in RAW264.7 macrophages induced by *Streptomyces anulatus* grown on different building materials. *Indoor Air* 2001;11:179-184.

Saraf A, Park JH, Milton DK, Larsson L. Use of quadrupole GC-MS and ion trap GC-MS-MS for determining 3-hydroxy fatty acids in settled house dust: relation to endotoxin activity. *J Env Monit* 1999;1(2):163-168.

Toivola M, Alm S, Reponen T, Kolari S, Nevalainen A. Personal exposures and microenvironmental concentrations of particles and bioaerosols. *J Environ Monit* 2002;4:166-174.

Tuomi T, Reijula K, Johnsson T, Hemminki K, Hintikka EL, Lindroos O, Kalso S, Koukila-Kähkölä P, Mussalo-Rauhamaa H, Haahtela T. Mycotoxins in crude building materials from water-damaged buildings. *Appl Env Microbiol* 2000;66(5):1899-1904.

Wessén B, Schoeps K-O. Microbial volatile organic compounds – what substances can be found in sick buildings? *Analyst* 1996;121:1203-1205

Wilkins K, Larsen K. Variation of volatile organic compound patterns of mold species from damp buildings. *Chemosphere* 1995;31:3225-3236

Slemhinnepåverkan i miljöer med dåligt inneklimat

Stig Rudblad

Bristande ventilation och fukt utgör ofta bakomliggande orsaker till rapporterade klagomål från personer som vistas i icke industriella byggnader såsom daghem och skolor. Symptomen som rapporteras är vanligen ospecifika, men innefattar ofta symptom från övre luftvägar, ögon och hud, förutom allmänsymptom i form av huvudvärk, trötthet och koncentrationssvårigheter. Symptombilden påverkas utöver aktuell exponering också av olika psykosociala faktorer. Det finns därför ett behov av att också på ett objektivt sätt kunna registrera effekterna av exponeringen. När det gäller de övre luftvägarna har på senare år ett antal metoder använts för att registrera ögon- och nässlemhinnans reaktivitet i olika inomhusmiljöer. Luftburna kemiska substanser ger upphov till sensorisk nervstimulering som i sin tur orsakar inflammation i nässlemhinnan. Inflammationen utlöser försvarsmekanismer som nysningar, sekretion och nästäppa. Vid långvarig lågdosexponering ersätts de akuta symptomen av en mer diffus bild med t.ex. torrhetkänsla och måttlig nästäppa.

Vad har vi för möjligheter att mäta slemhinnepåverkan med objektiva mätmetoder?

Okulära metoder

Provokation med koldioxid har använts för att mäta n.trigeminus känslighet i ögonen (1). Förekomst av neutrofila granulocyter som ett mått på inflammation kan studeras via *uppsugning av tårvätska* med en liten pipett under ögonlocket. Ökad mängd avstötta celler i uppsugen tårvätska talar här för epitelskada (2,3). Andra metoder inkluderar *fotografisk mätning* av ögonrodnad, uppskattning av *blinkfrekvens* eller mätning av tårsekretion. *Tårfilmsstabilitet* kan studeras genom att mäta den tid det tar för tårfilmen att brytas ned (BUT = break up time) med hjälp av fluorescinfärgning och oculär mikroskopi. Ett alternativ här är s.k. självrapporterad BUT där man mäter den tid som försökspersonen kan hålla ögat uppe utan smärta under betraktande av en fixerad punkt på väggen. Denna metod anses korrelera väl med fluorescinmetoden (4)

Nasala metoder

Nasal peak flow (NPF) är den enklaste metoden att mäta graden av nasal obstruktivitet. Munstycket vid bronkiell peak flow är utbytt mot en vanlig narkosmask och munnen hålls stängd vid den forcerade utandningen. Finns även som en inandningsvariant. Metoden är förhållandevis grov och kräver viss träning för att uppnå reproducerbara värden.

Rhinomanometri är en metod som funnits i många år där näsandningsmotståndet utvärderas indirekt. Man mäter luftflöde resp. lufttryck för varje näskavitet separat efter att ha pluggat den andra sidan med t.ex. en skumgummiplugg penetrerad av en kateter, som mäter trycket i näskaviteten. Via en andningsmask mätes luftflödet vid normal andning genom den öppna näskaviteten. *Rhinomanometri* är en dynamisk och känslig metod för utvärdering av näsmotståndet. Det uppmätta näsmotståndet dvs. graden av nästäppa påverkas dock av sekretbildning i näsan varför mätresultatet ej enbart är ett uttryck för graden av nasal slemhinnesvullnad.

Akustisk rhinometri utnyttjar akustisk reflektion för att bestämma en näskavitets geometriska utseende (5). Enklast kan man jämföra metoden med ekolod. En ljudstöt skickas genom ett öppet rör med en näsadapter in i näskaviteten och det reflekterade ljudet fångas upp av en mikrofon. Signalerna analyseras och digitaliseras och en tvådimensionell bild av näskaviteterna erbjuds. De minsta tvärsnittsytorna vid olika avstånd från näsöppningarna anges. Metoden kan användas t.ex före och efter avsvällning med näsdroppar som ett mått på grad av slemhinnesvullnad.

Rhinostereometri är en metod som utvecklats i Sverige och bygger på optisk reflektion (6). Patientens huvud fixeras med hjälp av en individuellt inpassad bettskena och ett stativ. En punkt på den nedre näsmusslans mediala sida fixeras med hjälp av ett operationsmikroskop. Slemhinnans svullnad kan sedan mätas på denna enda punkt med stor noggrannhet via en mätskala i objektivet t.ex efter provokation med histaminlösning. Man kan härvid få ett mått på slemhinnans reaktivitet (känslighet). Med denna utrustning kan man också föra in en mätprob för laser-Doppler ljus i en näskavitet och få en uppfattning om slemhinnans mikrocirkulation.

Nasal lavage är en metod att studera inflammatoriska effekter i näs-slemhinnan vid inandningsexponering. Efter nässköljning med isoton koksaltlösning uppsamlas vätskan för analys. Man kan utföra cytologiska analyser t.ex. av neutrofila och eosinofila granulocyter liksom av olika inflammatoriska mediatorer från nässlemhinnan. Tryptase t.ex. är en markör för mastcellsaktivering vid allergiska reaktioner och albumin en indikator

på plasma utflöde från kärlsystemet. Som alternativ till nässköljning kan nässeekret samlas upp på absorberande läskpapper eller bomullssuddar.

Ger dåligt inneklimat, exempelvis en fuktskadad miljö, upphov till påvisbar slemhinnepåverkan?

Det finns några studier där ett samband påvisats mellan belastande inomhusmiljö och påvisbar slemhinnepåverkan.

I en studie på slöjdlärare fann man vid mätning av nasala utandningsflödet en högre grad av nästäppa än hos kontrollpersoner, med gradvis minskande "nasal peak flow"-värden (PNEF) under arbetsveckan (7).

En försämrad näspassage, mätt med akustisk rhinometri, och ökning av inflammatoriska markörerna lysozymer (enzym) och ECP (markör för aktivitet av eosinofila granulocyter) observerades bland individer i skolor med rumstemperatur över 22 C och vid lågt luftombyte (8).

Kvarstående hög frekvens av slemhinnesymptom bland lärare i en nyligen renoverad vattenskadad skola föranledde från vår sida en nasal provokationsstudie med histaminlösning i stigande koncentrationer. 28 lärare från målskolan, som arbetat minst fem år på skolan före renoveringen, och 18 lärare från en kontrollskola provocerades nasalt med histamin i tre stigande koncentrationer och uppkommen slemhinnesvullnad registrerades med rhinostereometriteknik. Vi fann då en signifikant högre slemhinnekänslighet hos lärarna på målskolan jämfört med kontrollerna. (9). Vid en uppföljande undersökning tre år efter renoveringen kvarstod differensen i nasal histaminreaktivitet, dock mindre uttalad än tidigare, trots att uppföljande exponeringsmätningar inte kunde påvisa avvikelser jämfört med vad som vanligtvis uppmäts i svenska skolor (10). Tre år senare, dvs sex år efter renoveringen, kunde vi inte se någon signifikant skillnad i nasal histaminreaktivitet mellan de båda skolornas lärare. Däremot visade studier av nässlemhinnans mikrocirkulation (laser Doppler) ett avvikande mönster hos målskolans lärare med en ökad ödembenägenhet i nässlemhinnan vid histaminprovokation. En tänkbar förklaring till det långdragna förloppet kan vara en utdragen återställningsprocess i slemhinnorna efter den långvariga vistelsen i den vattenskadade skolan före renoveringen.

Vilka bakomliggande mekanismer kan man i så fall tänka sig?

Den relativa fuktigheten inomhus är avhängig av utomhusfuktigheten, varför man i nordiska länder fr.a vintertid har en låg relativ fuktighet inomhus även vid uttalade fuktskador i byggnadskonstruktionen. Det finns heller inga hållpunkter för att allergifrekvensen (= sensibiliseringen) ökar i

dessas inomhusmiljöer via t.ex ökad allergenexponering (kvalster, mögel-sporer m.m.)

Vid fukt- och mögelskador i byggnadskonstruktioner frigöres kemiska och mikrobiella emissioner från väggar,tak och/eller golv, som kan utöva en irriterande effekt på slemhinnorna. Det kan röra sig om kronisk exponering för ett flertal substanser i låg koncentration, ofta svåra att fånga upp vid ordinära exponeringsmätningar, som tillsammans utövar en effekt på luftvägarnas slemhinnor s.k. multipel kemisk exponering.

Neurala mekanismer bidrar till nasala symptom. Irritantia orsakar en sensorisk nervstimulering som direkt eller via reflexer leder till frisättning av inflammatoriska mediatorer. Dessa mediatorer kan ha en direkt effekt på körtlar och blodkärl med snuva och nästäppa som följd men kan också i sin tur påverka nervändarna i slemhinnan och framprovocera reflexmedierade nysattacker och accentuerad körtelsekretion.

Studier har också visat ett samspel i näsan mellan det olfaktoriska systemet ("luktsinnet") och det system som reagerar på irriterande substanser (via sensoriska nervus trigeminus). Relativt låga koncentrationer av irriterande ämnen, som ej borde ge "sensorisk irritation", kan t.ex. ge påtagliga subjektiva besvär p.g.a. den rena luktupplevelsen ("luktintolerans").

Referenser

1. Kjaersgaard S, Pedersen OF, Molhave L (1992) Sensitivity of the eyes to airborne irritant stimuli: influence of individual characteristics. Arch Environ Health 1:45-50.
2. Kjaersgaard S, Berglund B, Lundin L. (1993) Objective eye effects and their relation to sensory irritation in a "sick building". In Proceedings Indoor Air 93 The 6th International conference on Indoor air, quality and climate (Eds Jaakkola et al) 1, 117-123, Helsinki.
3. Wolkoff P, Johnsen CR, Franck C, Wilhardt P, Albrechtsen O (1992) A study of human reactions to office machines in a climatic chamber. J Expo Anal Environ Epidemiol (Suppl I):71-96.
4. Wyon NM, Wyon DP (1987) Measurement of acute response to draught in the eye. Acta Ophthalmol 65:385-392

5. Hilberg O, Jackson AC, Swift DL, et al. Acoustic rhinometry: Evaluation of nasal cavity geometry by acoustic reflection. *J Applied Physiol* 66:295-303, 1989
6. Juto JE, Lundberg C. An optical method for determining changes in mucosal congestion in the nose in man. *Acta Otolaryngol* 94:149-156, 1982.
7. Åhman M, Söderman E.(1996) Serial nasal peak expiratory flow measurements in woodwork teachers. *Int Arch Occup Environ Health* 68:177-182.
8. Wählinder R, Norbäck D, Wieslander G, Smedje G, Erwall C, Venge P(1998) Nasal congestion and biomarkers in nasal lavage – the significance of air exchange rate and type of ventilation in schools. *Int Arch Occup Environ Health* 71:479-486.
9. Rudblad S, Andersson K, Juto JE, et al. Nasal hyperreactivity among teachers in a school with a long history of moisture problems. *Am. J. Rhinology* 2001; 2:135-41.
10. Rudblad S, Andersson K, Bodin L, et al. Slowly decreasing mucosal hyperreactivity years after working in a school with moisture problems. *Indoor Air* 2002; 12:138-44.

Allergi, annan överkänslighet och stress – hur kopplas dessa till inomhusmiljön?

Lars Belin

Vad menas med allergi?

Hälsoproblem uppkomna i inomhusmiljön misstänks ofta bero på allergi, något som inte alltid är riktigt. Begreppet allergi är oklart för många människor. Ordet allergi används vid många olika typer av överkänslighet som ligger utanför det medicinskt definierade allergiområdet. I dagligt tal menar man med allergi rent allmänt en känslighet för en eller flera olika miljöfaktorer som människor normalt inte får några obehag eller sjukdomssymtom av. Den drabbade har ett personligt miljöproblem, som inte alltid passar in i det medicinska allergibegreppet. Att vara mer känslig än normalt, med andra ord överkänslig och reagera starkare än normalt, ofta uttryckt som ”att inte tåla”, kan bero på många olika faktorer och omständigheter, som inte har med allergi och astma och andra livshotande allergitillstånd, tex anafylaxi, att göra, men ändå leda till långvarig ohälsa. Det är dessutom vanligt att använda ordet allergi för att uttrycka aversion.

Allergispecialiserade läkare i Sverige använder därför vid sidan om allergi uttrycket ”annan överkänslighet” efter en överenskommelse vid ett stort nationellt allergimöte, som faktiskt hölls just i denna gamla ärevördiga lokal år 1983. Benämningen har för vissa människor tyvärr en negativ värdeladdning och dessa anser att det inte borde användas. För att bättre förstå att en allergiliknande överkänslighet, som beror på andra biologiska mekanismer än de som förmedlas av immunsystemet, också förekommer, är det viktigt att hålla isär begreppen. Särskilt gäller detta när vi nu diskuterar inomhusmiljön.

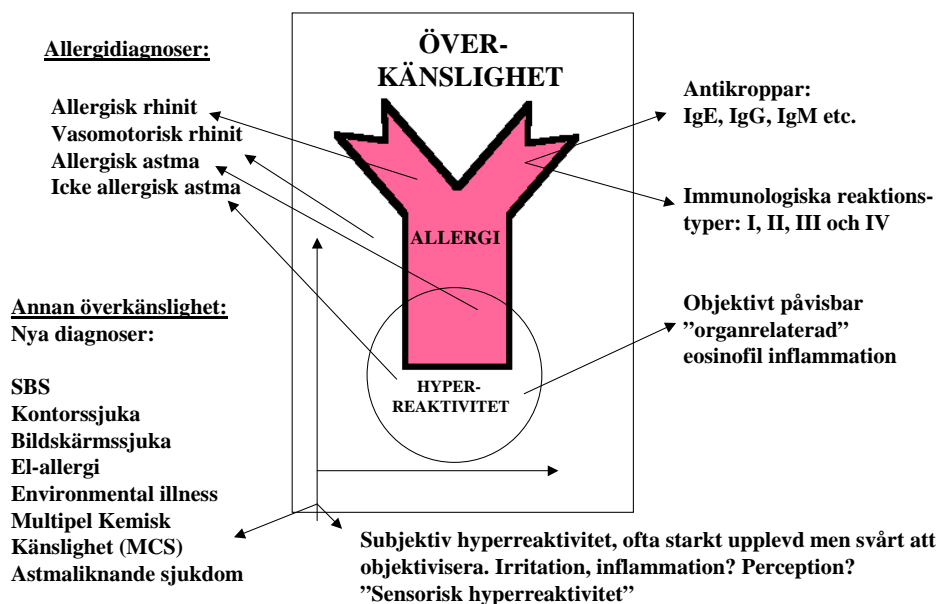
Medicinsk definition

Medicinskt sett är allergi den form av överkänslighet som uppstår genom en bakomliggande immunologisk reaktion. Därigenom begränsas möjligheten till uppkomst av allergi att endast gälla sådana ämnen, som vårt immunsystem har förmåga att känna igen och bilda s.k. IgE antikroppar mot. Ämnen med denna egenskap är i regel väldefinierbara äggviteämnen och kan inomhus komma från kvalster, kackerlackor, katter hundar kaniner och andra smådjur samt fåglar. Numera kan man påvisa och kvantitera mängden allergen från kvalster, katt, hund och hästallergen i damm och till och med i luftprover. Redan några nanogram rent kattallergen/m³, som passivt tillförts exempelvis en skolsal, kan framkalla besvär hos en kattallergiker. Mögelallergi förekommer främst hos starkt allergiska barn

som ett delfenomen i deras generella allergitendens i den tidiga barndomen. I vuxen ålder skall inom miljön vara påtagligt förorenad av luftburna mögelsporer för att allergi skall uppkomma. Däremot ses mögelallergi ibland som ett delfenomen hos de s.k. multiallergiska barnen. Enbart ”mögellukt” framkallar inte allergi, men kan ändå ge obehag och sätta i gång omfattande hälsoproblem. Bevisen för att glukaner och lättflyktiga ämnen från dolda mögelhårdar skulle ha skadlig inverkan på människan är svaga men oroande.

En kartläggning av allergi och annan överkänslighet

Hela överkänslighetsområdet kan beskrivas schematiskt utifrån den skiss som lanserades vid allergimötet i Örebro 1983. Se figur 1.



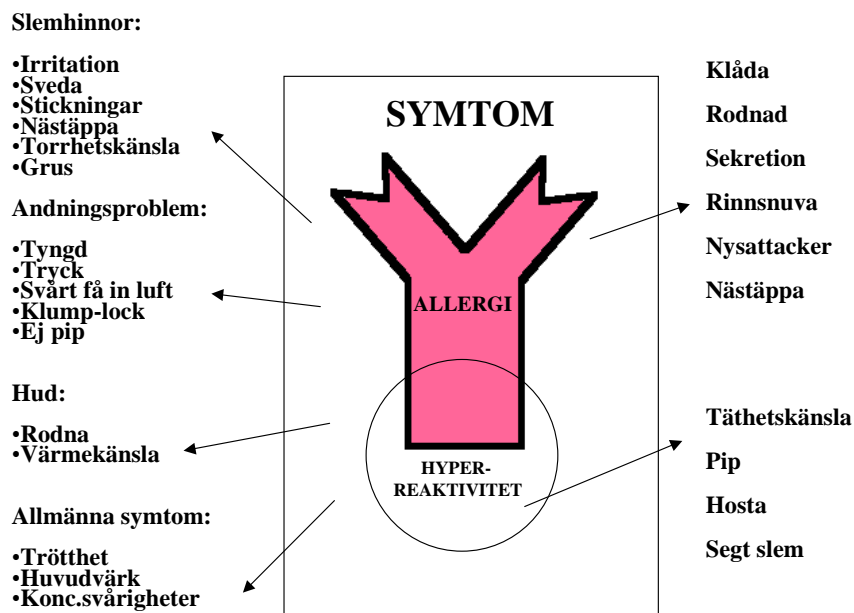
Figur 1. Olika typer av överkänslighet.

Under de 20 år som sedan gått har skissen fyllts med den ”nya, tredje vågens, - 2000-talets” sjukdomar. Alla har som gemensamma nämnare – överkänslighet! Utifrån vår kartschema kan en inventering och jämförelse mellan medicinskt definierad allergi och ”annan överkänslighet” göras. De allergiska sjukdomarna finns bara inom en del av överkänslighetsområdet,

det Y-formade området som skall föreställa en antikropp. Pilarna ut till vänster visar klassiska allergidiagnoser och till höger om rutan anges välkända komponenter såsom antikroppar och immunogiska reaktionstyper. Mycket av detta är känt och mätbart. Astmasjukdomens fysiologiska kännetecken, den speciella hyperreaktiviteten, som resulterar i bronkmuskelkramp, är också objektivt påvisbar. Den symboliseras av det cirkulära fältet i och utanför antikroppens nedre del.

Symtom - likheter och olikheter

De ”nya” diagnoser, som tillkommit inom överkänslighetsområdet, hamnar utanför dessa två fält eftersom de varken har något med antikroppar, immunologiska reaktioner eller bronkiell hyperreaktivitet att göra. Trots att överkänsligheten vid de olika syndromen ter sig delvis olika finns slående gemensamma drag. Två av dessa diagnoser, eller rättare sagt syndrom, har klar relevans för vårt tema i dag, SBS (Sick building syndrome) och MCS (Multiple Chemical Sensitivity). SBS är ett vagt och tveksamt begrepp, som förutsätter en slags kollektiv ohälsa. Enligt en av många definitioner är ett hus sjukt när mer än var 5:e individ klagar på inommiljön och anger symtom från både slemhinnor och hud samt allmänsymtom såsom trötthet, huvudvärk och koncentrationssvårigheter (1). Kritik har med rätta riktats mot att beteckningen används som en individrelaterad diagnos eftersom symtomen är synnerligen ospecifika och i tämligen stor utsträckning förekommer i en normalbefolkning utan relation till en särskild byggnad. Jämför man symtombilderna vid allergi och annan överkänslighet såsom exempelvis SBS, finner man skillnader, men också vissa likheter! Se figur 2. Det typiska vid allergisk snuva och ögonkatarr är att det rinner och kliar. Nysningar och småningom tilltagande nästäppa hör också till bilden. Vid annan överkänslighet känns slemhinnorna i ögon och näsa vanligen torra och irriterade. Nästäppa förekommer i båda fallen. Gruskänsla i ögonen var det oftast kvarstående symtomet vid en långtidsuppföljning av människor som 7 år tidigare haft SBS (2).



Figur 2. Symtom vid olika typer av överkänslighet.

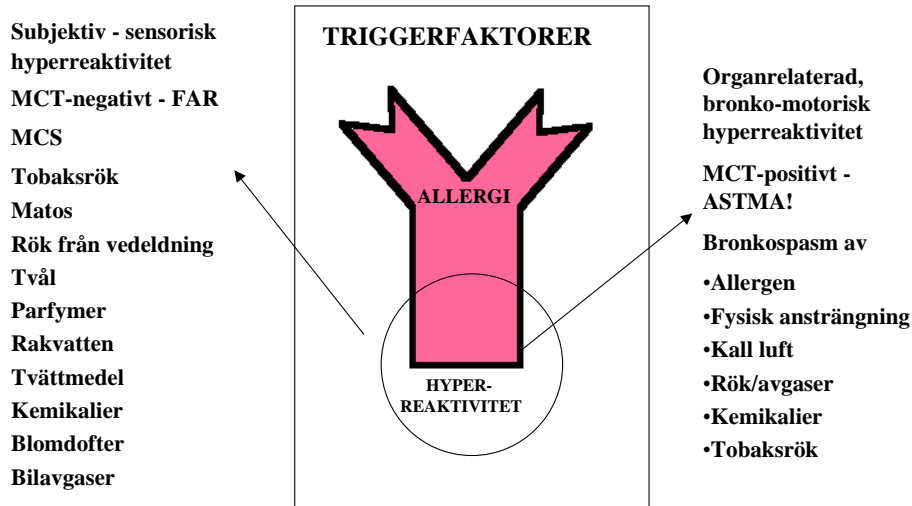
Andningsbesvär är vanliga symtom vid ”annan överkänslighet” men de framkallas av olika mekanismer vid astma och när de ingår i de nya syndromen. Det typiska vid astma är täthetskänsla med pip i bröstet. Andningsbesvären vid ”annan överkänslighet” exempelvis SBS och MCS, brukar upplevas som en tyngdkänsla i bröstet, trånghet eller klump i halsen och svårigheter att få ner luft i lungorna. Objektivt sett orsakas astmabesvären av en förträngning i luftrören. Ett stort andningsmönster utan luftrörsförträngning kan förklara besvären i det senare fallet. I stället för att höra astmatiska, pipande ljud kan man då ibland se den funktionella störningen i andningsmönstret såsom ett högt andningsläge och en snabb, stressad andningsfrekvens. Samtidigt förekommer ibland hotkänsla och panik. Denna andningstyp har sannolikt sitt ursprung i de tidigare för överlevnad betydelsefulla s.k. ”fight and flight” reaktionerna. Jämfört med astma och allergier är allmänna symtom såsom trötthet, huvudvärk, yrsel och koncentrationssvårigheter vanlig förekommande vid de nya syndromen.

Ibland kan de allmänna symtomen förklaras av patientens andningsrubbing. Tendensen till hyperventilation leder till försämrad cirkulation i vissa viktiga kärlområden bl.a. i hjärnan och på sikt en påverkan på kroppens förmåga att hålla sin inre miljö metaboliskt konstant (homeostas). Den omfattande symtombilden vid SBS, MCS och framför allt s.k. El-känslighet inkluderar även hudbesvär, särskilt rodnader och torrhetskänsla. Ibland förekommer även mag-tarm besvär av typen ”Colon irritabile” (IBS). Den stora mängden av svårförklarliga symtom från olika organsystem, gör att dessa patienter oftast skiljer sig från de som drabbas av de ”klassiska” luftvägsallergierna, astma och allergisk snuva. Både hud och mag-tarmbesvären tycks ha samband med stressinducerade störningar i de autonoma (omedvetna) nervsystem som reglerar den ytliga hudgenomblödningen och tarmens motorik.

Triggerfaktorer. SBS-→ MCS

Vissa skillnader mellan astmasjukdomen och SBS-MCS-syndromen föreligger också när det gäller symtomutlösande faktorer. Detta gäller särskilt en uttalad överkänslighet för lukter, särskilt från kemikalier, men listan på ”tål ej” ämnen är också generellt mer omfattande vid de sistnämnda tillstånden än vid astma. Se figur 3. Att fuktskador och dålig ventilation har ett samband med SBS är klart visat. Besvärande lukter av olika typ uppstår då lätt. Efter snabba, målmedvetna åtgärder mot dessa fel blir de flesta som drabbats åter besvärsfria. Orsakerna till den konfliktarena, som annars kan uppstå och hur de kan preservera SBS-symtomen, har ingående beskrivits av kollegan Åke Thörn (3). Lukternas oklara men varnande innebörd gör att SBS-drabbade i denna situation blir mentalt stressade. En process kan starta, som leder till en mer generell symtomatologi och allmän överkänslighet för all slags kemikalie- och annan lukt. Symtombilden är densamma som beskrivits för syndromet Multipel kemisk känslighet, se figur 4. Benämningen tillkom på 80-talet av en doktor Mark Cullen för att ge ett arbetsnamn, och en diagnos på de patienter, som kom till en yrkesmedicinsk klinik för utredning av en generell, överkänslighet för lukter, framför allt av kemikalier (4). Cullens MCS-kriterier framgår av figur 5. I hans fall hade en kännbar yrkesexponering för kemikalier varit inledningen till den process som resulterade i den multisymtomatiska, generella överkänsligheten. Efter hand har man förstått att också en del människor som fått besvär av sin inre miljö efter hand uppfyller MCS-kriterier, trots att någon yrkesexponering inte förekommit. Med tiden

utvecklar alltså, som ovan nämnts, en del människor med SBS symtom en sjukdomsbild som vid MCS. Se figur 5.



Figur 3. Triggerfaktorer vid olika typer av överkänslighet.

MCS-besvärsbild

- CNS
- Huvudvärk
- Trötthet
- Yrsel
- Illamående
- Konc.svårigheter
- Luftvägar
- Tungt att andas
- Astmaliknande symtom
- Nästäppa
- Ögonirritation

Figur 4. Symtombilden vid Multipel kemisk känslighet.

MCS-kriterier enligt Cullen 1978

- Förvärvat tillstånd, debut efter identifierbar miljörelaterad (kemikalie) exponering, skada eller sjukdom.
- Symtom från mer än ett organsystem.
- Symtom utlöses och försvinner på reproducerbart sätt för kemikalielukter.
- Symtom utlöses av kemikalier med olika kemiska strukturer och effekter.
- Symtom utlöses vid mycket låga men identifierbara kemikalielukter.
- Exponeringsnivåer betydligt lägre än de som i allmänhet framkallas besvär.
- Avsaknad av objektiva undersökningsfynd som kan förklara symtombilden.

Figur 5. Mark Cullens kriterier för Multipel kemisk känslighet.

Multipel kemisk känslighet

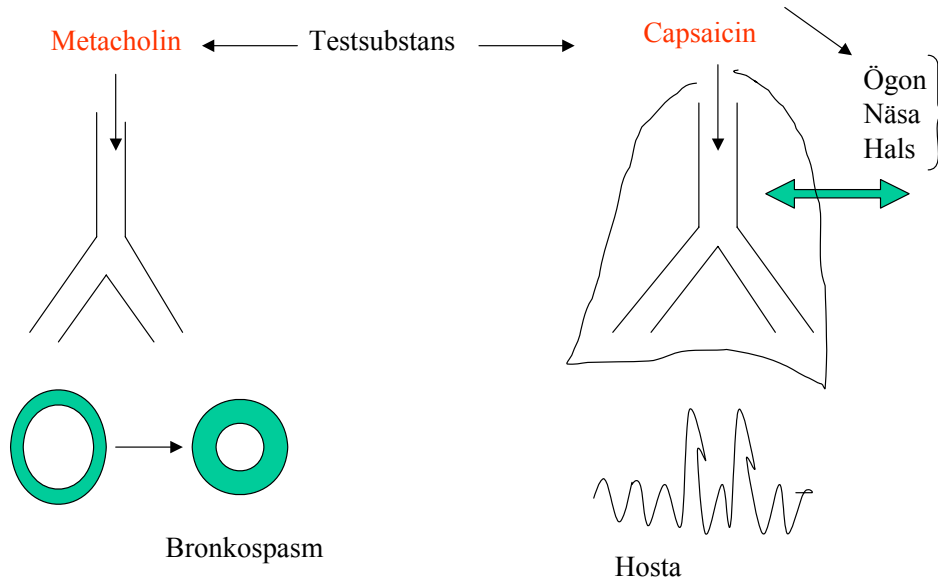
Hur uppkommer denna överkänslighet? Studier av MCS-patienter har framför allt gjorts i USA. Ett forskarpar hävdade tidigt att symtomen är en följd av autonom aktivering (autonoma nervsystemet = det omedvetna nervsystemet, som anpassar kroppens funktioner på ett ändamålsenligt sätt) framkallad av kemikalielukter på grund av att de fått en negativ innebörd för den drabbade (5). Man förklarade att detta beror på det s.k. luktminnets starka tendens att koppla lukt och doftsignaler till tidigare upplevelser - både av positiv och negativ innebörd (6)! Kemikalielukten uppfattas i dessa fall omedvetet som ett hot och utlöser på ett betingat sätt en panikartad försvarsreaktion under vilken man kunde iakttaga hyperventilation och sådana symptom som därvid kan uppstå. Kanadensiska forskare har också objektivt kunnat mäta förändringen i kroppens koldioxinnivå eftersom utvalda MCS patienter började hyperventilera vid arrangerad exponering (7).

Astmaliknande sjukdom med uttalad kemikaliekänslighet

På Allergisektionen vid Sahlgrenska Universitetssjukhuset började min kollega Olle Löwhagen redan för 15 år sedan att närmare undersöka patienter med uttalad luktkänslighet (8). De inremitterades med misstanke om astma men vid noggrann utredning visade de sig ha negativa astmatester. Deras andningsbesvär var av den karaktär som redan beskrivits vid "annan överkänslighet". De framkallas framför allt av lukter, bl a från kemikalier och parfymer och ger också besvär från övre luftvägarna på samma sätt som vid MCS. En annan kollega vid Allergisektionen, Dr Eva Millquist, har sedan funnit att dessa patienter har en "icke immunologisk", sensorisk överkänslighet i luftvägarnas känselnerver (N.trigeminus och vagus). Denna sensoriska överkänslighet har kunnat studeras och mätas genom olika provokationsförsök dels med parfym, dels med en fullständigt luktfri men starkt slemhinneretande substans, capsaisin (9). Patienter som uppfyllde Cullens kriterier på MCS visade sig också vara capsaisinkänsliga (10). På vår Allergimottagning har inriktningen varit att belysa differentialdiagnostiken vid astma och att visa den viktiga skillnaden mellan motorisk hyperreaktivitet, som är kännetecknet vid astma och den sensoriska hyperreaktiviteten, som gör de astmaliknande fallen överkänsliga för capsaicin och kemikalielukter. Se figur 6. Vid sidan om luktsinnet, som genom hela djurserien är ett viktigt varningssystem för faror i miljön, finns alltså ett kemiskt sinne i luftvägarnas slemhinnor med kompletterande varningsfunktion. Bägge dessa biologiska nervsystem kan troligen bli uppreglerade och ge överkänslighetsreaktioner i "sjuka hus".

Bronkiell hyperreaktivitet

Sensorisk hyperreaktivitet



Figur 6. Skillnaden mellan motorisk och sensorisk hyperreaktivitet.

Neurogen uppreglering

Som lätt inses baseras överkänslighetsfenomen på mekanismer, som förändrar och förstärker olika reaktionssvar på ett stimulus. Man talar i dessa sammanhang ofta om triggerfaktorer och sensitisering. Förloppet ter sig schematiskt såsom framgår av figur 7. När allergi uppstår beror det på att immunsystemet framkallar mer eller mindre starka reaktioner på agens, som normalt är helt ofarliga. På ett något annorlunda sätt kan olika nervsystem uppregleras så att allergiliknande reaktioner uppstår. Kunskap om hur detta sker är betydligt mindre känd än de immunologiska reaktionssätten vid allergi. Av figur 8 framgår dock principiellt viktiga komponenter i de immunologiska och neurogena mekanismer som leder till allergi och annan överkänslighet.

Människor avläser alltså den kemiska miljön både med sitt luktsinne och sitt kemiska sinne. Det speciella med luktsinnet är att signalerna från ett litet område i näslemhinnan snabbt når i till luktcentrum där lukten lagras i ett minne. Minnet kopplas till en känsla, positiv eller negativ, som i sin

tur kan framkalla autonoma nervreaktioner. Både behagliga och obehagliga känslor kan uppstå på detta sätt (6). Perceptionen av de sensoriska signalerna från exempelvis kemikalier varierar högst betydligt inom ett stort normalområde. Trots detta visade Doty och medarbetare att MCS drabbade försökspersoner inte uppfattade lägre koncentrationer av luktande kemikalier än kontrollpersoner, men att de hade tecken på ökad aktivitet i det autonoma nervsystemet (11). Vid enkätundersökningar av "vanliga människor" både i USA och Sverige svarade 33% att de besvärades av parfymdofter (12, 13). Även inre kroppsliga sensationer uppfattas och tolkas synnerligen individuellt. Inom medicinen finns en diagnos, somatization syndrome, som anses bero på s.k. somatosensorisk uppreglering (14). Man bör inte dra alltför långt gående paralleller mellan detta syndrom och MCS även om man i båda fallen kan se en likhet i form av fenomenet sensorisk uppreglering, även benämnt neurogen sensitisering. Det finns sannolikt en individrelaterad ärftlig sårbarhetsfaktor för sensorisk uppreglering generellt, men tidigare traumatiska livshändelser och andra påfrestningar kan också bidra till sensitisering inom nervsystemet. Vid SBS och MSC är sambandet mellan besvären och den inommiljö där de debuterade ibland påfallande men ibland mindre klart. Forskningen avseende SBS har tyvärr mer fokuserats till de olika, fysiska miljöfaktorerna i inommiljön än till varför vissa människor utvecklar långdragna MCS-tillstånd trots att de lämnat den miljö där besvären startade.

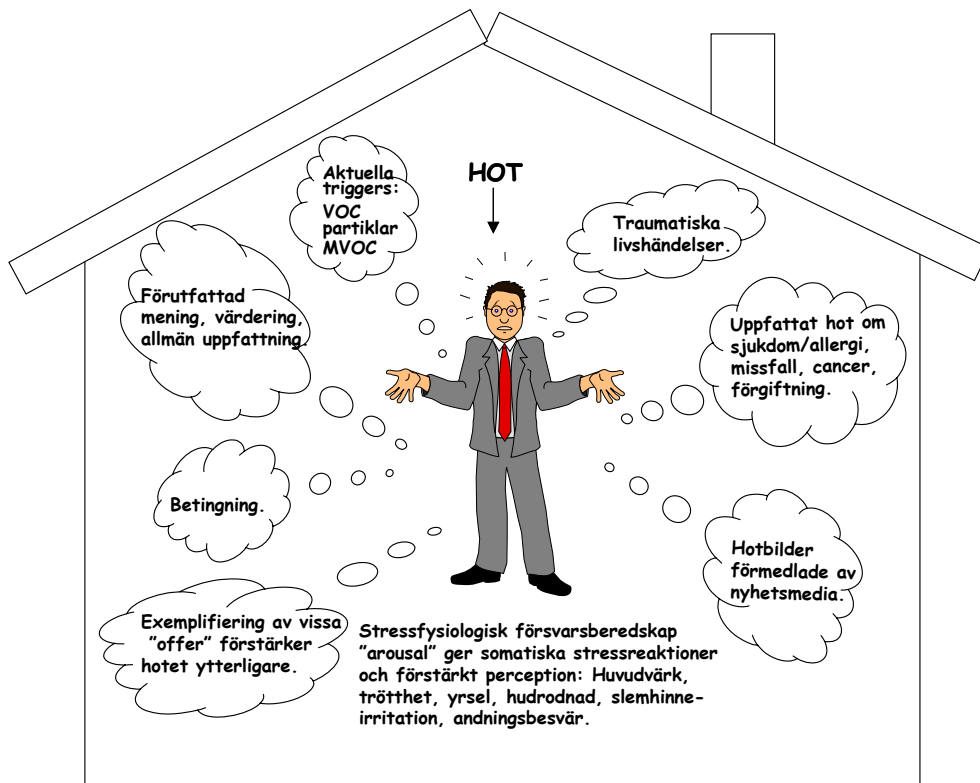
Den sensoriska hyperreaktiviteten - ett sensitiseringsfenomen!

Amerikanen Meggs (15) liksom min kollega Millquist har föreslagit en lokal neuropeptid-medierad inflammation redan i slemhinnan som förklaring till den sensoriska hyperreaktiviteten, eftersom den visat sig vara mätbar med det s.k. capsaisintestet, utformat av henne. En ökad slemhinnereaktivitet i form av svullnad, histaminkänslighet och inflammatoriska biomarkörer har också påvisats hos vissa SBS patienter vid undersökningar i Örebro och Uppsala (16,17) men övertygande bevis för att SBS och framför allt MCS-problemen skulle kunna förklaras av enbart en perifer slemhinneinflammation i luftvägarna saknas.

Den neurogena uppregleringen kan i princip tänkas ske både på slemhinnenivå och någonstans i omkopplingstationerna utefter nervbanan. Studier av exempelvis fibromyalgi tyder på att smärtekänsligheten har uppreglerats i ryggmärgens omkopplingsstationer. Mycket talar för att den också kan ske i olika delar av hjärnan. Upprepad sensorisk stimulering på försöksdjur har lett till hyperreaktiva svar på allt mindre stimuli. Detta har visat sig bero på sensitisering i basala hjärnstrukturer. En sådan process har benämnts "limbisk kindling", en annan "time-dependent sensitization". Läsaren hänvisas till ett helt temanummer av en skandinavisk psykologitidskrift, som tar upp sensitisation som ett viktigt biologiskt fenomen vid flera av de nya överkänslighetssyndromen (18).

Med nya metoder för att lokalisera hjärnans aktivering, blodflöde och elektrisk mönster har man kunnat visa att sådana stimuli såsom ljud, ljus och kemikalielukt leder till att hjärnbarken aktiveras på ett sätt, som skiljer sig från det normala hos patienter med bl.a MCS (19), EI-känslighet och IBS. Fynden tyder på att olika former av sensorisk stimulering kan uppfattas på ett sätt, som ger fritt spelrum för snabba försvarsreaktioner på omedveten nivå (20). I stället för en dämpande moderering av dessa reflexer tycks de sensoriska signalerna på den medvetna nivån automatiskt kunna framkalla negativa tankar och stereotypa beteenden och emotioner. Om tolkningen av vissa stimuli och situationer, som exempelvis dålig lukt, irritation i ögonen etc, automatiskt blir negativa och får en hotande innebörd, höjs beredskapen för försvar. Detta innebär en central aktivering - allmänt pådrag (arousal), sensorisk uppreglering samt i längden mindre ändamålsenliga, maladaptiva, försvarsreaktioner. Kulturell och psykosocial påverkan förmedlad av släkt och vänner samt radio TV och tidningar bidrar till den negativa tolkningen av många innemiljöer. "Hemmets

trygga vrå”, som stressade människor har ett primärt behov av att kunna vila ut i, finns då inte längre. Figur 9.



Figur 9. Dagens situation?

Sammanfattning

Allergiproblem i inomhusmiljön beror oftast på förekomst av kända inomhusallergen, såsom kvalster och pälsdjur (katter värst!), och kan påvisas med väl fungerande allergitester. Hemmets kvalsterpopulation ökar vid tilltagande inomhusfukt. Fuktskador innebär också uppkomst av oangenäma lukter och risk för mikrobiella angrepp. I epidemiologiska studier ses en ökad risk för barnastma och upprepade förkylningar vid hög fukthalt i inomhusmiljön. Det finns dock inga belägg för att mögelallergi skulle vara orsaken här till. Mögelallergi, uppkommen i vuxen ålder på grund av inomhusmögels i icke industriell miljö, torde vara en sällsynthet.

Hälsoeffekterna på människa av icke synliga mögelskador kan sammanhånga med en luktkänslighet men är i övrigt ofullständigt kända. Oroande rapporter om mögeltoxiner finns, dock endast baserade på exponeringsförsök på djur och celler.

Symtomen vid SBS är lokaliserade till våra barriärer mot den yttre miljön, hud och luftvägsslemhinnor men har också ett generellt inslag. Deras uppkomst och karaktär skiljer sig från de immunologiskt förmedlade allergisjukdomarnas och beror på en annan typ av överkänslighet, som kan uppstå inom olika områden i nervsystemet.

Samband finns med fuktskador och ventilationsproblem, men varken speciella VOC eller partiklar har påvisats framkalla symtomen. Man kan antaga, att även låga koncentrationer av kemikalier, partiklar och lukter, var för sig eller tillsammans, ger sensoriska signaler som i första hand drabbar människor som har låga känslighetströsklar och som därmed stör deras hälsa. Även andra sårbarhetsfaktorer kan sedan bidra till uppkomst av överkänslighet.

Sensorisk hyperreaktivitet kan uppstå både i luktsinnet med risk för betingning och i luftvägsslemhinnan, förmedlad av trigeminusnerven. En s.k. neurogen inflammation anses kunna uppstå. Studier på försöksdjur visar att central signalförstärkning också kan uppstå vid upprepad sensorisk stimulering i form av s.k. limbisk kindling eller s.k. time dependent sensitization.

Slutligen finns vid MCS, liksom vid flera av de övriga överkänslighetssyndromen, belägg för onormal stimulus aktivering i hjärnbarken. Det innebär förlust av en signaldämpande inverkan, som kan ge spelrum för basala fysiologiska skyddsreaktioner och som kan uttröttas och förvrängas i längden. Den stress, som därutöver uppstår till följd av segslitna åtgärder, dålig tillit till experter, fastighetsansvariga och myndigheter, samt hotbilder frikostigt levererade av media, bekantskaper och andra ”drabbade” är ytterligare negativa bakgrundsfaktorer till den sensitiserande sjukdomsprocess som kan uppstå i en hotfull innemiljö. En större medvetenhet om de biologiska överkänslighets- och stressreaktioner, som kan aktiveras i en ”sjuk” innemiljö, skulle förbättra möjligheterna att lösa många hälsoproblem, kopplade till innemiljön.

Referenser

1. World Health Organisation (WHO), Indoor pollutants: Exposure and health effects, Copenhagen;WHO EURO. Reports and Studies 1983:78.
2. Edvardsson B. Rapport vid Allergistämman i Göteborg jan. 2003.
3. Thörn Å. The Emergence and Preservation of Sick Building Syndrome. Research challenges of a modern age disease. Akademisk avhandling. Karolinska institutet, Stockholm 1999.
4. Cullen MR. The worker with multiple chemical sensitivities: an overview. *Occup Med State Art Rev* 2:655-62. 1987.
5. Shustermann DJ. Dager SR. Prevention of Psychological Disability after Occupational Respiratory Exposures. *Occup Med State Art Rev* 6:11-27. 1991.
6. Engen T. Odor sensation and memory. Praeger publ 1992.
7. Leznoff A. Provocative Challenge in Patients with Multiple Chemical Sensitivity Syndrome. *J Allergy Clin Immunol*, 99: 570-4. 1997.
8. Löwhagen O. Asthma and Asthma-like Disorders. *Resp Med* 93:851-55. 1999.
9. Millquist E. Löwhagen O. Placebo-controlled Challenges with Perfume in Patients with Asthma-like Symptoms. *Allergy*. 51: 434-9.
10. Ternesten-Hasseus E. Bende M. Millquist E. Increased Capsaicin Cough Sensitivity in Patients with Multiple Chemical Sensitivity. *J Occup Environ Med* 44:1012--17. 2002.
11. Doty RL. Deems DA. Frye RE. Et al. Olfactory Sensitivity, Nasal Resistance and Autonomic Function in Patients with Multiple Chemical Sensitivities. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 136:33-40. 1984.
12. Johansson Å. Rapport vid Allergistämman i Göteborg jan 2003.
13. Meggs WI. Dun KA. Bloch RM, et al. Prevalence and Nature of Allergy and Chemical Sensitivity in a General Population. *Arch Environ Health*. 51:275-82.
14. Barsky AJ. Borus JF. Functional Somatic Symptoms. *Ann Intern Med* 30:910-21. 1991.
15. Meggs WJ. Neurogenic Switching : a Hypothesis for a Mechanism for Switching the Site of Inflammation in Allergy and Chemical Sensitivity. 103: 231-37. 1995.
16. Ohm M. Juto J-E. Andersson K. Bodin L. Nasal Histamine Provocation of Tenants in Sick- Building Residential Area. *Am J Rhinology* 11:167-75. 1977.

17. Norbäck D. Wieslander G. Biomarkers and Chemosensory Irritations. *Int Arch Occup Environ Health*. 75:298-304. 2002.
18. *Scand J Psychol*, Vol 43 No 2 April 2002.
19. Waxman AD. Functional Brain Imaging in the Assessment of Multiple Chemical sensitivities. *Occup Med* . 15(3):611-16.2000.
20. Le Doux J. *The Emotional Brain*. Weidenfeld & Nicolson, London 1998.

Session 3. När något har hänt

Vad bör man som förvaltare göra när klagomål på inneklimatet uppträder?

Ingemar Samuelsson

Vilka är de viktigaste primärinsatserna?

Många klagomål på olämpligt inneklimat har vuxit från ett begränsat problem till ett större sådant, ofta med inslag av misstro, genom att alltför lång tid förflutit innan något händer. Det är därför viktigt att agera tidigt och snabbt när klagomål framförs. Utgå ifrån att klagomålen är berättigade.

Det är viktigt att man tidigt får en överblick över klagomålets karaktär. Detta kan ske genom att man frågar brukarna och hämtar hem uppgifter från driftspersonalen. I de fall det är uppenbart att en lokal skada föreligger skall denna åtgärdas. Även i sådana fall kan det dock vara värdefullt att göra en översiktlig genomgång av hela miljön. Risken finns annars att klagomålen har också andra orsaker och därför inte försvinner efter åtgärder, exempelvis efter sanering av en fuktskada.

Det finns inga typiska tekniska skador och fel som man kan leta efter i "sjuka hus". Många faktorer har dock pekats ut som sannolika "bovar". Exempel är mögel och bakterier, flytspackel, mjukgörare i PVC-mattor, elak lukt från nedbrutet golvlim mm. När personer upplever SBS-symptom kan orsaken sällan hänföras till enskilda fel utan verkar vara en kombination av flera olika faktorer. Från utredningssynpunkt är det därför rimligt att anta att flera faktorer både i och utanför byggnaden tillsammans kan framkalla symptomen. Det finns i initialskedet ofta önskemål från brukarna att det genomförs tekniska mätningar i innemiljön. Det gäller ofta komplicerade mätningar av mikroorganismer eller kemiska ämnen. Erfarenhetsmässigt ger dock dessa mätningar antingen värden som ligger i normalintervallet eller resultat som inte kan tolkas på grund av att det inte finns gränsvärden eller riktvärden.

Informationen från brukarna kan inhämtas via besök på platsen eller genom användning av standardiserade och validerade (testade) enkäter. Liksom vid användning av tekniska mätinstrument gäller det att använda enkäter, vars kvalitet, osäkerhet och användbarhet är känd och dokumenterad. När man frågar efter subjektiva upplevelser och erfarenheter är det extra viktigt att man använder standardiserade enkäter som ger möjlighet att jämföra med andra grupper och andra miljöer. Det är annars omöjligt att avgöra om exempelvis 20 % positiva svar på en fråga är mycket eller

litet. Att använda "egentillverkade" enkäter utan jämförelsedata ger tolkningssvårigheter och ökar risken för misstag.

När man genomför en enkätundersökning gäller det att informera om syftet med undersökningen, beskriva hur integritetsfrågor hanteras, beskriva vilka som ansvarar för att enkäterna hanteras på ett ansvarsfullt sätt samt ange hur resultatet kommer att presenteras. Det är av yttersta vikt att man också följer vad som utlovats då i annat fall trovärdigheten äventyras.

Det kan ha en viss betydelse vid vilken årstid enkäterna användes. Normalt genomförs inomhuskartläggningar under uppvärmningssäsongen. Anledningen är främst att det är då man stänger till fönstren och eventuella miljöbrister blir mer märkbara. Inomhusluften blir då också torrare vilket av många upplevs som en viktig orsak till främst hud- och slemhinnebesvär. Det är dock fullt möjligt att genomföra kartläggande enkätundersökningar även under sommarhalvåret.

Vid tolkningen av enkätresultatet är det viktigt att hänsyn tas till bortfallet. Ett bortfall på 25 % brukar inte äventyra tolkningsmöjligheterna, men vid högre bortfallsfrekvenser måste man vara medveten om den ökade osäkerheten i tolkningen, speciellt vid små materialstorlekar. Vid små material kan det vara fördelaktigt att ange antalet personer i stället för att ange procentsiffror. Det finns därför egentligen ingen minsta gruppstorlek för användning av enkättekniken, vars syfte ju är att strukturera informationen från brukarna. Även i en grupp på 5-10 personer (vilket ofta förekommer i exempelvis förskolor) kan det vara värdefullt att använda standardiserade enkäter. Om tre av fem personer rapporterar att det ofta är för kallt utgör detta en värdefull information. Det kan dock i sådana fall vara lämpligt att i stället intervjua gruppen men man bör då vara medveten om att vissa individer kan ha svårt att uttrycka sig i grupp.

På basen av den primära genomgången av problembilden, genomgång av ritningar och övriga handledningar, tidigare genomförda undersökningar och korrespondens i ärendet samt utfallet från enkätundersökningen eller samtalen med de berörda bestäms strategin för vidare handläggning, oftast innebärande riktade tekniska undersökningar och provtagning. Det kan emellertid inte nog poängteras vikten av att tekniska mätningar inte skall påbörjas för tidigt eftersom resultaten kan innebära en låsning för den vidare utredningen. Varje mätning av tekniska förhållanden skall

genomföras först när man har ett motiv för mätningen. Man bör alltid ha gjort klart vad mätresultatet skall användas till och hur det skall tolkas vid det ena eller andra utfallet.

I ett "sjukt hus" förekommer i många fall diskussioner och ryktesspridning bland brukarna. Detta kan leda till låsningar i fråga om medel och metoder i såväl utredning som val av åtgärder. Det brukar därför vara lämpligt att bilda en arbetsgrupp med deltagare från brukare och förvaltare för ömsesidig information och hjälp i utredningsarbetet.

Vilka krav och förväntningar bör man ställa på anlitate konsulter?

Den som får i uppdrag att utreda orsaken till problemen måste vara medveten om svårigheterna med att arbeta med inomhusklimatproblem. Den utredare man väljer skall ha god teknisk kunskap och erfarenheter från liknande fall. Om en "ny" konsult kopplas in bör man alltid begära in meritförteckning (CV, certifiering, behörighet) och ta in referenser. Här kan många framtida problem förhindras.

För att reducera risken för bristfälliga undersökningar med svårtolkade resultat och felaktiga slutsatser bör beställaren ställa ett antal krav på den tilltänkte utredaren. Bland annat kan man kräva att konsulten, redan innan genomförandet, redogör för utredningsmetodik och hypoteser och på vilket sätt resultatet skall kunna användas som underlag för beslut om åtgärder. Det kan mycket väl vara så att man börjar med en undersökning av orienterande art och att det blir nödvändigt med ytterligare undersökningar. Om så är fallet bör både beställare och konsult vara medvetna om detta på förhand.

Innan mätningarna startar skall följande frågor besvaras av den som kommer att svara för genomförandet:

- Varför skall man mäta? Vilka hypoteser har satts upp, är några mera sannolika än andra och hur skall de verifieras, med mätningar eller beräkningar?
- Vad skall mätas?
- Hur, var och när skall mätningen genomföras?
- Vilka omständigheter kan påverka resultatet (exempelvis väder och vind, tekniska installationers driftstatus och personbelastning)?
- Vilket resultat förväntas?

För att det skall vara möjligt att i efterhand granska undersökningen och framförallt att genomföra en upprepad mätning på samma sätt efter åtgärder är det viktigt att såväl hypoteserna som genomförandet dokumenteras noggrant. Detta görs dels genom utarbetande av en plan för utredningen, dels genom den skriftliga rapporteringen av utredningen och dess resultat. Det är beställaren av undersökningen som slutgiltigt anger typ och omfattning, inte konsulten.

Således skall detaljerade uppgifter om hur, var, när och av vem mätningen och provtagningen genomförts dokumenteras. Det är inte säkert att det räcker med uppgift om i vilket rum provtagningen skett, ofta är det nödvändigt att göra en närmare precisering, exempelvis med hjälp av en måttsatt skiss. Om utredningen även innefattar provtagning är det nödvändigt att dokumentera både var proven har tagits i konstruktionen, om det är på insida eller utsida och temperatur- och fuktförhållandena på mätplatsen.

Även omständigheter som kan påverka resultatet måste dokumenteras. För att kunna klargöra vilka sådana omständigheter som skulle kunna vara aktuella måste den som genomför undersökningen vara insatt i uppbyggnaden av och den tänkta funktionen hos mätobjektet. Detta gäller oavsett om mätningen syftar till att undersöka en del av byggnads-konstruktionen eller ventilationssystemet.

Använd apparatur för mätningen skall dokumenteras med modell-beteckning och uppgifter om senaste kalibrering etc. I de fall analys av tagna prover görs i laboratorium skall uppgifter om använd metod och vem som utfört analysen dokumenteras.

Tolkningen av det erhållna resultatet skall redovisa bakgrundsmaterial i form av mätdata eller analysresultat. Om tolkningen även pekar ut onormala förhållanden skall den innefatta jämförelser med någon referens. Referensvärden skulle kunna vara gällande/accepterade riktlinjer kopplade till människors komfort och hälsa. I många fall saknas dock sådana riktlinjer och referensen kan då exempelvis utgöras av resultat uppmätta i andra rum eller under andra driftsförhållanden. Under alla omständigheter skall det erhållna resultatet jämföras med de på förhand specificerade förväntade/tänkbara resultaten.

Vilka hjälpmedel (checklistor o dyl) rekommenderar du?

Undersökningarna skall vara baserade på vedertagna och beprövade metoder. Det finns en rad publicerade metodbeskrivningar och standarder, se nedan [1,2].

Praktiska checklistor för okulär kontroll och frågescheman som beskriver byggnad, installationer och driftförhållanden finns publicerade [2]. Det bör dock varnas för ett okritiskt bruk av checklistor. Ett frågeschema kan aldrig ersätta den erfarenhet och kunskap som en skadeutredare måste besitta. Det går inte att utreda ett "sjukt hus" om man inte har kunskapen. Checklistorna är till för att underlätta arbetet för den som kan.

Referenser

- 1 Johansson P, Svensson A. Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer, T22:1998, Byggforskningsrådet, 1998.
- 2 Samuelson I m.fl. Att undersöka innemiljö, SP RAPPORT 1999:01, Nordtest Technical report No 212.

Vad säger man till oroliga föräldrar när man upptäckt fukt-/mögelskador i skolan eller på daghemmet?

Kjell Andersson

Allmänt

Närmare en miljon människor i Sverige uppger att de har något symptom de relaterar till inomhusmiljön i bostaden eller på arbetet [1]. Detta innebär inte att de är "sjuka" i egentlig mening utan mer att de känner sig trötta eller upplever torrhet eller irritation från slemhinnor i de övre luftvägarna eller huden. Orsaken till besvären hänförs ofta till "dålig" ventilation men kan också gälla andra brister i miljön som dålig städning eller lukter från byggnadsmaterial eller installationer. Vissa situationer brukar i högre utsträckning än andra ge upphov till såväl klagomål, rapporterade besvär som oro för att miljön skall bidra till ohälsa. Detta gäller vid befarade eller verifierade fuktskador med förekomst av lukter och där besvär från ögon, näsa eller hals rapporteras från brukarna. Vid fuktförekomst skapas grogrund för tillväxt av mikroorganismer men också avgång av kemiska ämnen från byggnadsmaterial och luktspridning. Dessa situationer upplevs skrämmande, speciellt när problemen förekommer i skolor eller förskolor där barn vistas.

Som fastighetsägare, förvaltare eller som ansvarig för personal och barn ställs man ibland inför sådana situationer och det gäller att hantera dem på ett riktigt sätt. Tyvärr är fortfarande ett vanligt angreppssätt att man påbörjar tekniska mätningar. Detta leder till att man blir stående med en mångfald svårtolkade tekniska eller mikrobiologiska mätdata, som dessutom sällan ger underlag för bedömning om risk för ohälsa föreligger. Olika tolkningar av mätdata från olika inblandade konsulter leder till olika åtgärdsförslag och påspädning av oron bland brukarna. Denna oro förstärks ytterligare av att vissa tekniska konsulter inte drar sig för att diskutera ohälsorisker utgående från mätresultaten trots avsaknad av medicinsk kompetens. Oavsett tolkningen leder erfarenhetsmässigt föreslagna åtgärder till mycket stora kostnader. De ansvariga vet därför inte hur de skall agera för att nå ett bra resultat. Detta gör att dessa ärenden tenderar att dra ut på tiden, vilket i sig skapar ytterligare grogrund för frustration och oro bland alla berörda. Hur man lämpligen går tillväga för att genomföra en effektiv utredning har redovisats tidigare av Ingemar Samuelson vid denna konferens. Här fokuseras mer på hur man kan hantera informationsfrågorna.

Vilken informationsstrategi brukar du använda dig av?

Om utredningen genomförts på rätt sätt finns förutsättningar för att hantera informationen till berörda på ett bra och förtroendefullt sätt. Genom att brukarna involverats tidigt brukar man i dessa fall aldrig få den trovärdighetskris som annars lätt uppträder. Det nära samarbetet med brukarna underlättar informationsflödet och förhindrar att oron ackumuleras. Det är bra om man kan organisera en arbetsgrupp som följer såväl utredningsarbetet som uppföljningen av åtgärderna och det är också fördelaktigt om man kan involvera medicinsk kompetens från skolhälsovård eller företagshälsovård för att ta hand om frågor om ohälsa.

Jag brukar själv bli inkopplad ganska sent i förloppet när utredningarna spårat ut, stor oro föreligger bland berörd personal och föräldrar, situationen diskuterats i massmedia och i vissa fall föräldrarna hotat att låta barnen vara hemma från skolan. I dessa situationer är det ofta nödvändigt att kalla in en ”extern” medicinsk expert utan tidigare koppling till fallet.

Det viktigaste för mig primärt är att skaffa mig en helhetsbild över situationen och de utredningar som genomförts. Det brukar aldrig saknas tekniska eller mikrobiologiska mätdata i dessa fall, däremot saknas ofta en systematisk beskrivning av hur personalen, eleverna eller föräldrarna upplever skol- eller förskolemiljön. En primäruppgift brukar därför vara att med hjälp av standardiserade och tolkbara enkäter fånga in dessa erfarenheter [2]. Enkäterna efterfrågar också förekomsten av symptom och allergiska sjukdomar och det är värdefullt att kunna göra jämförelser med andra motsvarande personal- eller elevgrupper. Det är viktigt att utfallet av enkätundersökningen redovisas för alla berörda och att tillfälle ges att ställa frågor. Baserat på enkätutfallet bedöms behovet av kompletterande mätningar. Resultatet av dessa skall också redovisas och tolkas innan man föreslår åtgärdsstrategi. Det är värdefullt att involvera brukarna också i detta skede eftersom man då lättare får förståelse och acceptans för planerade åtgärder.

I vissa fall kan det vara nödvändigt att träffa alla berörda för att informera om sambandet mellan dålig inomhusmiljö och ohälsa. Eftersom detta är ett svårt kunskapsområde, med oklar exponeringsbild och diffusa effekter i form av vanligt förekommande symptom, är det viktigt att man som informatör är tydlig vad gäller osäkerhetsnivån i alla bedömningar och

värderingar. Detta ger dem som mottar informationen möjligheter att själva bedöma trovärdigheten i vad som sägs. Jag brukar därvid ge nedanstående information vad gäller sambandet mellan dålig inomhusmiljö och ohälsa (Figur 1). Jag är alltid noga med att poängtera att detta är ”min bild”, baserad på mångårig erfarenhet av olika skadeobjekt, kartläggningar av tusentals innemiljöer, aktuell forskning och egen sådan vad gäller studier av slemhinnepåverkan (se Stig Rudblads presentation) eller i form av klimatkammарstudier (se Lars Mølhaves presentation). En sammanställning av den vetenskapliga litteraturen vad gäller hälsoriskvärdering vid fuktiga byggnader finns redovisad i en internationell publikation [3].

Figur 1. Sambandet mellan dålig inomhusmiljö och ohälsa. ”+” anger att ett samband är möjligt, ”++++” att det är mycket sannolikt. ”?” anger att samband är tveksamt. SBS-symtom anger symtom som brukar hänföras till dåligt inomhusklimat, exempelvis huvudvärk, trötthet, tunghetskänsla i huvudet, koncentrationssvårigheter, symtom från ögon, näsa och hals, hosta samt hudsymtom. Hyperreaktivitet anger ökad slemhinnekänslighet.

SBS-symtom	++++
Infektionssymtom	++
allergier	
kvalster	+
husdjur	+?
mögel	+?
rökning	+
hyperreaktivitet	++

Samband mellan dåligt inneklimat och ohälsa

Dåligt inomhusklimat, avsett bakomliggande orsak, medför att fler individer än normalt rapporterar besvär och symtom (SBS-symtom). Vid fuktskador brukar man dessutom se en överfrekvens av slemhinnesymtom jämfört med vad man ser i byggnader utan fuktproblem. Vid ventilationsproblem rapporteras normalt en överfrekvens av allmänsymtom i form av trötthet, tunghets känsla i huvudet och huvudvärk ock vad gäller högstadie- och gymnasieelever också vanligen koncentrationssvårigheter. Naturligtvis finns många ”blandformer” eftersom man vid fuktskador ofta också har problem med luftkvaliteten. Allergiker brukar generellt rapportera högre frekvens av symtom, således inte enbart slemhinne- och hudsymtom utan också trötthet.

I åtskilliga studier har rapporterats en överfrekvens av infektionssymtom från de övre luftvägarna vid fuktskadade byggnader. Det är också vanligt att föräldrarna rapporterar ”envisa förkylningar, som inte vill släppa” i miljöer med fuktskador. Det finns också flera studier som talar för att man kan underhålla en inflammatorisk reaktion av de ämnen som finns i luften i dessa miljöer, även om halterna är mycket låga.

Man har alltsedan Allergitutredningen presenterades 1989 oroat sig för är att dåliga skol- och förskolemiljöer med fuktskador skulle ge upphov till allergier och vara en av orsakerna till den ökade allergiförekomsten bland främst de unga. Allt fler studier talar dock för att de halter av exempelvis mögel man uppmäter i inomhusmiljöer inte är tillräckliga för att åstadkomma ”sensibilisering”, dvs. uppkomst av fria antikroppar i blodet. Detta framförs också mycket konkret i den kunskapssammanställning som presenterades vid Allergistämman våren 2003 av framstående allergologer i landet [4]. Det är välkänt att enbart en liten del av befolkningen (1-3 %) är sensibiliserad mot mögel, samtidigt som mer än en tredjedel av barnen uppvisar antikroppar mot något allergen, främst katt, hund och gräs. Mycket få är allergiska enbart mot mögel som sannolikt är ganska svaga allergen.

I närmare hälften av alla hem med barn finns husdjur, främst katt och hund. Detta innebär att allergen mot dessa finns i flertalet hem och i alla skolor och förskolor eftersom de överförs via kläderna till även husdjursfria miljöer. Flera studier de senaste åren talar för att det kan vara positivt med husdjursexponering i tidig ålder, tvärt emot vad som hävdats

tidigare, och frågan är därför öppen i vad mån husdjursinnehav innebär en ökad eller minskad risk för sensibilisering. Att dammkvalster kan vara sensibiliserande är uppenbart men utgör inte samma stora problem i Sverige som i sydligare länder.

Många studier talar för att slemhinnor i ögon och övre luftvägar irriteras av olika ämnen i luften varvid man kan registrera förekomst av olika sk mediatorer (proteiner) i exempelvis nässköljvätska. Det har också varit möjligt de senaste åren att objektivt registrera slemhinnepåverkan i näsan vad gäller såväl svullnad som ändring i mikrocirkulationen (se Stig Rudblads presentation). Även om vi fortfarande inte förstår mekanismerna är det uppenbart att våra känselsinnen är involverade (exempelvis via lukt- och ansiktsnerv). Långvarig vistelse i fukt- och mögelskadade miljöer tycks medföra en ökad känslighet som gör att man reagerar med slemhinnesvullnad i högre grad än andra vid provokationstester. Det tycks dock som om denna känslighet minskas eller normaliseras med tiden om exponeringen upphör.

Det finns sannolikt många andra orsaker till rapporterade besvär och symtom men i avsaknad av kunskap om bakomliggande mekanismer blir det ofta spekulativt. Det är dock uppenbart att inte bara fysiska, kemiska och biologiska exponeringar är ansvariga för symtom- och ohälsoutfall utan såväl psykosociala som socioekonomiska faktorer är av betydelse. Vissa personer tycks också utveckla en benägenhet att reagera på lukter eller andra stimuli genom betingningsmekanismer som gör att de inte kan gå tillbaka till den ursprungliga miljön utan att få förnyade symtom, oavsett vad som görs tekniskt. Erfarenhetsmässigt kan dock också sådana situationer hanteras men det kräver ofta omfattande insatser.

Det är viktigt att informationen följs upp. Detta är ett av skälen till att det är bra om en lokal medicinsk instans är involverad, exempelvis skolhälsovården eller företagshälsovården. I samband med informationen till berörda kan man också lämna ut skriftlig information om kunskapsläget och enklare dokumentation. Personligen brukar jag dessutom alltid lämna mitt telefonnummer så att de som har kvarstående frågor om sin eller barnens hälsa kan kontakta mig. Det har visat sig viktigt att alltid ge öppningar framåt eftersom vi rör oss inom ett område där kunskapen inte är absolut och där det finns många kunskapsluckor. Det

kan också vara svårt att ta upp vissa frågor av mer personlig karaktär i större grupp.

Kan barnen stanna kvar under saneringen?

Om utredningen verifierar att det finns problem med fuktskador och mögeltillväxt och det är uppenbart att man måste sanera byggnaden för att få ett bra inomhusklimat brukar frågor uppstå om hur saneringen bör gå till och om barnen kan stanna kvar under denna. Att göra genomgripande saneringsåtgärder kräver ofta såväl tid för planering som tid för upphandling och åtgärder. Det är viktigt att de åtgärder som genomförs görs på rätt sätt, vilket bland annat innebär att arbetet måste få ta den tid som krävs och inte panikartat genomförs med risk för att problemen återkommer. Att flytta in i lägenheter med otillräcklig ventilation relativt mängden barn eller att flytta till primitiva baracker förbättrar inte alltid situationen. Ofta tillkommer också resor som medför ökade belastningar för alla berörda och i vissa fall innebär flytten att vissa aktiviteter, exempelvis gymnastiken eller slöjden, fortfarande måste bedrivas i ursprungliga lokaler vilket gör situationen ”jobbig” för såväl personal, elever som föräldrar.

Den basala frågan är oftast: Kan barnen stanna kvar under saneringen som görs i etapper eller bör man av ”försiktighetsskäl” alltid göra saneringen i ett steg och evakuera eleverna under hela tiden? Om utredningen visat att skadorna är omfattande och inomhusluften kraftigt påverkad genom höga halter av kemiska ämnen och lukter finns egentligen inget alternativ till totalsanering och utflyttning under tiden. I många fall är dock skadorna begränsade till vissa delar av byggnaden/byggnaderna och då kan man ofta finna effektiva lösningar där man gör etappvisa saneringar. Det är i dessa fall nödvändigt att ha en klar saneringsplan där såväl personal, elever som föräldrar är införstådda med hur saneringen genomförs och vilken kvalitetssäkring som gäller. Att personal och elever inte skall komma i kontakt med själva saneringslokalerna är självklart och det gäller att se till att föroreningar som uppkommer under saneringen inte får möjlighet att spridas till övriga områden. Detta kan ordnas genom avspärningar, tätningar och undertryck vid arbetsplatsen. Speciellt bör man tillse att ventilationssystemet inte nedsmutsas. Att arbetstagarna som utför saneringen är väl skyddade och utbildade för uppgiften är självklart. Det kan dock inte nog understrykas vikten av att ge en bra och gärna upprepad

information om hur saneringen kommer att genomföras och hur den fortsättningsvis löper.

Principer för riskkommunikation

När man informerar om eventuella hälsorisker är det viktigt att följa vissa grundprinciper. Riskkommunikationsforskningen har visat att den upplevda risken för miljöfaktorer inte alltid överensstämmer med experternas åsikter. Vissa risker upplevs som stora av såväl allmänhet som experter och utgör ur kommunikationssynpunkt inga stora problem. När såväl allmänhet som experter bedömer att problemen är små brukar som regel inte heller problem uppstå i kommunikationen.

I vissa fall bedömer experterna att miljöriskerna är påtagliga men allmänheten "bryr sig" av olika skäl inte lika mycket och är inte beredda att vidta mer omfattande insatser. Exempel härpå är radonförekomsten i bostäder, som relativt sällan gör husägarna särskilt oroad, eller risken för att råka ut för en bilolycka. Exempel på motsatsen är däremot förekomsten av vissa miljögifter som oftast aldrig med säkerhet belagts medföra ökad risk för ohälsa hos människor men väl givit effekter på andra biologiska system, exempelvis fåglar. Ett annat exempel är här aktuella inomhusklimatproblem.

Vid kommunikation av miljöproblem av den senare typen gäller det att följa vissa klara principer [5]. Informationen måste vara saklig och de fakta som lämnas måste vara dokumenterade. Tolkningen av data måste åtföljas av klarläggande av vilken grad av säkerhet tolkningen har. Om det är en personlig bedömning av faktabasen måste detta klart framgå av presentationen. Informationen måste vara ärligt framförd och helst lämnad i skriftlig och i vissa fall muntlig form. Det är viktigt att alla berörda är involverade och att möjligheter finns att ställa frågor om såväl utförda utredningar som tolkningar. Det är också viktigt att man respekterar den oro som kan finnas även sedan utredningen klarlagt problemen och att titta framåt. Att titta tillbaka för att finna felaktigheter eller ansvariga för mindre lämpliga åtgärder leder aldrig till något positivt.

Referenser

1. Miljö-hälsorapport 2001. Socialstyrelsen, Institutet för miljömedicin samt Miljömedicin, Stockholms läns landsting. ISBN 91-7201-495-4
2. Andersson K, Stridh G. Strategi för bättre luft i skolan – enkäter, inspektion och mätningar. Skolan – en arbetsmiljö för alla? Arbetarskyddsstyrelsen H 192 :43-60
3. Bornehag CG, Blomqvist G, Gyntelberg F, Järvholm B, Malmberg P, Nordvall L. et al. Dampness in buildings and health. Nordic interdisciplinary review of the scientific evidence on associations between exposures to “dampness” in buildings and health effects (NORDDAMP). *Indoor Air* 2001;11:72-86
4. Astma och Allergiförbundet. Hur kan vi minska allergi- och astmabesvär för barn och unga? Anpassning och behandling. Kunskapsunderlag till barnallergiåret 2003.
5. Chess C, Hance BJ, Sandman P. Bättre dialog med allmänheten. Riskkommunikation, Rapport R 92:1, Yrkes- och miljömedicinska kliniken, Universitetssjukhuset Örebro, 3:e tr. 2002.

Session 4. Aktuella frågeställningar

**Inneslutningsmetoder och spärrskikt,
ett kontroversiellt ämne**

Anders Sjöberg

Varför finns behov av inneslutningar och spärrskikt?

Fuktiga byggnader och sjuka hus diskuteras allt oftare i massmedia. Det börjar komma till allmänt medvetande att fuktskador och andra fuktrelaterade oegentligheter i byggnader kan vara avgörande källor till SBS (Sick Building Syndrome).

Det är allmänt känt hos hantverkare och har även visat i flera studier att materialkombinationer innehållande fuktig betong kan påverkas och förändras. Förändringen påverkar ofta den tekniska funktionen hos materialen men kan ibland också leda till negativ påverkan av innemiljön i sådan omfattning att brukarna blir sjuka.

Påverkan på den tekniska funktionen kan ta sig uttryck som dimensionsförändringar, ofta hos träskivor och trägolv, som då får skarvresningar eller oacceptabelt stora springor. Andra negativa funktionsförändringar kan vara kulörförändringar hos målade eller gjutna ytor på grund av fuktfläckar eller kalkutfällning. Dessutom kan applicering av kontaktlim (t.ex. vid limning av nedvik av plastmatta i golvbrunnar mm) eller målningsbart tätskikt på fuktiga underlag leda till bom och dålig vidhäftning. Detta är några av de vanligaste felen av teknisk funktion som fukt kan ställa till med.

När det gäller fukts inverkan på inomhusmiljön är det främst två olika skadetyper som förekommer. Den ena skadetyper är mikrobiell påväxt, som behöver fukt för att leva och växa. Mikrobiell påväxt är knappast farlig i sig, men den kan emittera flyktiga ämnen, sporer och andra partiklar som sänker kvaliteten på inomhusluften. En sådan försämring av inomhusluften kan ibland vara tillräcklig för att de känsligaste personerna skall uppleva SBS.

Den andra fuktrelaterade skadetyper som har visats sänka kvaliteten på inomhusluften är alkalisk hydrolys (nedbrytning) av organiska material. Detta uppstår främst då känsliga organiska material byggs ihop i kombinationer med fuktig betong. Med organiska material menas här plast, golvlim och andra olje- eller naturmaterialsbaserade produkter. Luktproblem från målade ytor med äggoljetempra- eller linoljefärg kan exempelvis ha sin förklaring i höga fuktnivåer hos betongunderlaget.

I Sjöberg (2001:1,2) undersöks och beskrivs materialkombinationer med limmade mattor på betonggolv. Denna konstruktion är ofta drabbad av fuktskador och kan ensam utpekas som orsak till SBS i många skadefall. I rapporten framgår att det är vattenbaserat dispersionslim som påverkas av alkalijoner i betongen, så kallad alkalisk fukt bryter ned akrylatsam-polymerer och eventuellt andra komponenter i limmet genom alkalisk hydrolys.

En stor del av nedbrytningsprodukterna från den alkaliska hydrolysen av limmet tränger genom mattan och emitterar direkt upp i rumsluften. Det har visats i åtskilliga skadeutredningar att denna emission på kort tid kan orsaka hälsoproblem hos brukarna. Tyvärr är detta inte allmän kunskap då dessa utredningar nästan uteslutande mynnar i beställarrapporter som inte publiceras offentligt.

Den delen av nedbrytningsprodukter som inte emitterar genom mattan blir kvar i materialkombinationen. De kvarvarande nedbrytningsprodukterna kan transporteras nedåt i betongen och deponeras djupt ner enligt Sjöberg (2001:1,2). I rapporten beskrivs en metod för att mäta förekomsten och inträngningsdjupet av deponerade föroreningar. Där redovisas också mätningar i skadade bjälklag med penetreringsdjup på 6-10 cm.

På senare tid har det visat sig att en byggnadsdel som tidigare varit fuktig kan sänka kvaliteten hos inomhusluften genom kraftigt ökade emissioner. Byggnadsdelen behöver alltså inte vara fuktig nu för att klassas som fukt-skadad, det räcker med att den varit fuktig någon gång. Förutsättningen är dock att den var så fuktig att en process startade. Det kan antingen röra sig om mikrobiell påväxt eller alkalisk nedbrytning. Resultatet av den processen, mikrobiell avgasning eller nedbrytningsprodukter från alkalisk reaktion kan sedan finnas kvar i byggnadsdelens porsystem under lång tid.

Det kan till och med vara så olyckligt att en illa utförd renovering, där man inte beaktat deponerade föroreningar, kan öppna upp byggnadsdelen så att föroreningarna kommer ut i högre grad än tidigare. Därmed kan en ökad emission av deponerade föroreningar sänka kvaliteten på inomhusluften ytterligare.

För att hindra alkalisk fukt i ett betonggolv att angripa det känsliga limmet efter mattläggning har man under lång tid använt olika preparat som

appliceras på betongytan. Det första preparat som fick iträda sig rollen som ”spärrskikt” torde vara ”Bostic 2000”. Denna primer lades för att minska fuktskador på limmade golvbeläggningar när betongen inte fått tid att torka ordentligt. Skadeutredare berättar att de ibland hittar en tunn (brun) film under limmet när de lyfter på mattan. På dessa platser är limmet ofta intakt fast fuktmätningar visar att det borde ha förtvålats, (kraftig alkalisk nedbrytning).

På senare tid har flera olika preparat använts för att ”spärra” fukt och alkali i betonggolv. Dessa preparat är uppbyggda på olika sätt men kan grupperas in i några få huvudgrupper, se nästa kapitel. Inom varje huvudgrupp är de enskilda materialen mycket snarlika i sin uppbyggnad. Samtliga av dessa preparat har också tillskrivits positiva egenskaper i samband med renovering av fuktskadade golvkonstruktioner med deponerade föroreningar. Det har dock ibland visat sig att det blir återkommande problem i vissa objekt med deponerade emissioner där man löst problemet med ett spärrskikt.

Vilka olika metoder finns att välja på?

Det finns i huvudsak tre olika metoder att välja mellan då man vill undvika eller minimera de obehag och hälsoproblem som kan uppstå i byggnader med emissionssmittat material. I huvudsak innebär samtliga metoder att man försöker minska emissionen av flyktiga kemiska ämnen från de smittade byggnadsdelarna.

Byte av smittade material

Denna metod anses vara den säkraste metoden eftersom de smittade materialen avlägsnas och ersätts med nya. När det är betongbjälklag som blivit smittade innebär denna metod i praktiken att det översta betongskiktet fräses bort och ersätts med en ny pågjutning. Ofta kan man inte fräsa bort allt förorenat material eftersom vissa föroreningar har en förmåga att tränga mycket djupt in i bjälklaget. Man får då nöja sig med att ta bort så mycket som möjligt, de värsta föroreningarna sitter dock erfarenhetsmässigt oftast i de översta 3-5 cm betong.

Mätningar från fältobjekt har visat att föroreningarna i enstaka fall trängt så djupt in som 15 cm i betongen. Detta är betydligt djupare än vad som rimligen går att avlägsna med tanke på armering och bjälklagets kvarvarande hållfasthet under renoveringen. Om man inte avlägsnar allt smittat

material är det ibland nödvändigt att beakta spridningsrisken för de föroreningar som lämnats kvar. Eventuellt kan metoden då behöva kombineras med ”vädring” och/eller ”inneslutning” av kvarvarande föroreningar.

Vädring av smittade konstruktioner

Vädring av smittat material kan antingen ske under en ”vädringsperiod” vid renoeringen eller med hjälp av luftspaltsbildande konstruktioner som ventileras efter att renoeringen slutförts. Ibland förekommer det att man höjer temperatur och/eller luftomsättning på materialytan under vädringsperioden. Det är vanligast att man använder den så kallade ”bake out-metoden” vid sanering av golvkonstruktioner som smittats av förtvålmat mattlim. Det som talar mot denna metod är osäkerheten om hur lång vädringsperioden måste vara för att få en bestående effekt med tanke på att föroreningarna kan ha trängt långt in i betongen. Vissa utredare håller ut en pöl vatten på golvet vid vädringsperiodens slut. Om det fortfarande går att förnimma den söttaktiga doften av nedbrytningsprodukter när vattnet torkar är vädringen inte tillräcklig.

En mycket säkrare vädringsmetod är då att använda ett luftspaltsbildande material. Luftspalten som bildas mellan betongen och övergolvet undertrycksventileras kontinuerligt med en separat fläkt. De avgående föroreningarna från konstruktionen får på så sätt aldrig en chans att komma in i brukarnas vistelsezon. Denna metod rekommenderas av många utredare men har dock en viss bygghöjd, beroende på fabrikat, som ibland kan innebära stora och kostsamma ingrepp för att dörrar och dylikt måste höjas.

Inneslutning av smittade konstruktioner

Vid inneslutning av smittade material är tanken att ytskiktet skall göras så tätt att inga alls, eller endast mycket små mängder kemiska ämnen kan emittera till vistelsezonen. Emissionshastigheten är då alltså så låg att allmänventilationen i rummet klarar att ta hand om de föroreningar som tränger ut ur konstruktionen, utan att de ställer till besvär för brukarna. Tätningen av ytan hos ett betongbjälklag kan exempelvis ske med prefabricerade skivmaterial av HDPE (high density polyethylene) eller med material som stryks direkt på ytan där det suges in, härdar eller på annat sätt bildar ett skikt. Är kraven så höga att det måste vara absolut tätt är bästa lösningen antagligen att använda en tunn epoxibelagd stålplåt som barriär för deponerade föroreningar.

En vanligt förekommande byggprodukt av HDPE är så kallad ”Platonmatta”. Skivor av denna produkt har formpressade upphöjningar för att skapa en luftspalt som eventuellt kan ventileras, se metoden ovan. Plana och ”tätare” kvalitéer av HDPE används ofta för att täta deponier utomhus mot vatten och andra kemiska föroreningar. Bland annat sker denna inneslutning av deponier med tanke på nederbörd och förorenat lakvatten.

I Sjöberg (2001:3) sammanställdes de flesta på marknaden förekommande spärrskikt som stryks på betongen. Preparaten delades in i fem grupper beroende på deras kemiska uppbyggnad och tekniska egenskaper.

Cementbaserat spärrskikt

Ett preparat ingick i denna materialgrupp, produktnamnet är ”Penetron Plus” (Scan-Clean saneringsteknik AB, Nässjö betongteknik AB) och preparatet uppges vara en kappilär vattentätning för betong. Preparatet är ett pulver som består av cement, fin kvartssand samt tillsatsmedel i form av naturidentiska aktiverare.

Preparatet slipas vanligtvis ned i betongen där det sedan uppges tränga vidare in i betongen med hjälp av ”osmosiskt tryck”. Preparatet reagerar därefter med betongens cementdel och bildar kristaller som, enligt uppgift, tätar defekter i strukturen och ”driver ut” fukt. I undersökningen blandades preparatet till en slamma, av tillverkaren, som sedan ströks på betongytan.

Termoplastbaserat spärrskikt

Ett preparat ingick i denna materialgrupp, produktnamnet är ”Creom 100” (Kreativa Ohlsson miljöer) och preparatet uppges fungera som fukt- och alkalispärr. Preparatet är en halvtransparent emulsion i vätskeform. Emulsionen uppges bestå av alifatisk polyeten, copolymerharts samt akrylatpolymer och vara helt vattenbaserad utan lösningsmedel. Efter att preparatet applicerats på en betongyta, uppges det tränga in 2–10 mm och härda. Efter härdning bryts betongens kapillärsugande förmåga, enligt uppgift från tidigare säljorganisation, samt betongytans nötningsbeständighet ökar.

Vattenglasbaserade spärrskikt

Två preparat ingick i denna materialgrupp, produktnamnen är ”Ever Creaseal” (Capton) samt ”Everseal djupimpregnering” (EverSeal Sverige AB). Preparaten uppges fungera som fukt- och alkalispärr. Ibland uppges en impregnering sänka pH värdet med 2-3 enheter och fuktnivån till under 85 % RF. Vattenglas är en klar vätska med något högre viskositet än vatten. Vätskan består av kiseldioxid löst i basisk lösning, vanligtvis natriumhydroxid (NaOH) eller kaliumhydroxid (KOH) och vatten. Vid applicering på betong tränger preparatet, enligt uppgift, ned mellan 1–3 cm och härdar till svårlösliga kiselföreningar. Kiseldioxiden reagerar huvudsakligen med kalciumsalter, exempelvis kalciumklorid och kalciumhydroxid, och bildar kalciumsilikat som sätter sig på porväggar och förstärker strukturen. Vattenglas har fått sitt namn då den kvarvarande ”massan” efter vattnet dunstat bort liknar glas. Både vanligt glas och den kvarvarande massan från vattenglas kan benämnas som ”genomskinlig amorf kiselstruktur”, men de framställs dock på olika sätt.

Silanbaserade spärrskikt

Två preparat ingick i denna materialgrupp, produktnamnen är ”Florosil” (BTI Betongimpregnering AB) samt ”Kromofor Silan” (IFU Konsult). Preparaten uppges bryta kapillär vätsketransport och samtidigt vara diffusionsöppna, jämför med GoreTex. Preparaten uppges ibland dessutom spärra kemiska emissioner. Silan är en polär monomer som tränger ned någon cm i betongen efter applicering, enligt uppgift, och binder på porväggarna. Med monomer menas en liten molekyl som kan byggas ihop med andra, ungefär som länkarna i en kedja. Överblivna silan-monomerer kan reagera med varandra, polymerisera, exempelvis med en monomer som redan bundit på porväggen. När polymeriseringen ägt rum i betongen har silanen kemiskt bundit till OH-grupper på porväggarna. Detta får, enligt uppgift, till följd att inget vatten kan bindas i porsystemet och betongskiktet som impregnerats blir hydrofob. Med hydrofobering menas att göra något vattenavvisande. Sannolikt minskas bindningskapaciteten för butanol, 2-etylhexanol och andra flyktiga organiska ämnen i betong, vid en hydrofobering med silan.

Epoxibaserade spärrskikt

Fem preparat ingick i denna materialgrupp, produktnamnen är ”Dexor-Bond” (DEXOR AB), ”Everseal djupimpregnering + emissionsspärr” (EverSeal Sverige AB), ”NM Fuktspärr FS023” (Nils Malmgren AB),

”Peran Dry Top” (Perstorp AB) samt ”UZIN-PE460” (Englundgruppen). Preparaten uppges fungera som fukt-, alkali- samt emissionsspärr. Preparaten är tvåkomponents härdplaster. Generellt sett gäller att de två komponenterna, ”bas” och ”härdare”, levereras arbetsplatsen separerade. Efter att komponenterna blandats stryks preparatet ut på betongytan där det härdar till ett hårt skikt. Det skall tilläggas att innan preparaten blandats och härdat är vissa komponenter starkt allergiframkallande och skall hanteras enligt AFS anvisningar 1996:4 för härdplaster. Efter att preparaten härdat fullständigt är de dock enligt uppgift helt inerta.

Vad visar dina egna undersökningar?

Syftet med studien på Chalmers (Sjöberg 2001:3) var att sammanställa och beskriva de preparat som kan strykas på betong och saluförs som spärrskikt. Att beskriva funktionen och användningsområdet för varje preparat och ge underlag för en bedömning om vilket preparat som är bäst i en specifik situation. Studien syftade också till att identifiera och kvantifiera de egenskaper hos dessa skikt som gör att de fyller sina funktioner som fukt- respektive alkalispärr. Att genom mätningar utvärdera storleken på de egenskaper som kan ha avgörande betydelse för preparatens funktion som spärrskikt.

Gemensamt för spärrskikten som undersöktes var att de stryks direkt på betongytan. Inga spärrskikt i form av skivor, mattor eller på annat sätt prefabricerade enheter togs med i studien. Ej heller studerades avjämningsmassor. Preparaten delades in i fem grupper, enligt beskrivningen i föregående kapitel, beroende på deras kemiska uppbyggnad. Preparaten inom varje grupp har liknande kemisk uppbyggnad och uppvisade också likvärdiga mätresultat i undersökningen. Grupperna var cementbaserade preparat, termoplaster, vattenglas, silaner samt epoxibaserade preparat.

Undersökningen kom fram till att det finns tre olika funktioner som ett spärrskikt kan ha i dessa sammanhang; fuktspärr, alkalispärr samt emissionsspärr. De olika spärrfunktionerna definieras nedan tillsammans med en kort redogörelse för de olika preparatens uppmätta förmåga att fungera som respektive spärr.

Fuktspärr

En fuktspärr är i dessa sammanhang, med limmade golvmaterial på betong, ett skikt med sådana egenskaper att det hindrar eller minskar fukttransporten upp genom betongytan på sådant sätt att någon typ av fukt-skada kan minskas eller förhindras. För att ett preparat som appliceras på en yta skall kunna benämnas fuktspärr måste det ha egenskaper i överensstämmelse med ovanstående.

Den fria, oförhindrade, fukttransporten kan dels ske i gasfasen i materialporer, som ångdiffusion, och dels på porväggarna, som kapillärsugning, beroende på materialstrukturen, materialens kemiska egenskaper, fuktnivån samt fuktflödets hastighet. Ett skikt som hindrar eller bryter kapillärtransport av alkalisk fukt kallas fuktspärr eftersom det primärt hindrar fukttransport. Att alkalitransporten hindras är en sekundär effekt av att fukttransporten brutits.

Störst fuktspärrande förmåga i undersökningen hade de epoxibaserade preparaten. De minskade fukttransporten i både ång- och vätskefas i högre omfattning än något annat preparat. De silanbaserade preparaten minskade också fukttransporten i både ång- och vätskefas. Silan hade dock lägre fuktspärrande förmåga, för både ång- och vätskefas, än epoxi hade. För övriga preparat kunde inga nämnvärda effekter som visar på fuktspärrande förmåga mätas i undersökningen.

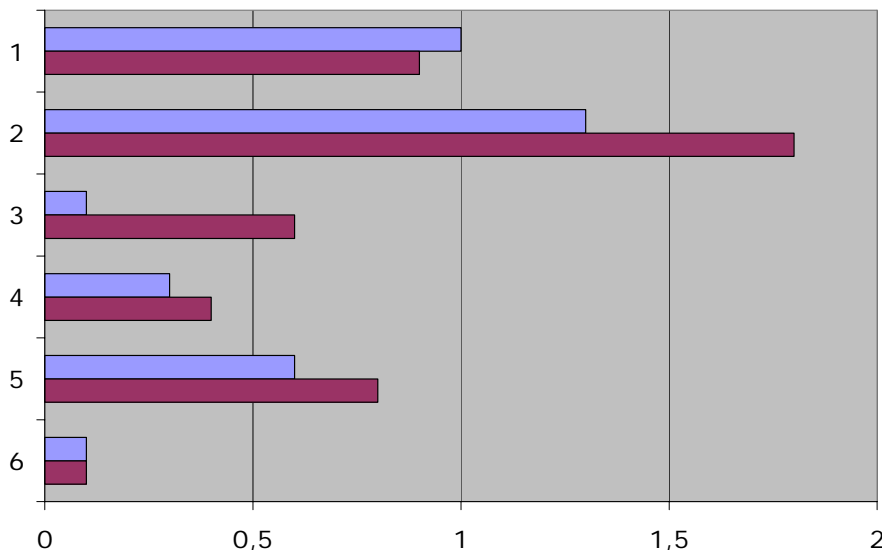
Alkalispärr

En alkalispärr är i dessa sammanhang, med limmade golvmaterial på betong, ett skikt med sådana egenskaper att det hindrar eller minskar transporten av alkali upp genom betongytan på sådant sätt att någon typ av skada på grund av alkalisk hydrolys eller motsvarande kan minskas eller förhindras. För att ett preparat som appliceras på en yta skall kunna benämnas alkalispärr måste det ha egenskaper i överensstämmelse med ovanstående.

Med alkali menar man i dessa sammanhang en hög koncentration av hydroxidjoner, oberoende av vilka motjonerna är. Detta skapar ett högt pH-värde i en vätskelösning. PH-värdet i porvätskan i betong är i storleksordningen 12,5 – 14 beroende på hur man mäter. Alkali kan bara transporteras i vätskelösning, bryter man vätskeförbindelsen hindras alkalistransport. Ett preparat kan inte kallas alkalispärr om det indirekt förhindrar

alkalitransport genom att bryta vätskeförbindelsen. Det är då en fuktspärrens som hindrar alkalisk fukt, se "fuktspärrens".

Alla preparat utom ett visade sig minska eller förhindra att alkalisk hydrolys uppstod vid limning av plastmattor på betong med fuktnivå på 96 % RF. I figur 1 redovisas relativ emissionsfaktor, för golvsystem med samtliga grupper av preparat, i förhållande till golvsystem med normal husbyggnadsbetong och limmad PVC-matta. Staplar mindre än "1" visar på att preparatet hindrar alkali att bryta ned limmet i lika hög grad.



Figur 1. Relativ EF i förhållande till normal husbyggnadsbetong.

Värdena i tabell 1 är hämtade ur Sjöberg (2001:3) och avser emissioner från ytan på ett golvsystem bestående av betong, ev. spärrskikt och limmad plastmatta. "Relativ EF" är att respektive värden delas med värdet för nr 1, golvsystem med normal husbyggnadsbetong utan spärrskikt.

Tabell 1. Högsta EF under förloppet samt relativ EF.

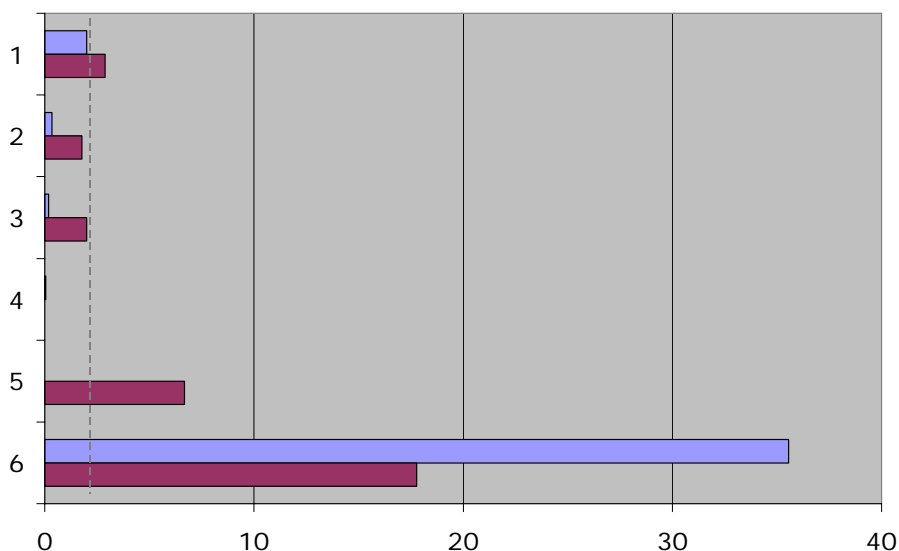
Nr	Spärrskikt (vct)	EF $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$		Rel. EF [-]	
		0,66	0,39	0,66	0,39
1	Betong	500	450	(1)	0,9
2	Cementbas.	650	900	1,3	1,8
3	Termoplast	50	300	0,1	0,6
4	Vattenglas	150	200	0,3	0,4
5	Silan	300	400	0,6	0,8
6	Epoxi	50	50	0,1	0,1

Den positiva effekten kan i några fall bero på att preparatet fungerar som fuktspärr för alkalisk fukt, snarare än som alkalispärr.

Emissionsspärr

En emissionsspärr är i dessa sammanhang, med limmade golvmaterial på betong, ett skikt med sådana egenskaper att det hindrar eller minskar transporten av enstaka eller grupper av VOC's (Volative Organic Compounds) upp genom betongytan på sådant sätt att en sänkning av kvaliteten hos inomhusluften kan minskas eller förhindras. För att ett preparat som appliceras på en yta skall kunna benämnas emissionsspärr måste det ha egenskaper i överensstämmelse med ovanstående.

I Sjöberg (2001:3) undersöktes den spärrande förmågan hos preparaten med koppmetoden för två ämnen, butanol och 2-etylhexanol. Det visade sig att endast en grupp med preparat hade sådana egenskaper att en emissionsspärrande effekt kunde uppmätas, med säkerhet, figur 2.



Figur 2. Emissionsspärrande egenskap mot butanol i förhållande till 1 cm normal husbyggnadsbetong.

Värdena i tabell 2 är hämtade ur Sjöberg (2001:3). Rel. $Z_{\text{spärr}}$ innebär att respektive värden delas med halva värdet för nr 1, betong med vct 0,66. På så sätt jämförs alla preparat med genomgångsmotståndet för 1 cm normal husbyggnadsbetong, utan preparat.

Tabell 2. Absolut och relativt genomgångsmotstånd.

Nr	Spärrskikt (vct)	$Z_{\text{spärr}}$ 10^3 s/m		Rel. $Z_{\text{spärr}}$ [-]	
		0,66	0,39	0,66	0,39
1	Betong	180	260	(2)	2,9
2	Cementbas.	31	160	0,3	1,8
3	Termoplast	16	180	0,1	2
4	Vattenglas	4	0	0	0
5	Silan	0	600	0	6,7
6	Epoxi	3'200	1'600	36	18

I undersökningen var det endast epoxibaserade preparat som minskade flödet av butanol eller 2-etylhexanol i någon nämnvärd omfattning. För butanol motsvarar genomgångsmotståndet hos de epoxibaserade preparaten ca 36 cm normal husbyggnadsbetong eller ca 12 cm byggfuktfri betong ($1600[s/m]/260[s/m]/2[cm]$).

De flesta övriga preparaten gav mätbara minskningar av flödet av butanol, speciellt genom den byggfuktfria betongen. Men eftersom den emissions-spärrande effekten enbart motsvarar max 4,6 cm betong ($600[s/m]/260[s/m]/2[cm]$), och knappt var mätbar då preparaten applicerats på normal husbyggnadsbetong, kan den inte anses säkerställd.

Val av preparat

För att förhindra att skada uppkommer på grund av byggfukt när det är hög fuktnivå i golvet, som kommer att minska med tiden, men inga deponerade nedbrytningsprodukter skall en fukt- eller alkalispärr användas. På så sätt undviks att alkalisk fukt transporteras upp från betongen och bryter ned limmet. Det är svårt att avgöra vad som är en fukt- respektive alkalispärr, men i detta fall fungerar det med vilket som. I figur 1 utvärderas preparaten med tanke på förmågan att spärra alkalisk fukt. Ett lågt värde i den figuren visar på bra funktion, i denna studie.

För att förhindra att förnyad skada och återkommande besvär hos brukarna, efter renovering när det finns höga koncentrationer av deponerade nedbrytningsprodukter i golvet, skall en emissionsspärr användas. Förutsättningarna för detta scenario är låg fuktnivå i golvet, ingen påskjutande markfukt och att byggfukten har torkat för länge sedan. I figur 2 utvärderas preparaten med tanke på förmågan att spärra deponerade emissioner. Ett högt värde i den figuren visar på bra funktion, i denna studie.

För att undvika skada på grund av påskjutande markfukt får man skilja på två olika fall:

A) För att förhindra att skada uppkommer på exempelvis källargolv med påskjutande markfukt där målade ytor skall ersättas med tätare limmad beläggning skall en fukt- eller alkalispärr användas. Detta är ett svårare fall av samma problematik som orsakar skadan i det första fallet ovan. Med en fukt- eller alkalispärr kan transport av alkalisk fukt från betongen und-

vikas. Preparat från grupper med låga värden i figur 1 är eftersträvansvärt för att få bra funktion, enligt denna studie.

B) För att förhindra återkommande besvär efter en renovering på exempelvis ett fuktskadat källargolv bestående av direktlimmad matta på betong, utan underliggande fuktskydd, skall en kombinerad fukt-, alkali och emissionsspärr användas. Detta är ett av de svåraste fall av denna problematik som kan uppstå. Med en fukt- eller alkalispärr kan transport av alkalisk fukt från betongen undvikas. Detta ser till att ingen ny alkalisk hydrolys uppkommer efter åtgärd. Samtidigt säkerställer emissions-spärrande egenskaper att deponerade emissioner inte tar sig upp till inne-luften i för hög takt, och orsakar skada i form av ohälsa. Preparat från grupper med låga värden i figur 1 samt höga värden i figur 2 är efter-strävansvärt för att få bra funktion, enligt denna studie.

Referenser

Sjöberg A. 2001:1. Secondary emissions from concrete floors with bonded flooring materials – effects of alkaline hydrolysis and stored decomposition products. Institutionen för Byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. P-01:2. 188 sidor.

Sjöberg A. 2001:2. Sekundära emissioner från betonggolvs med limmade golvmaterial – effekter av alkalisk hydrolys och deponerade nedbrytningsprodukter. Institutionen för Byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. P-01:4. 188 sidor.

Sjöberg A. 2001:3. Egenskaper och funktion hos fukt- och alkalispärrar på betong. Institutionen för Byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. P-01:5. 40 sidor.

Skall vi mäta kemin under golvbeläggningar och hur tolkar vi i så fall mätresultaten?

Göran Stridh

Skall vi mäta kemin under golvbeläggningar och hur tolkar vi i så fall mätresultaten?

På Yrkes- miljömedicinska kliniken får vi ofta ta del av mätprotokoll som beskriver mätningar av kemiska ämnen under mattbeläggningar. Förfrågningar kommer från företagshälsovården, kommunernas miljö- och hälso- skyddskontor eller från förvaltare och i de flesta fall har mätningen föregåtts av klagomål på lukt, ohälsa eller någon annan avvikelse från byggnadens brukare. Ibland anges att mätresultaten utgör underlag för bedömning om matta skall bytas eller inte. Oftast - men inte alltid - rör problemet mattor limmade mot betongbjälklag. Värden i protokollen varierar för såväl TVOC som för de enskilda ämnena 1-butanol och 2-etylhexanol inom vida gränser och är därför mycket svårtolkade. Ett särskilt problem är att det saknas, eller åtminstone sällan anges, vad som anses normalt under en limmad PVC- eller linoleummatta. Vad styr förekomsten av kemiska ämnen under mattor?

De flesta lim är vattenburna och av akryltyp, dvs en polymer baserad på akrylsyra och någon alkohol, vanligen butanol. Vid limspridningen på ett betonggolvet kommer en reaktion att inträffa, som innebär spjälkning av akrylatet till dess utgångssubstanser. Viktiga förutsättningar för detta är tillgång till vatten i vätskeform samt hydroxyljoner. Vattnet kommer från limmet och hydroxyljonerna från betongen. Spjälkningsreaktionen, av kemister känd som **alkalisk esterhydrolys** är momentan. Detta innebär att det alltid kommer att uppstå en viss mängd av den återbildade alkoholen. Alkoholen migrerar till en del genom mattan till omgivande luft, medan den större delen kommer att befinna sig i betongbjälklaget. Mängden återbildad alkohol torde bestämmas av hur mycket vatten i vätskeform som finns tillgängligt. Om betongen torkat ut till erforderlig torrhet är det vattnet i limmet som är bestämmande.

Svårigheterna att tolka uppmätta värden samt avsaknaden av "normala" värden fick oss att under hösten 2002 genomföra en undersökning av halterna av TVOC, 1-butanol och 2-etylhexanol i två objekt i Örebro. Det ena objektet omfattade ROT-arbete i ett bostadsområde ursprungligen uppfört under 1960-talet och det andra ett ROT-arbete i en vårdinrättning. Den senare var ursprungligen uppförd i början av 1900-talet och senast renoverad på 1960-talet. Båda objekten är att beteckna som typiska

fastigheter för sin tid. Några fuktskador har inte rapporterats och inte heller klagomål på inomhusklimatet från brukarna. Några enstaka mätningar har även genomförts i ett rum i ett kommunkontor med klagomål på instängd luft och i ett rum i ett daghem, där en miljöinventering indikerat risk för fuktskador. På samtliga objekt gjordes fuktindikering med DB-2-instrument i varje mätpunkt.

I rapporter som tillsänts oss har något märkliga mättekniker använts. I en metod placeras ett exsickatorlock (ungefär som en ostkupa) på golvmattan eller den frilagda betongen och något hundratal liter luft pumpas genom locket och en adsorbent. Den totala provtagningsvolymen överskrider lockets volym med åtminstone en faktor 10. Den andra metoden innebär att mattan lyfts och att ett adsorbenttrör sticks under mattan och 100 ml dras ut med pump. I denna undersökning har vi gjort parallella mätningar av luftens innehåll, emissionen från mattbeläggningens yta och därefter emissionen från frilagd betong på samma plats där mattans emission mätts. Emissionsmätningarna har genomförts med locket till FLEC-utrustningen (FLEC = Field and Laboratory Emission Cell) och erhållna värden anges i enheten $\mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{h}$. Detta tillvägagångssätt överensstämmer i väsentliga delar med standardmetoden CEN/ENV 13419, del 2. För att utvärdera konsistensen i mätningarna på frilagd betongyta utfördes dessa på flera ställen i ett och samma rum. Samtliga provtagningar gjordes med Tenax® som adsorbent och analyserna med ATD-utrustning, gaskromatografi och masselektiv detektor.

Resultat

I tabellerna 1-4 redovisas värden för TVOC i rumsluft, från matta och från frilagd betong i offentliga lokaler (Tabell 1), motsvarande värden för 1-butanol och 2-etylhexanol (Tabell 2), värden för TVOC i rumsluft, från matta och från frilagd betong i bostadsområde (Tabell 3) och motsvarande värden för 1-butanol och 2-etylhexanol (Tabell 4).

Tabell 1. TVOC i offentliga lokaler. Rumsluftvärden angivna i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ och övriga värden i $\mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{h}$. Markeringen > anger att risk för överladdning av Tenax-adsorbenten förelåg. Samliga värden är avrundade för att motsvara osäkerheten i mättekniken.

Lokalbeteckning	Antal mätningar på frilagd betong	TVOC		
		I rumsluft	Från matta	Från frilagd betong
Kommunkontor	2	40	80	123 000
Daghem	2	30	2 700	>87 000
Vård A	6	20	60	8 100
Vård B	6	40	130	>106 000
Vård C	6	20	40	>18 400
Vård D	6	20	60	5 200
Vård E	6	50	120	1 400
Vård F	6	40	130	>3 200
Vård G	6	80	40	1 000
Vård H	3	30	80	270
Vård J	3	40	80	1 500
Vård K	3	30	360	>3 500
Vård L	3	20	230	470

Tabell 2. 1-butanol och 2-etylhexanol i offentliga lokaler. Rumsluftvärden angivna i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ och övriga värden i $\mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{h}$. Markeringen > anger att risk för överladdning av Tenax-adsorbenten förelåg. Samliga värden är avrundade för att motsvara osäkerheten i mättekniken.

Lokalbeteckning	Antal mätningar på frilagd betong	1-butanol			2-etylhexanol		
		I rumsluft	Från matta	Från frilagd betong	I rumsluft	Från matta	Från frilagd betong
Kommunkontor	2	1	4	690	4	9	3 600
Daghem	2	0	300	>23 000	2	460	>35 000
Vård A	6	0	3	270	2	6	2 900
Vård B	6	1	6	7 100	2	30	>65 000
Vård C	6	1	1	1 200	1	10	>12 000
Vård D	6	0	6	150	1	20	500
Vård E	6	1	1	80	2	20	1 400
Vård F	6	0	1	160	1	15	>3 200
Vård G	6	1	0	90	4	10	280
Vård H	3	0	1	20	2	40	60
Vård J	3	0	1	230	1	20	1 000
Vård K	3	0	4	110	2	80	>3 700
Vård L	3	0	2	20	1	130	90

Tabell 3. TVOC i boendemiljö. Rumsluftvärden angivna i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ och övriga värden i $\mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{h}$. Samtliga värden är avrundade för att motsvara osäkerheten i mättekniken. Standardavvikelsen för mätvärde från frilagd betong redovisas.

Lokal- beteckning	Antal mät- ningar på frilagd betong	TVOC		
		I rumsluft	Från matta	Från frilagd betong
Lägenhet A	-	110	-	-
Lägenhet B	9	160	240	1 300±1 500
Lägenhet C	10	3 500	1 900	4 800±5 300
Lägenhet D	10	190	160	1 500±1 500
Lägenhet E	10	210	240	350±350
Lägenhet F	10	380	560	1 600±1 500
Lägenhet G	-	40	110	-
Lägenhet H	10	430	210	1 900±6 300
Lägenhet J	10	1 200	360	11 000±19 000
Lägenhet K	10	200	100	1 200±1 100
Lägenhet L	9	700	240	1 300±1 500
Lägenhet M	10	50	70	1 300±1 800
Lägenhet N	8	50	90	1 000±1 100
Lägenhet O	10	80	80	320±220
Lägenhet P	10	60	60	590±370
Lägenhet Q	10	30	70	700±1 000

Tabell 4. 1-butanol och 2-etylhexanol i boendemiljö. Rumsluftvärden angivna i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ och övriga värden i $\mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{h}$. Samtliga värden är avrundade för att motsvara osäkerheten i mättekniken. Standardavvikelsen för mätvärden från frilagd betong redovisas.

Lokal- beteckning	Antal mätningar på frilagd betong	1-butanol			2-etylhexanol		
		I rums- luft	Från matta	Från frilagd betong	I rums- luft	Från matta	Från frilagd betong
Lägenhet A	-	4	-	-	2	-	-
Lägenhet B	9	1	2	70±60	2	6	20±10
Lägenhet C	10	130	70	190±160	8	20	50±50
Lägenhet D	10	4	3	17±15	2	4	10±6
Lägenhet E	10	4	17	40±30	2	6	15±10
Lägenhet F	10	1	3	50±50	3	9	30±20
Lägenhet G	-	1	6	-	0	6	-
Lägenhet H	10	2	2	100±90	2	4	40±30
Lägenhet J	10	1	2	60±60	0	2	20±20
Lägenhet K	10	1	4	40±30	1	3	20±15
Lägenhet L	9	1	2	20±20	2	4	15±15
Lägenhet M	10	1	5	20±40	2	4	25±20
Lägenhet N	8	1	4	100±140	2	4	50±40
Lägenhet O	10	1	3	30±30	2	4	20±15
Lägenhet P	10	1	5	40±30	2	7	40±20
Lägenhet Q	10	1	30	20±30	1	15	20±15

I tabellerna 5 och 6 redovisas värden för TVOC, 1-butanol och 2-etylhexanol från mätplatser på frilagd betong i ett rum i en bostad (kök i bottenplan, lägenhet N) samt i ett rum i en vårdlokal (behandlingsrum, plan 4, Vård B).

Tabell 5. Enskilda värden för TVOC, 1-butanol och 2-etylhexanol på frilagd betong i vårdlokal (Vård B). Samtliga koncentrationvärden angivna i $\mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{h}$ och fuktkvoten i procent. Markeringen > anger att risk för överladdning av Tenaxadsorbenten förelåg. Samtliga värden är avrundade för att motsvara osäkerheten i mättekniken.

Plats i rum	Fuktkvot	TVOC	1-butanol	2-etylhexanol
1	0,0	>317 000	21 300	>177 000
1	0,0	>292 000	20 000	>193 000
2	0,9	6 100	220	2 700
2	0,9	2 600	100	840
3	4,9	18 100	700	15 100
3	4,9	1 100	30	1 200

Tabell 6. Enskilda värden för TVOC, 1-butanol och 2-etylhexanol på frilagd betong i boendemiljö (Lägenhet N). Samtliga koncentrationvärden angivna i $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ och fuktkvot i procent. Samtliga värden är avrundade för att motsvara osäkerheten i mättekniken.

Plats i rum	Fuktkvot	TVOC	1-butanol	2-etylhexanol
1	0,0	690	45	30
1	0,0	410	40	40
2	0,0	3 700	390	130
2	0,0	1 400	210	80
3	0,0	950	70	35
3	0,0	350	20	8
4	0,0	890	12	65
4	0,0	140	10	25

Diskussion och slutsatser

Av resultaten framgår att 1-butanol och 2-etylhexanol alltid förekommer som emissionsprodukter från betongbjälklag oavsett om konstruktionen varit utsatt för fuktpåverkan eller inte. Förekomsten av nedbrytningsprodukterna torde hänföras till den vattentillgång som finns initialt vid påförning av lim i kombination med hydrolyjoner från cementbaserade material. Variationer i emissionen kan bero på olika mängder lim.

Trots betydande emissionspotential från betongen var det sällsynt med halter av 1-butanol eller 2-etylhexanol på $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eller däröver i rumsluften. PVC- eller linoleummatta utgör alltså en effektiv emissionsspärr för dess ämnen.

I daghemmet utfördes mätningar i samband med miljöinventeringen. Analyserna utfördes av annat laboratorium. Vid provtagningen pumpades 100 ml från mattskiktet genom Tenaxrör. Rapporterade värden var 65.622, 42.200 och $15.696 \mu\text{g}/\text{m}^3$ för TVOC, 1-butanol och 2-etylhexanol i prov under matta vid yttervägg. Motsvarande värden under matta vid innervägg var 39.731, 19.265 och 6.504. Det är inte möjligt att jämföra dessa resultat med här rapporterade på grund av olika provtagningsförfarande och annan dimension på resultaten. Några emissionsmätningar från mattan resp koncentrationer i rumsluften rapporterades inte.

TVOC-värden i studerade lägenheter var i allmänhet låga med några undantag för lägenhet C och J, där renoveringsarbeten pågick i angränsande lokaler samtidigt med provtagningen. Övriga höga emissionsvärden erhöles från mattan i daghemmet av såväl TVOC som de båda

enskilda ämnena. Eftersom endast marginella värden erhöles i rumsluften måste PVC-mattan utgöra en effektiv emissionsspärr.

Tabellerna 5 och 6 redovisar värden från flera mätningar i samma rum i en vårdlokal samt i ett bostadsutrymme. Variationen i nivå mellan enskilda mätvärden är anmärkningsvärt stor. I vårdlokalen kan man inte finna något förväntat samband mellan uppmätt fuktkvot i betongbjälklaget och erhållna värden. Tvärtom uppvisar det "torraste stället" högst värden. Värdena visar också att det är synnerligen osäkert att genomföra endast en provtagning av emissionen från frilagd betong. Skillnaden i värde mellan närliggande punkter på golvet kan uppgå till flera tiopotenser.

Skall man överhuvudtaget mäta emissionen under mattan och vad säger dessa? Enligt undersökningen kan man påträffa signalsubstanserna 1-butanol och 2-etylhexanol i mycket höga halter under mattbeläggningar utan att det förekommer några klagomål från brukarna, utan att fuktskador förekommit och utan att några felfunktioner i ventilations- och uppvärmningssystem rapporterats. Det måste därför anses vara äventyrligt av konsulter inom området att rekommendera byte av beläggning. En enskild mätning kan ge helt fel underlag. Det har dessutom förekommit att mätningar under matta åberopats i rättsfall, där kändanden med stöd av läkare hävdade att mätta höga värden skulle kunna förklara upplevd ohälsa.

Redovisad undersökning kommer under 2003 att kompletteras med ytterligare mätningar från bl a skadefall med tillskjutande markfukt för att vinna ytterligare kunskaper.

Att komma ihåg

- det finns alltid betydande mängder kemikalier under en limmad PVC- eller linoleummatta
- bland ämnena återfinns alltid signalsubstanserna 1-butanol och 2-etylhexanol
- uppmätta värden kan variera inom vida gränser trots att klagomål på inomhusklimatet inte framförts
- en enskild mätning under matta kan ge vilseledande information om behovet av mattbyte
- det är vanskligt att utifrån uppmätta halter av kemiska ämnen i rumsluft, från matta eller från frilagd betong göra uttalanden om hälsan

Högpresterande betong – bra eller dåligt?

Folke Björk

Den typiska högpresterande betongen:

- Har ett vattenbindemedelstal mindre än 0,45, ibland under 0,30
- Innehåller ofta silika, vanligen 5–10% av cementmängden
- Innehåller tillsatsmedel
- Innehåller välgraderade ballastmaterial

Valet av delmaterial – ballast, cement, tillsatsmedel och tillsatsmaterial – är betydligt svårare för högpresterande betong än för konventionell betong. Det är inte bara möjligt, utan även nödvändigt, att specialanpassa den högpresterande betongen till det den ska användas till.

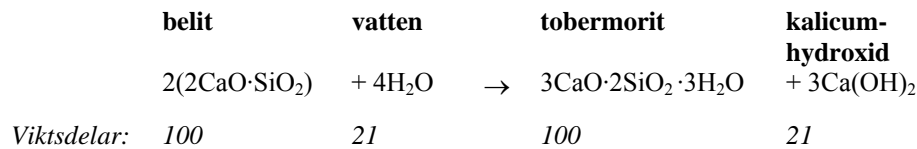
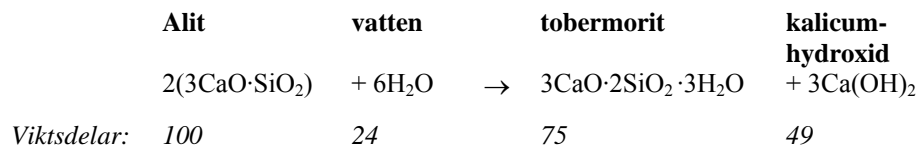
Vad innebär högpresterade betong?

Handbok Högpresterande Betong (1) gavs ut av som slutrapport från ett nationellt forskningsprogram. Fakta om högpresterande betong som presenteras här är hämtade från denna handbok.

Högpresterande betong är betong, som jämfört med konventionellt tillverkad betong, har förbättrade egenskaper i olika avseenden. Förbättringarna kan gälla betongmassans egenskaper, betongens mekaniska egenskaper eller beständighet. I högpresterande betong kompletteras cement som bindemedel med andra råvaror som bidrar till puzzolanreaktionerna, dvs reaktionerna som gör att betongen binder. Detta är de viktigaste aktiva komponenterna i cement (2):

alit	trikalciumsilikat	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2 + \text{småkomp}$
Belit	dikalciumsilikat	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2 + \text{småkomp}$
celit	trikalcialuminat	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{småkomp}$
Ferrit	kalcialuminatferrit	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{småkomp}$

När cement binder reagerar dessa komponenter och bildar det kristallina material som håller ihop betongen. Tobermorit kallas detta material. Vatten är en nödvändig komponent för att cementbindningsreaktionen ska äga rum. Det finns två vägar för tobermorit, betongens huvudkomponent, att bildas:



Reaktionen från alit (trikalciumsilikat) skapar betydligt mer kalciumhydroxid än reaktionen från belit (dikalciumsilikat). Att öka den andel av cementbindningen som sker enligt belitspåret är typiskt för högpresterande betong. Detta möjliggörs genom tillsats av silikater. Silikaterna kan komma från silika, flygaska eller mald masugnsslagg. Av dessa är silika den effektivaste. Silika (silica fume, microsilica) erhålls som en biprodukt när högren kvarts reduceras med kol i elektronugnar för framställning av kisel- och ferrokisellegeringar. Flygaska erhålls främst vid förbränning av kol, t.ex. i kolkraftverk. För tillsats i betong är silika utan tvekan det bästa alternativet. I högpresterande betong är det vanligt med en silikatillsats på 5 – 10% på cementets vikt. Den silikat som tillsatts till betongpastan måste vara väl blandad med resten av materialet för att reaktionen ska kunna ske. Flytmedel i betongen underlättar blandningen. Aktuella medel i sammanhanget är främst sådana som är baserade på sulfonerad melaminpolymer.

Lågt vattenbindemedelstal eller vattencementtal är, som nämnts, kännetecknande för högpresterande betong. Vattencementtalet används för att beskriva konventionell betong, och definieras som:

$$\text{Vattencementtal} = \frac{\text{Massa tillsatt vatten}}{\text{Massa tillsatt portlandcement}}$$

Ju lägre vattencementtal desto bättre kvalitet har betongen. Vattencementtalet är inte tillräckligt som definition för högpresterande betong i och med att det inte längre är bara portlandcement som står för cementreaktionen i

betongen. Istället används ett begrepp som kallas vattenbindemedelstal, som kan definieras:

$$\text{Vattenbindemedelstal} = \frac{\text{Massa tillsatt vatten}}{\text{Massa tillsatt (Portlandcement + Silika + 0,3xFlygaska + 0,6xGranulerad masugnsslugg)}}$$

Multiplikatorerna framför massan av flygaska och granulerad masugnsslugg är de respektive ingrediensernas effektivitetsfaktorer i cementbindningsreaktionen. Högpresterande betong har vanligen vattenbindemedelstal lägre än 0,4 och ibland ned under 0,3.

Användningsområden för högpresterande betong

Högpresterande betong används redan idag och det är troligt att användningen ökar i framtiden. Detta är exempel på vad högpresterande betong kan användas till:

Specialflytbetong är högpresterande betong som genom balanserad mängd silikastoft och flytmedel inte behöver vibreras för att kompakteras. Komplicerade former är därför möjliga att gjuta, och gjutningsarbetet blir betydligt enklare än med konventionell betong.

Sprutbetong kan med högpresterande betongpasta påföras i särskilt tjocka skikt, upp till 200 mm. Detta tack vare att betongpastan kan ha mycket god sammanhållning.

Pelare i höga byggnadsverk är ett naturligt användningsområde för högpresterande och höghållfast betong. Den höga hållfastheten kan utnyttjas på många sätt:

- Samma pelartvärsnitt över byggnadsverkets hela höjd, vilket minskar formkostnaderna
- Minskat tvärsnitt hos pelare vid given belastning, vilket ger ökad brukbar yta, och reducerar kostnader för material och gjutformer
- Mindre mängd armeringsmaterial behövs
- Snabb utveckling av hållfastheten ger ökad omloppshastighet i bygget

Trafikerade ytor är ett användningsområde tack vare att nötningsmotståndet för högpresterande betong överträffar den konventionella betongens. Detta kan användas för:

- Vägar, där betongen ska motstå dubbdäcksslitage
- Tunga maskiners och fordons uppställningsplatser
- Golv i smältverk, där hög temperatur kombineras med starkt slitage
- Golv för lagerutrymmen för nötande material som kol och ballast

Beständigheten mot kloridinträngning och andra nedbrytningsmekanismer är ett argument för att använda den högpresterande betongen i sådana byggnadsverk som har stora krav på beständighet.

Tjocka bjälklag behövs främst för att skapa tillräcklig ljudisolering i byggnader. I bjälklag av konventionell betong finns ganska mycket byggfukt som avges under lång tid. Byggfukten kan orsaka skador på andra material i byggnadskonstruktionen. Den högpresterande betongen kan ha så stor andel bindemedel i förhållande till mängden blandningsvatten så att i stort sett allt vatten i materialet förbrukas under härdningsprocessen. För bostadsproduktion rekommenderas användning av högpresterande betong för att minska mängden byggfukt som måste torka ut, och därmed förkorta tiden för bygget.

Speciella egenskaper för högpresterande betong

Den högpresterande betongen är på flera sätt olik konventionell betong i sina egenskaper. För framgångsrik användning måste hänsyn tas till detta.

Cementhalten i högpresterande betong är högre än för normal betong. Detta betyder att det kan vara svårt att göra materialet säkert mot alkali-ballastreaktioner. Det är processer där ballast expanderar på grund av påverkan från den alkaliska miljö som betongen utgör. Det är därför extra viktigt att ha god kontroll över vilken ballast som används när högpresterande betong ska tillverkas.

Sprickor kan bildas i högpresterande betong redan i tidig ålder. Detta skiljer den högpresterande betongen från konventionell betong. För att undvika sådan sprickbildning är det viktigt att skydda den högpresterande betongen mot tidig uttorkning.

Vid brand sker spjälkning av högpresterande betong snabbare och i större utsträckning än vad som är fallet för konventionell betong. Orsaken till detta är att den högpresterande betongens täta porstruktur hindrar vattenånga att pysa ut, istället sker spjälkning av betongen.

Betongpasta med silikatillsats är klibbigare än konventionell betong. Att gjuta med högpresterande betong upplevs därför annorlunda än gjutning med konventionell betong. Den är svårare att arbeta med. Tillsats av luftporbildare gör detta problem mindre. Luftporbildare är t.ex. vinsolhartser eller syntetiska tensider.

En tät porstruktur är en stor del av orsaken till att den högpresterande betongens speciella egenskaper. Den täta porstrukturen gör att ämnen som kan skada betongen får betydligt svårare att tränga in i högpresterande betong än i normal betong. Exempel på sådana ämnen är klorider, sulfater och nitrater. Den täta porstrukturen bidrar dessutom till betongens vattentäthet.

Konventionell betong har ett överskott av vatten som efter hand lämnar materialet genom porsystemet. Högpresterande betong med lågt vattenbindemedelstal kan bli torr utan att fukt behöver lämna materialet tack vare att en stor del av vattnet i cementpastan förbrukas vid härdningen. Om fukt ändå behöver lämna materialet så går uttorkningsprocessen mycket långsamt på grund av den täta porstrukturen. Högpresterande betong kan ha ganska liten fuktkapacitet. Fukt som tillförs vid t.ex. mattlimning sprids inte i betongplattan på det sätt som sker i konventionell betong. Den konventionella betongen suger hastigt upp vattenspill i sitt porsystem. Den högpresterande betongen är så tät så att det kan ta flera år för fukt att tränga in några centimeter i materialet. Det betyder att den lilla mängd fukt som mattlimningen tillför konstruktionen kan försätta betongytan närmast golvmattan i ett ganska kritiskt fukttillstånd. Den högpresterande betongen som ska vara självtorkande har alltså ett annat uppförande i fukthänseende än vad den konventionella betongen har.

Hur påverkas intelligande material av högpresterande betong?

Den högpresterande betongen kan fungera annorlunda än konventionell betong i relation till sin omgivning. Eftersom den högpresterande betongen innehåller mer cement än konventionell betong så bildar den en miljö som är mer alkalisk. Detta gäller även om en större andel i betongen binder som belit, som ger mindre produktion av kalciumhydroxid. Därför ställer den

högpresterande betongen speciella krav på ballastmaterialet. Andra material som finns i kontakt med betongen kan också påverkas.

Färsk betong har högt pH-värde. PH-värdet är ett enkelt nyckeltal vid beskrivning av vattens nedbrytande förmåga på hydrolyserbara kemiska grupper som definieras på detta sätt:

$$\text{pH} = (-1) \cdot {}^{10}\log (\text{konc. vätejon [mol/l] i vatten})$$

Det är i vattenlösning som denna definition av ett pH-värde är meningsfullt. Om det sker nedbrytning av intilliggande material på grund av betongens höga pH-värde så sker detta med deltagande av vatten. Ett enkelt sätt att mäta betongens pH-värde är att mala betong och blanda med vatten. Detta är ett förfarande som har tillämpats:

Ett sätt är att använda en procedur som beskrivs av ASTM C 110 (3) men modifiera den för att passa mindre provmängder. En mängd av $0,5 \pm 0,01\text{g}$ prov vägs upp i en behållare. Till denna tillsätts $0,005 \pm 0,0002\text{ l}$ destillerat vatten. Behållaren förses med lock och skakas häftigt under 1 min, varefter blandningen får sjunka under 20 minuter. Vätskans pH-värde mätes sedan med pH-elektrod.

Karbonatisering är den process som efter hand sänker betongmaterialets pH-värde. Karbonatiseringen sker genom att koldioxid i luften löses i fukt i betongen och bildar kolsyra. Kolsyran reagerar i sin tur med kalciumhydroxid i betongen så att kalciumkarbonat bildas. Detta är reaktionsformelerna:

Ämnen koldioxid + vatten \rightarrow kolsyra

Kemisk
formel $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$

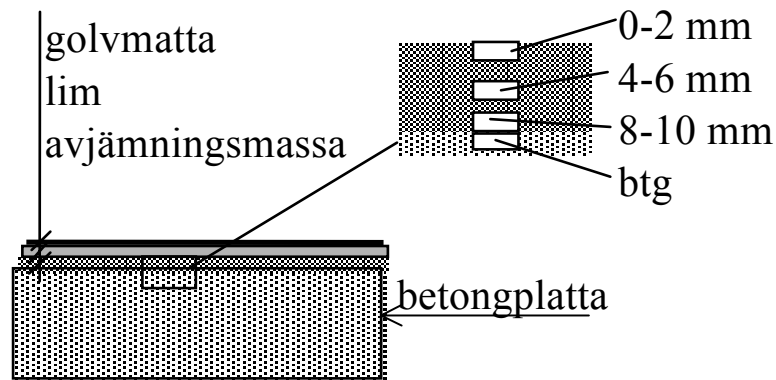
Ämnen Kalciumhydroxid kolsyra \rightarrow kalciumkarbonat + vatten

Kemisk
formel $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

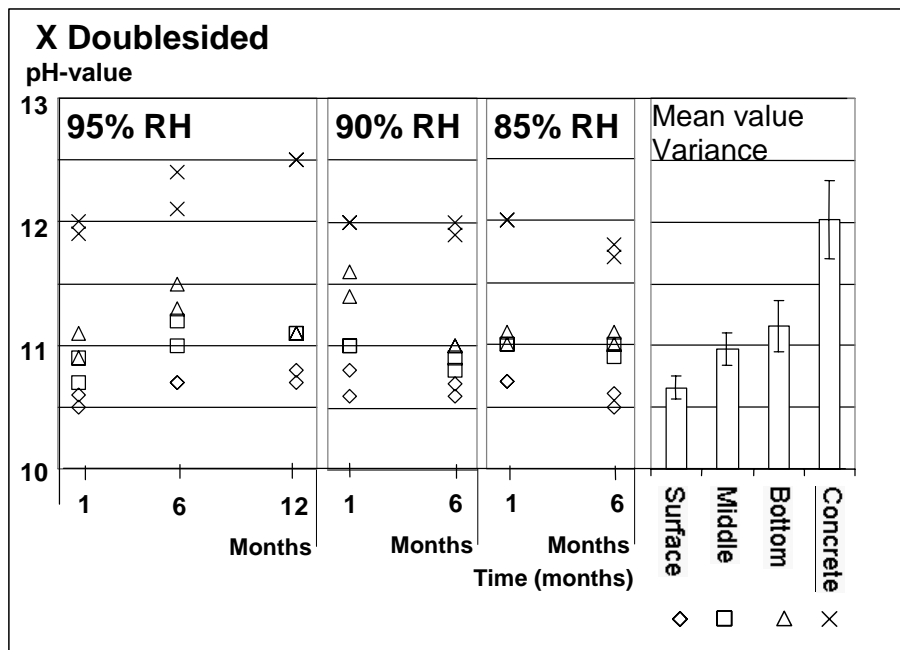
För att karbonatisering ska ske så får betongen inte vara alltför torr, men inte heller allt för fuktig. Karbonatiseringen sker hastigast när betongens fuktighet ligger kring 50 – 70% RF. Under 25% RF finns det för lite fukt

för att kolsyra ska bildas och om porerna är vattenfyllda så hindras transporten av koldioxid av vattnet (4).

Med den beskrivna metoden kan pH-värdet mätas inom ganska snäva intervall av tjocklek i betong eller en avjämningsmassa. Bilden nedan visar hur detta har gjorts i en nyligen publicerad studie (5):



Nedan visas resultat av mätning av pH-värdet i tre plattor av betong, som i och för sig är lika, men som fått torka olika lång tid. Alla plattorna har sedan försetts med avjämningsmassa och golvmatta, så som figuren ovan visar. Figuren består av fyra diagram. Diagrammet längst till vänster gäller för betong som torkat några dagar och som belagts med avjämningsmassa och golvmatta vid ett fuktighetsvärde på 95% RF på karaktäristiskt djup (20% av plattans tjocklek). Diagrammet till vänster om mitten är för en platta som fått torka till 90% RF och diagrammet till höger om mitten är för en platta som fått torka till 85% RF. Stapeldiagrammet längst till höger visar medelvärden av alla resultat på de olika nivåerna som anges i figuren ovan.



PH-värden i betongens ovanyta anges med X i diagrammen. Betong som fått torka lång tid har utsatts längre tid för syre i luften och har därför lägre pH-värde. Karbonatiseringen sker efter hand. I den fuktigaste betongen syns att pH-värdet ökar något med tiden. Orsaken till detta är troligtvis att realkalisering sker av den fuktiga betongytan när betongplattan sluts in så att fukten i materialet jämnas ut. För de torrare betongplattorna sker ingen sådan utjämnning. PH-värdet i avjämningsmassan är betydligt lägre än i betongen. Inte ens i avjämningsmassan ovanpå den fuktigaste betongplattan syns något spår av att hydroxidjon från den alkaliska betongen transporteras upp i avjämningsmassan. Karbonatisering är orsaken till att avjämningsmassan har lägre pH-värde i ytan än längre ned i materialet.

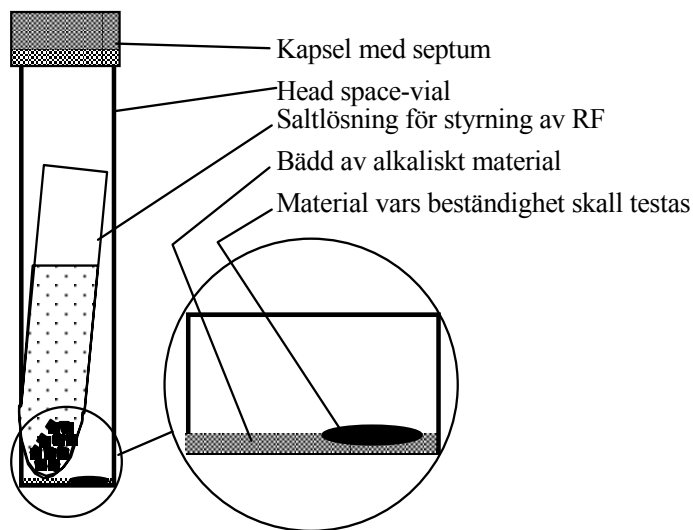
Det material som ligger i kontakt med betongen kan vara känsligt för miljöer med höga pH-värden likaväl som vissa typer av ballast kan vara det. Det finns många produkter av golvmattor, golvlim mm på marknaden. Produkter från olika tillverkare kan ibland innehålla samma huvudkomponenter. Att studera hur vissa komponenter motstår en nedbrytande miljö kan ibland vara mer effektivt än att studera kommersiella produkter eftersom det då finns möjlighet att säga bestämt vad som är ursprunget till

en viss flyktig nedbrytningsprodukt. I den studie som jag här refererar till undersöktes ett antal komponenter som finns i olika golvprodukter (6). Det handlade om t.ex. mjukgörare i PVC-mattor, bindemedel i limmer, klubb-givare i golvlim och också ren PVC. Dessa produkter utsattes för olika miljöer beträffande fuktighet och pH-värde.

Komponenter som ingår i recept för golvmattor och golvlim placerades på en alkalisk bädd. Allt arbete med den alkaliska bädden och all fyllning av provrören utfördes i glove-bag med kväveatmosfär för att undvika reaktioner mellan natriumhydroxid och luftens koldioxid. På detta sätt kunde dessutom okontrollerad fuktupptagning undvikas.

Den alkaliska bädden bestod av pulverformig aluminiumoxid som blandats med mald natriumhydroxid. Mängden tillförd natriumhydroxid anpassades så att man vid det tidigare beskrivna provningsförfarandet fick pH-värden på ca 11 respektive 13. Två gram pulver lades som en bädd i provrör som tillslöts sedan den komponent som skulle studeras lagts på bädden. Före förseglingen placerades även ett mindre provrör i detta rör, med en mättad blandning av vatten och salt, som skulle hålla fuktigheten i provet på en kontrollerad nivå.

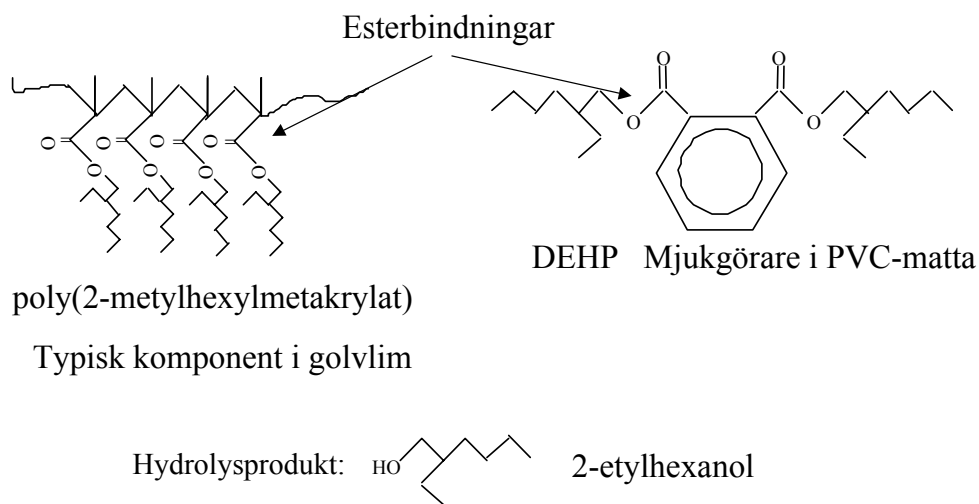
De förslutna provrören är av typen "Head-space vial". Rören var 75 mm långa. Dessa är särskilt lämpliga eftersom de enkelt kan placeras i en automatisk provtagningsutrustning kopplad till en gaskromatograf. Analysen kan då göras på ett enkelt sätt utan allt för mycket manuellt arbete.



Resultatet av analysen var att vissa av komponenterna gav nedbrytningsprodukter vid höga nivåer av alkalitet även i fall då fuktnivåerna var låga. Andra produkter avgav aldrig nedbrytningsprodukter. Vissa av komponenterna avgav flyktigt material av sig själva utan att någon nedbrytning ägde rum. Studien visade att både alkali och fukt är parametrar som påverkar nedbrytningen av delkomponenter. För flera av komponenterna medför en ökning av alkaliteten en kraftigt ökad produktion av nedbrytningsprodukt trots att den relativa fuktigheten hålls på en i sammanhanget låg nivå.

Mycket ofta innehåller komponenter i golvsystem esterbindningar. En ester är en kemisk förening av en karboxylsyra och en alkohol. I kontakt med vatten hydrolyseras estrar både i sur och alkalisk miljö. Detta innebär att alkoholkomponenten skiljs från syrakomponenten.

Ett slående exempel är det akrylatbindemedel till golvlim som är polymerdispersionen B i vår studie och till stor del består av poly(2-metylhexylmetakrylat) samt mjukgöraren DEHP som ofta finns i PVC. I alkalisk miljö avger de båda två samma nedbrytningsprodukt, 2-etylhexanol, även om materialen till sin karaktär verkar mycket olika. För andra föreningar kan man givetvis förvänta sig andra nedbrytningsprodukter.



I tabellen nedan visas resultat för samtliga komponenter i studien. Om det finns ”Ja” i kolumnen ”emissioner i GC” så innebär det att någon flyktig komponent erhöles vid åtminstone någon av analyserna. Om det också finns ett ”ja” i kolumnen ”Påverkan av fukt- och alkalimiljön” så betyder det att det märktes att högre alkalitet eller högre fuktighet hade betydelse för kvantiteten av emitterat material. Ett ja i denna kolumn visar alltså att någon form av nedbrytning sker.

No		Emissioner i GC	Påverkan av fukt- och alkalimiljön
1	Blank	nej	Nej
2	DOP 1	ja	Ja
3	JAYFLEX DINA	ja	Ja
4	JAYFLEX DINP	ja	Ja
5	DIDP utan antioxidant	ja	Ja
6	PVC Pevikon 820	nej	Nej
8	Reofos 95	ja	Ja
9	Santicizer 160 (BBP)	nej	Nej
10	JAYFLEX 77	ja	Ja
11	DOP 2	ja	Ja
12	Polymerdispersion A	ja	Ja
13	Polymerdispersion B	ja	Ja
14	Polymerdispersion C	nej	Nej
15	Polymerdispersion D	nej	Nej
16	Polymerdispersion E	nej	Nej
17	Förtjockare A	nej	Nej
18	Förtjockare B	ja	Ja
19	Primer	ja	Nej
20	Klibbgivare A	ja	Nej
21	Klibbgivare B	nej	Nej

En praktisk slutsats av dessa försök är att man inte bör limma PVC-mattor direkt på en nygjuten betong av hög kvalitet. Orsaken är att de alkaliska komponenterna i betongen kan orsaka nedbrytning av vissa delkomponenter i lim och matta.

Detta inte den enda studien som visar att den alkaliska miljön i betong kan bryta ned byggmaterial. Liknande slutsatser har dragits av Linde (7), Wengholt Johnsson (8), Norling Mjörnell (9) och Sjöberg (10).

Hur kan inneluftens kvalitet påverkas?

Högpresterande betong är en särskilt alkalisk miljö för omgivande ämnen. Den kan orsaka nedbrytning av vissa komponenter i vanliga byggmaterial. Nedbrytningsprodukter som är flyktiga hamnar i luften. De ämnen som finns i luften fortsätter att brytas ned. Till exempel kan flyktiga alkoholer i sin tur i luften oxideras till aldehyder och syror. Detta kommer att ske i varierande omfattning. Både alkoholerna och deras nedbrytningsprodukter kan skapa elak lukt och också orsaka andra irritationer (11). Om byggmaterialen bryts ned till flyktiga ämnen så försämras alltså inneluftens kvalitet. Om denna försämring blir så pass omfattande att den har betydelse för en byggnads brukare är förmodligen mycket olika från fall till fall.

Till sist

Är högpresterande betong bra eller dåligt? Svaret är att högpresterande betong är bra när konstruktioner och material anpassats till varandra. De stora skillnaderna i egenskaper mellan konventionell betong och högpresterande betong gör att många delar av byggprocessen måste anpassas till den högpresterande betongen för att resultatet ska bli lyckosamt.

Referenser

1. Handbok högpresterande betong, Christer Ljungcrantz Ed, Byggnadsforskningrådet, 1998.
2. W Czernin, Cementkemi för byggare, Svenska cementföreningen, Malmö 1969.
3. ASTM C110- 94. Standard test methods for physical testing of quicklime, hydrated lime and limestone, American society of testing and materials, 1994.
4. Neville AM. Properties of concrete, Fourth edition, Longman Group, Essex 1995.

5. Folke Björk and Carl Axel Eriksson, Measurement of Alkalinity in Concrete by a simple Procedure, to Investigate Transport of Alkaline Material from the Concrete Slab to a Self-levelling Screed, *Construction and Building materials*, 16 (2002) p 535 – 542.
6. Folke Björk, Carl-Axel Eriksson, Sigbritt Karlsson and Farideh Khabbaz, Degradation of Components in Flooring Systems in Humid and Alkaline Environments, *Construction and Building materials*, Accepted for publication (2002).
7. Sune Linde, Målade fuktspärrar i golvkonstruktioner SP 1989.
8. Wengholt Johnsson H. Kemisk emission från golvsystem-effekt av olika betongkvalitet och fuktbelastning, Department of building materials, Chalmers technical University p95:4 , Göteborg 1995.
9. Norling Mjörnell K. Self-Desiccation in concrete, Department of building materials, Chalmers technical University p95:4 , Göteborg 1995.
- 10 Sjöberg A. Secondary emissions from concrete floors with bonded flooring materials – effects of alkaline hydrolysis and stored decomposition products, Department of building materials, Chalmers University of Technology, Thesis for doctorate degree, Göteborg, 2001.
- 11 Sven Ove Hansson och Eva Hellsten, *Arbetsmiljö från A till Ö*, Tidens förlag, 1994.

Effekter av damm i inomhusluften – erfaringer från klimatkammerstudier

Lars Mølhave

Abstract

Three studies of the effects of dust have been performed at The Department of Environmental and Occupational Medicine, the University of Aarhus, Denmark. In conclusion the three studies showed strong evidence that Tear film stability or Break up time of tear film was found to decrease during exposures to dust, and Squamous plate epithelial cells in tear fluid showed an increase during exposures to dust. The symptom registrations in questionnaires, which were found in at least two of the studies, were throat irritation, heavy head/sluggishness, feeling of need to cough, and general irritation in the time course registration on potentiometer. Inconclusive evidence was found for Mood scale ratings of anger and confusion, addition tests for distraction, the measured humidity of the skin, acoustic rhinometry/volume, nasal lavage/ECP, foam formation in eye cantus, eye reddening, and FEV1. It is concluded that the experiments show strong evidence that exposures to air borne house dust above $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (TSP) cause effects on humans. Measurements of the composition of the dust showed no known component that by itself could explain the responses. The analyses indicate that an essential fraction of volatile or semi volatile pollutants in the air may be present as adsorbed compounds on particulate matter, which may contain $300\mu\text{g}$ TVOC per gram dust. At a concentration of $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ of dust this corresponds to $30 \mu\text{g}$ TVOC/ m^3 in the air.

Introduction

Three studies of the effects of dust have been performed at Aarhus University. The three are STØV91 in which 24 healthy, non-sensitive subjects were exposed to clean air and office dust at 136 and $390 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (median level TSP) for 5.25 hours in a climate chamber (Mølhave et al 1995, 1996, 2000a, b, c, 2002 a, b). A blinded Latin square cross over design was used. The second was PAN in which ten non-smoking healthy subjects were exposed in a climate chamber to clean air and office dust for three hours at clean air and $394 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (TSP) in a climate chamber The design was a blinded and cross over design (Pan et al 1999, 2000). Finally, STØV-II exposed 23 subjects, 11 hay fever patients (suffering from allergic rhinitis) and 12 healthy subjects in a climate chamber for 245 min to clean air and office dust at $439 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (TSP). The design was

randomised, double blinded and controlled (Hauschildt et al 1996, 1998, 1999).

The three studies included in this review addressed different questions related to the health effects of air pollution at low levels. Correspondingly they included different measurements of effects and the methods were developed from study to study. In this review only general principles for the measurements and interpretations of the results are given. For further details see the individual references for the studies. The studies dealt with a number of variables, which may have acted as response modifying factors in the studies. Measurements and interpretation of these measurements are not the main topic of this review.

The purpose of this presentation is after a review of the three Danish studies to identify health effects or symptoms reported in at least two experiments to be significantly related to pollutant exposure. In the summary the term strong evidence of significant observation will be used for observations which are seen in at least two studies, which makes biological sense regarding the mechanisms supposed to be involved, and at the same time supports the general picture painted by the other observations being. Suggestive evidence appears when only one significant result is found without contradictive signs from the other studies. All other cases are considered inconclusive.

Conclusiveness of the studies and observations

Epidemiological studies and experimental laboratory studies do not always agree in type or intensity of effects seen or in the thresholds found for effects. The main reasons may include:

- Definition or measuring methods for the effects are different although the effects are called the same (e.g. acceptability in home or at work are different).
- The dose (e.g. concentration*exposure time) may for certain types of effects be as important as the air concentration. In addition exposures may have to be repeated for many years to reveal time effects and accumulation of dose.
- Subjects' sensitivity may differ between studies and thus affect the external validity of the studies.

- The response modifying variables (such as air °C and humidity) may differ between studies.
- The exposures may be composed by different organic, inorganic or viable particles.

These factors also affect the interpretation presented here of the results from experimental exposures of humans to low levels of re-suspended house dust at or just above the threshold for effects. In addition several other factors related to designing and analysing the studies affect their conclusiveness.

- Low-level exposures.
- Short exposure duration compared to the time it takes for inflammatory irritation to develop in three to 12 hours.
- Uncontrolled planned constant experimental environment
- Uncontrolled variation of the controlled exposure variation
- Uncontrolled response modifying factors.
- Limited number of subjects.
- Inter-subject differences.
- Dominance of subjective effects and associated biases.
- Lack of variation data for optimisation of the design in power analyses.
- Lack of an *a priori* biological model to test.

The low exposure levels mean that the investigations are made at unfavourably noise to signal ratios for most of the measuring methods used for effects' measurements. Such experiments seldom are sensitive enough to be conclusive and definitive.

The interpretation of controlled experiments, in addition, must consider how the relevant co-variables were handled in the experimental design and analyses. Effects modifiers are often inadequately addressed, in part because of limited sample size, and in part because the relevant factors have not yet been identified. In many studies the statistical analyses have examined the possible effects of response modifying variables such as age, gender, education etc. The studies reviewed here were, however, not conclusive in these matters.

The limited number of subjects not only affects the statistical power of the analyses but also reduces the external validity by making it difficult to extrapolate the results to other larger populations. Although no power analyses yet exists the general conclusion from previous studies on VOC's point at a minimum of 12 subjects in each group of studied persons. The limited number of subjects also enhances the effects of inter-subject differences.

Generally odour perceptions are considered to be the most sensitive responses to normal indoor exposures. It follows that odours normally will be obvious to the subjects in an experiment when they are exposed to odour containing dust. The issue of odour detection makes it difficult to conduct truly unbiased studies of this type. For example, in study STØV91 ratings of general well-being were correlated to irritation, odour perceptions, air quality, and the need for more ventilation. Therefore, not only odours' evaluations but also all related symptoms may be biased by odour detection. Such bias was not found in the other studies where sensory irritation was related to air quality, eye irritation, nose irritation, but not to odour intensity. Similar indications have been found in other studies and show that this odour bias may not affect ratings of irritation. However, definitive investigations of this matter are lacking.

Because of lack of data no explicit biological model could be set up before the design was established. In consequence the different effect measures had to be analysed as independent variables. It follows that although the studies significant findings related to each effect measure can be conclusive, the studies in principle could not be conclusive but only indicative regarding causality and biological mechanisms.

The validity of the STØV91 study is considered fine as the design was adequate, data recovery high and few technical problems etc occurred e.g. in relation to noise and temperature during exposures. However, the analyses are only indicative as no priory hypotheses were established. The PAN study is considered valid with respect to the conclusions made although the small number of subjects reduces the sensitivity and increases the risk of chance findings. The STØV-II study included a small number of subjects and the authors judge the study to be indicative only.

Effects of experimental exposures to house dust

The studies give strong evidence that dust exposures cause objective effects in the form of increased number of squamous plate epithelial cells in tear fluids. In addition tear film stability decreases. There is strong evidence that irritation of eyes, nose and throat increases during exposures. See table 1.

There are suggestive evidence that dust exposures affect the objective measures of mood scales, distraction stability, skin humidity, acoustic rhinometry/volume, nasal lavage/ECP, foam formation, eye reddening, and FEV1. Several environmental perceptions (odour intensity, air quality, draught, irritation, dry nose, general well being, skin temperature, facial skin humidity, perspiration, sleepiness, head ache and concentration difficulties) were also suggested to be affected. See table 2.

Inconclusive evidences appeared for objective measures of skin temperature, acoustic rhinometry/area, neutrophil, cubic, and lymphocyte cells in tears, eye sensitivity to CO₂, conjunctival epithelium damage, nasal lavage/MPO and cells, FVC, peak flow, and sensitivity to histamine aerosol. In addition many of the symptom questions were unaffected by exposures. See table 3.

Strong evidence of objective effects of dust exposures

Tear film stability or Break up time of tear film was found in three studies to decrease during exposures to dust (Pan et al 1999, 2000, Hauschildt et al. 1996, 1998, 1999, Mølhave et al 1995, 2002b). It is concluded that there is a strong indication of effects. Tear film stability is supposed to reflect changes of the thickness, composition of tear liquids and of blinking rate. Different types of exposures may have different effects and any change is difficult to interpret biologically.

Squamous plate epithelial cells in tear fluid was counted in two studies which both showed an increase during exposures to dust (Hauschildt et al. 1998, 1999, Mølhave et al 1995, 2002b). These cells indicate the activity level of the cornea and the increased number show that the exposure affects the cell activity. The nature of the activity cannot be deduced.

Suggestive evidence of objective effects of dust exposures

In two studies Mood scale ratings showed inconclusive changes in relation to anger and confusion during exposures to dust. (Mølhavé et al. 1995, 2000a,b, Hauschildt et al. 1998, 1999). Among the five mood status dimensions dust exposures may change the subjects' perceptions of anger and confusion during the last week. The documentation is only indicative and the psychological background for this effect is unclear. It is important to remember that if the findings are real such effects relate to changed perceptions of the average mood status during the last week before exposures. As these are expected to be constant in average over all subjects any change must reflect changed basis for evaluation. The finding could indicate a bias.

The two studies where addition tests for distraction were applied showed effects of exposures. The effects were strong but not conclusive (Mølhavé et al. 1995, 2000a,b, Hauschildt et al. 1998, 1999). The studies indicate different directions of the effects acute and subacute. As the exposures are so low no traditional neurotoxic effects are expected, any observed effect therefore must reflect psychological responses such as distraction and mental performance. The finding could indicate bias.

In one study where the skin humidity was measured the humidity changed. This has not been tested in the two other studies (Mølhavé et al 1995, 2000b). No reasonable biological explanation is known and the finding is indicative only. However, both sensory stimulation and inflammation is known to release reflexes on e.g. blood flow also in tissues other than the exposed.

Acoustic rhinometry/volume was tested in all three studies with conflicting results. No definitive conclusion can be made. (Hauschildt et al. 1998, 1999, Mølhavé et al 1995, 2002a,d, Pan et al 1999, 2000). Changes of volume are expected to reflect changes of the thickness of the mucosal membrane. This change is supposed to reflect increased secretion, increased blood flow and increased volume of blood in the mucosal membrane.

One of the studies dealt with nasal lavage/ECP and showed a decrease of the ECP levels after exposures to normal office dust. (Mølhavé et al 1995,

2002). Increased ECP level indicates immunologic components of the responses. The finding is indicative only and cannot be evaluated.

Foam formation in eye cantus was measured in all three studies and conflicting results were found. However in the first study a strong significance was found indicating that Foam formation decreased acutely and the day after exposures to 136 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 390 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ office dust in the air (TSP) for 5.25h (Mølhave et al 1995). No clear conclusions can be made. Foam formation is expected to reflect changed volume and composition of tear fluids as well as changed eye blinking. Therefore different types of dust may induce increase or decrease in foam formation. Changes are therefore difficult to interpret biologically.

Eye reddening was measured in two studies, one of which indicated a weak increase next day after exposures. However, no definitive conclusion can be made (Hauschildt et al. 1998, 1999, Mølhave et al 1995, 2002b.). Eye reddening is supposed to indicate increased blood flow in cornea as a result of sensory or weak inflammatory effects.

FEV1 was measured in two studies and indications of less decrease (i.e. relative increase) during exposures were found in one. (Hauschildt et al. 1996, 1998). No conclusion is made. Changes of FEV1 after dust exposures may be caused by deposition of biological active dust particles in the lower respiratory system or through reflexes initiated through the upper airways.

Inconclusive evidence of objective effects

Skin temperature: No effects observed in one study.

Acoustic rhinometry/Area was tested in all three studies. No effects of dust exposures were found. These missing effects somehow contradict the indication of changed volume. However, whereas the minimum cross sectional area relates to a cross section about one cm from the nasal opening the volume integrate changes over the entire length of the nasal cavity. This missing effect therefore might indicate that the swelling is taking place further back in the nose where particulate pollutants are known to settle.

Nasal lavage/MPO was measured in one of the studies and no effects were found (Mølhave et al 1995, 2002). An effect would have indicated an inflammatory component of the responses. No clear conclusion can be made.

NAL/four types of cells showed no effects of exposures.

Threshold for CO₂ in the eyes was tested in two of the studies. Indications of effects were found but no definitive conclusion can be made. (Hauschildt et al. 1996, 1998, 1999, Mølhave et al 1995, 2002a,b). Changed sensitivity would indicate that irritation sensory fibres such as C-fibres changed sensitivity. However, no clear biological model for the biological significance of any effects is available.

Conjunctival epithelial damage showed no effects to office dust at 394 µg/m³ for 3h (Pan et al 1999, 2000). Conjunctival epithelial damage was measured in all three studies and conflicting results were obtained. No definitive conclusion can therefore be made. However, indications were found for a late response, which may indicate that longer exposure durations may have caused measurable effects. The number of damaged cells is supposed to indicate a physical or chemical effect on the cells leading to cell death.

Neutrophil granulocytes in tear liquids were measured in two studies. An effect was found but in opposite direction. No conclusion can be made (Hauschildt et al. 1998, Mølhave et al 1995). An increased number of

neutrophil granulocytes in tear liquids would have indicated an inflammatory component of the responses.

Cubic cells in tear liquids showed inconclusive indications of effects in one study.

In one study there were inconclusive evidences of effects on sensitivity to histamine aerosols in FEV1 provocation tests (Hauschildt et al. 1996, 1999, 1998). The reactivity of the lungs to histamine is a standard method to describe the subject's susceptibility to air borne exposures. Changes of this susceptibility during or after exposures to air pollutants indicate that the lungs defence mechanisms are affected by the exposures.

Indications of effects on peak flow were found in one study. (Møhlhave et al 1995, 2002). No effects were found in the other study. No definitive conclusion can be made. Changes of peak flow are a standardized clinical tool to follow changes of lung function. Both the absolute value of PEF and its variation show efficiently low-level exposures especially among hyper responsive persons.

No effects were found on FVC, which was measured in one study. Changes of FVC after dust exposures may be caused by deposition of biological active dust particles in the lower respiratory system or through reflexes initiated through the upper airways.

Subjective effects

Perceived exposures in the form of lower air quality and odours are expected to follow from dust exposures. However, it is surprising that only one of these studies showed these effects. In this context it should be remembered that these perceptions are expected to be the most sensitive measures we have for air pollutants in general. This could indicate that the three types of dust had different constituents.

Decreased air quality and increased odour is expected from dust exposures carrying a multitude of organic chemicals. Odour intensity is further known to correlate strongly to air quality. It is a surprise that only one study showed such effects. The missing effects in the two other studies may indicate that the dust must have had different organic constituents. The observation of a late effect on perception of air quality is interesting as

this rating was done under clean air conditions and thus if true must reflect a changed attitude for making such ratings. The rating of draught in the same study cannot be explained by changes of the exposures, which in this respect was constant. As this probably change finding was found in the same study as the odour changes this indicate that the subjective ratings in this study could have been flawed by bias. The general conclusion seems to be that the dust exposures did not cause as significant perceptions of the environment as is known from VOC's, but that the exposures might have had different composition as the dust originate from different buildings.

Body perceptions/nasal, eye or throat irritation was found in all three studies covering eye, nose, throat and general irritation. However, only throat irritation was found in more than one study.

These symptoms are the effects expected to be most characteristic for low-level exposures to office dust with few biological active components. These effects are found in some of the studies, which indicate that irritation may be more important than odour perception for identification of the exposures. Surprisingly irritation was not found in all studies. As for the environmental perceptions this may reflect differences in the dust types or that sensory perceptions of the exposures are more difficult than for e.g. VOC's.

Among the body perceptions/general symptoms heavy head was found in two studies probably indicating a psychological response to exposures. Also coughing was seen in two of the studies. Coughing is an expected response to dust exposures and may be related to irritation reflexes. Feeling of dry nose is seen in one study and may be related to the observed nose and throat irritation. As could be expected also general well-being is affected in two studies supporting the assumption that the other effects are real. The relation of general well being to dust exposures are difficult to explain using two channels of effects, sensory perceptions and weak inflammatory responses. If these effects are true they could be derived effects in the higher CNS caused by psychological effects of realizing being exposed.

The findings in one study of concentration difficulties support that the changed distraction test/addition test may have been a real finding. Both are however only observed in one study. Headache is only found in one

study, which is surprising as heavy head is seen in two. These findings however point in the same direction as sleepiness is also found in one study. The two findings affecting skin humidity and temperature also were only seen in one study and point in the same direction as the measured changes of humidity in STØV91. It is surprising that the effects are observed in one or two studies, that the studies find overlapping spectra of symptoms and the spectres seem to be extracted from a common set of symptoms.

In conclusion the three studies in which this registration was made indicate from very strong and significant responses to no response at all. This may be the result of differences in dust types, subjects' sensitivity, power of the designs or it may be random effects. The studies do not allow firm conclusions to be made in this respect. However the results are supported by the questionnaire findings related to irritation.

Can conclusions be made on which effects are involved?

The biological model, which the researchers in retrospective seem to have been using to interpret the observed human responses are not specifically stated. They seem to differ among the studies but they often involve a chain of mechanisms in the human organism. These mechanisms may include the presence of pollutants in the air, penetration of the pollutant through the barrier between air and the mucus or skin, transportation in the tissues, metabolic or other types of biochemical transformation of the compounds or release of messenger compounds, receptor activation, neural transmission, processing in the central nervous system, symptom reporting or psychic reactions. Each air pollutant may, depending on concentration and exposure duration, activate several of these mechanisms to different degrees. Furthermore, mixtures of compounds may interact in unpredictable ways.

As a consequence no simple dose-response relation is expected and traditional toxicological evaluations are difficult to perform. In addition, the published studies refer to different exposures; populations and endpoint effects and seldom supplement each other in establishing a dose-response relation. This situation will probably not change dramatically in the future. Instead less refined toxicological evaluations must be developed.

The spectrum of effects shown to be strongly associated to dust exposures (table 1) includes increased number of plate cells in tear fluids, decreased break up time and symptoms of throat irritation, heavy head and coughing. In addition potentiometer ratings indicated irritation. Together these effects indicate weak inflammation to be active. This is further supported by the indicative findings.

Odours and associated air quality ratings are important for one study only but not for the two others. This indicates that the dust with different origin might have had different content of odorous compounds. Odour perception therefore in some cases may be important for the responses to dust indoors.

The discomfort effects in one study, the odour perceptions in the same study and indications of responses in the mood scale and addition test indicate that psychological mechanisms can be involved e.g. as a bias.

Air borne particulate matter as carrier of pollutants

Average dust exposures in non-industrial indoor environments of the western world are in the range from 15 to 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ but reaches during extreme situations 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Most often the dust is described as a relatively inert base dust with the addition of biological active compounds such as allergens or toxic chemicals.

Analyses of the dust used for the STØV91 study (Mølhav et al 2000c) showed that the floor dust in Danish offices showed micro organisms at 130.000 to 160.000 CFU/g Micro fungi: 71.000 to 90.000 CFU/g Cultivable micro fungi 65 to 123 CFU/g Endotoxins 5.06 to 7.24 EU/g Mite allergens 147 to 159 ng/g Dog allergen 395 to 746 ng/g Cat allergen 103 to 330 ng/g Macro molecular organic compounds (MOD) 7.8 to 9.8 mg/g Histamine basophilic leukocytes between 0.3 and 1.0 mg/ml Water content 2 % WGT Organic fraction 33% Water soluble fraction 6.5 to 5.9 % dry Fibre content less than 0.2 to 1.5 % WGT desorbable VOC 176 to 319 $\mu\text{g}/\text{g}$ Size range 1 to 10 microns.

Volatile air pollutants are adsorbed to particulate matter in the air to the extent that an essential fraction of volatile or semi volatile pollutants in the air may be present as adsorbed compounds on particulate matter. Mølhav et al (2000c) found 300 μg TVOC per gram dust in Danish homes. At a

concentration of 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ of dust this corresponds to 30 $\mu\text{g TVOC}/\text{m}^3$ in the air.

As a result of the adsorption, the particulate matter may carry pollutants into the airways. At the impact site on the mucosa or in the alveoli the particles may create a substantially increased localized exposure to these compounds.

Threshold of effects at or below 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ was indicated potentiometer ratings of irritation in STØV91. (Mølhavet al 1995) In another analyses an estimate below 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in general irritation. (Mølhavet al 2000b). These findings are only indicative and only STØV91 used more than one exposure level.

References

Hauschildt, P., Mølhavet, L., and Kjærgaard, S. K. (1996) A climate chamber study: Exposures of healthy persons suffering from allergic rhinitis to office dust. *In* S. Yoshizawa, K. Kimura, K. Ikeda, S. Tanabe, and T. Iwata (eds.), *Indoor Air 96*, vol. 1, pp. 659-664. Tokyo, Japan: Institute of Public Health, 1996.

Hauschildt, P., Mølhavet, L., and Kjærgaard, S. K. (1998) En eksperimentel undersøgelse af følsomhed for støveksposering i kontormiljø. (An experimental investigation of human sensitivity to dust exposures in offices, in Danish with English summary). Aarhus, Denmark: Air Pollution Unit, Dept. Environm. & Occupat.Med, University of Aarhus.

Hauschildt, P., Mølhavet, L., and Kjærgaard, S. K. (1999) Reactions of healthy persons and persons suffering from allergic rhinitis when exposed to office dust. *Scand.J Work.Environ.Health*, 25: 442-449, 1999.

Mølhavet, L., Kjærgaard, S. K., Attermann, J., and Pedersen, O. F. (1995) Husstøv og indeklima; Et klimakammerforsøg med menneskers reaktioner på luftbårent husstøv. (House dust and indoor climate: a climate chamber experiment. In Danish with English summary.) Aarhus, Denmark: Department of Environmental and Occupational Medicine, the University of Aarhus, Denmark.

Mølhav, L., Kjærgaard, S. K., Attermann, J., and Pedersen, O. F. (1996) Sensory and neurotoxic effects of airborne exposures to house dust. *In* T. Frang (ed.), *Allergistämna 96, tema inomhusmiljö*, pp. 5-6. Stockholm: Folkhälsainstitutet, 1996.

Mølhav L., Schneider, T., Kjærgaard, S.K., Larsen, L., Norn S., Jørgensen, O. (1998) House dust, Indoor air quality and human health; Part I - house dust in seven Danish buildings. Submitted for *Atmosph. Environm.*

Mølhav, L., Kjærgaard, S. K., and Attermann, J. (2000a) Sensory and other neurogenic effects of exposures to airborne office dust. Sepanen, O and Säteri, J. *Proceedings of Healthy Building 2000. Vol 1 (Exposure, Human responses and building investigations.)*, 501-505. 2000. Helsinki, Finland, SIY indoor air information, Oy.

Mølhav, L., Kjærgaard, S. K., and Attermann, J. (2000b) Sensory and other neurogenic effects of exposures to air borne office dust. *Atmosph. Environm.*, 34: 4755-4766, 2000.

Mølhav, L., Schneider, T., Kjærgaard, S. K., Larsen, L., Norn, S., and Jørgensen, O. (2000c) House dust in seven Danish offices. *Atmosph. Environm.*, 34: 4767-4779, 2000.

Mølhav, L., Kjærgaard, S. K., and Attermann, J. (2002a) Respiratory effects of experimental exposure to office dust. *In Press in Indoor Air Journal.*

Mølhav, L., Kjærgaard, S. K., and Attermann, J. (2002b) Effects in the eyes caused by exposures to office dust. Accepted for publication in indoor air journal.

Pan, Z., Mølhav, L., and Kjærgaard, S. K. (2000) Effects on eyes and nose in humans after experimental exposure to air borne office dust. *Indoor Air*, 10: 237-245, 2000.

Pan, Z. W., Mølhav, L., and Kjærgaard, S. K. (1999) Irritation symptoms in eyes and nose after house dust exposure in the climate chamber. *In* G. Raw, C. Aizlewood, and P. Warren (eds.), *Proceedings of Indoor Air 99. Vol. 2*, pp. 612-617. London, England. Construction Research Communications Ltd.

Table 1. Summary of strong evidence of effects of dust exposure

X/Y = Seen in x out of y studies	Variable	Direction of effect with increasing exposure
3/3	Tear film stability or break up time of tear film	Decrease
2/2	Squamous plate epithelial cells in tear fluid	Increase
2/3	Throat irritation	Increase
2/3	Heavy head	Increase
2/3	Coughing	Increase
2/2	Registration of time course of eye, nose and throat irritation	Increased

Table 2. Summary of indications of effects of dust exposure

X/Y = Seen in x out of y studies	Variable	Direction of effect with increasing exposure	Notes
2/2	Mood scale anger and confusion		Inconclusive
2/2	Addition tests for distraction,		Inconclusive
1/1	Measured humidity of the skin	Inconsistent	Inconclusive
3/3	Acoustic rhinometry/volume	Conflicting results.	No conclusion.
1/1	Nasal lavage/ECP	Decrease	Indication
2/3	Foam formation	Inconsistent	
2/3	Eye reddening	Weak increase	Indication
1/2	FEV1	Decrease	Indication
1/3	Perceived air quality	Decrease	
1/3	Odour intensity	Increase	
1/3	Draught	Increase	
1/3	Irritation in eyes and nose	Increase	
1/3	Dry nose/questionnaire	Increase	
1/3	General well being/questionnaire	Increase	Indication
1/3	Skin temperature/questionnaire	Subacute decrease	
1/3	Facial skin humidity/questionnaire	Acute decrease	
1/3	Perspiration/questionnaire	Subacute increase	
1/3	Sleepiness/questionnaire	Increase subacute	
1/3	Head ache/questionnaire	Increase subacute	
1/3	Concentration difficulties/questionnaire	Decrease subacute	

Table 3. Summary of inconclusive evidence of effects of exposure

X/Y = Seen in x out of y studies	Variable	Direction of effect with increasing exposure	Notes
0/1	Skin temperature		
0/3	Acoustic rhinometry/Area		No effects
1/2	Cubic cells in tear liquids	Inconclusive	Indications
1/1	Nasal lavage/MPO	No effects	
1/1	Cells in nasal lavage	No effects	
1/2	Threshold for CO2 in the eyes	Indications	No conclusion
3/3	Conjunctival epithelial damage	Conflicting results	No conclusion
0/1	FVC.	No effects	
0/2	Sensitivity to histamine aerosols in FEV1 provocation tests.	No effects	
2/3	Neutrophil granulocytes in tear liquids	Effect was found in both but in opposite direction.	No conclusion
2/3	Lymphocytes in tears	Contradictions	Inconclusive
1/2	Peak flow	Indications	No conclusion
3/3	Remaining PC questionnaire questions	No effects	

Förekomst och betydelse av partiklar i inomhusluft

Lars Ekberg

I inomhusluften i bostäder, kontor, skolor etc härrör en betydande del av antalet partiklar av submikron storlek från uteluften. Bidraget från interna källor till inomhusluftens innehåll av så små partiklar är jämförelsevis litet, förutsatt att tobaksrökning inte förekommer i lokalerna. Internt genererade småpartiklar kan emellertid vara av betydelse, speciellt om de är bärare av allergiframkallande ämnen (t ex hund- och kattallergen). Interna föroreningskällor i byggnaden, framförallt människor och människors aktiviteter, har däremot stor betydelse för inomhusluftens koncentration av stora partiklar. Som stora partiklar räknas i detta sammanhang partiklar med diametrar över någon mikrometer.

Frekvent städning med lämpliga metoder är en viktig åtgärd som bidrar till en reduktion av dammbelastningen inomhus, medan en annan mycket viktig faktor är ventilationssystemets utformning. I detta sammanhang bör det poängteras att städning inte kan förväntas ha någon effekt exempelvis på inomhusluftens halt av små partiklar härrörande från fordonstrafik. Halterna av sådana luftföroreningar i inomhusluften kan emellertid reduceras genom att tilluftssystemet förses med lämpliga partikelfilter eller genom installation av andra system för luftrening.

Hälsoeffekter av luftburna partiklar

Allergiframkallande ämnen t ex i form av pollenallergen och allergen från husdjur utgör idag ett uppmärksammat problem för den stora grupp människor som lider av luftvägsallergier. Dessutom har exponeringsförsök i testkammare visat att luftburet damm kan ge negativa hälsoeffekter, inte bara bland allergiker och astmatiker, utan även hos personer som inte lider av någon kronisk luftvägssjukdom. Luftburna partiklar kan också orsaka komfortproblem i och med att de kan fungera som bärare av luktämnen.

Epidemiologiska undersökningar har indikerat ett samband mellan exponering för luftburna partiklar och hälsoeffekter, framförallt i form av totaldödlighet och död i kardiovaskulär sjukdom (1, 2, 3, 4). Det har också rapporterats ett samband mellan sjukhusinläggningar för hjärtsjukdom och luftföroreningar (5), liksom ett samband med hjärtarytmier och EKG-påverkan (6, 7). Epidemiologiska undersökningar bygger på att hälsoeffekter som uppstått för delar av befolkningen under luftföroreningsepisoder jämförs med den hälsostatus som råder under övrigt tid. På detta

vis försöker man isolera hälsoeffekter orsakade av olika typer av luftföroreningar, exempelvis för partiklar mätt som PM10 och PM 2,5 (massan av partiklar per volymenhet mindre än 10 mikrometer respektive 2,5 mikrometer). Tidigare ansåg man att tidsfördröjningen i förhållande till haltökningen är obetydlig, d v s att den tydligaste effekten ses samma dygn eller med något dygns förskjutning. I en nyligen publicerad studie observerades däremot en tydlig effekt efter så låg tid som ca 40 dygn efter exponeringen (8).

Under senare år har intresset riktats allt mer mot det som kallas ultrafina partiklar vilka är av storleksordningen 10-100 nanometer (1 nm är en miljondels millimeter). Det är alltså fråga om partiklar av storlekar ner mot gränsen till större gasmolekyler storlek. Dessa bildas företrädesvis vid förbränningsprocesser och kemiska reaktioner. En betydande andel av de ultrafina partiklarna som återfinns i inomhusluft har tillförts utifrån och härrör exempelvis från trafik. Tobaksrökning är ett exempel på en intern källa till ultrafina partiklar.

Det har föreslagits att exponering för luftföroreningar, särskilt ultrafina partiklar, orsakar en inflammation i luftvägarna (9, 10), och att denna inflammation ökar risken för hjärt-kärlsjukdom (11). Vidare kan hälsovådliga ämnen deponeras på partiklarnas yta, exempelvis polycykliska aromatiska kolväten, av vilka några är cancerframkallande. Vikten av ökad kunskap om ultrafina partiklar och deras hälsorisker har betonats starkt internationellt.

Förutom partikelformiga föroreningar förefaller sådana gaser som kolmonoxid, kvävedioxid, svaveldioxid och ett antal kolväten utgöra risker för hälsoproblem. I stadsmiljöer bör man speciellt observera de polycykliska aromatiska kolvätena. Följaktligen utgör luftföroreningar härrörande från källor utomhus en risk för ohälsa även inomhus, speciellt i byggnader belägna nära hårt trafikerade gator, om inte ventilationsluften effektivt filtreras innan den tillförs byggnaden. Med tanke på att vi tillbringar en stor andel av vår tid inomhus kan man vända på resonemanget och konstatera att vi har möjlighet att drastiskt minska befolkningens exponering för hälsovådliga ämnen om den luft som används för att ventileras byggnader effektivt renas. Det finns dock ett behov av att öka kunskapen om inomhusexponeringens storlek och betydelse. Exempelvis har studier av ultrafina partiklar genomgående inriktats på ultrafina partiklar i

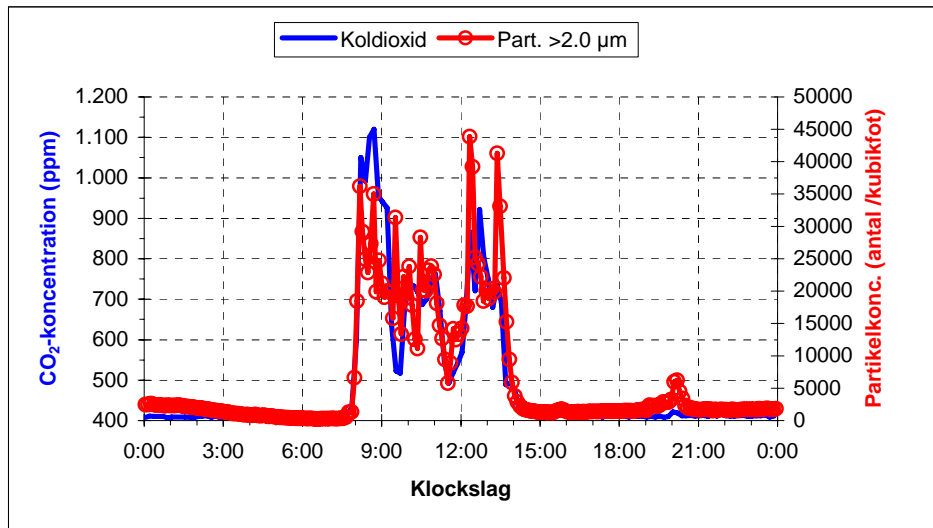
uteluften, och dessas korrelation till exempelvis sjukhusbesök och, förhöjd mortalitet. Kunskapen om förhållanden inomhus är ringa.

Det saknas idag i stor utsträckning etablerade riktlinjer för vad som kan anses vara acceptabla halter av olika slag av partiklar i inomhusluften trots att åtskilliga medicinska och miljömedicinska rapporter om luftburna partiklars hälsovådlighet har publicerats under senare år.

Exempel på uppmätta partikelhalter i en skola

I figur 1 visas ett exempel på halten stora partiklar ($d_p > 2 \mu\text{m}$) uppmätt i ett klassrum i en lågstadieskola. I figuren återges också den samtidigt uppmätta halten av koldioxid (CO_2). Figuren visar att båda halterna stiger markant under lektionstid och att det råder en tydlig samvariation mellan halterna av luftburet damm och koldioxid. Detta beror på att dessa föroreningar har samma källa, nämligen de människor som är verksamma i lokalen. Partiklar av diametrar över någon mikrometer skiljs effektivt av i det filter (klass F7) som installerats i det aktuella tilluftsaggregatet. Antalet stora partiklar i tilluften ger därför endast ett försumbart bidrag till rumsluftens halt av inandningsbart damm.

En samtidig mätning av partiklar av andra storlekar visade däremot att tilluftens halt av mindre partiklar ($0,3\text{-}0,5 \mu\text{m}$) var ungefär tre fjärdedelar av motsvarande halt i uteluften. Detta resultat kan förväntas med tanke på den filtertyp som installerats i tilluftssystemet.



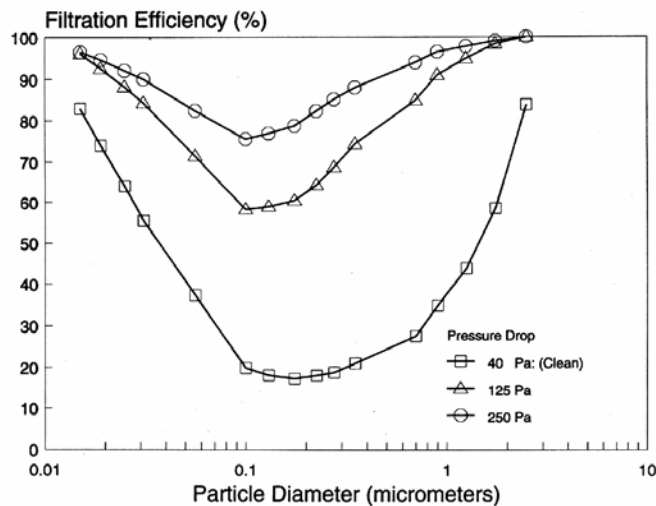
Figur 1. Samtidigt uppmätta halter av koldioxid och partiklar större än 2 µm i ett klassrum i en lågstadieskola i Göteborg. Skolan ventileras med motsvarande 4,9 luftomsättningar per timme. Data hämtade från (12).

Rening av ventilationsluft

Önskemål om en bra luftkvalitet inomhus har medfört att man i många fall ansett det nödvändigt att tillföra större uteluftsflöden än tidigare för att hålla nere föroreningshalterna i inomhusluften. En förutsättning för att den ökade lufttillförseln skall ge önskat resultat är då att halten hälsovådliga föroreningar i uteluften är låg. Om så inte är fallet måste den tillförda uteluften renas effektivt.

Man kan notera att det idag inte ställs några krav på halterna av partiklar och damm i icke industriella miljöer. Under den senaste tioårsperioden har det dock skett en förändring mot installation av ventilationsfilter av allt högre klass. Det är idag vanligt att man väljer filter med förhållandevis god förmåga att skilja av små partiklar (exempelvis finfilter av klass F85 (EU7, F7)). Denna tendens kan antas bero bl a på en ökad medvetenhet om partiklars hälsomässiga betydelse. Fortfarande sker dock valet av ventilationsfilter på ett mer eller mindre schablonmässigt sätt, och i byggnader som ventileras genom självdrag eller frånluftsventilation bortser man ofta helt från behovet av luftfiltrering.

I figur 2 visas ett exempel på hur partikelavskiljningen för ett filter av klass F65 (EU6, F6) varierar med partikelstorleken [13]. Gemensamt för alla luftfilter, oavsett klass, är att de uppvisar sämst avskiljningsgrad för partiklar i storleksintervallet 0,1-0,2 μm . Det är också vanligt att avskiljningsförmågan ökar med tiden, i takt med att filtret ackumulerar stoft. Den undre kurvan i figuren gäller för ett nytt filter medan de båda övre kurvorna gäller då filtret varit i drift en tid.



Figur 2. Avskiljningsgradens variation med partikelstorleken för ett finfilter av klass F65 (EU6, F6) [13].

Partikelfilters brukstid har hittills vanligen bestämts av den tillåtna tryckfallsökningen, men bl a med hänsyn till att partikelfilter efter lång tids användning kan ge upphov till luktproblem [14], kan det finnas anledning att byta filter redan vid ganska måttlig stoftbeläggning.

En undersökning vid Chalmers har visat att de vanligaste finfiltren har nära 100-procentig avskiljning med avseende på pollen och pollenallergen [15, 16]. Provning av nya finfilter under standardförhållanden beträffande bland annat luftens fuktinnehåll (högst 70 % RF) visar inga tecken på att pollenallergen avges från redan uppsamlade pollenkorn. Mätningar med försmutsade filter och vid mekanisk påverkan i form av start och stopp av fläkt visar heller inga tecken på att pollenallergen skulle avges från filtren.

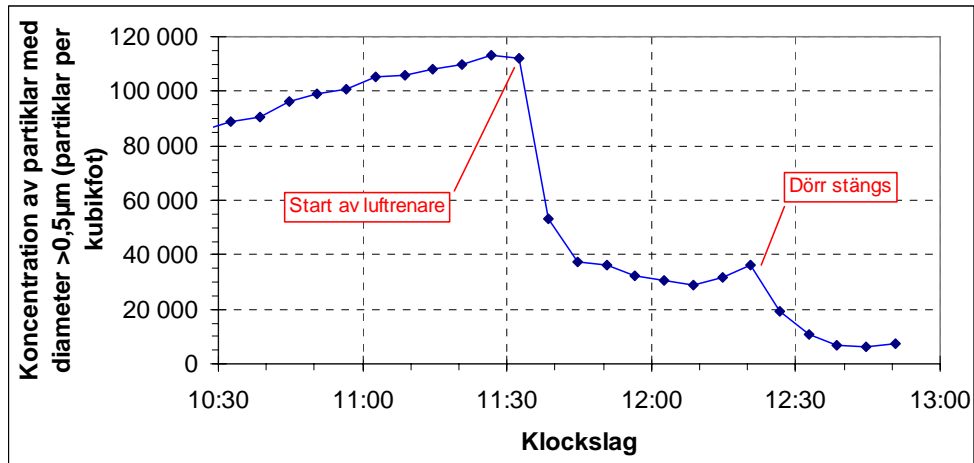
Utöver hänsyn till hälsa och komfort filtreras den luft som tas in utifrån för att skydda komponenter (t ex värmväxlare) i luftbehandlingsaggregatet, där sådant förekommer. För detta ändamål räcker det med filter som har rätt begränsad förmåga att filtrera bort små partiklar, men som däremot är effektiva när det gäller avskiljning av grövre stoft (partiklar med storlekar över någon eller några mikrometer). Denna typ av filter kallas grundfilter.

Rening av inomhusluft med hjälp av rumsluftsrenare

Idag finns effektiva rumsluftsrenare tillgängliga. Genom att välja tillräckligt stor kapacitet för sådana luftrenare (tillräckligt antal renare) i förhållande till de aktuella ventilationsflödena kan man åstadkomma en betydande reduktion av partikelhalterna inomhus, oavsett om partiklarna ursprungligen alstrats inomhus eller utomhus. Denna teknik ger också möjlighet att reducera partikelhalterna i byggnader där filtrering av tilluften saknas, d v s i byggnader ventilerade genom självdrag eller frånluftsventilation. Nedan följer exempel på resultat från en fältundersökning omfattande rumsluftsrenare med en ny typ av elektrostatfilter, med avskiljardel av papp till skillnad från traditionella elektrostatfilter med avskiljardel av metall.

Figur 3 återger resultatet av en partikelhaltsmätning i ett kontorsrum avsett för en person. Fram till klockan 11:30 var rumsluftsrenaren avstängd och dörren mellan kontorsrummet och korridoren var öppen. När rumsluftsrenaren startades sjönk partikelhalten ($d_p > 0,5 \mu\text{m}$) från ca 110 000 partiklar per kubikfot till ca 30 000 partiklar per kubikfot under 10-20 minuter. Med rumsluftsrenaren i drift erhöles alltså en sänkning av partikelhalten med ca en faktor 3,7. Klockan 12:20 stängdes dörren medan rumsluftsrenaren fortfarande var i drift. Denna åtgärd ledde till att partikelhalten sjönk till ca 7 000 partiklar per kubikfot, d v s ca 1/16 av den koncentration som rådde innan rumsluftsrenaren startades.

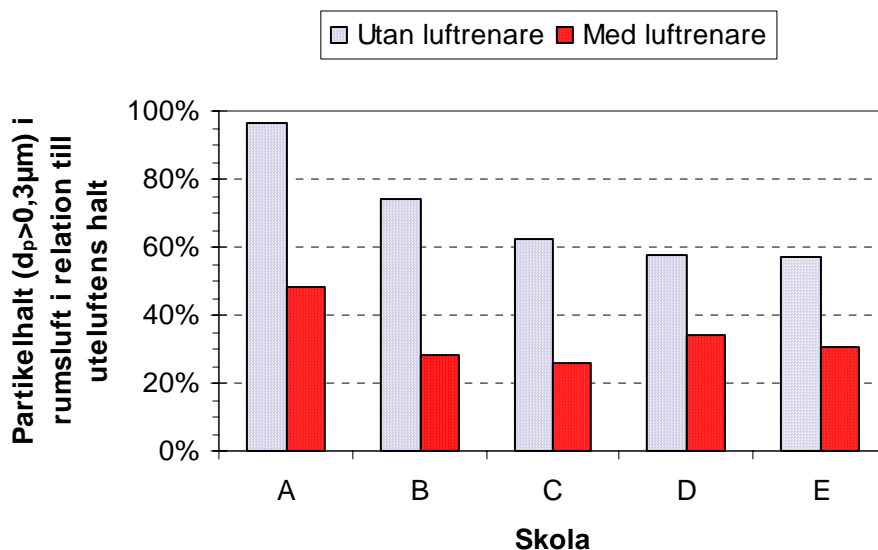
Luftrenarens effekt på stora partiklar ($d_p > 5 \mu\text{m}$) stämde väl överens med effekten på små partiklar ($d_p > 0,5 \mu\text{m}$). Exempelvis uppmättes för partikelstorleken $d_p > 5 \mu\text{m}$ koncentrationen 700 partiklar per kubikfot då rumsluftsrenaren var avstängd och ca 200 partiklar per kubikfot med renaren i drift och med dörren öppen.



Figur 3. Partikelhalt i ett kontorsrum uppmätt med och utan rumsluftsrenare i drift, samt med öppen och stängd dörr (17). Luftflödet genom luftrenaren var ca 400 m³/h och avskiljningsgraden 98 %.

Fältprov av rumsluftsrenare installerade i skolor

I figur 4 sammanfattas några av resultaten från fältmätningar i fem skolor i Mölndals kommun. I varje skola mättes vid två tillfällen damm- och partikelhalter i två utvalda klassrum. I vart och ett av de undersökta klassrummen fanns tre rumsluftsrenare installerade. De installerade luftrenarna var av samma fabrikat men av en annan typ än den tidigare omnämnda luftrenaren. Enligt tillverkaren var i detta fall luftflödet genom varje rumsluftsrenare ca 650 m³/h. Vid varje mättillfälle var dock rumsluftsrenarna i drift endast i den ena salen, medan filterfunktionen kopplats ur i det andra klassrummet. Mätningen upprepades efter det att filterfunktionen växlats, d v s vid mätning nummer två var rumsluftsrenarna i drift i den sal där de vid den första mätningen var frånkopplade. Vid mätning nummer två var renarfunktionen urkopplad i de klassrum där luftrenarna varit i drift vid den första mätningen. Mätningar av luftburet damm (PM10) visade att halten i klassrum med rumsluftsrenare igenomsnitt var ca 40 % av halten i klassrum utan rumsluftsrenare.



Figur 4. Partikelhalter (partikeldiameter större än 0,3 μm) uppmätta i fem lågstadieskolor (17). I varje skola genomfördes samtidiga mätningar i uteluften, i ett klassrum utan rumsluftsrenare och i ett klassrum med rumsluftsrenare.

I figur 4 återges halten partiklar i klassrumsluften uttryckt som procent av halten i uteluften. Uppgifterna rör antalet partiklar med diametrar ner till 0,3 μm och för varje skola visas medelvärden av mätningar i två klassrum utan och två klassrum med rumsluftsrenare i drift. Skola A är frånluftsventilerad och har följaktligen inga tilluftsfilter. Detta är anledningen till att partikelhalterna i klassrum utan rumsluftsrenare i stort sett är lika med halten i uteluften. Figuren visar också att partikelhalterna genomgående var ungefär hälften så höga i klassrum med rumsluftsrenare jämfört med klassrum utan luftrenare. Att partikelhalterna var lägre inomhus än utomhus i skolorna B-E beror på att tilluftssystemen i dessa var utrustade med finfilter (klass F45-F65).

Det kan här nämnas att en halvering av partikelhalterna i rumsluften kan åstadkommas med hjälp av rumsluftsrenare vars kapacitet motsvarar ett partikelfritt luftflöde av minst samma storlek som ventilationsflödet i rummet. Vid val av rumsluftsrenare är det mycket viktigt att beakta eventuella sideeffekter, t ex i form av störande ljud.

Ultrafina partiklar

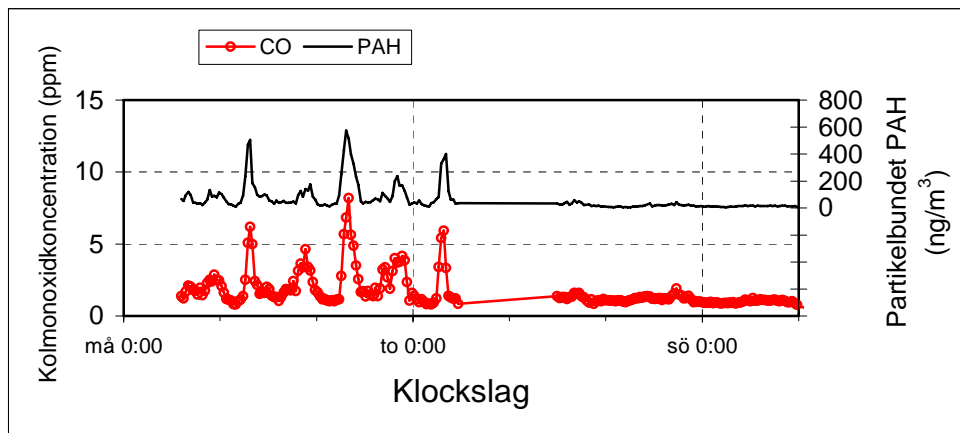
Som framgått ovan är inomhusluftens andel av partiklar större än ca 1 mikrometer till helt dominerande del alstrade av människor och verksamheten inomhus. Mindre partiklar, tillförs däremot till stor del utifrån. Partiklar som är mindre än ca 0,1 μ m, dvs ultrafina partiklar, härrör i första hand från förbränningsprocesser och kemiska reaktioner.

Vid Institutionen för installationsteknik, Chalmers pågår ett Formas-finansierat projekt med syftet att studera inomhusexponeringens storlek och betydelse när det gäller ultrafina partiklar. Om skillnaden mellan halterna inomhus och halterna utomhus skulle visa sig liten, är det försvarbart att så som i dag sker, knyta hälsoeffekter till utomhusluftens kvalitet. Om det däremot skulle visa sig vara påtagliga skillnader, finns det anledning att även närmare studera sambandet mellan ohälsa och ultrafina partiklar inomhus.

Projektet skall i första hand ge en generaliserbar bild av dels nivån och variationsmönstret, dels sambandet mellan uteluftens och inomhusluftens halter av ultrafina partiklar. Avsikten är att ta fram ett underlag för bedömning av människors totala exponering. Det är därmed i första hand fråga om tekniska mätningar och analyser, dock i samverkan med medicinsk forskning. Projektet omfattar fältmätningar i ett flertal byggnader belägna i olika miljöer: storstad (Köpenhamn), mellanstor stad (Göteborg), förort och glesbebyggelse. Som ett led i projektet undersöks också en rad interna källor till ultrafina partiklar, bl a genom laboratoriemätningar.

Traditionella optiska partikelräknare utvärderas parallellt med instrument som bygger på ny teknik för mätning av ultrafina partiklar. Halten partiklar i flera storleksintervall mäts kontinuerligt mellan 0,01 och 10 μ m. Instrument för direktvisande och kontinuerlig mätning av polycykliska aromatiska kolväten (PAH) bundna till ultrafina partiklar kommer också att användas. Även andra partikelmått än antalet ultrafina partiklar kommer att studeras, bl a PM₁₀, PM_{2,5} vilka som nämnts ligger till grund för tidigare presenterade miljömedicinska studier. Förutom partiklar kommer en rad gasformiga luftföroreningar att studeras, bl a kolmonoxid, som i likhet med ultrafina partiklar genereras i förbränningsprocesser. Kolmonoxid och ultrafina partiklar har alltså, åtminstone delvis, samma källor. Figur 5 visar en jämförelse mellan koncentrationerna av PAH bundet till ultrafina

partiklar och kolmonoxid uppmätta vid ett uteluftsintag i en byggnad i centrala Göteborg.



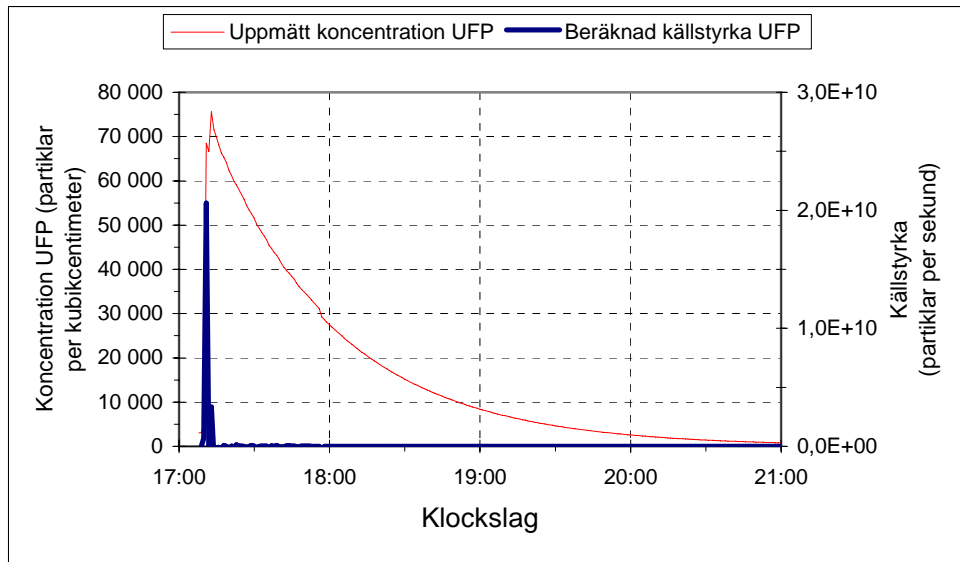
Figur 5. Jämförelse mellan halter av partikelbundna PAH och kolmonoxid uppmätta vid uteluftsintaget, i en byggnad belägen vid en hårt trafikerad gata i Göteborg (18).

Modellering av inomhusluftens partikelinnehåll

För att få jämförelse mellan partikelhalterna ute och inne krävs alltså kontinuerliga mätningar, och för att stödja tolkningen av uppmätta partikelkoncentrationer kommer simuleringsmodeller att användas i kombination med mätdata. Vid Institutionen för installationsteknik vid Chalmers finns stor erfarenhet av analys av fältmätningar av luftburna föroreningar. Bland annat har modeller utvecklats för att ur sådana mätningar särskilja utifrån kommande partiklar eller gaser från det som alstras inomhus (19, 20), vilket är nödvändigt på grund av att såväl partikel- som gashalter varierar kraftigt i tiden.

Ett ändamål med koncentrationsmätningar är att ta fram information om den interna genereringen av en viss luftförorening. Detta kompliceras dels av att koncentrationerna varierar i tiden, dels av andra faktorer. När det gäller partiklar sker ofta en avsevärd deponering av partiklar på ytor i rummet och små partiklar slås samman till större genom agglomeration. Figur 6 visar ett exempel på en kombination av mätningar och beräkningar för att bestämma källstyrkan för ultrafina partiklar genererade vid

cigarettrökning. Mätningen genomfördes i en testkammare i full skala (20m^3) ventilerad med motsvarande 0,6 luftomsättningar per timme. I början av förloppet röktes en fjärdedels cigarett under 1 à 2 minuter. I diagrammet visas också den beräknade källstyrkan som funktion av tiden. Förutom den i figuren redovisade kvantifieringen av källstyrkan ger modelleringen uppgifter om en sänkeffekt som är direkt proportionell mot partikelkoncentrationen i rummet.



Figur 6. Koncentration av ultrafina partiklar (UFP) uppmätt i en testkammare i full skala (20 m^3). Kammaren ventilerades med motsvarande 0,6 luftomsättningar per timme och vid början av det visade förloppet röktes en fjärdedels cigarett under 1-2 minuter. I diagrammet visas också den beräknade källstyrkan som funktion av tiden.

Mätningar och beräkningar av det redovisade slaget ger möjlighet att jämföra olika tänkbara föroreningskällors styrka och karaktär. I det nämnda projektet studeras ett flertal olika källor till ultrafina partiklar inomhus, och en avsikt är att använda resultaten tillsammans med uppgifter om en byggnads ventilationsflöde, filtereffektivitet etc, för att förutsäga inomhusluftens halt av partiklar i förhållande till uteluftens.

Effektiv luftrening kräver genomtänkta lösningar

De redovisade mätningarna visar att det finns tillgänglig teknik för att åstadkomma en markant reduktion av inomhusluftens innehåll av partikel-formiga föroreningar i bostäder, kontor, skolor och andra lokaler. Kunskapen om behovet av ren luft i sådana miljöer är ännu rätt begränsad och det finns inga tydliga riktlinjer och kravnivåer med hänsyn till komfort och hälsa. I många industriella sammanhang är kravnivåerna däremot mycket tydliga. Exempelvis åstadkommer man i stort sett partikelfri inomhusluft i laboratorier för mikroelektroniktillverkning, eftersom ren luft är ett absolut krav för verksamhetens bedrivande.

En förutsättning för att en reell förbättring av luftkvaliteten skall erhållas är att komponenter och system för luftrening utformas och dimensioneras på ett genomtänkt sätt, d v s med hänsyn till de många faktorer som har betydelse för partikelförekomsten i byggnader. Sådan kunskap existerar för stora delar av området och är under uppbyggnad för andra, exempelvis beträffande ultrafina partiklar.

Referenser

1. Lippmann, M, Ito, K, Nádas, A, Burnett, RT, (2000), "Association of particulate matter components with daily mortality and morbidity in urban populations", *Research Report 95, Health Effects Institute, Cambridge, MA, USA.*
2. Wichmann, HE, Peters, A., (2000), Epidemiological evidence of the effects of ultrafine particle exposure, *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical & Engineering Sciences*, Vol. 358, N. 1775. pp. p2751 -- p2769, The Royal Society, UK.
3. Donaldson, K, Li, XY, MacNee, W (1998), Ultrafine (nanometer) particle mediated lung injury, *J. Aerosol. Sci.* 29 (5-6), pp. 553-560.
4. Peters, A, Döring, A, Wichman H-E, Koenig, W. (1997) Increased plasma viscosity during an air pollution episode: A link to mortality?, *Lancet*, 349:1582-1587.
5. Schwartz, J. (1999) Air pollution and hospital admissions for heart disease in eight US counties, *Epidemiology*, 10:17-22.
6. Gold, DR, Litonjua, A, Schwartz, J, Lovett, E, Larson, A, Nearing, B, et al. (2000) Ambient pollution and heart rate variability, *Circulation*, 101(11):1267-73.

7. Peters, A, Liu, E, Verrier, RL, Schwartz, J, Gold, DR, Mittelman, et al. (2000) Air pollution and incidence of cardiac arrhythmia, *Epidemiology*, 11:11-17.
8. Zanobetti A, et al. (2002), "The temporal pattern of mortality responses to air pollution: A multicity assessment of mortality displacement". *Epidemiology* 2002, 13, pp. 87-93.
9. Ghio, AJ, Kim, C, Devlin, RB. (2000) Concentrated ambient air particles induce mild pulmonary inflammation in healthy human volunteers, *Am J Respir Crit Care Med*, 162:981-988.
10. Li, XY, Gilmour, PS, Donaldson, K, MacNee, W. (1997) In vivo and in vitro proinflammatory effects of particulate air pollution (PM10), *Environ Health Perspect*, 105 (suppl 5):1279-1283.
11. Seaton, A, MacNee, W, Donaldson, K, Godden, D. (1995) Particulate air pollution and acute health effects, *Lancet*, 345:176-178.
12. Tillberg, D, Caspersen, D. (1997) Partikelhalter i inomhusluft: Utveckling av metodik för mätning och kvantifiering av källstyrkor i skollokaler, Examensarbete E134:1997, Installationsteknik, Chalmers.
13. Hanley, J.T., Ensor, D.S., Smith, D.D. and Sparks, L.E., "Fractional aerosol filtration efficiency of in-duct ventilation air cleaners", *Indoor Air*, 4, 169-178, 1994.
14. Pejtersen, J. "Sensory pollution and microbial contamination of ventilation filters", *Indoor Air*, 6, 239-248, 1996.
15. Ekberg L E, Kvernes M, Gustén J and Stindehag O, "Removal of Pollen Allergens by Ventilation Air Filters". Proceedings of the Healthy Buildings 2000 Conference, Vol. 1, pp 297-284, Edinburgh, Scotland, 1999.
16. Kvernes, M. "Avskiljning av Pollen och Pollenallergen i Ventilationssystem: Metodik för och resultat av laboratorie- och fältmätningar med tonvikt på partikelfilters funktion", Document D54:2000, Institutionen för installationsteknik, Chalmers Tekniska Högskola, November, 2000.
17. Ekberg, L.E. (2000) Effektiva system för att rena inomhusluften från partiklar, *Energi & Miljö*, 12:59-63.
18. Ekberg, L.E., (1995), "Concentrations of NO₂ and other traffic related contaminants in office buildings located in urban environments", *Building and Environment*, Vol. 30, 2, pp. 293-298.
19. Ekberg, L.E., (1996), "Relationships between indoor and outdoor contaminants in mechanically ventilated buildings, *Indoor Air*, 6, pp. 41-47.

20. Kraenzmer, M, Ekberg, LE, (1997), "Modeling as a tool to evaluate measured concentrations of indoor air pollutants", *Proceedings of the Healthy Buildings/IAQ '97 Conference*, Vol. 3, pp. 331-336.

Session 5. Vägar till sunda hus

Ansvar, svårigheter och möjligheter

Byggherren

Jari Lalli

Gamla krav – men nya rutiner och uppföljning

Inom de flesta större byggprojekt, oavsett byggherre, finns definierade krav införda för material och utförande i syfte att undvika problem med t.ex. fukt och mögel. Dessa krav är främst standard-, myndighets-, leverantörs- och försäkringskrav som t.ex. fukthalter, utförande av tätskikt och ledningsförläggning. Trots dessa krav har ett stort antal s.k. sjuka hus uppstått, till följd av att ovanstående krav ej har beaktats i projektering eller produktion. Det har också visat sig att det inte är tillräckligt med entreprenörernas egenkontroll samt de besiktningar som byggherren och entreprenörerna låter genomföra för att säkerställa att överlämnade krav verkligen genomförs.

För att få den eftersträlvade kvalitén i byggande krävs att tvingande rutiner införs för samtliga av projektets skeden, från första utredning och lokalisering till projektering och produktion. Till dessa rutiner skall en byggherrens egenkontroll kopplas vilket gör att det finns en uppföljning av att det som skall göras verkligen genomförs. Förutom denna egenkontroll skall interna- och externa revisioner genomföras inom ramen för kvalitetssystemet. För relevanta delar skall krav ställas på att medverkande konsulter och entreprenörer upprättar motsvarande rutiner för sin del av projektet. Ovanstående rutiner i ett kvalitetssystem är inget nytt påfund, men där det oftast brister är en seriös tillämpning av egna rutiner samt en uppföljning/kontroll under både projektering och produktion.

Fastighetsverket har upprättat ett projektledningssystem för byggprojekt som bygger på ett antal "simbanor" där byggherrens organisation har ett antal bestämda aktiviteter i projektets olika skeden. Till detta genomförs revisioner mot konsulter i projekteringskedet och entreprenörer i produktionskedet. För produktionskedet anlitas även en "innemiljökontrollant" som har till enda uppgift att kontrollera att utförandet sker enligt satta innemiljökrav, t.ex. fuktmätning.

I Fastighetsverkets rutiner ingår även att upprätta dokumentation för framtida behov samt att kunna redovisa för hyresgästen att byggnaden uppnår kraven för att tillgodose bra innemiljö. Dokumentationskravet är också till stor nytta vid en ev. skadeförundersökning om "olyckan" ändå varit framme trots rutiner och kontroller.

Till följd av problemen kring Moderna Museet/Arkitekturmuseet (MM/AM) har Fastighetsverket upprättat en rutin för skadeutredning. Med "facit i hand" kan vi konstatera att skadornas omfattning inte var så allvarliga som befarades i de första utredningarna, vilket satte nivån på hur "sjuk" byggnaden var. Utifrån erfarenheterna kring MM/AM har Fastighetsverket utarbetat en utredningsmetodik som skall ge ett bättre stöd till förvaltningen vid misstanke om inomhusrelaterade problem, vilket i sin tur skall ge en effektivare skadeutredning.

Konsulten

Per-Olof Carlson

Osunda hus – fukt på fel ställe den vanligaste orsaken

En god kvalitet på inomhusmiljön är viktig för både hälsa och komfort. Vi tillbringar mer än 90 % av tiden inomhus i våra bostäder och på våra arbetsplatser – barn och ungdomar mer än 95 %.

Sambanden mellan inomhusmiljö och hälsa är komplexa och ofullständigt kända. De flesta hälsobesvär och sjukdomssymptom som kan orsakas av byggnadsrelaterade faktorer kan också ha andra orsaker såsom t ex ärftlig benägenhet, livsstil, social situation, matvanor eller faktorer som har med verksamheten att göra. Vissa orsakssamband mellan byggnad och ohälsa är dock vetenskapligt väl belagda:

- ✓ Radon i ineluften kan orsaka lungcancer (framför allt i kombination med rökning)
- ✓ Fukt- och mögelskadade byggnader kan orsaka s k sjuka hussymptom (Sick Building Syndrome, SBS)
- ✓ Legionellabakterier i tappvattensystem och luftkonditioneringsanläggningar kan spridas som aerosol till ineluften och orsaka legionärsjuka.
- ✓ Buller kan orsaka sömnsvärigheter
- ✓ Förorenat dricksvatten kan ge upphov till maginfektioner.

Byggsektorns kretsloppsråd har i sin Miljöutredning ”Byggsektorns betydande miljöaspekter” gjort ett försök att sammanställa de viktigaste miljöaspekterna i inomhusmiljön som påverkar människors hälsa. Fokus har satts på de frågor som kan ha koppling till hus. Inomhusmiljön är dock som nämnts bara en av flera möjliga orsaker till hälsoproblemen. Utifrån sammanställningen i tabell 1 har luftkvalitet inkl radon samt buller bedömts ha den största påverkan på människors hälsa. Problem med luftkvaliteten hänger ofta samband med fukt och otätheter i byggnader.

Vattenskador i byggnader kostar enligt vattenskadeundersökningen 2002 mer än fem miljarder kronor årligen att åtgärda. Förutom höga kostnader drabbas den enskilde individen även av miljöproblem. De vanligaste orsakerna är skador orsakade av:

- Utströmning från ledningssystem framför allt p g a korrosion och frysning, 60 %

- Läckage genom tätskikt i våtrum, framför allt i anslutning till golvbrunnen, 27 %
- Utströmning från utrustning framför allt p g a diskmaskin, 13 %

Frågor om samband mellan upplevda symptom och inomhusmiljö är dock ofta mycket svårbedömda på individnivå särskilt när det gäller SBS-symptom. En rimlig slutsats bör dock vara att i enlighet med försiktighetsprincipen bidra till att minska riskerna för ohälsa bl a genom att undvika skadlig fukt och onödiga emissioner av hälsoskadliga ämnen i inomhusluften. Fukt på fel ställe är den vanligaste orsaken till byggnadsrelaterade hälsoproblem.

Tabell 1. Sammanställning över inomhusmiljöns bedömda påverkan på människors hälsa och dess omfattning.

Påverkan på människors hälsa	Omfattning	Orsak (Innomhusmiljöaspekt/Aktivitet)	Behov av förändringar
Förhöjda radonhalter i inomhusluft ger ökad risk för lungcancer.	I 70 000-120 000 småhus och 20 000 – 80 000 lägenheter i flerbostadshus är radonhalten högre än Socialstyrelsens riktvärde för sanitär olägenhet. Radonexponeringen bedöms leda till 400 - 900 lungcancerfall per år. De flesta av dessa inträffar bland rökare. Skärpning av kraven har föreslagits av Miljömålskommittén och Radonutredningen.	Olämplig lokalisering av byggnader. Felaktigt byggande. Användning av byggmaterial med radioaktivt innehåll (gäller vissa äldre fastigheter. Inte nybyggda). Otillräcklig ventilation. Felaktig placering av tilluftsdon.	Information till, byggherrar, projektörer, egnahemsägare och fastighetsföretag. Kartläggning av problemhus och dricksvatten med höga radonhalter i kommunala vattentäkter och i enskilda brunnar. Sänkning av radonhalterna i byggnader och i dricksvatten. Ekonomiska stimulanser.

Påverkan på människors hälsa	Omfattning	Orsak (Innemiljöaspekt/Aktivitet)	Behov av förändringar
Byggnader med fukt- och mögelskador ger dålig lukt och SBS-symtom.	10 % av våra bostäder bedöms ha fuktskador som bör åtgärdas omedelbart.	Problemen består dels av akuta fuktskador på grund av läckor el dyl, dels av felaktig byggnadskonstruktion eller felaktig uppvärmning och ventilation. Felaktig lagring och hantering så att material blir blöta. Återanvändning av vissa byggmaterial.	Väl uttorkade hus och byggnads-material samt en god avvägning mellan ventilation och uppvärmning är lämpliga metoder att komma tillrätta med problemen. Fuktdimensionering.
Emissioner från byggmaterial, särskilt fuktiga, ger dålig luftkvalitet och kan öka risken för människors ohälsa.	400 000-500 000 personer upplever sig så besvärade av inneklimatet att de får symtom i ungefär hälften av lägenheterna i flerbostadshus, och i fyra av fem småhus uppfylls inte gällande ventilationskrav.	Byggnad och drift och skötsel med otillräcklig hänsyn till inomhusluftens kvalitet och fuktillstånd. Felaktigt materialval.	Tillhandahålla och använda byggvarudeklarationer. Torrt och rent byggande. Sanering av hälsofarliga tillsatser i bygg- och inredningsmaterial.
Buller medför kommunikationsstörningar, irritation, sömnproblem mm.	400 000-900 000 personer är dagligen störda av trafiken och 200 000 – 600 000 mycket störda av grannar.	Bibehållen och ökad trafik Brist på bullerhänsyn vid planering och byggande.	Bullersanering Teknisk utveckling Planering Tillämpning av riktvärden. Uppföljande bullermätningar i färdiga hus.

Påverkan på människors hälsa	Omfattning	Orsak (Innemiljöaspekt/Aktivitet)	Behov av förändringar
Legionella är en särskilt farlig bakterie som tillväxer särskilt vid temperaturer mellan 20 och 45 °C i varmvattnet och sprids via vatten i aerosolform. Den kan orsaka legionärssjuka och luftfuktarfeber.	I Sverige beräknas minst 500 personer årligen insjukna i legionärssjuka. Av dem som insjuknar dör uppskattningsvis var tionde av sjukdomen.	Stillastående vatten i ledningsnätet och för mikroorganismer lämpliga temperaturer kan leda till tillväxt av bakterier och andra mikroorganismer. Materialval, konstruktion och skötsel av systemet.	Information Högre varmvatten temperatur. Ombyggnad av varmvattensystem. Utbildning.
Termiska komfortproblem, t ex fel rumstemperatur.	20% av dem som bor i flerbostadshus tycker att värmekomforten på vintern är dålig (huvudsakligen för kallt).	Otåta, dåligt värmeisolerade byggnader. Dålig injustering av värmesystem.	Tilläggsisolering och fönsterbyte i äldre byggnader. Injustering av värmesystem. Kvalitetskontroll av projektering, byggande, idrifttagning och förvaltning av värmesystem och för att undvika köldbryggor.
Elektromagnetiska fält och mikrovågor misstänks påverka hälsan.	Inte känd.	Eldistribution (bl.a. kraftledningar), kommunikation (trådlös telefoni) och övrig elektrisk utrustning. Elsystemets utformning.	Ökad kunskap om effekterna av elektromagnetiska fält och eventuellt behövliga åtgärder. Tillämpa försiktighetsprincipen.

Ansvar och svårigheter

Flera utredningar har pekat på att orsaker till fel i byggandet till ca hälften kan hänföras till projekteringskedet och beror på brister i engagemang, samordning och kommunikation. En del av dessa fel kan vara en orsak till

de problem som finns med osunda hus. Ansvaret för dessa fel åvilar fr. a. byggherren som måste ställa tydliga och relevanta krav som kan kontrolleras på ett entydigt sätt samt projektörerna (konsulterna) som ska utforma tekniska lösningar som uppfyller dessa krav.

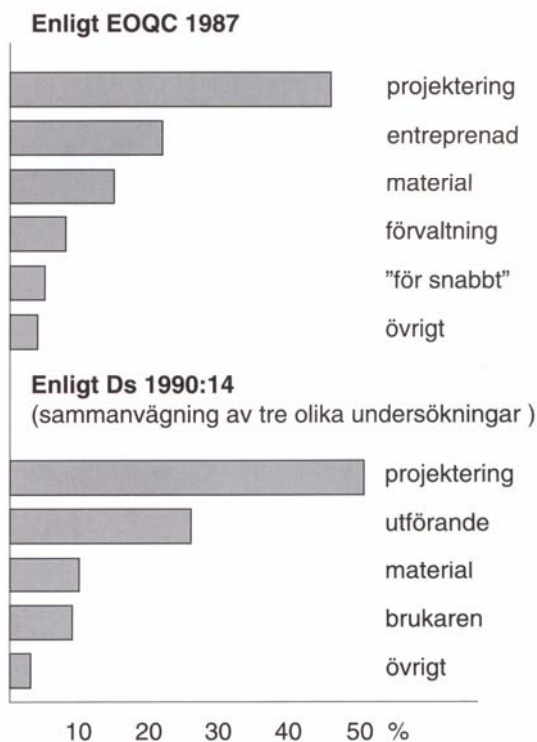


Bild 1. Orsaker till fel inom byggandet (*Hus & Hälsa, T11:2000*)

I det följande ges exempel på en del svårigheter i byggprocessen som framkommit bl. a. vid intervjuer med konsultkollegor representerande såväl byggteknik som installationsteknik. På det övergripande planet när det gäller **byggprocessen** upplever man bl. a.:

- Att byggprocessen har blivit alltmer fragmenterad och specialiserad och att det övergripande ansvaret och den generella kunskapen har försvunnit vilket har lett till brister i helhetssyn. Alla drar åt sitt håll i stället för att hitta den gyllene medelvägen som i många fall är den rätta vägen.

- Att en ökad vilja att stycka projekt i små delentreprenader för att pressa kostnaderna gör att tekniken blir sämre samordnad.
- Att många byggherrar har ett kortsiktigt ekonomiskt tänkande vilket gör att investeringar som inte snabbt återbetalar sig inte genomförs. Byggherren bygger för att avyttra och inte för att förvalta objektet
- Att projektledarna som driver projekten för byggherrens räkning är mer fokuserade på upphandling, tid- och resursplanering än tekniska frågor.
- Att konsulter alltför sällan tar fram olika alternativa lösningar och belyser konsekvenser i form av risker och kostnader. Om man har bra argument och byggherren förstår innebörden får man ofta gehör, men det är viktigt att hitta rätt nivå för varje projekt – har byggherren ett perspektiv på 10 eller 100 år – så att man inte föreslår överkvaliteter.
- Att projektörer oftast väljer en lösning som man har bra erfarenhet av, men det görs ingen djupare analys av om det finns andra alternativ som är bättre. Tid och kostnad sätter gränser för hur mycket arbete som kan läggas ned. Om det inte kostar mer eller inte påverkar tiden så accepterar byggherren alternativa förslag som är bättre.
- Att vissa beställare betalar för säkerhet, men många vill pressa kostnaderna och väljer den billigare lösningen, t ex utfackningsvägg i stället för betongvägg. Risken för fuktskador och otätheter är då större vilket kan leda till problem med luftkvalitet och termisk komfort och därmed öka risken för byggnadsrelaterad ohälsa.
- Att det uppstår problem att samordna byggt teknik och installationer på ett optimalt sätt eftersom beslut tas vid olika tillfällen på separata förfrågningsunderlag.
- Delat ansvar för konstruktioner, t ex klimatskärmen, där ingen har ansvar för hela funktionen – täthet, värmeisolering mm. Arkitekten ritar underlag för utfackningsväggar och byggkonstruktören för stommen.

När det gäller mer **tekniska aspekter** kan bl. a. följande innebära svårigheter:

- Otätheter hos byggnadens klimatskärm som ger upphov till fuktproblem p g a inre övertryck som förorsakar konvektion och kondensation. Förstärks av vindpåverkan. Otätheterna ger också upphov till uppvärmningsproblem och därmed komfortproblem. Speciellt stora svårigheter uppstår när termiska drivkrafter ska utnyttjas för ventilation

(självdrag, hybridsystem) och byggnaden är otät. Byggnaderna är ofta mer otäta än vad som föreskrivs. VVS-konsulten överdimensionerar därför för att klara otätheter, men det räcker inte alltid. Provtryckning av lufttäthet görs sällan i bostäder och nästan aldrig i kontor.

- Otätheter i bjälklag, väggar och vid genomföringar mellan lägenheter ger problem med lukt och ljud.
- Otillräckliga tider för uttorkning av byggfukt.
- För lite möda ägnas åt byggfysik, bl a fuktdimensionering
- Lösningar projekteras, t ex. utfackningsväggar, som kräver noggrant tätningsutförande av fogar samt gynnsamma väderleksförutsättningar vid montage. Robusta lösningar typ betongväggar är dyrare och väljs sällan av byggherren.
- Säkra lösningar projekteras för t ex. terrassbjälklag – gjutasfalt med skyddsbetong – som faller p g a högre kostnad.
- Befuktning av lokaler bestäms i efterhand vilket ökar risken för fukt-skador. Om det varit känt från början hade man undvikit utfackningsväggar och valt betongväggar.
- I vissa frågor t ex brand ställs omfattande funktionskrav i brandskydds-dokumentationen men lösningar på problemen redovisas sällan. Motsvarande förhållande gäller i viss mån även för byggfysikaliska frågor som täthet. Svårigheterna ligger i att lösa anslutningarna och detaljerna och inte bara ”raksträckorna”.
- VVS-konsulter tänker mer på effektbehov och energibalans än upplevt klimat m h t konvektion och strålning. Speciellt viktigt vid stora glasade partier och glasgårdar.
- Dolda installationer har blivit vanligare p g a att de påstås vara säkra, men verkligheten visar att utförandet inte blir rätt p g a brister i montage. Sannolikheten för rätt utförande upplevs som alltför låg. Ett annat problem är läckande golvbrunnar.
- En del av problemen beror på bristande kunskap hos dem som projekterar och på att konstruktionerna är för teoretiska och är svåra att utföra på byggarbetsplatsen – åtkomlighet, kräver stor precision, små toleranser mm.

Möjligheter

Vad finns det då för möjligheter att undvika dessa svårigheter och att minska risken för fel och osunda hus? Några exempel på vad som kan göras i projekteringsarbetet kan vara att:

- Redovisa **alternativa lösningar** för byggherren och vara tydlig med för- och nackdelar, konsekvenser av de olika alternativen.
- Göra **riskanalyser**, vilket innebär en systematisk identifiering och värdering av riskerna i ett projekt. Värderingen kan göras kvantitativ eller kvalitativ. Kvalitativa riskanalyser ger normalt tillräckligt med underlag för riskanalyser. Exempelvis kan man göra enkla ”Storsektioner” där de kritiska detaljerna identifieras så att man ser omfattningen av dem och kan analysera dem mot alternativa lösningars för- och nackdelar som underlag för byggherrens beslut. Lämpligen görs detta i systemhandlingskedet för såväl byggnadskonstruktioner som installationer.
- Göra **fuktdimensionering**, varmed avses att ”vidta de åtgärder i byggprocessen som syftar till att säkerhetsställa att byggnaden inte får skador eller andra olägenheter som direkt eller indirekt orsakas av fukt”. Utarbeta en fuktskyddsbeskrivning och dokumentation med stöd av de hjälpmedel som finns bl a från Fuktcentrum i Lund, Gullfiber, Stockholms Stad, RBK m fl.
- **Projektera för vattenskadesäkerhet** och hindra att fukt hamnar på fel ställe genom att ta tillvara de goda erfarenheterna från FORMAS projekt VASKA (Vattenskadesäkert byggande) – inte en enda vattenskada har inträffat i de 4000 lägenheter som byggts med den teknik som rekommenderas.
- **Undvika riskkonstruktioner** som exempelvis konventionella krypgrunder, otäta hus, låglutande tak och kalla vindar om man inte kan garantera att de fungerar under de aktuella förutsättningarna.
- Använda **robusta konstruktioner** som tål ett visst mått av fel – ”för-låtande”.
- För fram förslag att det ska finnas en tekniskt kunnig person som är **huvudansvarig för att byggtekniken samordnas** mellan de olika konsulterna och entreprenörerna. Visa tydligt för byggherren värdet av detta för att undvika problem och få bättre flyt i produktionen, vilket bör leda till lägre kostnader för produktion och förvaltning. Redovisa samordningen på särskilda handlingar.
- Ta fram en **förvaltningsplan** redan under projekteringsskedet så att de viktiga drift- och underhållsfrågorna kommer i fokus.

Referenser

Andersson Johnny, Kling Rolf, Bygg Vattenskadesäkert, VASKA visar vägen, T3:2000, Byggforskningsrådet (numera FORMAS).

Boverket, Rådslag om fukt i byggprocessen – konsensusrapport, www.boverket.se.

Byggsektorns miljöprogram 2003, remissutgåva 2002-06-20, Byggsektorns kretsloppsråd.

Carlson, Per-Olof & Lilliehorn Per, Byggsektorns betydande miljöaspekter, Miljöutredning, Byggsektorns Kretsloppsråd, 2001.

Etsmar, Åke, Byggplats Stockholm 2000-2001, Stockholm stad, 2001.

Hagentoft, Carl-Eric, Vandrande fukt - Strålande värme – Så fungerar hus, Studentlitteratur, 2002.

Harderup, Eva, Fuktdimensionering med checklista, TVBH-3031, LTH, 1998. Hämta på www.fuktcentrum.lth.se.

Harderup, Eva, Fuktdimensionering – Demonstrationsexempel för bostadshus, TVBH-30312, LTH, 1998.

Hämta på www.fuktcentrum.lth.se.

Hus & Hälsa, Innemiljö & människors hälsa, T6-12:2000, Byggforskningsrådet (numera FORMAS).

Sandberg P I, Samuelsson I, Saknas kunnandet eller viljan? Byggindustrin 01/2003.

Vattenskadeundersökningen 2002, VVS-installatörerna och SBUF.

Entreprenören

Johnny Kellner

Materialhantering basen för ett sunt byggande

Fukt är i de flesta fall huvudorsaken till många av de problem som benämns som ”sjuka hus” och allt flera personer anser att de blir sjuka i sin inomhusmiljö. Vi kan inte alltid förutsätta att vi bygger för kärnfriska vikingar eftersom mer än 30 % av landets befolkning lider av överkänslighet eller någon form av allergi. Således måste vi som byggare förändra och anpassa byggandet till rådande förhållanden med avseende på materialval, materialhantering och fuktbelastning.

En viktig faktor under produktionstiden, som i hög grad påverkar byggnadens framtida status är hur vi behandlar byggmaterialet. Vi är numera medvetna om att för hög relativ fuktighet i betongbjälklag i kombination med vissa typer av lim och golvmattor kan orsaka problem med inomhusklimatet.

Inom en inte alltför avlägsen framtid kommer det sannolikt att ställas krav på att alla material och produkter som levereras till ett byggprojekt skall kunna återanvändas eller återvinnas när byggnaden en gång skall byggas om eller rivas. Ansvar för husens materialinnehåll kommer att följa fastighetsägaren, vilket gör att hus med t ex icke miljöanpassade material blir mindre värda och dyrare att finansiera, försäkra, bygga om eller riva. Samtidigt måste vi vara mycket observanta på att de s k miljöanpassade materialerna inte ens får misstänkas kunna orsaka en sämre inomhusmiljö.

Entreprenören har som samhällsbyggare en viktig uppgift att förmå bli materialindustrin att förbättra sina produkter och detta kan göras genom att ställa tydliga krav vid upphandling. Byggindustrin måste också – oberoende av entreprenadform - ställa krav på att huvuddelen av de material och produkter som ingår i en byggnad skall vara varu- och miljödeklarerade. Konkurrensupphandling med krav på kvalitets- och miljöanpassade produkter kommer naturligtvis att förenkla processen.

Kvalitet och miljö är viktiga konkurrensmedel, varför man redan i ett tidigt skede måste våga fatta svåra beslut. Detta ökar i sin tur trycket på konkurrenterna att förbättra sitt kunnande. Byggbranschen kan således inte fortsätta att tro att det är ”någon annan” som tar hand om de problem som den medverkat till - inte minst de miljömässiga. Nästa generation har ingen

möjlighet att påverka vårt nutida handlande men den får leva med eventuella följder.

”Byggfusk”

Vi ser allt för ofta stora löpsedlar om fukt- och mögelskador och annat ”byggfusk”. Att påstå att byggfusk generellt skulle förekomma är djupt kränkande för huvuddelen av landets duktiga hantverkare och tekniker. Det är som att anklaga dem för bedrägeri. När exempelvis bilindustrin tvingas återkalla sina bilar på grund av risker för brand, dåliga bromsar, dragkrokar som kan lossna etc så heter det att ”de tar sitt ansvar” – ordet ”bilfusk” har väl aldrig förekommit på någon löpsedel!

De fel som ibland uppstår inom byggbranschen beror i huvudsak på slarv och bristande kunskaper vilket naturligtvis är allvarligt nog och på intet sätt försvarbart och ger tyvärr branschen ett dåligt rykte. Entreprenadföretagens kvalitetssystemen avhjälpas inte heller slarv utan är ett verktyg för att mera strukturerat kontrollera eget arbete.

Entreprenörerna måste också ta krafttag för att öka den egna kunskapen om hantering av teknik- och kvalitetsfrågor - från projektering, över inköp och arbetsplatser till förvaltning. Slarv och kunskapsbrist går inte att skylla på någon annan än branschen själv. Men enbart större kunskaper räcker inte för att åstadkomma en förändring inom entreprenörledet. Även insikt krävs! Insikt innebär att den enskilde individen kan omsätta och omtolka kunskap och sätta in det i sitt rätta sammanhang. När vi som byggherrar eller entreprenörer upphandlar konsulter och underentreprenörer måste därför deras kunnande i teknik- och kvalitetsfrågor ha avgörande betydelse. Kunskapskravet omnämns även i lagstiftningen under kap 2 i Miljöbalken.

Bristande kunskaper liksom beslut fattade på emotionella grunder kan ge problem

Det sägs ibland att hus skall andas, att fukt skall lagras i byggnaden och kunna vandra genom konstruktionen, att ingen vill ”bo i en plastpåse”. Man ger byggnaden mänskliga egenskaper inte minst från arkitekthåll. Dessa påståenden baseras på bristande kunskap om byggfysik och är grundade på känsla, inte på erfarenhet. Lätta väggar och takkonstruktioner har i själva verket mycket begränsade möjligheter att lagra fukt. Risken är mycket stor att det uppstår fuktskador i konstruktionerna, om fukt tränger

in i väggar och tak. Exemplet visar risker med att emotionella värderingar tar över kunskap.

Ett yttrande som ibland förs fram är att gamla hus saknar plastfolie och att de trots detta fungerar. Gamla hus hade uppvärmningsanordningar där förbränningsgaserna leddes ut via skorsten och på så sätt uppstod ett invändigt undertryck i huset, vilket eliminerade risken för att fuktig luft skulle tryckas in i konstruktionen. Husen hade dessutom vanligtvis massiva timmer- eller tegelväggar, vilket lett till att de fungerar förhållandevis bra även i modern användning. Vår tids mer energieffektiva byggnader med välisolerade konstruktioner, ställer andra krav på fuktskydd.

En del av de fuktrelaterade problem som kan förekomma beror på förändrade byggfysikaliska förhållanden orsakade av bl a ökade krav på energihushållning. Ett exempel är kalla vindar. Eftersom vindsbjälklagen isoleras mycket kraftigt kan temperaturen på kallvinden under vissa betingelser vara lägre än utetemperaturen p g a utstrålning. Detta kan i sin tur medföra en högre fuktbelastning på vinden i likhet med den i torpargrunder och ställer ökade krav på fuktskydd.

Att använda plast i en byggnadskonstruktion anses av en del av arkitektkåren som negativt ur miljösynpunkt bl a på grund av att plasten baseras på olja. Plastfolie av polyeten är emellertid ett utmärkt fuktskydd. Polyeten avger inga emissioner, är oskadlig att destruera, innehåller inte PVC, men är som all plast baserad på olja. Att använda plast i byggmaterial är inte negativt eftersom den har lång omloppstid i byggnaden. Det är bättre att utnyttja olja till byggmaterial än att förbränna den direkt för att få energi. När plasten tjänat sitt syfte i byggnaden går den att elda upp med i stort sett bibehållet energiinnehåll.

Fuktsäkring under byggprocessen

Fuktsäkerheten i byggnader kan ökas väsentligt med hjälp av en systematiskt genomförd fuktdimensionering (fuktsäkring). Rätt använd ger fuktsäkringen möjligheter till väsentliga förbättringar av inomhusmiljö, beständighet och inte minst ekonomi genom att dyrbara reparationer eller ombyggnader undviks.

Fuktfrågorna påverkas av många beslut i byggprocessens olika skeden. Både entreprenörer och underentreprenörer måste vara medvetna om att

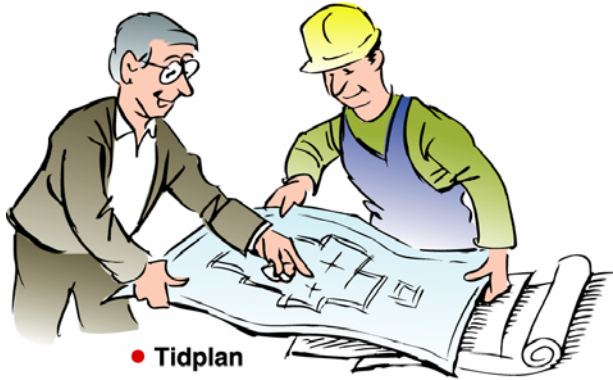
fattade beslut kan ha konsekvenser för den totala fuktsäkerheten. För entreprenören är det viktigt att på ett systematiskt sätt hantera fukt- och inomhusmiljöfrågorna för att säkerställa att korrekt information finns vid rätt tillfälle och hos rätt aktör. Redan i ett tidigt planeringsskede går det att påverka förutsättningarna att hantera fuktfrågorna på ett kvalificerat sätt. Byggherren eller entreprenören bestämmer vilka konsulter som skall ta fram erforderliga handlingar. Det mest väsentliga är att i ett tidigt skede utreda och formulera de funktionskrav och andra krav som måste uppfyllas med avseende på fuktsäkerhet. Ibland är byggherren och entreprenören en och samma person, vilket underlättar beslutsgången.

Byggreglerna, BBR, innehåller endast övergripande funktionskrav på fuktsäkerhet och behöver naturligtvis kompletteras med en utförlig checklista över de frågor som entreprenören måste ta ställning till och precisera. Huvuddelen av landets tekniska konsulter behärskar inte fuktsäkring. Inom de större konsultföretagen finns visserligen några med specialistkompetens, men fuktsäkring skall vara en rutinmässig del i projekteringsarbetet. Det saknas och behövs riktlinjer och rutiner för hur detta skall uppnås. Stockholms Stadsbyggnadskontor har i samråd med Stockholms Byggmästareförening tagit fram en manual för fuktskyddsbeskrivningar som nu tillämpas av några entreprenörer.

Fuktsäkring redan på projekteringsstadiet

En förutsättning för att bygga rätt är att handlingarna är riktiga och innehåller tillräcklig och tydlig information. En utredning avseende byggfelskostnader utförd i slutet av 80-talet vid Chalmers Tekniska Högskola - visar att mer än 50 % av alla upptäckta fel kan härledas till brister vid projektering. Författarens erfarenheter är att den siffran snarare har ökat än minskat. Innan byggstart måste utredningar och handlingar omfattas av krav på inneklimatet i byggnaden; temperatur, relativ fuktighet, luftläckning, lufttrycksförhållanden, ventilationsgrad, fuktavgivning i olika lokaler etc. Andra krav är på ytskikt, vilket har betydelse för utbytbarhet, ånggenomsläpplighet, fuktabsorption i ytor, risk för mögelpåväxt i till exempel våtrum och vid köldbryggor. Ytterligare exempel är:

Fuktsäkring innan byggstart



- Tidplan
- Betongkvalitet
- Golvbeläggning
- Årstid/Väderlek

- Krav på byggtider – årstid, totaltid – med hänseende på vilka produktionsmetoder som kan användas
- Sättet på hur kvalitets- och miljösäkring skall göras under entreprenaden – kontrollmetoder, behov av dokumentation

Olika krav på byggnaden kan vara motstridiga. Kort byggtid kan till exempel innebära att tiden för uttorkning inte blir tillräcklig. Å andra sidan är det av kostnadsskäl nödvändigt att korta byggtiderna. Skulle Volvo exempelvis ha samma ledtider som för 20 år sedan skulle företaget inte finnas kvar på marknaden. Effektiviseringar måste alltid ske – dock utan avkall på kvalitet och säkerhet!

Entreprenören måste överväga tekniker och produktionsmetoder som möjliggör torrt byggande utan att göra avkall på fuktsäkerhet. Ett ytterligare exempel på motstridiga krav är marknadens önskemål om god ljudisolering, vilket kan medföra tjockare betongbjälklag som ju kräver längre uttorkningstid. Det behövs också omfattande dokumentation av material-egenskaper för att kunna göra vederhäftiga fuktbedömningar och -beräkningar. Byggsektorns Kretsloppsrad har i sin skrift om inomhusmiljö redovisat till regeringen att branschen senast år 2004 kommer att genomföra fuktskyddsbeskrivningar i alla nyproducerade byggnader.

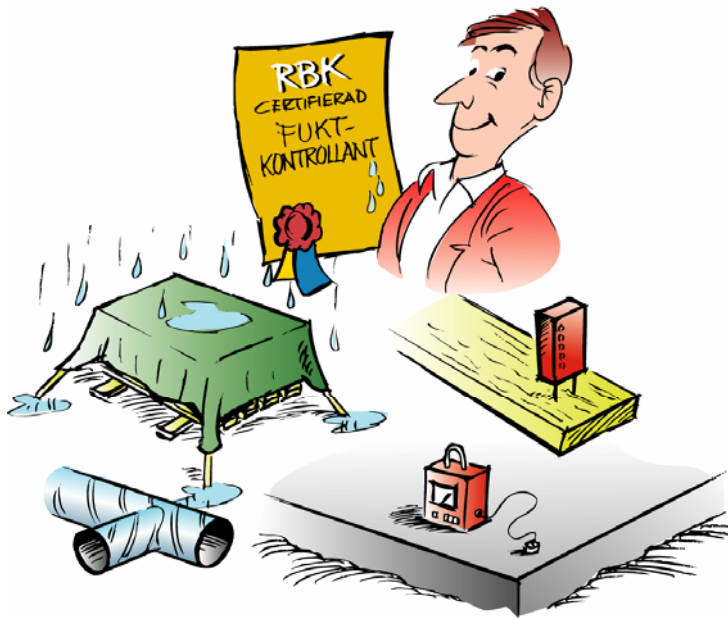
Byggproduktionen

Under byggtiden har byggfukt och nederbörd en avgörande betydelse för slutresultatet. Det måste bli självklart för såväl entreprenör som underentreprenör att välja produktionsmetoder som gör att fuktkänsligt material och fuktkänsliga konstruktioner utsätts för så lite nedfuktning som möjligt. Byggbranschen måste välja byggmetoder som gör att huset snabbt kommer under tak och väderskyddas. Om branschen i framtiden skall vara attraktiv och kunna nyrekrytera måste även arbetsförhållandena vara konkurrenskraftiga jämfört med andra industrigrenar.

Byggbranschen är för övrigt unik eftersom man "tvingas uppföra hus utomhus" under en stor del av produktionen. Det ställer naturligtvis stora krav på säkerhet och är en av förklaringarna till att branschen allt för ofta belastas med fuktproblem. Inom JM pågår för närvarande ett fullskaleprojekt där man testat att bygga ett större flerbostadshus "inomhus" under tält. Kostnaderna för detta är just nu höga men förhoppningsvis kan en ökad produktivitet kompensera en del av kostnaderna. Intressant är även att försöka studera de omätbara värdena såsom minskad sjukfrånvaro, minskad förtidsavgång, minskad olycksfallsrisk etc som ju borde generera minskade felkostnader.

Materialleveranser till såväl entreprenör som underentreprenör måste egenkontrolleras så att specificerade fuktnivåer inte överskrids. Dessa krav skall också framgå i samband med förfrågan och upphandling. Likaså skall krav alltid ställas på att material skall väderskyddas hos leverantören liksom under transport. Lagring på byggplats skall ske på ett sådant sätt att onödigt nedfuktning inte kan uppstå. Förvaring av trä och träprodukter skall alltid ske under tak i väl luftat utrymme avskilt från marken. Tydliggörs dessa krav i kontakter med underentreprenörer och materialtillverkare har man löst många problem och undvikit oklarheter.

Fuktsäkring under produktion



- Utse särskild ansvarig på byggarbetsplatsen
- Kontrollera fuktkvot
- Kontrollera relativ fuktighet
- RBK-certifierad fuktkontrollant
- Skydda materialet från nederbörd

Uttorkning av byggfukt måste ske på ett kontrollerbart sätt. Olika betongkvaliteter innehåller olika mängder byggfukt. Även om det numera finns goda beräkningsmetoder för att få en uppskattning av erforderlig torktid måste kontinuerlig fuktmätning alltid göras i aktuell byggnad. Mätning av fukt i betong är komplicerad och stora risker finns för felaktig mätning. Sedan hösten 1999 finns, på initiativ av Sveriges Byggindustrier, ett auktorisationsförfarande (RBK) för att säkerställa att de personer som utför mätning har erforderlig kompetens. Auktoriseringen i RBK innebär dels att personen måste besitta tillräckliga teoretiska kunskaper, dels att denne praktiskt skall kunna genomföra en korrekt provtagning på byggarbetsplatsen.

Genom att systematiskt kontrollera att framförallt betongbjälklagen kommer att fungera med hänsyn till förväntad fuktbelastning kan fuktsäkerheten avsevärt förbättras. Att i förebyggande syfte skydda fasaderna mot nedfuktning av slagregn är en självklarhet. Enbart det förhållandet att fuktfrågorna behandlas strukturerat kommer att leda till en minskning av fuktskador. Fuktsäkring vid både ny- och ombyggnad innebär att en rad frågor kommer att ställas avseende fuktbelastningar, materialegenskaper, konstruktionsutförande, produktionsmetoder och om uttorkning av byggfukt m m. Detta leder till större medvetenhet och insiktsfullhet om fuktfrågor.

Den mängd fukt som transporteras ut ur byggnaden med normal ventilation är helt dominerande i jämförelse med den mängd som kan vandra ut genom själva klimatskalet. Ett driftsäkert ventilationssystem är därför synnerligen viktigt för en god fuktbalans inne i byggnaden. Det måste också nogt klargöras vilka lufttrycksförhållanden som kommer att råda i byggnaden. Om övertryck inomhus riskeras (FT-system och självdrag) under längre tidsperioder måste byggdelarna utformas extra lufttäta för att förhindra de problem som fuktkonvektion kan ge upphov till. Det är särskilt viktigt med god lufttätning i takkonstruktioner.

Byggvarudeklarationer

En del i byggsektorns frivilliga åtagande var att byggvarudeklarationer skulle införas senast år 1997. Ett system arbetades fram och finns redovisat i skriften *Byggvarudeklarationer*, som presenterades av Byggsektorns Kretsloppsråd hösten 1997. Under år 2000 publicerade Byggsektorns Kretsloppsråd en ny utgåva kompletteringar och rättelser. För närvarande pågår ett omfattande arbete (BASTA) inom Kretsloppsrådet avseende kemikaliefrågor.

Byggvarudeklaration av färdig vara



Byggvarudeklarationernas syfte

Ett övergripande mål för byggsektorns handlingsplan var att “begränsa negativ miljöpåverkan och främja långsiktig hushållning med våra naturresurser“. Byggvarudeklarationen skall betraktas som ett av flera medel för att nå detta mål. Som sådant kan den verka på flera sätt. Byggvarudeklarationen fokuserar på följande punkter:

- byggvarans innehåll (kemiska ämnen)
- byggvarans miljöbelastning från ”vagga till bygge”
- byggvarans/produktens roll i byggnadsverkets miljöbelastning
- byggvarans samspel med andra material
- byggvarans bedömda slut (potential för återvinning m m, miljöbelastande avfall)

I AF AMA anges krav på att entreprenören eller underentreprenören efter anfordran skall tillhandahålla byggvarudeklarationer. I AMA finns även koder för byggvarudeklarationer för de tekniska beskrivningarna. Några av

de ledande byggentreprenörerna har i dag fört in tydliga kvalitets- och miljökrav i sina förfrågningsunderlag (AF AMA).

Exempel på krav som kan ställas i AF AMA - *Exemplet är hämtat ur JM Bostads upphandlingsregler*

- Entreprenören skall upprätta och *i god tid före påbörjat arbete* redovisa en aktuell förteckning över de varor som förs in på arbetsplatsen av entreprenören och som finns upptagna i beställarens dokument ”Byggvaror som skall miljövärderas och kontrolleras i miljövarudatabasen.”
- I de fall beställaren finner att varor ej är lämpliga ur hälso- och miljösynpunkt skall parterna i samråd byta ut varorna i enlighet med Miljöbalkens produktvalsprincip.
- Säljaren skall vid anfordran senast fyra veckor före leverans tillhandahålla byggvarudeklarationer för de varor som levereras till eller används i beställarens projekt. Om beställaren begär ytterligare uppgifter angående förekomst och halter av farliga kemiska ämnen skall dessa uppgifter redovisas av leverantören senast två veckor efter JM:s begäran.

Materialkombinationer



1 + 1 + 1 = ?

- **Kombinerade material kan ge upphov till obehagliga emissioner**
- **Material påverkar varandra**
- **Provning i brukarmiljö**

Byggvarudeklarationen är rent beskrivande och utgör endast en redovisning av uppgifter. En utgångspunkt är dessutom att den som upprättar typ-II-deklarationen själv står som garant för uppgifternas tillförlitlighet samt att marknadens krav och uppgifternas offentlighet utgör motivation för att dess data får högsta möjliga kvalitet. Värdering av deklarationen utförs av marknaden genom olika specialistkompetenser. Arkivering av dokumentation av deklarerationer och värderingar är mycket viktig.

Blir människan sjuk av dåligt inomhusklimat?

De klagomål som oftast anförs beträffande ”sjuka hus” gäller antingen luftens kvalitet eller för låg respektive för hög innetemperatur. Från i synnerhet skolor rapporteras även att det är dammigt och smutsigt. Klagomål på luftkvaliteten kan gälla dålig och ”instängd” luft, torr luft eller obehaglig lukt. De symtom som anges och som kopplas ihop med innemiljön är trötthet, tunghetskänsla i huvudet, huvudvärk, irritation i slemhinnor från ögon, näsa och hals samt hudbesvär. Symtomen uppges ofta försvinna vid vistelse utanför den aktuella miljön, men efterhand brukar besvären uppträda även i andra miljöer. Klagomål på trötthet, tunghetskänsla och huvudvärk rapporteras i ökad utsträckning när ventilationen är dålig. På samma sätt bidrar emissioner från fuktskadat material förmodligen till ökad förekomst av slemhinnebesvär. Men det är oftast svårt att finna ut vilken eller vilka faktorer som egentligen förorsakar problemen.

Är städbarhet en byggteknisk fråga?

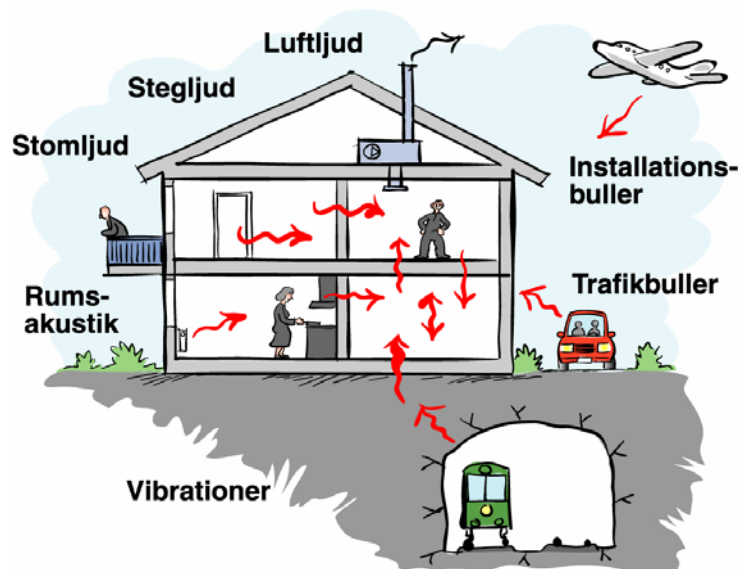
Under tidigt 1900-tal propagerades mycket för frisk luft, städning och för vikten av god hygien. Ett av de viktigaste skälen var att man ville bekämpa den då utbredda sjukdomen tuberkulos. Även i dag är det viktigt med ökad städbarhet – dock av andra skäl. Entreprenören har ett ansvar att arbeta med teknik och material som underlättar städarbetet.

God ljudmiljö

En bra ljudmiljö värderas mycket högt, kanske allra mest av bostadskonsumenten. Lägenheter behöver miljödeklareras för att ljudkvaliteterna skall klargöras. För att åstadkomma god ljudmiljö fordras att byggnadsdelarna har god luftljuds- respektive stegljudsisolering, att rummen har rätt akustisk kvalitet och att utförda installationer inte medför bullerstörningar. Trafikbuller uppfattas av de flesta som mycket störande. God ljudmiljö innefattar därför även krav på högsta ljudnivå inomhus p g a trafikbuller. Ett rimligt krav för bostäder borde vara att för lägenhetsskiljande väggar,

bjälklag och installationer eftersträva ljudklass B i stället för normenlig klass C.

Ljudkvalitet i byggnader



Värme – en systemteknisk fråga

Det finns ett flertal olika system för bostadsuppvärmning, som alltid måste anpassas till det valda ventilationssystemet för att utesluta drag. Ur energisynpunkt är inget system nämnvärt mera effektivt än övriga. Golvvärme på platta på mark ger dock större värmeförluster. Ett annat undantag är system som är snabbverkande, t ex direktverkande el som på ett effektivt sätt kan utnyttja gratisenergi som solinläckning genom fönster. Men elenergi är nu så kostsam att driftkostnaderna blir höga. Elenergi kan dessutom vara sämre ur miljösynpunkt beroende på hur den produceras, t ex om den produceras i fossilbränsleledad mottrycksanläggning eller kol-kondens från vilket elen importerats. Om man väljer F-ventilation (fläktstyrd frånluft), är det mest lämpliga vattenburna radiatorer, med det filterförsedda (EU7) luftintaget placerat bakom radiatorn. Om man har golvvärme bör man alltid välja FT-system (fläktstyrd från- och tilluft), eftersom tilluft genom vägventiler inte klarar kraven på drag, 0,15 m/s i

vistelsezonen. Yttemperaturen vid golvvärme bör aldrig överstiga +27 grader.

Projekteringsförutsättningar för värme

- De boende skall kunna reglera rumstemperaturen inom ett mindre intervall, både i lägenheten som helhet och i de enskilda rummen. I nyproducerade hus är dock möjligheten till reglering av rumstemperaturen relativt begränsad.
- Tilluftstemperaturen bör aldrig understiga +16 grader vid dimensionerande utetemperatur.
- För att undvika mögel skall bad- och duschrum kunna värmas upp även sommartid, då övriga utrymmen är ouppvärmade. Detta kan med fördel ske via handdukstork eller komfortvärme i badrumsgolv.

Ventilation – enkelhet en viktig fråga

Syftet med ventilationen är framförallt att föra bort dålig luft som ersättes med "frisk" luft i rätt temperatur. Valet av ventilationssystem styrs av luftföroreningar utifrån, lukt från människor och olika verksamheter, koldioxid från människor, fukt från bostaden och av överskottsvärme. När det gäller överskottsvärme under sommarperioden måste även någon form av solavskärmande åtgärder vidtagas, eftersom enbart ventilation och vädring vanligtvis inte är tillräckligt. Frånluftssystem (F-system) är det vanligaste för bostäder. Om det fordras värmeåtervinning kan en frånluftsvärmepump anslutas till systemet. F-systemet är det enklaste mekaniska ventilationsystemet och passar därför till bostäder, framför allt till bostadsrättsföreningar där det krävs enkel, robust och säker drift.

- Systemet skall vara utformat så att det är lätt att underhålla. Inte bara frånluftskanaler, utan även don och aggregatet med dess olika delar, skall vara rensningsbara
- De boende måste få god information, både skriftligt och muntligt, om hur de kan påverka och sköta ventilationen. Ventilation med lättförståelig systemuppbyggnad är att föredra.
- Ventilationssystemet liksom lägenhetsskiljande väggar, tak och golv måste utföras så att luftläckning inte uppstår mellan lägenheter eller

mellan lägenheter och trapphus. Om t ex ventilationen forceras i en lägenhet, uppstår ett kritiskt undertryck i denna i förhållande till andra lägenheter, med risk för luftläckning.

Med hänvisning till ovanstående är det väsentligt att underentreprenörerna för värme och vatten, ventilation och el upphandlas redan i systemhandlingskedet för att de skall kunna delge med erfarenheter och synpunkter under bygghandlingskedet. Detta förfarande leder till ökat ansvarstagande och engagemang i projektet. Chalmersutredningen visar nämligen att människors bristande engagemang har en avgörande betydelse vid uppkomst av byggfel.

Sunt byggande är ett rimligt marknads- och konsumentkrav

Sunt byggande är ett högst rimligt marknads- och konsumentkrav. Detta ställer återigen stora krav på kunskap hos beställare, entreprenörer, underentreprenörer och förvaltare. Även juridiskt enligt Miljöbalken och Plan- och Bygglagen är ansvaret strikt formulerat. Det är byggherren och ingen annan som har ansvar för att det inte ens skall finnas misstanke om att byggnaden kan orsaka ohälsa och att den uppfyller alla krav på rätt kvalitet.

Förvaltaren

Jan Andersson

Den offentliga sektorn har de senaste årtionden haft skiftande möjligheter att prioritera bygg- och förvaltarverksamheten. Det, i sin tur, har gett ett skiftande resultat på husens användbarhet. Samtidigt ska påpekas att det inte bara är en resursfråga när det gäller pengar utan också en prioritet hos ägarna att tillsätta en kompetent beställar- och förvaltarorganisation. Byggprocessens samtliga led har en avgörande roll för ägarna att binda kapital i byggnader som många gånger har livslängder som överskrider normal avskrivningstid på 30 år. De tidiga insatserna i planerings- och projekteringskedet i ett nybyggnadsobjekt har som regel avgörande betydelse för den framtida förvaltningen och nyttjandet av byggnaden. Här kommer uttryck som användbarhet och flexibilitet att spela en avgörande roll för framtidens förvaltare som ska omsätta hyresintäkter så att det räcker både till räntor, avskrivningar, energi, planerat och förebyggande underhåll. Sammantaget för exempelvis ett sjukhus där hyreskostnaden är 900:- kronor/kvm utgör förvaltningens kostnader ca 10-15 kr/kvm. Förvaltningskostnaden är bara några få procent av den totala kostnaden. Kan förvaltaren inte erbjuda en byggnad med full användbarhet, är risken stor att nyttjaren säger upp hyreskontraktet med tomställda lokaler och hyresförluster som följd.

Vilka är de vanligaste felen, sett med dina ögon som förvaltare?

Här måste jag först och främst göra en avgränsning då min erfarenhet i huvudsak kommer från landstingsvärldens byggnader d v s sjukhus, psykiatri-, tandvårds- och primärvårdsanläggningar, äldreboende, kontor och skolor. Många av landstingens verksamheter bedrivs dygnet om, 365 dagar om året, vilket också inverkar på min bedömning.

Bortser jag från fel som stopp i avlopp och blinkande lysrörsarmaturer så är det vanligaste och allvarligaste felet inomhusklimatet. För varmt, för kallt, för torr luft, drag från ventilation m m. Inslag av sjuka hus förekommer även i våra byggnader. Vårt uppdrag, att tillgodose både patienten som är sängliggande och personalen med ett rörligt och ibland tungt arbete med rätt klimat ställer stora krav på flexibilitet i system för ventilation, värme och kyla. De ökande kraven påverkar naturligtvis utvecklingen av de tekniska systemen. Detta i sin tur påverkar resurserna av kompetenta förvaltare, driftchefer och drifttekniker. Den ägare som försummar vikten

av en kompetent bygg- och fastighetsförvaltning kan i större utsträckning förvänta sig, inte bara klimatproblem, utan i slutändan även sjuka hus.

Fukt är ofrånkomligt att inte ta med bland de vanligaste och allvarligaste problemen i våra byggnader. Krypgrunden samt platta på mark byggda på 60- och 70-talet utgör en avsevärd risk för fukt och mögel. Insatser för att förbättra byggnadens egenskaper genom t ex förändrad ventilation och konstruktion ger ofta inte ett fullgott resultat. Byggnader uppförda på 80- och 90-talet har även de problem med framför allt fuktvandring från ej fullt uttorkad betong. Kvarsittande stålform samt diffusionstäta mattor bidrar till att betongen får små möjligheter att fortsätta sin uttorkning. Följverkningar med ökade emissioner från golvmattor ger besvärande lukt och irritationer för personal och patienter.

I samband med några av våra större byggobjekt vid Universitetssjukhuset i Örebro i slutet av 80-talet, startade arbetet med ”Friska sjukhus”. Planerare, projektledare, förvaltare, driftingenjörer, installationssamordnare, arkitekter, konsulter, skyddsingenjörer samt Yrkes- och miljömedicinska kliniken vid USÖ engagerades för att tillsammans kvalitetssäkra byggmaterial och arbetsutförande före byggstart. Även entreprenörer och installatörer adjungerades under kvalitetssäkringsprocessen.

Huvudpunkter som analyserades var

1. fuktproblem i samband med vald byggmetod
2. materialval
3. inomhusmiljön
4. luftbehandlingsinstallationen.

Idag kan vi konstatera att det var värt både arbetsinsatser och kostnader.

Den tekniska förvaltningen av en byggnad brukar ofta beskyllas för att vara eftersatt. Är det så eller är detta påståendet en myt?

Under en livscykel för en byggnad, kan man konstatera att mycket av fokuseringen på byggnaden sker vid dess tillkomst. Det är stort engagemang vid första spadtaget, takstolsfesten, invigningen, Öppet hus m m. Tittar vi på den ekonomiska insatsen är den betydande vid husets tillkomst men i direkt jämförelse så är förvaltning, inkl räntor, avskrivning och driftkostnader på ca 3 år lika stora som den totala investerings-

kostnaden. Själva tekniska förvaltningen utgör endast ett par procentenheter enligt tidigare resonemang av totala förvaltnings- och driftekonomin.

Resurserna för förvaltaren är periodiserat underhåll, fastighetskötsel och löpande underhåll samt media. Ett snitt i landstingsvärlden ligger på 300:- kr/kvm för det totala driften och underhållet inkl periodiskt underhåll. Detta kan vid första anblicken verka vara mycket pengar. Tittar vi närmare på hur kostnaderna fördelas, kan vi använda följande exempel:

Exempel: Sjukhusbyggnad 50 000 kvm BRA
300 kr/kvm ger en total driftkostnad på 15 Mkr/år.

	Mkr/år
Fördelning	
Media, värme, el, VA, kyla	5,4
Periodiskt underhåll	3,5
Fastighetskötsel, löpande underhåll	5,25
Förvaltningskostnad	<u>0,85</u>
Summa	15,0 Mkr/år

Med detta som underlag för jag följande resonemang:

Idag har vi en accelererande utveckling av energikostnaderna vilket skulle innebära, vid en fördubbling av den totala energikostnaden inkl skatt, att vi i vårt exempel skulle ge 10,8 Mkr i stället för 5,4 Mkr. (1 öre dyrare el-energi i vårt landsting ger en total energikostnadsökning på ca 500 000 kr/år)

En fara i en sådan utveckling är att sjukvården, med svag ekonomi, i sin dagliga verksamhet inte skulle orka med en hyreshöjning i paritet med energiprisutvecklingen. Detta i sin tur skulle med all sannolikhet innebära att avsättningen för det periodiska fastighetsunderhållet skulle minska drastiskt. Följden av detta blir en byggnad med växande problem. Förnyelsen av tekniska installationer skulle skjutas på framtiden. Försämrade installationer skulle påverka inomhusklimatet i negativ riktning. Dessutom skulle en accelererande kapitalförstörelse bli resultatet.

I landstingsvärlden kan jag konstatera att de flesta landsting ligger mellan 275 - 325 kr/kvm för drift och underhåll inkl periodiskt underhåll. Landstingen är bara en del av det totala offentliga ägandet. Många huvudmän för skola och äldreomsorg har brottats en längre tid med dålig ekonomi. Det har inneburit neddragningar med minskad avsättning till periodiskt och löpande underhåll vilket i sin tur begränsar möjligheten att upprätthålla användbarheten av lokalen.

Huruvida den tekniska förvaltningen är eftersatt eller om det är en myt, går nog inte att svara entydigt på.