

Inomhusklimat Örebro 2006



Konferens 14-15 mars



INOMHUSKLIMAT

ÖREBRO 2006

Konferens i Örebro 14 - 15 mars 2006

Konferensen är den åttonde 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 mätnresultat
7. Mars 2003 Förändringar i bebyggelsen och vägar till sunda hus

ISBN 91-973975-3-9

Omslaget: Benita Rennes.

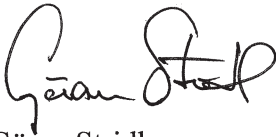
Tryckt på miljövänligt papper.

Förord


Konferensen *Inomhusklimat Örebro 2006* är den åttonde 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 forskare och praktiker inom området för att på ett begripligt sätt ge översikter över kunskapsläget inom detta svåra och interdisciplinära område.

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

Örebro mars 2006



Göran Stridh



Kjell Andersson



Wenche Aslaksen



Inger Fagerlund

Innehållsförteckning

		Sida
Session 1	Hälsa och inomhusklimatet	9
Kjell Andersson	Dalen, Hammarby sjöstad, Moderna museet – vad har vi lärt?	10
Magnus Svartengren	Hälsa och inneklimate ur ett läkarperspektiv	23
Lars Belin	Kropp och själ i innemiljö	32
Lars-Gunnar Gunnarsson	Hjärnans reaktion på signaler från innemiljön	47
Peder Wolkoff	Luftkvalitet och besvär	53
Lars Mølhav	Hur mäter man människors reaktioner på damm och kemi i klimatkammarförsök?	70
Session 2a	Föroreningar i innemiljön	83
Göran Stridh, Mona Hygerth	Kemiska emissioner från ytmaterial vid olika fuktförhållanden	84
Tord Larsson	Växter är inga bra luftrenare	89
Anders Sjöberg	Kemiska ämnen i golv och användning av emissionsspärrar	107
Session 2b	Föroreningar i innemiljön	119
Aino Nevalainen	Mikroorganismers betydelse i skadeutredningar	120
Peder Wolkoff	Finns det ”okända ämnen X” i inneluften och vad betyder i så fall dessa?	125

		Sida
Sarka Langer, Lars Ekberg	Nytt om småpartiklar och partikel- spridning via ventilationen	134
Göran Stridh	Partiklar och kemi	146
Tom Follin	Har vi någon nytta av partikelmätningar vid skadefall?	161
Ingemar Samuelson	Certifiering av skadeutredare – behövs det?	170
Session 3	Energibesparing och inomhusmiljö	175
Ingemar Samuelson	Energihushållning och inomhusmiljö – möjligheter och risker	176
Göran Leander	Energihushållning och kvalitetssäkring av inomhusmiljön – praktiska erfarenheter	183
Arne Elmroth Sten Olaf Hanssen Göran Leander Ingemar Samuelson	Diskussion: Klarar vi energimålen utan att försämra inomhusmiljön?	195

Deltagande föreläsare

Andersson Kjell, överläkare och enhetschef för Miljömedicinska utvecklingsenheten vid Yrkes- och miljömedicinska kliniken, Universitetssjukhuset Örebro.

Belin Lars, docent i allergologi och fd. överläkare vid Allergologiska enheten, Sahlgrenska Universitetssjukhuset, Göteborg.

Elmroth Arne, professor em från Institutionen för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola.

Follin Tom, utredningsingenjör vid Barab, Carl Bro AB, Nacka.

Gunnarsson Lars-Gunnar, docent i neurologi och överläkare vid Yrkes- och miljömedicinska kliniken, Universitetssjukhuset Örebro.

Hanssen Sten Olaf, professor vid Institutt for energi- og prosessteknikk, Norges teknisk naturvitenskaplige universitet, NTNU Trondheim, Norge.

Langer Sarka, docent i oorganisk kemi och forskningschef vid enheten för Kemi och Materialteknik vid Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås. (Ersätter Lars Ekberg som föreläsare).

Larsson Tord, universitetslektor vid Institutionen för Teknik, Byggekologi, Örebro Universitet.

Leander Göran, miljö- och energichef vid fastighetsbolaget Poseidon AB, Göteborg.

Mølhav Lars, docent vid Instituttet for Miljømedicin og Arbejdsmedicin, Aarhus Universitet, Danmark.

Nevalainen Aino, docent vid National Public Health Institute, Kuopio, Finland.

Samuelson Ingemar, adjungerad professor vid Lunds Universitet och Högskolan i Borås och FOU-ansvarig för Byggnadsfysik Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås.

Sjöberg Anders, teknologie doktor vid Institutionen för Byggnadsmateriallära, Lund.

Stridh Göran, verksamhetschef vid Yrkes- och miljömedicinska kliniken, Universitetssjukhuset Örebro och gästprofessor vid Institutionen för Teknik, Byggt teknik, Örebro Universitet.

Svartengren Magnus, professor vid Institutionen för Folkhälsovetenskap, Karolinska Institutet i Stockholm och överläkare i miljömedicin vid Karolinska sjukhuset, Stockholm.

Wolkoff Peder, professor i Indeklima vid Arbejds miljøinstituttet i København, Danmark.

Session 1. Hälsa och inomhusklimat

Kjell Andersson

Magnus Svartengren

Lars Belin

Lars Gunnar Gunnarsson

Peder Wolkoff

Lars Mølhave

Dalen, Hammarby sjöstad, Moderna museet – vad har vi lärt?

Kjell Andersson

- ❑ Vilka erfarenheter kan man dra från olika problemobjekt?
- ❑ Har erfarenheterna lett till ny kunskap och åtgärder för att förhindra att problem upprepas?
- ❑ Innebär dagens byggmetoder och trender att vi kommer att få nya problemobjekt i framtiden?

Bakgrund

När Ludde Nordqvist på 30-talet reste runt och gjorde radioreportage om dåtidens svenska bostadsmiljöer väckte det berättigad uppmärksamhet och bidrog till ökad medvetenhet om brister i boendemiljön för den fattigare delen av befolkningen. Ludde beskrev miljöer med trångboddhet och ohygieniska förhållanden som utgjorde grogrund för olika sjukdomar, där ibland tuberkulos. Genom ett omfattande politiskt reformarbete, vari ingår den stora miljonprogramssatsningen på 60-70-talen, lyckades man i stor utsträckning få bort trångboddheten och kraftigt förbättra de hygieniska förhållandena. I dagsläget har i stort sett alla hus tillgång till såväl rinnande varmt och kallt vatten som bad och dusch och bostäderna är rymliga.

Trots dessa positiva fakta har vi de senaste 30-åren överhopats av massmediala budskap om dåliga inommiljöer och man har myntat begrepp som ”sjuka hus”. Många hänför sina symtom till inommiljön på arbetsplatser och i bostäder och det finns studier som talar för att cirka en miljon människor i Sverige uppger sig ha åtminstone ett inommiljörelaterat symtom. Detta har gällt många olika typer av miljöer och berört såväl bostäder, skolor och daghem som kontorsbyggnader, sjukhus och museer. En riskskattning som utfördes av en WHO-arbetsgrupp på 80-talet pekade på att upp till 30 % av nybyggda eller ombyggda byggnader hade brister som medförde klagomål från brukarna.

Redan på 1970-talet förekom klagomål på inommiljön i främst daghem och skolor och omfattande utredningar initierades. Massmedia fokuserade på formaldehyd som förklarande faktor men det blev allt mer uppenbart att orsakerna till problemen var multifaktoriella. Oljekrisen på 70-talet

medförde att man politiskt stödde initiativ för att minska energiåtgången och man började täta husen – utan att tänka på att man samtidigt tog bort ventilationsmöjligheterna för självdragshusen. Förändrad byggteknik, där man i större utsträckning använde nya otestade byggnadsmaterial och där de höga isoleringsförhållandena gjorde konstruktionerna mer fuktkänsliga, bäddade för många av de problem som i ökad utsträckning började dyka upp.

Genom åren har förekommit flera mer uppmärksammade problemobjekt som väckt starkt massmedialt intresse. Vad har vi lärt oss av dessa? Har vi kunnat ta tillvara vunna erfarenheter så att inte samma problem uppstår igen? I den fortsatta framställningen kommer jag att behandla ett antal specifika problemobjekt och se vad vi lärt oss och vilka aktiviteter dessa medfört. Det kommer med nödvändighet att bli med utgångspunkt från mina egna erfarenheter och utifrån mitt personliga perspektiv.

Fallet Dalen

I bostadsområdet Dalen – beläget 6-7 km söder om Stockholm City – uppfördes under perioden 1978-1982 bostadshus med närmare 1500 lägenheter. Området bestod av 14 gårdar med såväl höghus (fyra våningshus) som låghus (två våningshus). Höghusen var försedda med till- och frånluftsventilation medan låghusen enbart hade frånluftsventilation. Man använde kaseininnehållande flytspackel för golvvajämning och plastmattor eller parkett därpå. Ganska snart efter inflyttning började hyresgästerna klaga på inomhusklimatet. Klagomålen gällde såväl förekommande lukter, damm som missfärgning av parkettgolven. Rapporterade symtom innefattade såväl allmänsymtom (trötthet och huvudvärk) som slemhinne- och hudsymtom. Flera utredningar genomfördes med såväl tekniskt som medicinskt innehåll. Man misstänkte såväl brister i ventilationen som emissioner från golven som bakomliggande orsaker till besvären men utförda utredningar och åtföljande saneringsåtgärder medförde inte att klagomålen och symtomen försvann. På Byggforskningsrådets initiativ bildades 1988 en expertgrupp med syfte att utreda förhållandena och utvärdera insatta åtgärder.

En kartläggande enkätundersökning enligt ”Örebromodellen” genomfördes för hela området under våren 1989 och denna visade att man främst klagade på luftkvaliteten samt på damm och smuts. De boende besvärades av obehaglig lukt och rapporterade högre frekvens av såväl allmänsymtom

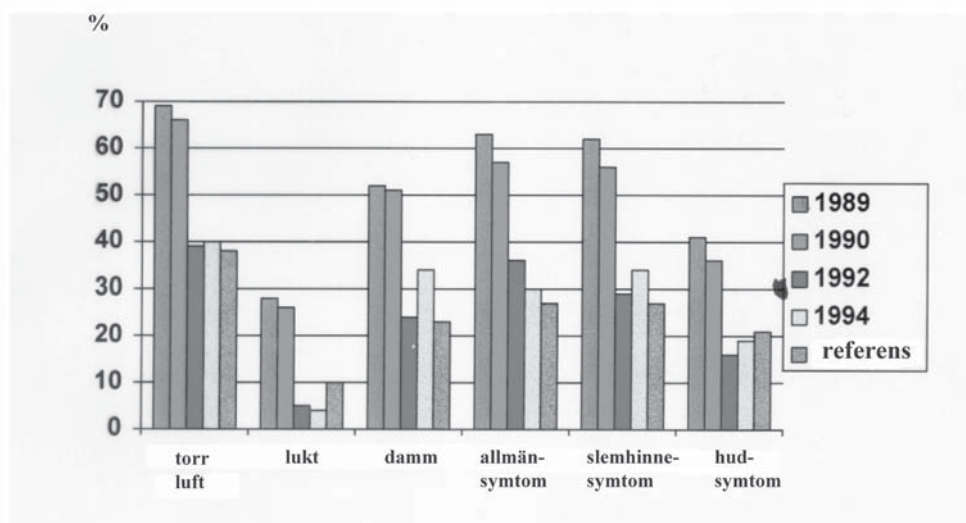
som slemhinne- och hudsymtom, jämfört med ett kontrollområde med likvärdiga lägenheter men utan kaseinhaltigt flytspackel. De närmaste åren genomfördes sanerande åtgärder som dels innebar ventilationstekniska åtgärder, dels golvvåtgärder. De senare innebar att det kaseinhaltiga flytspackellagret bilades bort och därefter försågs med nytt icke-kaseininnehållande flytspackel och ny golvbeläggning.

Nedbrytning av det kaseinhaltiga flytspacklet berodde på att fuktillskottet i den starkt basiska miljön under mattorna eller parketten bröt ner kaseinet till aminosyror som i sin tur bröts ner till ammoniak, ett ämne som kunde mätas upp under mattorna men knappast kunde registreras i inomhusluften. Ammoniakbildningen kunde förklara de svarta missfärgningarna på parketten (innehållande ek-garvsyror) och också bildningen av alkoholen 2-etylhexanol. Däremot var det svårt att relatera uppmätta halter av kemiska, lättflyktiga ämnen till rapporterade symtom och totalhalten lättflyktiga organiska ämnen (TVOC) var inte onormalt hög i de olika lägenheterna. Däremot visades i en avhandling att en viss ansamling förelåg av olika alkoholer och aldehyder, ämnen som i mycket högre halter (3-4 tiopotenser högre) visats vara slemhinneirriterande [1].

När man mätte ammoniakhalterna under mattorna i sanerade lägenheter upptäckte man höga halter i ett antal lägenheter, i vissa fall t.o.m. högre halter än före saneringen. Det visade sig att detta gällde enbart lägenheter där man inte hade underliggande källare utan platta på mark. I de fall fuktigheten i bjälklaget varit under 85 % hade ingen ammoniakbildning skett, medan en omfattande nybildning tycktes ha skett där fuktigheten varit högre. En erfarenhet var således att man vid platta på mark med ovanliggande isolering, vilket medför fuktig grundplatta, behövde använda en säkrare saneringsmetod. I det aktuella fallet lades ventilerade golv.

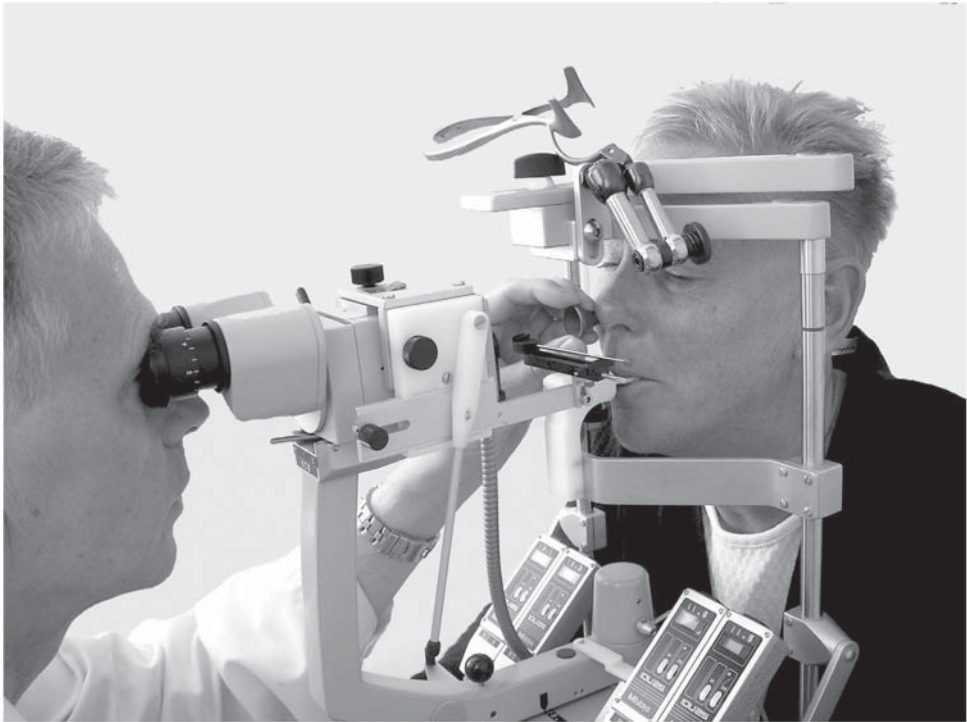
De boende upplevde inomhusmiljön som mycket bättre ett år efter saneringen och rapporterade normala symtomfrekvenser. Det var naturligtvis viktigt att veta om detta innebar bestående förbättringar eller om besvären återkom efter en tid. Vi hade möjligheter att följa upp vad som hände med den gård, som vid den primära kartläggningen 1989 uppvisade flest problem. På grund av avtalsmässiga skäl (mellan hyresgästförening och fastighetsföretag) sanerades denna gård med cirka 100 lägenheter först 1991, d.v.s. två år efter den primära undersökningen. En förnyad enkätundersökning 1990 visade ingen förbättring vilket var att förvänta eftersom inga miljö-

förbättrande åtgärder vidtagits. Ett år efter saneringen, dvs 1992, kunde man se en påtaglig normalisering vad avsåg såväl klagomål som symptom och dessa effekter visade sig kvarstå vid en efterföljande undersökning 1994, dvs. cirka 3 år efter saneringen (figur 1).



Figur 1. Uppföljning av de boendes rapporterade klagomål och symptom före och efter saneringen, som genomfördes 1991.

Under början på 90-talet hade ett nytt instrument utvecklats vid Södersjukhuset av öronläkaren Jan-Erik Juto, som möjliggjorde objektiv registrering av slemhinnekänsligheten. Med hjälp av detta instrument (rhinostereometer) genomfördes en första studie bland boende i området och som kontrollgrupp användes boende i ett annat område. Man kunde därvid påvisa att de boende i det aktuella området svullnade till mer än kontrollerna vid provokation av nässlemhinnan med histamin, ett kroppseget ämne som brukar användas vid provokation av slemhinnor i övre eller nedre luftvägar.



Figur 2. Rhinostereometriundersökning av näslemhinnan med mätning av slemhinnesvullnad efter provokation med histamin [2].

Mot bakgrund av fyndet om anhopning av aldehyder och alkoholer i luften (trots relativt låga halter av kemiska ämnen i luften) initierades också experimentella studier vid Århus Universitet som förfogar över en av världens bästa klimatkammare för studier av kemiska ämnen i låga koncentrationer. Det närmaste decenniet därefter har åtskilliga experimentella studier av ovan nämnda ämnen, damm samt damm kontaminerat med kemiska ämnen eller mikroorganismer genomförts.

Det bedömdes väsentligt att följa vad som hände de som avflyttade från området. Man lyckades därvid få cirka 70 % av dem som avflyttat från området inom en tvåårsperiod att besvara en enkät [3]. Det framkom därvid att klagomålen på inommiljön och rapporterade symtom normaliserades snabbt och den avflyttade gruppen rapporterade snarare färre såväl klagomål som symtom än ”normalt” i svenska bostäder vilket framgår närmare av tabell 1. De skillnader som ses mellan villa- och lägenhetsboende överensstämmer med vad man funnit i andra studier.

Tabell 1. Klagomåls- och symtomfrekvenser för personer som avflyttat från Dalenområdet (uttryckt i procent) till villor respektive andra lägenheter.

Faktor/symtom	Villor		Lägenheter	
	1989*	1992**	1989*	1992**
Antal	23	23	49	49
Variert temp	22	4	12	6
Dålig luft	70	0	65	8
Torr luft	87	0	78	8
Obehaglig lukt	30	0	29	6
Damm och smuts	83	4	78	25
Trötthet	44	9	53	10
Huvudvärk	17	0	22	4
Ögonbesvär	22	4	29	12
Näsbesvär	57	4	55	12
Torr hals	44	0	41	6
Torr hud ansikte	22	0	24	4

* boende i Dalenområdet före sanering

** efter sanering eller avflyttade

I en mindre pilotstudie undersöktes också slemhinnekänsligheten hos avflyttade eller boende i sanerade lägenheter som vid boendet före saneringen rapporterat många klagomål och symtom men som nu var helt besvärsfria. Andra kriterier för deltagande i denna studie var frånvaro av allergi och boende i Stockholmsområdet. Totalt 10 personer deltog i denna pilotstudie. Trots besvärsfrihet kunde man påvisa att den undersökta gruppen hade en högre slemhinnekänslighet än vad som gällde "normalt". Man drog därför slutsatsen att man kan förvärva en ökad slemhinnekänslighet som tycks kunna kvarstå ganska lång tid även om subjektiv besvärsfrihet föreligger. Detta fynd har verifierats i en senare avhandling [2].

Vilka erfarenheter drogs?

Detta är nog det enskilda objekt som medfört flest erfarenheter som kunnat tas tillvara inom såväl byggbranschen som fastighetsvärlden. Sättet att arbeta strukturerat började användas för många liknande områden och man började pröva och utvärdera olika metoder för att sanera på ett kostnads-effektivt sätt. Detta objekt bidrog sannolikt också till att diskussionen om ökad garantitid för byggnader började diskuteras mer allvarligt.

Samtidigt medförde de aktuella frågeställningarna att man mer strukturerat började arbeta för att använda ”objektiva” metoder för att registrera medicinska effekter och experimentella studier genomfördes där olika känsliga grupper av försökspersoner exponerades för ”innemiljöhalter” av olika intressanta kemiska ämnen med eller utan samtidig dammexponering. Enkätundersökningarna tydde också på att de positiva effekter man kunde se inte var tillfälliga utan kvarstod under lång tid, även om det fanns indikationer på att de boende trots besvärsmfrihet förvärvat en ökad (sannolikt övergående) slemhinnekänslighet.

Fallet Hammarby Sjöstad [4]

På Sickla Udde, som är en del av Hammarby Sjöstad, har det byggts cirka 1200 lägenheter under perioden 2000-2003. Under sommaren och hösten 2000 var det ovanligt regnigt i Stockholm. Dåligt väderskyddade arbetsplatser och slarvigt täckta väggelement ledde till fuktskador i väggarna på Skanskas byggarbetsplats på Sickla Udde. I en stort uppslagen reportageserie under vårvintern 2001 berättade Dagens Nyheter om skadorna och reportagen fick stort genomslag. Fuktskadorna bestod i uppfuktning av reglar inne i framför allt ytterväggarna vilket lett till omfattande påväxt av mögel och blånad.

Inom Skanska diskuterades tidigt möjligheten att sanera mögel och blånad inne i utfackningsväggarna genom behandling med fungicid (Boracol) för att slippa mer omfattande ingrepp och materialbyten. Detta bidrog sannolikt till att uppmärksamheten kring skadorna blev så omfattande, då det inte ansågs vara ett seriöst agerande att behandla skadade material med ”gift” i stället för att genomföra mer genomgripande åtgärder.

En fristående expertgrupp tillsattes med uppgift att ge råd och förslag samt att kontrollera att såväl kartläggningen av skador som åtgärdsarbetet gick rätt till. Medlemmar ur expertgruppen träffade vid flera tillfällen bostadsrättsinnehavarna för att redogöra för gruppens arbete och svara på frågor om mätningar, om mögelförekomst och om hälsorisker.

Man konstaterade därvid att

- valda konstruktioner i vägg och takterrass var känsliga för uppfuktning framför allt under byggskedet. Risken för skador var mindre när byggnaderna är färdiga.

- reglarna i ytterväggarna sannolikt hade påväxt av mögel och blånad redan vid inbyggnaden. Detta medförde att reglarna var mer känsliga för förnyad uppfuktning.
- bristfällig täckning på arbetsplatsen i samband med omfattande nederbörd gav en omfattande vatteninträning.

På expertgruppens förslag byttes skadat material ut eller i enstaka fall, där omfattningen var begränsad, slipades eller hyvlades påväxt av mögel eller blånad bort. Allt nytt material som byggdes in kontrollerades med avseende på fuktinnehåll och att det var fritt från blånad. Alla rum i varje lägenhet inom det berörda området kontrollerades.

Vilka erfarenheter drogs?

Skanska informerade snabbt inom företaget om anledningen till skadorna i Hammarby Sjöstad och påminde om de instruktioner som fanns i det interna kvalitetssystemet. Man införde nya förbättrade arbetsätt i all pågående produktion. Man ställde krav på att tid för uttorkning alltid skall finnas redovisad i tidsplanen och man förändrade byggmetodik och byggteknik bland annat för hur montage av utfackningsväggar skall utföras. Man utvecklade också en ny, starkt förbättrad manual över fuktmätning i trä och påbörjade ett arbete för att tillsammans med andra byggföretag vidareutveckla denna så den kunde ligga till grund för en auktorisation av fuktkontrollanter för träkonstruktioner.

De dyrköpta erfarenheterna från detta objekt har sannolikt bidragit till att man nu i större utsträckning ser hur många byggnadsarbeten görs ”inomhus” genom att man bygger upp ”tält” över byggnadsdelar i känsliga delar av byggprocessen.

Fallet Moderna museet och Arkitekturmuseet

Under sommaren och hösten 2001 kunde man i Dagens Nyheter finna flera stort uppslagna reportage om ”mögelpromblem” vid de aktuella museerna (Figur 3). En konsultfirma hade sökt igenom museerna med hundar och ”påvisat förekomst av onormala halter av mikroorganismer” överallt och stor oro fanns bland de anställda, som i många år klagat på inomhusmiljön utan att riktigt ha tagits på allvar. En enkätundersökning genomfördes och man kunde påvisa en förhöjd frekvens av bland annat slemhinnesymtom, men klagomålen på obehaglig lukt var inte särskilt framträdande.

En medicinsk undersökning initierades, där man noterade att många uppgav symtom som hänfördes till inomhusmiljön. En genomförd allergitestning visade mycket anmärkningsvärda resultat. Blodprover togs för nedfrysning inför eventuella framtida analyser. I detta läge beslutade man sig för att stänga museerna för sanering och en expertgrupp kallades in för att lämna synpunkter på genomförda utredningar och kommande saneringsarbete. En teknisk konsult anlätades för att genomföra erforderliga tekniska utredningar och lämna förslag till åtgärder.



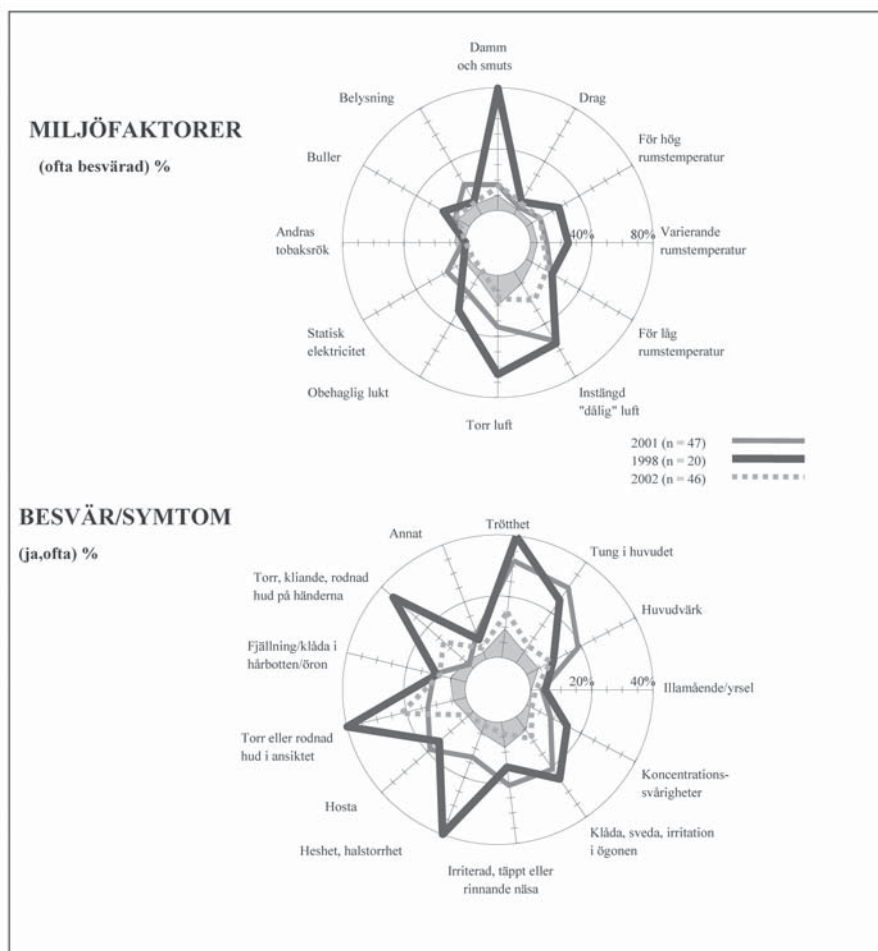
Figur 3. Ur partiklar publicerade i Dagens Nyheter hösten 2001.

Historik

Museerna öppnades med pomp och ståt i november 1997. Redan några veckor efter inflyttningen förekom klagomål på inomhusmiljön och fastighetsägaren Statens fastighetsverk initierade en utredning. I denna konstaterades att det förekom såväl kemiska ämnen som damm i ökad utsträckning men bedömde inte att förhållandena var anmärkningsvärda med tanke på att det var en ny byggnad, som alltid innehåller emissioner från såväl nya material som inredningar. Man använde också den standardiserade Örebroenkäten MM040NA som påvisade förhöjda frekvenser av klagomål på damm och smuts samt dålig luftkvalitet med obehagliga lukter. En kraftig överfrekvens förekom av såväl allmänsymtom som torrhetssymtom från ögon, näsa, hals och hud. Eftersom svarsfrekvensen var relativt låg, ca 50 %, ville inblandad konsult inte dra alltför långtgående slutsatser men rekommenderade fastighetsägaren att fortsatt följa upp hur de anställda mådde. Detta gjordes tyvärr aldrig innan förhållandena akutiserades sommaren 2001.

På expertgruppens initiativ genomfördes parallellt med den tekniska utredningen en förnyad enkätundersökning några månader efter museernas

stängning, varvid man kunde påvisa en mycket uttalad normalisering av rapporterade symtom och förekomsten av slemhinnesymtom skiljde sig inte från vad som brukar ses i arbetsmiljöer utan klimatproblem. I figur 4 nedan ses utfallet för de olika enkätundersökningarna genomförde ett par månader efter museernas öppnande, hösten 2001 när museerna var ”hot stoff” i massmedia samt några månader efter utflytten från museerna. Fortsatt uppföljning har visat normalisering symtommässigt och de anställda på museerna hänför få symtom till sin nuvarande arbetsmiljö.



Figur 4. Frekvensen av ”ofta” besvärande klagomål och ”ofta” uppträdande symtom vid tre olika tillfällen för Moderna museets personal. Skuggat område markerar referensdata för arbetsmiljöer utan kända

innemiljöproblem. Motsvarande förhållanden kunde ses för Arkitekturmuseets personal men redovisas inte här.

Ett anmärkningsvärt fynd från den medicinska undersökningen hösten 2001 var en ovanligt hög frekvens av pricktestpositivitet för allmänna allergen. Fortsatt uppföljning och kontrollmätningar har inte verifierat detta fynd. Analys av nedfrysta prover har också visat helt normala förhållanden och allergitester för olika mögelallergen har alla varit normala. Det finns därför underlag till konstaterandet att förhållandena under hösten 2001 inte medförde någon påverkan på immunsystemet. Däremot finns anledning att fortsatt söka finna en förklaring till det anmärkningsvärda medicinska fyndet.

Vilka erfarenheter drogs?

Det är viktigt att man fortsätter följa upp klagomål från en enkätundersökning till dess man finner att förhållandena normaliserats. Genom att utredningen sommaren 2001 så ensidigt fokuserades mot mögelskador missade man många skador, som påvisades vid den mer omfattande tekniska utredningen. Konstmuseer har strikta krav på temperatur och fuktighet, vilket gör att styrningen av ventilationen blir extra viktig. Många genomföringar och felaktiga tryckförhållanden i byggnaderna bidrog till att lukter lätt spreds och mattläggningen som utfördes alltför tidigt på grund av kravet på att hinna blir färdiga i tid till invigningen bidrog till kemiska emissioner.

Expertgruppen fick i uppdrag av fastighetsägaren att utarbeta en handlingsplan för hur man fortsättningsvis skulle upptäcka och hantera problem i innemiljön i företagets lokaler. Denne skulle sedan inarbetas i det interna kvalitetssystemet.

Liksom vid tidigare problemobjekt bidrog inte de medicinska undersökningarna till att förklara innemiljöproblemen. Den lämnade riskinformationen var skrämmande och knappast byggd på vetenskap och beprövad erfarenhet. Att detta kan ha betydelse för symtomrapporteringen diskuteras senare under denna konferens.

Avslutande kommentarer

De redovisade fallen tillhör de mest uppmärksammade men det har naturligtvis under samma tidsperiod förekommit många andra skadefall som

bidragit till vunna erfarenheter. Genom sin omfattning och massmediala fokusering har de förra ofta utgjort ”tankeställare” för bygg- och fastighetsbranschen men samtidigt bidragit till att resurser riktats mot olika insatser. Drabbade företag har i flera fall också försökt att hitta arbetsformer för att undvika framtida resursslösande misstag.

I de redovisade fallen har väsentligen samma utredningsstrategi använts. En fristående arbetsgrupp med olika kompetenser har bildats som i dialog med fastighetsansvarig och brukarna systematiskt utrett orsakerna till problemen, diskuterat åtgärdsförslag och utvärderat effekten av insatta åtgärder. Detta arbetssätt har visat sig vara effektivt och ändamålsenligt.

I många fall har standardiserade enkäter använts för att strukturera informationen och inhämta erfarenheter från brukarna. Det kan ha gällt den initiala kartläggningen för att kartlägga problematikens omfattning eller uppföljningar efter insatta åtgärder.

Baserat på en danska epidemiologisk studie har på senare tid ifrågasatts möjligheterna att dra relevanta slutsatser baserat på enkätresultat. Jag menar att rätt använda, d.v.s. genom att använda utprovade enkäter, standardiserat administrationssätt, relevanta jämförelsedata (referensdata) och kompetent tolkning, enkäterna utgör det bästa instrument vi i dagsläget förfogar över när det gäller att hantera situationer med inneklimatproblem. Tekniska mätningar utgör ett bra komplement men i dagsläget är många av de mätningar som utförs inte av större värde när det gäller att förklara orsaken till rapporterade besvär hos brukarna [5]. Medicinskt saknar vi i dagsläget instrument för att förklara rapporterade symtom men ett utvecklingsarbete pågår. Man arbetar forskningsmässigt också i riktning mot förklaringsmodeller som inkluderar såväl medicinska som psykologiska mekanismer – närmare diskuterat senare i Lars Belins föreläsning om ”kropp och själ i innemiljön”.

Jag har alltid hoppats att de många problemfallen skulle medföra att liknande problem inte återkommer. Erfarenheten säger oss dock att vi även fortsättningsvis kommer att träffa på nya, liknande problemfall. Tendensen mot användning av stora glasytor, kärleken till platta tak och kommande aktiviteter för att spara energi borgar för fortsatta arbetsuppgifter för skadeutredare.

Referenser

1. Bornehag C.G. Mönsteranalys av inomhusluft. Undersökning av luftkvaliteten i sjuka hus med flytspackelproblem. Byggforskningsrådet R23:1994.
2. Rudblad S, Andersson K, Stridh G, Bodin L, Juto J-E. Slowly decreasing mucosal hyperreactivity years after working in a school with moisture problems. *Indoor Air* 2002;12:138-144.
3. Andersson K. Uppföljning av bostadsförhållanden och hälsoläge efter avflyttning från Dalenområdet. Yrkes- och miljömedicinska kliniken, Universitetssjukhuset, Rapport MM 20/92, 1992.
4. Samuelson I, Wånggren B. Fukt och mögelskador Hammarby Sjöstad. SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, SP RAPPORT 2002:15.
5. Andersson K, Stridh G, Ekberg L, Samuelson I. Kemiska, mikrobiologiska och partikelmätningar – hjälpmedel eller ”big business”? *Bygg & Teknik* 5/2004 sid.20-22.

Åtskilligt material om inneklimatefrågor finns åtkomligt via klinikens hemsida www.orebroll.se/ymk .

Hälsa och inomhusmiljö ur ett läkarperspektiv

Magnus Svartengren

- ❑ Vilka svårigheter förekommer vid sambandsbedömning mellan inomhusmiljöfaktorer och hälsoeffekter?
- ❑ Vilken typ av studier skulle du vilja se för att öka vår kunskap?
- ❑ Vad anser vi oss veta idag utifrån ”vetenskap och beprövad erfarenhet”?

Vi vistas en mycket stor del av vår tid inomhus i hemmet, på arbetsplatser och i offentlig miljö.

För barn är barnomsorgens och skolans lokaler viktiga miljöer, för vuxna är även arbetsmiljön i icke-industriell miljö ofta viktig. Förutom för dessa miljöer har klara hälsoeffekter dokumenterats för trafikmiljöer inomhus (tunnlar) och i ishallar när det förekommit felaktigt fungerande förbränningsmotorer. Det pågår också en diskussion om eventuella hälsorisker för miljöer relaterade till spårbunden trafik inomhus som t.ex. för tågperonger.

Inomhusmiljön kan påverka den fysiska hälsan genom luften vi andas. Även bullerexponering bör räknas till inomhusmiljö. Det finns klara hälsoeffekter kopplade till passiv rökning, fukt- och mögelskador, radon och buller.

Läkarperspektivet

Inom hälso- och sjukvården är personalen enligt lag skyldig att arbeta enligt vetenskap och beprövad erfarenhet. Forskningsresultat och samlad klinisk erfarenhet ska ge vägledning för vården. Varje år publiceras ett par miljoner vetenskapliga artiklar i biomedicinska tidskrifter världen över. Det kan vara mycket svårt för den enskilde att hinna följa med i den omfattande och ständigt växande strömmen av nya forskningsrön, även inom ett begränsat område. Dessutom är forskningsresultaten inte alltid överskådliga, enhetliga och tillförlitliga.

Det behövs därför en systematisk och kritisk granskning av kunskap och det behövs utvärdering. När det gäller orsaker till ohälsa och sjukdom så har den kunskapen av tradition haft lägre prioritet inom sjukvården.

Orsaker till detta kan vara att när den tänkte patienten behöver hjälp så är sjukdomen eller besvären redan där och fokus ligger istället på åtgärder.

Utvärdering av en viss åtgärd – förebyggande såväl som behandlande – handlar om att bedöma dess värde. Man samlar in relevant information om åtgärden på ett systematiskt sätt och jämför den med alternativa åtgärder, eller med ingen åtgärd alls. I valsituationer får man på det sättet en uppfattning om vilken väg som är lämpligast - ett beslutsunderlag. Ett sådant organ som genomför systematiska åtgärder är Statens beredning för medicinsk utvärdering (SBU).

SBU:s utvärderingar granskar nytta, risker och kostnader för de metoder som används i vårdarbetet. Rapporterna kan till exempel visa vilken metod som är bäst för att behandla astma, förebygga blodpropp, behandla fetma, lägga om sår eller lindra kronisk smärta. Men utvärderingarna pekar inte bara på effektiva metoder. Lika viktigt är det att identifiera metoder som inte har bevisad effekt eller inte är kostnadseffektiva, och som man därför bör undvika. Sådan information är nödvändig för att kunna ge god vård och omvårdnad, och för att vårdens resurser ska göra största möjliga nytta. I ett samhälle med obegränsade resurser skulle man kunna tänka sig att vidta alla möjliga åtgärder som skulle kunna ge positiva effekter bara inte riskerna överstiger möjliga vinster. I vardagen lever vi dock i ett samhälle där krav på prioriteringar mellan olika förslag är ständigt återkommande. Vetenskaplig grund för beslut är därför mycket angelägen. Det är också väsentligt att visa på kunskapsluckor - områden där man helt enkelt inte vet vilka metoder som gör mest nytta och där ytterligare forskning är särskilt angelägen.

Det engelska ordet för vetenskapliga bevis eller belägg, evidence, har gett namn åt en inriktning som på svenska kallas evidensbaserad vård. På engelska används termerna EBM (evidence-based medicine) och EBHC (evidence-based health care). Evidensbaserade åtgärder skulle helt enkelt betyda en medveten och systematisk strävan att bygga åtgärder på bästa möjliga vetenskapliga grund (evidens) - något som för vården sedan länge har stöd till exempel i svensk lag.

Grundvalen för evidensbaserad medicin är den systematiska översikten. Här används en strikt metodik för att finna, granska och kvalitetsgradera relevanta studier vars resultat sammanfattas, kvantitativt när så är lämpligt

och möjligt, i form av en metaanalys. Den springande punkten är att undvika systematisk feltolkning, bias.

När det gäller krav på kvalitet för att en studies slutsatser skall kunna tillämpas får man ofta definiera en miniminivå. Det kan innebära att man går förbi studier som helt saknar kontrollgrupper. Kanske vill man inte heller beakta studier med otillräcklig uppföljningstid, eller sådana där man inte har några mått på resultat av betydelse för patientens välbefinnande utan enbart s.k. "surrogatvariabler" som t ex laboratorievärden.

För kvalitetsaspekten bör det utvärderas om det föreligger

- En väl beskriven studiebas, dvs. en definition av den studerade gruppen och tidsperiod som studeras. Vilka är inklusions- och exklusionskriterierna.
- Prospektiv exponeringsuppskattning med rimlig precision.
- Väl definierat vad som är effekt eller sjukdom företrädesvis baserat på testning och den diagnostiska intensiteten är lika för exponerade och oexponerad.
- Man bör begränsa användning av surrogat variabler. Ett tillfälligt symptom eller en påverkan på en blodparameter är inte samma som klinisk sjukdom.

Nedan följer en lista på studier av hälsoeffekter i fallande ordning efter grad av god vetenskaplig kontroll.

- Stor randomiserad kontrollerad interventionsstudie
- Liten randomiserad kontrollerad interventionsstudie
- Icke randomiserad interventionsstudie med samtida kontroller
- Icke randomiserad interventionsstudie med historiska kontroller
- Kohort studie/fall-referentstudie
- Tvärsnittstudie dvs. utvärdering utan uppföljning över definierad tidsperiod
- Övervakning, som genomförs t ex. med hjälp av registerdata
- Konsekutiv fallserie
- Fallrapport, (anekdot)

Studiers bevisvärde

Högt bevisvärde

Tillräckligt stor studie, lämplig studietyp, väl genomförd och analyserad. Kan vara en stor, randomiserad kontrollerad studie när det gäller utvärdering av en åtgärd eller behandlingsform. För övriga områden: Uppfyller väl på förhand uppställda kriterier.

Medelhögt bevisvärde

Behandlingseffekter: Kan vara stora studier med kontroller från andra geografiska områden, matchade grupper eller liknande. För övriga områden: Uppfyller delvis på förhand uppställda kriterier.

Lågt bevisvärde

Skall ej ligga som enda grund för slutsatser, t ex studier med selekterade kontroller (retrospektiv jämförelse mellan patientgrupper som fått respektive inte fått en viss behandling), stora bortfall eller andra osäkerheter. För övriga områden: Uppfyller dåligt på förhand uppställda kriterier.

Inom fältet inomhusmiljö har vi sällan högre vetenskaplig kvalitet än vad observationsstudier medger, data som framkommit i icke-experimentella situationer. En vanlig situation för observationsstudier är att de studerar verkligheten och ger många svar, men att man ibland varit otydlig i att ha formulerat klara hypoteser eller frågor. Vilka jämförelser kan göras? Vad är relevant utfall att studera? Finns det etablerade testmetoder? När i tiden är det rimligt att utvärdera? Andra problem med dessa studier är svårigheten att randomisera t.ex. åtgärder men också relevanta bakgrundsvariabler som t ex. benägenhet för allergi. Det är även angeläget att också analysera bortfall för de olika grupperna.

Styrkan i rekommendationer för åtgärder

U.S. Preventive Services Task Force (1989) publicerade ett system för olika styrkor i rekommendationer. En modifierad text på samma idé följer nedan.

- Det finns god evidens (bevis) som stöd för att rekommendera att åtgärden bör övervägas.
- Det finns visst bevis som stöd för att rekommendera att åtgärden bör övervägas.

- Det finns dåligt med bevis som stöd för att rekommendera att åtgärden bör övervägas, men rekommendationer kan göras på andra grunder.
- Det finns visst bevis som stöd för att rekommendera att åtgärden inte bör övervägas.
- Det finns god evidens (bevis) som stöd för att rekommendera att åtgärden inte bör övervägas.

Föroreningskällor i hemmen, vilka är de och vad ställer de till med?

Det finns klara hälsoeffekter kopplade till passiv rökning, fukt- och mögelskador, radon och buller. Nedan diskuteras några av de luftburna exponeringarna. Tobaksrök innehåller tusentals kemiska ämnen som frisätts vid förbränning i form av gaser eller partiklar. Röken innehåller giftiga och irriterande ämnen, och mer än 50 olika ämnen i tobaksröken kan eller misstänks kunna orsaka cancer. Flera studier visar att tobaksrökning hos föräldrar kan ge upphov till ett betydande upptag av nikotin hos spädbarn via inandning av miljötobaksrök, liksom via bröstmjolk.

Rökning under graviditeten ökar risken för låg födelsevikt (lägre än 2 500 gram) samt för hämmad fostertillväxt. Båda dessa tillstånd är riskfaktorer för sjuklighet och dödlighet bland spädbarn. En rad olika studier har också visat att det finns ett samband mellan tobaksrök i miljön och minskad lungfunktion hos barn. För 8-månadersbarnen i Barnens miljöhälsoenkät 2003 var andelen barn som behandlats med antibiotika, 2 gånger eller fler de senaste 3 månaderna, dubbelt så stor bland de barn där någon av föräldrarna röker i hemmet, jämfört med dem som inte exponerats för tobaksrök. Med en förekomst av upprepade nedre luftvägssymtom (småbarnsastma) upp till 4 års ålder på 11 procent, som bl.a. rapporterats från BAMSE-studien, och förekomsten av exponering för miljötobaksrök som rapporteras i Barnens miljöhälsoenkät 2003 skulle drygt 500 fall per år av småbarnsastma orsakas av föräldrarnas rökning. För upprepade öroninflammationer om någon av föräldrarna röker kan man skatta att drygt 500 fall årligen skulle vara orsakade av föräldrarnas rökning. En viss riskökning för barnet avseende alla tumörer sammantagna (ca 10 procent), har rapporterats. Detta kan framför allt förklaras av en riskökning för leukemi.

Retande ämnen i inomhusluften kan komma från fukt- och mögelskador, byggnads- och inredningsmaterial, samt från utomhusluften. Hur ventilationen fungerar och hur byggnaden används påverkar också luftens

kvalitet. Luften påverkas av antalet personer i bostaden, eventuella pälsdjur hemma och av städrutiner och kemiska produkter (hygien och rengöringsmedel) m.m.

Vart femte barn växer upp i hem med tecken på fukt- och mögelskador, den idag tydligaste riskfaktorn för ohälsa relaterad till inomhusmiljön. Sådana miljöer fördubblar risken att drabbas av småbarnsastma. Beräkningar visar att mer än 1000 barn årligen i åldrarna upp till 4 år beräknas drabbas av astma till följd av fukt- och mögelskador i hemmet. Men med god ventilation kan luftfuktigheten inomhus minskas, luftföroreningar vädras ut och frisk luft föras in. Det är viktigt att ventilationen anpassas efter antalet personer och hur lokalerna används.

Om luftfuktigheten inomhus är hög eller om huset har fukt- eller mögelskador kan en ökad mängd irriterande ämnen avges till inomhusluften. Hög luftfuktighet ökar även risken för att barn utvecklar allergi mot kvalster och pälsdjur. Kvalster trivs extra bra i fuktiga miljöer. I Stockholmsområdet är det normalt torrt inomhus och här finns det kvalster i ca.10 procent av bostäderna. I norrland är andelen hem med kvalster lägre, i södra Sverige betydligt högre.

Flest fukt- och mögelskador rapporterades i BMHR 03 från familjer som bodde i hus byggda mellan 1941 och 1975. Tecken på fukt- och mögelskador i bostaden är vanligare i trångbodda hushåll med liten bostadsyta per person. Var byggnaden är belägen påverkar hur ren den utomhusluft är som förs in i byggnaden genom vädring och ventilation. Om friskluftintaget exempelvis vetter mot en starkt trafikerad gata kan luft som är förorenad av trafikavgaser tillföras rumsluften.

Den omfattande användningen av kemiska ämnen i bygg- och inredningsmaterial kan också bidra till förhöjda halter av flyktiga organiska kemiska ämnen i rumsluften. Vi vet att vissa av dessa ämnen kan påverka hälsan, men hittills har inget enskilt ämne kunnat knytas till hälsoeffekter i de nivåer som uppmätts i inomhusmiljön. Undantaget är formaldehyd, som bl.a. kan finnas i lim, spackel, tätningsmedel och används i t.ex. spånskivor och i textilier men som också finns i t.ex. tobaksrök och motoravgaser. Formaldehyd har främst setts orsaka irritationseffekter på ögon och övre luftvägar hos vuxna. Formaldehyd halterna i bostäder är som medianvärden kring $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vilket är långt under den nivå där

irritationsbesvär normalt har noterats (Barregård L och Sällsten G). Genomsnittshalterna i villor ($14 \mu\text{g}/\text{m}^3$) är generellt betydligt högre än i lägenheter ($7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) och halterna utomhus är ca $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Norlén U och Andersson K). Halter i vår inomhusmiljö spelar därför en stor roll för människors genomsnittsexponering för formaldehyd. I arbetslivet har höga halter av formaldehyd i luften visats bidra till hudproblem.

Många familjer målar om inomhus och skaffar nya möbler i samband med ett barns födelse. Renovering, målningsarbeten och nya möbler innebär alltid att halten av kemiska ämnen i inomhusluften blir temporärt högre i bostaden. I vilken mån detta påverkar barnets hälsa är ofullständigt utrett, men ett fåtal utförda studier tyder på att det kan finnas ett samband mellan främst luftvägssymtom och ökad infektionskänslighet hos riktigt små barn.

Den största andelen (50 -67 %) små partiklar i inomhusluften kommer från utomhusluften genom ventilation och vädring. Men även tobaksrök, levande ljus, matlagning och brödrostning bidrar till exponeringen för s.k. ultrafina förbränningspartiklar. Små partiklar kan förbli luftburna under lång tid och kan därför andas in. I skolor och på daghem är koncentrationen luftburna partiklar vanligtvis högre än i bostäder. Det är främst de större partiklarna, PM_{10} (partiklar mindre än $10 \mu\text{m}$) som visar höga halter i skolor och daghem. Damm i skolmiljö kan sannolikt bidra till allergibesvär, hösnuva och astma. I kontorsmiljö har städning och luftrening visats kunna minska besvären, men många faktorer samverkar sannolikt.

Hälsoeffekter med samband till $\text{PM}_{2,5}$ (partiklar mindre än $2,5 \mu\text{m}$) i bostadsluft har beskrivits i ett begränsat antal epidemiologiska studier. Höga halter av partiklar i bostadsmiljö kan enligt studierna bidra till förändringar i lungfunktionen, inflammation i luftrören, luftvägsbesvär, astma och kronisk bronkit. Större studier, liknande de mortalitetsstudier och sjuklighetsstudier som finns för utomhuspartiklar saknas dock. En skillnad mot studier av hälsoeffekter av luftföroreningar från trafikmiljöer är att det är svårt att med enkla medel göra en adekvat skattning av exponeringen när källan förekommer inomhus.

Förbränningsavgaser från gasspisar visar en ökad risk för luftvägssymtom framför allt hos redan känsliga individer. Mycket tyder också på en samverkande effekt mellan exponering för förbränningsavgaser och annan

exponering, t.ex. fukt och mögel. Klart dokumenterat är att man kan komma upp i höga halter av kväveoxider i samband med gasspisanvändning och att individer med redan utvecklad astma är mer känsliga för kvävedioxid än befolkningen i allmänhet.

Radon kan avges från stenbaserat byggnadsmaterial, radonhaltig mark eller via dricksvatten i enskilda brunnar och kan tillföras inomhusluften. De från hälsosynpunkt mest betydelsefulla källorna är mark och vatten och förhöjd radonhalt i inomhusluften är den för människan viktigaste exponeringsvägen. Det förekommer även upptag av radon i kroppen direkt via radonhaltigt vatten som dricks, men denna exponering är generellt av mindre betydelse. Radon ökar risken för lungcancer. För vuxna skattas att radon medverkar till 400 cancerfall om året. Lungcancer är en sjukdom med mycket hög dödlighet. Data tyder på att även icke rökare kan drabbas. Det är oklart hur radonexponering under barndomen påverkar risken att senare utveckla lungcancer.

Slutord

Det aktuella kapitlet är ett försök att sätta kunskaper om hälsa och inneklimat i ett perspektiv genom att jämföra kraven för att tala om verk samma åtgärder eller bevis som används inom sjukvården. Det är ingen tvekan om att inomhusmiljön har påverkan på hälsan. Det finns också några tydliga exponeringsfaktorer som vi vet har betydelse. Styrkan i våra rekommendationer bör anpassas till underlaget. För att kunna hävda att samhället måste prioritera att vidta åtgärder i befintlig miljö riktade mot specifika kemikalieexponeringar. Då behövs i regel ett betydligt starkare underlag än vad som finns idag. Jag vill se ökad fokus på studier där man har en klart definierad studiebas, bra exponeringskartläggning som genomförs likformigt för alla i studien, klar definition på vad som är utfall, gärna testbaserat och tolkningsbart i relation till hälsa och sjukdom. Jag tror att dessa studier kräver medverkan av flera kompetenser, inklusive medicinsk kompetens.

Viktigt är också att komma ihåg att i en situation där inomhusmiljön – eller andra faktorer – felaktigt knyts till en individs symtom, alltid innebär en ökad risk för felbehandling och att en patient inte får adekvat läkarvård och behandling av sina sjukdomssymtom.

Läsa mer

Om Evidens Läkartidningen 2000;97:4414-15.

SBU utvärderar sjukvårdens metoder, <http://www.sbu.se/www/index.asp>

Miljöhälsorapport 2005, <http://www.socialstyrelsen.se/Publicerat/2005/8651/2005-111-1.htm>

Cook D G & Strachan D P. Health effects of passive smoking 10: Summary of effects of parental smoking on the respiratory health of children and implications for research. *Thorax* 1999;54:357–366.

Wickman M, Kull I, Pershagen G, Nordvall S L. The BAMSE (Barn, Allergi, Miljö i Stockholm, en Epidemiologisk studie). Project Presentation of a prospective longitudinal birth cohort study. *Pediatric Allergy and Immunology* 2002;13:11–13.

Bornehag C G & Sundell J. The association between asthma and allergic symptoms in children and phthalates in house dust: A nested case-control study. *Environmental Health Perspectives* 2004; online 15 July.

Emenius G & Svartengren M. Gaseldade hushållsspisar – hur påverkas hälsan? Hälsomässiga risker med gasspisanvändning, med huvudsaklig fokus på exponering för kvävedioxid (NO₂). Stockholm, Arbets- och Miljömedicin, Stockholms läns landsting, 2004. (Rapport 2004:5).

Peat J K, Dickerson J & Li J. Effects of damp and mould in the home on respiratory health: A review of the literature. *Allergy* 1998;53:120–128. 26.

Nafstad P, Oie L, Mehl R, Gaarder P I, Lodrup-Carlsen K C, Botten G, Magnus P & Jaakkola J J. Residential dampness problems and symptoms and signs of bronchial obstruction in young Norwegian children. *Journal of Respiratory Critical Care Medicine* 1998;157:410–414.

Barregård och Sällsten G. Formaldehyd – en kunskapssammanställning och riskbedömning. Göteborg Västra Götalandsregionens miljömedicinska Centrum 2004.

Norlén U och Andersson K. Bostadsbeståndets inneklimat. Stockholm, Statens institut för byggnadsforskning. 1993. (ELIB-rapport nr 7).

Kropp och själ i innemiljö

Lars Belin

- ❑ Är människor i dagens samhälle mer känsliga mot miljöfaktorer jämfört med tidigare?
- ❑ Hur kan vi objektivt mäta känsligheten i luftvägarna?
- ❑ Vilka tänkbara bakomliggande mekanismer kan finnas till en förhöjd känslighet i luftvägarna?

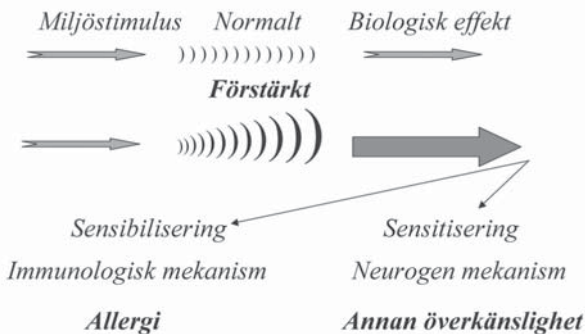
Titeln på detta inlägg är spännande men kanske väl pretentiöst. Skulle man inte låta en psykolog prata om själen och själv hålla sig till det traditionella överkänslighetsområdet? Med åren inser dock en allergolog som jag att mänskliga överkänslighetsproblem kan bero på många fler orsaker och mekanismer än de som ger upphov till våra klassiska allergisjukdomar (fig 1). Jag tycker mig se en gemensam nämnare för all överkänslighet, nämligen en reaktionsförstärkning, ”amplifiering”, som i grunden har med försvar av den egna existensen, både kropp och själ, att göra. På grund av denna aktivering till försvar kan vissa exponeringar leda till en oönskad immunologisk reaktion och andra till signaler i nervsystemet som då uppregleras så att olika överkänslighetsreaktioner uppstår (fig 2). Någon har sagt att hela livet är en fight för att kontrollera och hantera sin miljö. Vi behöver både försvars- och anpassningsförmåga för att säkra vår existens.



Belin -2006

Figur 1.

HUR UPPSTÅR ALLERGI OCH ANNAN ÖVERKÄNSLIGHET?



Belin -2006

Figur 2.

Är människor i dagens samhälle mer känsliga för miljöfaktorer än tidigare?

Har allergierna verkligen ökat? Ja, hösnuva på grund av pollenallergi sägs ha varit extremt ovanlig när den först beskrevs på 1800-talet och hösnuvepatienter förefaller ha varit ovanliga även på 1930-talet då Sveriges första allergiläkare var verksamma. Astmaprevalensen låg på 2 % ända fram till 1960-talet, men har sedan dess nästan dubblats varje efterföljande årtionde. De allt högre siffrorna som rapporterats från olika delar av världen har baserats på epidemiologiska studier av varierande kvalitet. Eftergranskning visar att man haft selektions- och diagnostiska definitionsproblem. Trots detta kan man samstämmigt och övertygande konstatera en reell ökning. Denna ökning har ibland till och med uppfattats som en epidemi! Man har talat om allergierna som en folksjukdom. Dammkvalster och husdjur är de viktigaste allergenkällorna inomhus, men i amerikanska slumområden har exempelvis kackerlackallergi blivit vanligare än kattallergi. Kvalsterallergi med astma som följd förefaller att ha blivit ett mer eller mindre globalt inomhusproblem och har kopplats till en våldsamt ökad astmaprevalens i bland annat Nya Zeeland och Australien. Den ökade kvalsterexponeringen inomhus beror bland annat på vårt permanenta boende i täta, uppvärmda bostäder. Att mögelväxt sammanhänger med fuktproblem är välkänt, men mögelallergi uppstår sällan om inte extrema fuktskador föreligger och har inte objektivt kunnat relateras till ökad astmaförekomst.

En ljusglimt i den oroande utvecklingen är att dagens astmamediciner är synnerligen effektiva och åtminstone astmans prevalenskurva håller på att plana ut. Forskarna har uppmärksammat och rättat till en viss överdiagnostik och missklassifiering. Samtidigt har nya risker påtalats. I stora kohortstudier av den känsligaste åldersgruppen, de små barnen, tycker man sig ha funnit samband mellan misstänkta astmasymtom, såsom upprepade perioder av hosta med pip i bröstet, och halter av dammburna ftalater från PVC-plast i inomhusmiljön. Det spekuleras att en exponering av sådana kemikalier kan ha en ”adjuvans” effekt så att tendensen till sensibilisering för allergen ökar rent generellt. Det har också framkommit misstankar om att isocyanater skulle kunna avges från polyurethanprodukter i kläder, sängmaterial, leksaker mm. Även här har det föreslagits att dessa adjuvansfaktorer kan vara komplement till den s.k. hygienhypotesen. Det finns alltså många svaga varningslampor om nya faror i en hel del inomhusmiljöer. Fukt och cigarettrok är dock de enda miljöfaktorer, förutom kvalster och husdjur, som har ett bevisat samband med astmasymtom hos barn inomhus.

Samtidigt med de ökande allergisjukdomarna har en överkänslighet som lätt förväxlas med allergi, men inte är objektivt påvisbar med allergitest, blivit allt vanligare. Symtomen är delvis likartade och det kan vara svårt för ”vanliga” människor att förstå skillnaden mellan allergi och ”annan överkänslighet”. Man kan räkna in många av ”de nya, moderna” sjukdomarna i denna överkänslighetsgrupp. Benämningen antyder direkt att de är nya företeelser. Hit räknas amalgamsjuka, elkänslighet, kroniskt smärtsyndrom, fibromyalgi och multipel kemisk känslighet, MCS, som alla har ett gemensamt inslag av överkänslighet och även vissa gemensamma drag i besvär bilderna. MCS beskrevs som ett slags syndrom, snarare än en sjukdom första gången av den amerikanske yrkesmedicinaren Mark Cullen 1987, som hade sett detta syndrom utvecklas hos sina patienter efter inledande kraftiga kemikalieexponeringar (fig 3). MCS kan ses som en process med tilltagande symtom av olika slag och välörer samtidigt som allt fler luktande och irriterande miljöfaktorer framkallar besvär. Tillstånd, överensstämmande med Cullens definition, har sedan beskrivits från många håll. Syndromet kan uppstå vid en långdragen innemiljöproblematik utan den inledande exponeringen som Cullen beskrev. I sin mest uttalade form anses den multisymtomatiska bilden vid ”Sick Building Syndrome”, SBS, vara ett MCS syndrom.

Multiple Chemical Sensitivity
"MCS"-besvärsbild

- *CNS*
- *Huvudvärk*
- *Trötthet*
- *Yrsel*
- *Illamående*
- *Konc.svårigheter*
- *Luftvägar*
- *Tungt att andas*
- *Astmalikh.symtom*
- *Nästappa*
- *Ögonirritation*

Belin -2006

Figur 3.

Överkänslighet för lukt och irritation i luftvägarna av kemikalier och andra luftföroreningar är en viktig orsak till hälsoproblematiken vid SBS. Men var och hur övergår normal känslighet i sensorisk överkänslighet? SBS-uttrycket dök upp efter oljekrisen i början på -70 talet, då de upplevda hälsoproblemen från början uppfattades som normala reaktioner på de lukter och luftföroreningar, som uppstod i täta, dåligt ventilerade och fuktskadade hus. Under sådana omständigheter borde huset få den sjuka etiketten och inte den reagerande människan. Det sjuka huset medikaliserades. SBS blev en sjukdomsdiagnos trots att det rör sig om ett vagt och svårdefinierat sjukdomsbegrepp omfattande ett antal upplevda symtom i ökad omfattning i vissa inomhusmiljöer, men som också förekommer allmänt i befolkningen. Trots intensiv forskning och byggnadstekniska förbättringar har inomhusmiljöproblemen i samhället inte upphört. Sambanden mellan exponering och utfall är trots intensiv forskning inte klarlagda. De medicinska utfallens komplexitet beror enligt min mening på att känsligheten för kemikalier efter hand ökat, inte enbart beroende på den tilltagande förekomsten av kemikalier och luktande parfym, deodoranter mm i samhället generellt, utan även på grund av en allmänt ökande oro och rädsla för kemiska hälsoeffekter. I USA kallar de mest oroaden tid vi lever i för "Our toxic times" och man ger regelbundet ut en tidning med detta namn. Den vetenskapliga litteraturen ger helt andra förklaringar till MCS, än de skador på immunsystemet och toxiska effekter som anförs i nämnda tidning. De drabbade har en tämligen orubblig tro på att de är förgiftade av

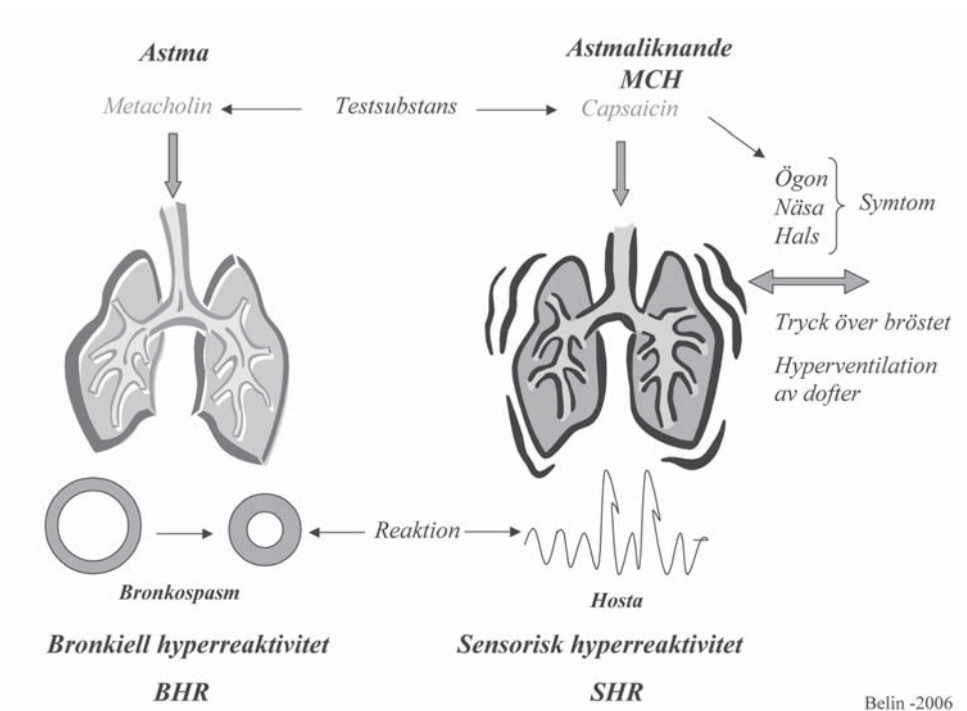
vår tids kemikalier. Omväxlande med MCS används också uttrycket ”Idiopathic Environmental Illness” för att markera det medicinskt svår-förklarliga i sjukdomsmekanismen.

Är överkänsligheten vid allergisjukdomarna, speciellt astmasjukdomen, objektivt mätbar? Är den också mätbar vid ”annan överkänslighet” såsom SBS och MCS?

Både de antikroppar och de allergiframkallande äggviteämnena, allergenen”, som är involverade i den vanligaste allergitypen, den ”atopiska” allergin, är mätbara. Vi har metoder att påvisa dem både genom test på den allergiska patienten och genom att analysera patientens serum. Vi kan också kvantifiera de viktigaste allergenen i säng - och husdammprover. Det råder inget 100%-igt samband mellan förekomst av dessa ”IgE-antikroppar”, allergenhalter och allergisjukdom i luftvägarna, men risken för uppkomst av astma och allergisk snuva/ögonkatarr är stor när IgE-antikroppar kan påvisas. I de fall där kliniska symtom ännu inte uppkommit anses patienten vara ”sensibiliserad” och allergenspecifika IgE-antikroppar markerar då ökad risk för sjukdomsuppkomst. Bakom astmasjukdomen ligger ofta men inte alltid en sensibilisering. Däremot förekommer alltid s.k. bronkiell hyperreaktivitet, BHR, som är objektivt påvisbar. Astmatikerns symtom uppkommer när han/hon utsätts för allergen (katt, kvalster etc), infektioner, ansträngning särskilt i kyla och olika luftföroreningar. Dessa s.k. triggerfaktorer framkallar en sammandragning i den cirkulära luftrörsmuskulaturen. Vid astmasjukdomen kan detta obstruktiva reaktionssätt, beroende på BHR, uppmätas genom ett provokationstest med exempelvis metacholin eller histamin.

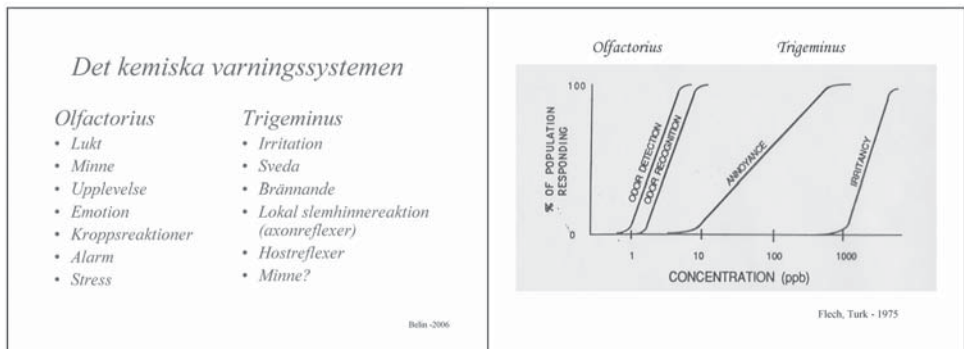
För mer än 15 år sedan beskrev min kollega Olle Löwhagen en patientgrupp som remitterades till oss på Astma- och Allergimottagningen i Göteborg på grund av astmaliknande andningssvårigheter. Eftersom metacholintest i dessa fall utföll negativt kunde en annan typ av överkänslighet misstänkas. Patienterna beskriver sina andningsbesvär på ett något annorlunda sätt än astmatikern. Särskilt utmärkande är att de är extremt överkänsliga för parfym, kemikalielukt och andra irriterande luftföroreningar.

Eva Millquist och medarbetare har kallat denna överkänslighet ”sensorisk” hyperreaktivitet, SHR, och med en metacholintestliknande procedur visat att testpersonen har starkare hostreflexer än normalt. Denna hyperreaktivitet bör inte förväxlas med den ”motoriska hyperreaktivitet”, BHR, som är kännetecknande för astmasjukdomen (fig 4).



Figur 4.

SHR testet bedöms som positivt när luktlös capsaicinlösning inhalerad i stigande doser utlöser fler hoststötter än normalt hos testpersonen. Positivt test anses beror på överkänslighet i Trigeminus- och Vagusnerverna. Dessa nerver bildar ett slags ”kemiskt sinne”. Tillsammans med luktnerven, N. Olfactorius, bevakar det kemiska sinnet vårt luftrum och varnar för skadliga luftföroreningar (fig 5). Systemen samarbetar så att både lukttande och luktlösa kemikalier uppfattas. Luktsinnets känslighetströsklar är dock lägre än det kemiska sinnets (fig 6).



Figur 5 och Figur 6.

De sensoriska signalerna från N. Trigeminus framkallar lokala s.k. axonreflexer i sitt innervationsområde (ögon, näsa svalg) medan olfactorius-signalerna snabbt når minnes- och emotionscentra i hjärnan. Tolkningen och värderingen där och i hjärnbarken kan dämpa eller förstärka reaktion på luktande kemikalier.

SHR går alltså att objektivera såsom förstärkt hostreflex vid ett capsaicintest, men återspeglar inte luktkänsligheten. Hittills har inga inflammatoriska slemhinneförändringar påvisats, som skulle kunna förklara capsaicinkänsligheten. Personer, som utvecklat s.k. multipel kemisk känslighet (MCS), reagerar positivt vid capsaicintestning men är samtidigt, som redan nämnts, extremt känsliga för lukter. Trots att luktsinnet i regel uppfattar kemikalier snabbare och med fler emotionella och betingade reaktionsmönster än det kemiska sinnet uppfattar MCS patienter inte lägre luktnivåer än normalt. Detta förhållande talar för att tolkningen, perceptionen, av luktsignalen är förstärkt och troligen betingat centralt vid MCS. Överkänslighet i luktsinnet på en så central nivå är i dag ännu inte mätbar på samma konventionella sätt som exempelvis capsaicintestet eftersom svaret på luktresponen är så mycket mer komplicerat än att räkna hoststötter. Vissa forskare har utfört provokationsförsök med kemikalier på MCS patienter och därvid reproducerat olika symtom. Några praktiska effektparametrar har varit svårt att finna bland de multisymtomatiska reaktioner som uppstått, men hyperventilation har beskrivits som ett vanligt fynd.

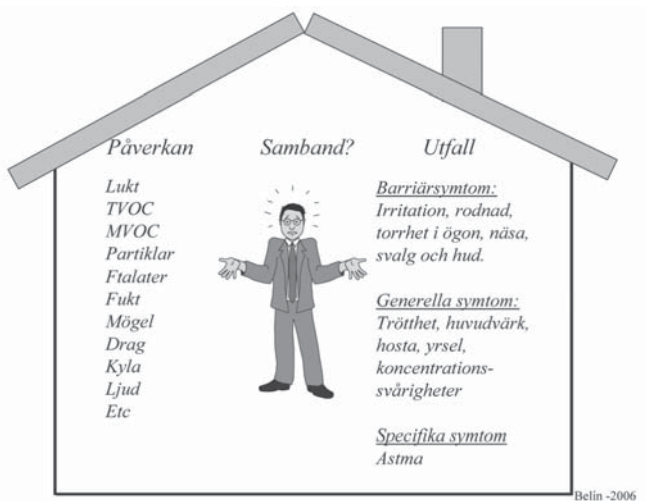
Objektiv mätning av nässlemhinnans tillstånd och känslighet för retande agens har givetvis ett stort intresse vid utredning av personer med misstänkt ”sjuka hus sjuka”. Är barriären skadad, svullen, inflammerad?

Öronkollegorna Juto och Rudblad har gjort intressanta observationer på nässlemhinnan hos personer som haft innemiljöproblem och jämfört resultaten med olika kontrollmaterial. Man fann torra, krustiga slemhinnor, som svullnade mer än normalt av lokalt tillfört histamin hos en del personer, men dessa fynd var inte vanligare bland lärare i ”problemskola” än i ”frisk” skola. Fynden hade dock en viss koppling till upplevda hälso-
problem.

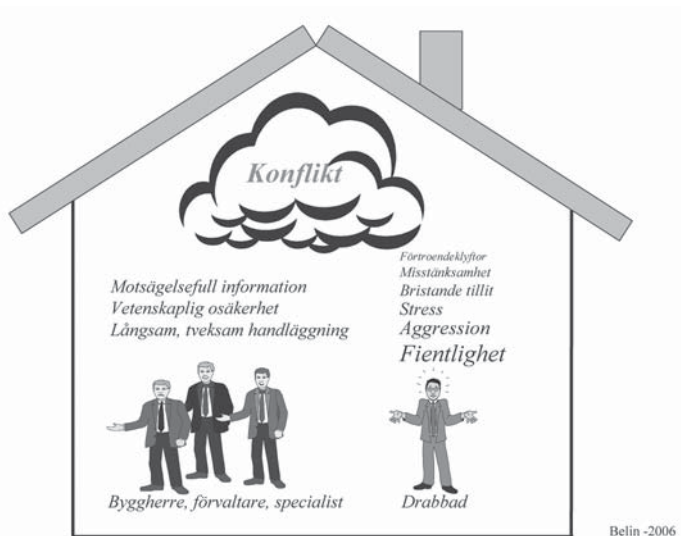
Egendomligt nog angav dessa personer inte endast näsbesvär utan sade sig även ha torr, lättirriterad hud. Danska undersökningar av ögonslemhinnan och tårfunktionen tyder också på att en nedsatt grad av fuktighet i och på slemhinnan ökar känsligheten för olika luftföroreningar. Är denna slemhinne- och hudproblematik möjligen en orsak snarare än följd av att vissa personer reagerar starkare i en viss innemiljö än andra? Kan det vara så att personer som besvärar av torr känslig hud och torra lättirriterade slemhinnor helt enkelt är mer innemiljökänsliga än andra? Vilket kommer först? Norbäck och medarbetare i Uppsala har rapporterat ett visst samband mellan en svag kemikaliexponering i fuktig innemiljö och förhöjda nivåer av inflammationsmarkörer i nässköljvätska men deras värden ligger så långt ner på metodernas dos - responskurvor att de knappast kan klara en säker sambandsanalys.

Om det har varit svårt att tekniskt påvisa vilka miljöfaktorer som framkallar ohälsa i innemiljön är det ännu mer problematiskt att objektivt mäta det medicinska utfallet. Åke Thörn har beskrivit svårigheterna att med traditionell statistisk-epidemiologisk metodik komma fram till varför, och på vilket sätt, många människor fått hälsoproblem i sin innemiljö - hemma eller på arbetet. När varken exponerings- eller utfallsdata kan kvantifieras i tillräcklig grad går det inte att med gängse statistiska metoder göra meningsfulla sambandsanalyser (fig 7). Både Thörn och Dahlberg menar i sina avsnitt i antologin ”Människan inomhus” att en mera kvalitativ, fenomenologisk metodik måste tillgripas. SBS-problematiken kan förstås först när processen studeras genom systematiska djupintervjuer med de drabbade. Ibland visar det sig då att bland det sjuka husets byggnadsansvariga, inkallade forskare, tekniker av olika slag och de drabbade uppstått en konfliktarena fylld av osäkra analysresultat, spekulationer, misstro, förtroendeklyftor och bristande tillit (fig 8). Här finns fröet till en emotionell uppreglerad känslighet i de sensoriska systemen, som nu riktas mot lukter och irriterande luftföroreningar i den aktuella miljön.

För dessa fenomen har vi inga praktiska kvantitativa mätmetoder att tillgå. Det handlar inte längre om en sjukdom utan om en process med tilltagande ohälsa i både kropp och själ.



Figur 7.



Figur 8.

Tänkbara mekanismer bakom en förhöjd känslighet i luftvägarna

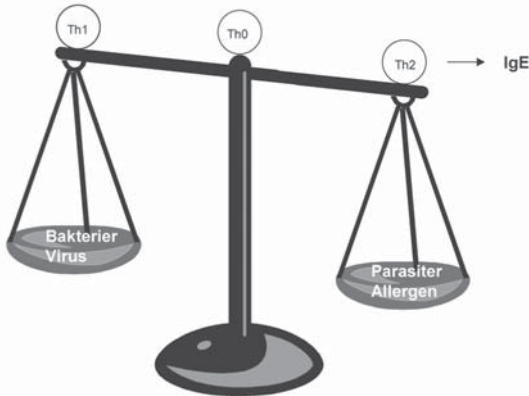
Varken förekomsten av de flesta allergen (undantag husdammkvalster?) eller den genetiska programmeringen hos människan kan ha förändrats på något avgörande sätt under de senast 4 decennierna. Forskarnas förklaring på allergiernas ökade förekomst i västvärlden har varit och är tydligen fortfarande den s.k. hygienhypotesen.

Så här resonerar man

Vårt livsviktiga försvarssystem, immunsystem, har flera alternativa reaktionssätt, avsedda för olika hotbilder - angrepp av bakterier, virus, parasiter eller maligna celler. Repertoaren är ett resultat av selektionstrycket under människans hela historia. Någon minut i 12 ändras hotbilderna för immunsystemet. Förutsättningar förändras. Vi blir renligare, bor inte längre nära våra husdjur, lever i permanenta bostäder, har ändrat matvanorna och botar infektioner med antibiotika. Infektions- och framför allt parasitsjukdomarnas hot mot vår hälsa minskar. Immunsystemet hänger inte med utan fortsätter med ett vaksamt parasitförsvar medan infektionsförsvaret slappnar av. I frånvaro av parasiter stimuleras immunapparaten av organiskt, allergiframkallande material som hamnar på våra slemhinnor, dvs på samma gränssytor som många parasiter når oss. Immunsystemet har inte kunnat skilja mellan allergen och parasiter eftersom bägge är uppbyggda av äggviteämnen.

Den förändrade, renliga livsstilen i västvärlden tycks alltså leda till en dålig utmognad av en typ av immunkompetenta celler (Th1), som aktiveras av bakterier och virus. Th1-cellerna skapar då inte längre en motvikt till de s.k. Th2-lymfocyter som sedan urminnes tider stått beredda till försvar mot parasiter. Balansen i immunsystemet har rubbats! (fig 9) Hela denna hypotesuppbyggnad är biologiskt spektakulär. Den innebär emellertid dels både förenklingar och vissa felaktigheter. Faktum kvarstår dock att prominenta forskare fortfarande menar att mindre renlighet och mer husdjur i hemmen har skyddseffekter. Budskapen är svårsmälta bland annat för Astma- och Allergiförbundet och barnhälsovårdspersonal när det gäller deras rådgivning om allergiförebyggande åtgärder. Skall man verkligen ha husdjur i nära kontakt med nyfödda och skall vi städa mindre? Det krävs mycket pedagogik för att förklara skillnaden mellan primär och sekundär allergiprevention och jag avstår från att fastna i denna uppgift.

Den immunologiska balansen



Beilin -2006

Figur 9.

Finns något ytterligare som förändrats eller tillkommit i vår miljö, som skulle kunna komplettera hygienhypotesen?

Låt oss då se litet längre än till smuts och bakterier! Hela livsstilen har förändrats. Vi lever ju inte endast i en fysisk miljö utan också i ett psykosocialt förändrat sammanhang som skapat olika psykiska miljöhot. Här hänger inte alla skolmedicinare och byggnadsexperter riktigt med, även om ingen förnekar att psykosociala miljöfaktorer kan påverka hälsan. Det har blivit allt svårare att hantera och anpassa sig till vår tids snabba teknologiska utveckling, sociala strukturovandling, förändringar i arbetslivet, informationsfloder, tidsbrist, krav och hot samtidigt som tillit och trygghet på både familje- och samhällsnivå avtagit och skyddsneten tunnats ut. Olika stressjukdomar, ångesttillstånd och depressioner har därför blivit allt vanligare. Den tilltagande psykiska ohälsan står i ett lika klart tids samband med allergiernas ökade förekomst som den tilltagande renligheten.

Kan då mentala och psykosociala faktorer ha något med ökande förekomst av allergi och annan överkänslighet att göra? Personligen är jag övertygad härom. Alltför många forskare har påvisat hur psyke, nerv-, hormon- och immunsystem kommunicerar med varandra genom gemensamma biologiska signalsystem och därför starkt påverkar varandra.

Under vissa stadier av stress påverkas immunsystemet så att framför allt allergiassocierade immunceller (Th2) aktiveras. Den generella aktivering i hjärnan vid stress ("arousal") ökar också känsligheten för sensoriska stimuli, bl.a. för lukter och irriterande luftföroreningar. Mot denna bakgrund finns stor anledning att se de ökande allergi- och överkänslighetsfenomenen i ett "kropp och själ" perspektiv.

Hur kan detta påstående utvecklas? Först och främst måste sägas att många SBS-problem har så uppenbara orsaker att de kan avhjälpas genom enkla, ofta självklara åtgärder. Klagomål på besvärande lukt eller torr luft behöver självfallet inte bero på överkänslighet. Men det är viktigt att veta om särskilda omständigheter och individuella egenskaper har betydelse när överkänslighetssymtom trots omfattande saneringsåtgärder inte upphör, eller några avvikande miljöfaktorer över huvud taget inte kan påvisas.

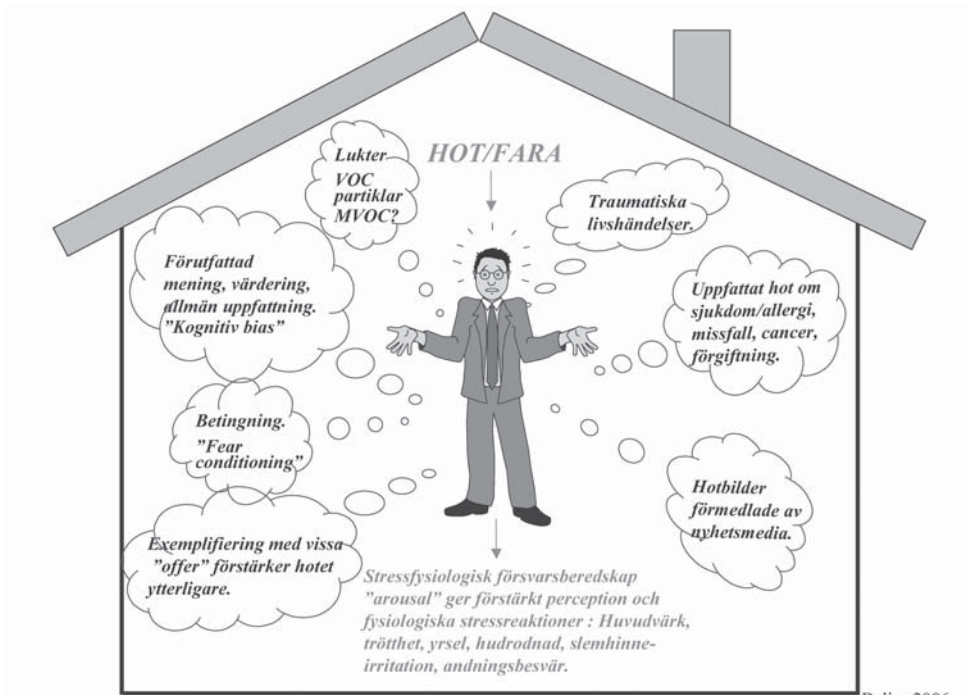
Vissa riskfaktorer finns som gör individen sårbar och kan leda till överkänslighet i miljön. Detta har mycket med stress att göra i kombination med konstitutionella faktorer. Stress är inte de påfrestningar som vi utsätts för utan de kroppsliga och mentala reaktioner som uppstår när vi försöker hantera, "bemästra" livets svårigheter vare sig det gäller traumatiska händelser, sorg, separation, krav, ekonomi- eller relationsproblem; allt som upplevts eller upplevs hotande. Orsakerna till stress, den ackumulerade påfrestningen, brukar kallas distress. Vi kan ha olika sätt att bemästra distress. Stressreaktionen blir allt starkare ju sämre vi förmår hantera och uppnå mental kontroll över påfrestningarna. Behovet av kontroll kan leda till ett sökande efter förklaring till varför man mår dåligt genom s.k. attribution till innemiljön i hem eller arbete. Här är människor olika! Mental tolkning och hantering av den ytterligare stress, som upplevelse av lukt och irriterande ämnen hemma kan innebära, måste också ses mot behovet av trygghet och trivsel i hemmiljön, där avslappning och välbefinnande behövs för inhämtande av nya krafter.

Jag minns väl vår värd Göran Stridhs kommentar för många år sedan efter att han citerat en kort beskrivning av miljön i det klassiska "sjuka" kommunhuset i Gällivare: Där luktade kattpiss och gamla spyor – "Folk blir förbannade när dom upplever sånt!". Den emotionella reaktionen är inte att ta miste på. Vad leder sedan en sådan reaktion till? I bästa fall uppstår ett förtroendefullt förhållande mellan byggnadsansvarig och drabbad part genom öppen kommunikation och adekvata åtgärder.

De negativa känslorna och den skärpta uppmärksamheten ebbar ut. I sämsta fallet bryter kommunikation och åtgärdsprogram samman och de drabbade upplever vanmakt och tilltagande besvär. Lukt och irritation i slemhinnor och hud blir allt obehagligare och allt mer påfrestande. Stressen tilltar. Hos de personer som redan av olika skäl är ”sårbara” startar en sjukprocess, som till sin början uppfattas som SBS, men som efter hand utvecklas till ett MCS-tillstånd.

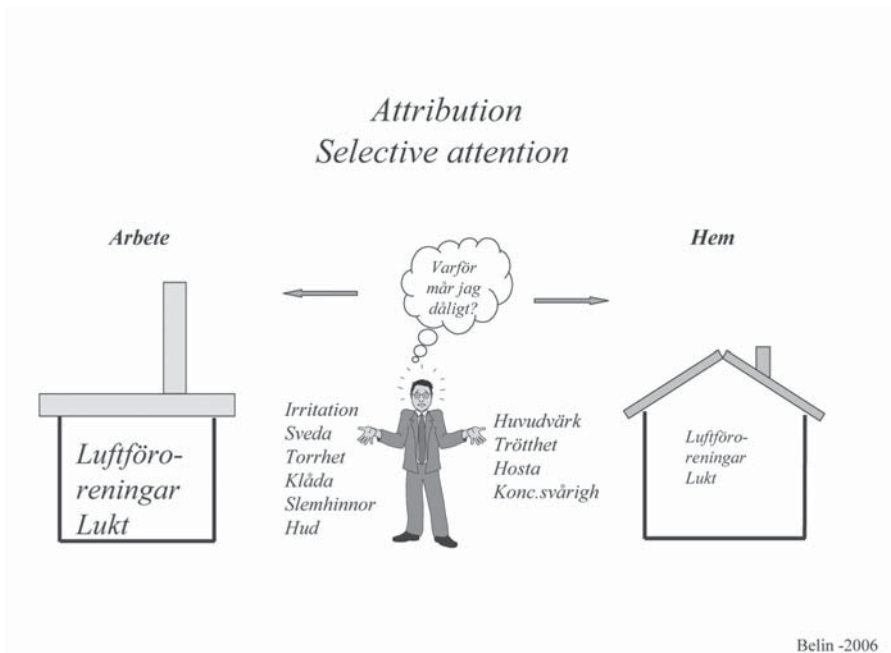
Här spelar vårt luktsinne en viktig roll! Luktsinnet är tidigt utvecklat under evolutionen som ett livsviktigt varningssystem med kort väg till central omkoppling både till snabba emotions- och försvarsreaktioner samt minneslagring för påminnelse om den ursprungliga reaktionen. Dess betydelse har inte helt spelat ut sin roll hos människan. Även människan uppmärksammar omedelbart en luktupplevelse och gör en värdering till vilken en känslomässig reaktion kopplas. Man minns lukter och den känsla som lukten framkallade. Genom betingning återkommer obehag, negativa känslor och kroppsliga, stressfysiologiska reaktioner. Nyare neuropsykologisk forskning talar också för att den sensoriska överkänsligheten vid de nya sjukdomarna med svårförklarliga symtom” som inledningsvis nämndes, kan bero på kognitiva, dvs tankemässiga, feltolkningar och emotionella processer uppkomna dels på grund av ångestfärgade personlighetsdrag och tidigare påfrestningar, dels också genom stark påverkan, från media och andra riskkommunikatörer såsom vänner, bekanta, ”experter” av olika slag. Följden kan bli en ohälsa färgad av ångest – panik, psykofysiologiska reaktioner och allmänt undvikande beteende (fig 10). Vissa drabbade personer har aldrig kunnat återvända till ett välsanerat, tidigare ”sjukt hus”!

För att återvända till de mindre komplicerade kropp-själ aspekterna. Kan det vara så att SBS i många fall är ett attribueringsfenomen? Kan det vara ett sätt att i hem eller arbete söka en orsak till vanliga symtom (trötthet, huvudvärk, näs- och hudbesvär), för att därmed uppnå förståelse och bättre kontroll över tillvaron? Frågan kan ses mot bakgrunden att cirka 20 % av befolkningen anger näsbesvär som varken beror på allergi eller infektion och att en lika stor andel uppger sig vara besvärade av starka dofter. För att inte tala om hur vanligt det är med besvär av trötthet och huvudvärk!



Figur 10.

Attribueringsfrågan har åter blivit aktuell efter en dansk enkätundersökning om förekomsten av vanliga hälsoproblem. I samma frågeformulär till två grupper av slumpvis utvalda personer informerades att frågorna föranleddes av att man saknade kunskap om samband mellan hälsa i hem- respektive arbetsmiljö. Förutom frågorna ledde denna information till att den ena gruppen relaterade upplevda symtom, som var likartade i de två grupperna, mer än 3 gånger oftare till arbetet än den andra gruppen som betydligt oftare kopplade symtomen till hemmiljön (fig 11). Gissa vem som gjorde vad ???



Figur 11.

Referenser

- Cullen MR. The worker with multiple chemical sensitivities: an overview. *Occup Med State Art Rev* 2:655-62. 1987.
- Lövhagen O. Asthma and Asthma-like Disorders *Resp Med* 93:851-55.1999.
- Karin Ringsberg, Eva Millquist, Lena Hillert och Sundell J i "From Witchcraft to Science", Vårdalstiftelsens rapportserie Nr 1/2001.
- Rudblad S. Andersson K. Bodin S. Stridh G. and Juto J.E. Nasal mucosal reactivity among young students and teachers, having no or prolonged exposure to a deteriorated indoor climate. *Allergy* 57: 1029-35. 2002.
- Norbäck D. Wieslander G. Biomarkers and Chemosensory Irritations. *Int Arch Occup Environ Health.* 75:298-304. 2002.
- Thörn Å och Karin Dahlberg i *Människan inomhus, perspektiv på vår tids inomhusmiljö, en antologi.* Stålbom G och Birgitta Johansson Red. T4:2002 ISBN 91-540-5893-7 Formas, Stockholm.
- Engen T. *Odor sensation and memory,* Praeger publ 1992.
- Denise Chen, Pamela Dalton. The Effect of Emotion and Personality on Olfactory Perception. *Chem Senses* 30:1-7, 2005.
- Brauer C. Mikkelsen S. The context of a study influences the reporting of symptoms. *Int Arch Occup Environ Health.* 76:621-4. 2003.

Hjärnans reaktion på signaler från miljön

Lars-Gunnar Gunnarsson

- ❑ Hur hanterar hjärnan signaler från miljön?
- ❑ Hur påverkas urvalet av information till hjärnan av andra faktorer? Vilken betydelse har stress?
- ❑ Hur påverkas hjärnan (kropp och själ) av dessa signaler? Har vi möjligheter att interвенера?

Hud och slemhinnor utgör våra kontaktytor med omgivningen och påverkas av miljöfaktorer av fysisk, kemisk eller biologisk natur. När dessa är retande (svagt vävnadsskadande) reagerar hud eller slemhinna med svullnad och rodnad. I slemhinnorna ökar också produktionen av slem, som skapar ett skyddande lager mot omgivningen. Retning kan yttra sig lokalt som sveda, klåda, stickande obehag eller andra sensationer men kan också ge symtom från närområdet i form av spända och ömma muskler eller muskelryckningar.

Ibland utvecklas en ökad känslighet för retning från olika miljöfaktorer. Detta kan bero på att hud och slemhinna skadats och fått sämre skydd mot omgivningen eller på att nervändar i hud och slemhinna förändrats så att de blivit mer känsliga och reagerar för svagare stimulering än normalt. Det senare kallas för sensorisk hyperreaktivitet (sinnesorganen överreagerar) och har framför allt beskrivits i luftvägarna (se Lars Belin, fig 4, sid 37).

Hjärnans hantering av signaler från miljön

Genom våra sinnen (syn, hörsel, smak, lukt och känsel) får vi information om omgivningens beskaffenhet. Sinnesorganens aktivering är grunden för hjärnans reaktioner på olika miljöfaktorer, men den individuella upplevelsen varierar och påverkas av tidigare erfarenheter, individens tanke-mönster, aktuell stressnivå, oro mm. Signaler från sinnesorganens nervändar, som finns i alla våra organ (hud, slemhinnor, inre organ mm), skickas vidare till hjärnan för bedömning.

Informationsflödet från såväl den yttre miljön (omgivningen) som inre miljön (egna kroppen) till hjärnan motsvarar flera miljoner bits/sekund, vilket kan jämföras med att informationsflödet i bredbandsnätet vanligtvis är ett par miljoner bits/sekund. Vår medvetna hjärna kan endast hantera en

bråkdel av denna information (några tiotal bits/sek) varför vi medvetet upplever endast den information som har nyhetsvärde. Detta skall vi nog vara tacksamma för då det skulle vara ganska krävande att ständigt vara medveten om klädernas tryck mot kroppen, tarmarnas kontinuerliga arbete, hur våra leder rör sig, mm. En stor del av informationen hanteras således omedvetet och automatiskt.

Stressens betydelse för urvalet av information till hjärnan

Med hjälp av i hjärnan centralt belägna ”vaktposter” avsöks informationsflödet från sinnesorganen och jämförs med tidigare erfarenheter och minnen. Allt som är nytt (sk stressorer) släpps vidare både för en medveten granskning och för en automatisk kontroll av om detta sinnesintryck tidigare varit inblandat i något som varit farligt eller gett oss obehag. I det senare fallet aktiveras hjärnans alarmsystem, vilket är vad vi i dagligt tal kallar kroppens stressreaktion. Dess syfte är att öka vår beredskap för kamp eller flykt genom skärpning av sinnen och reaktionsförmåga samt mobilisering av kraft och energi. Stressreaktionen känner vi i både kropp (hjärtklappning, snabb andhämtning, muskelspänningar, sug i magen, mm), sinne (fokuserad, tunnelseende) och känsla (taggad, lättretad).

Under perioder sitter vi fast i ekorrhjulet och hinner bara göra det vi absolut måste och ofta inte ens det. För att hinna med så väljer vi bort socialt umgänge, fritidsaktiviteter och sånt som vi tycker är roligt men hoppas få tid med detta senare. Under sådana perioder av högre stressnivå än normalt tär vi på kroppens reserver. Då ökar behovet av vila och sömn men istället ger vi allt mindre tid för återhämtning. Resultatet blir att vi drabbas av olika symtom på utmattning. Sömnen blir dålig, vi blir trötta och känner oss tömda på energi. Minnet och koncentrationsförmågan försämras. Vi känner oro och olust och orkar inte ta itu med problem. När vi mår så här förmår inte vår hjärna sälla informationen utan vi blir mer känsliga för sinnesintryck. Vi blir extra känsliga för starka eller växlande synintryck och ljud.

Rädsla och oro (kortvarig stress) skärper således våra sinnen och signalerna förstärks från de områden där vi anar fara, exempelvis lukt från ett rum med misstänkt mögel eller lukt av lösningsmedel. Om vi istället är slitna och trötta så blir vi allmänt mer känsliga för alla signaler oavsett om vi är rädda för dem eller inte. Detta gäller både signaler via våra sinnen från miljön men också från våra kroppar. Därför ser man att personer i sådana

situationer rapporterar besvär av både allahanda miljöfaktorer och olika kroppsliga symtom och obehag.

Inverkan från andra faktorer

Omgivningsfaktorer som skapar obehag (smärta eller skada) orsakar starka signaler. Det bildas minnespår i nerverna så nästa gång går signalerna ändå lättare fram för att vi så tidigt som möjligt skall uppmärksamma faran och kunna skydda oss. När signalerna når upp till hjärnan lagras de som var kopplade till obehag och nästa gång en matchande signal kommer så startar en alarmreaktion, som nämndes i föregående stycke.

Vårt nervsystem är dynamiskt och påverkas av mängden inkommande information. Eftersom hjärnan kan få ta emot flera miljoner signaler per sekund med information om omgivande miljö så gallras det mesta bort. När vi är i en signalfattig miljö blir konkurrensen mindre och varje signal får därför ett större nyhetsvärde, dvs den släpps lättare upp till den medvetna hjärnan. Därför blir vi mer känsliga för miljöfaktorer om vi är vakna på nätterna och i andra liknande situationer.

Vår känslighet för nervsignaler om vår miljö påverkas också av värk och stämningsläge. Långvarig värk skapar stress och dålig sömn, vilket gör oss mer lättstörda av miljöfaktorer. Är vi glada och mår bra kan vi tåla en hel del miljöpåverkan utan att reagera eller må dåligt. Motsatsen gäller när vi är slita, ledsna eller deppiga.

Signalernas inverkan på hjärna, kropp och själ

Om sinnesintryck eller alarmreaktioner är kraftiga skapar de obehag. Genom klassisk betingning kan obehagliga upplevelser omedvetet associeras till yttre faktorer. Den ryske fysiologen Pavlov visade redan på 1930-talet att om hundar exponerades för ljudsignaler samtidigt med att mat serverades, så räckte det efter en tid med ljudsignaler för att magsyra skulle börja produceras hos hundarna. Med andra ord, produktion av magsyran hade betingats till ljudsignaler.

Luktsinnet är nära lokaliserat till samma områden i hjärnan som ”vaktposter och alarmsystem” och därför blir obehag extra lätt kopplat (betingat) till olika lukter. En hälsoenkät besvarades år 2000 av 25000 personer ur den vuxna befolkningen i södra Sverige och 17 % uppgav att de under senaste 14 dagarna känt obehag som de förknippade med lukter

[Carlsson 2005]. Var fjärde av dem (totalt 4 %) uppgav att lukterna varit mycket besvärade. Det frågades också om andra miljöfaktorer. Totalt uppgav 30 % att de känt av besvär från någon av dessa miljöfaktorer (lukter, kemikalier, lysrör, bildskärmar) och 6 % rapporterade att faktorn varit mycket besvärande. Högre frekvenser rapporterades från kvinnor och personer som stod utanför arbetsmarknaden (pensionärer och arbetslösa). Personer som upplevde sig stressade eller hade en ogynnsam arbetssituation (höga krav och lågt inflytande) rapporterade också betydligt oftare att de besvärades av miljöfaktorer. Detta talar för att andra faktorer än inomhusmiljön kan ha väl så stor betydelse för individuella reaktioner. Sådana omständigheter kan vara vilken kunskap och förväntningar jag har, hur den information jag fått förmedlats och min tolkning av om symtomen utgör en fara eller ej.

I en nyligen publicerad artikel i Läkartidningen presenterades bl a resultaten från en aktuell dansk doktorsavhandling av Charlotte Brauer [Thörn 2006]. Ett frågeformulär med symtom som brukar förknippas med sjuka hus besvarades av drygt 2000 personer som på förhand slumpmässigt delats in i två grupper. I informationsbrevet till den ena gruppen (H) skrev man att ”kunskap om samband mellan innemiljö och hälsa saknades för hemmiljön” medan lydelsen till den andra gruppen (A) var ”kunskap om samband mellan innemiljö och hälsa saknades för arbetsplatser”. Båda grupperna rapporterade ungefär lika många symtom men grupp H uppgav tre gånger så ofta att symtomen berodde på hemmiljön. Ett år senare besvarade 1400 av de ursprungliga personerna en enkät med samma symptomfrågor. Då hade också symptomprofilerna förändrats i riktning mot hemrespektive arbetsmiljön.

Dessa resultat visar att förväntningar och uppmärksamhet har stor betydelse för upplevelsen av kroppsliga symtom. Om vi får information om att kunskapsläget är osäkert eller att något kanske är farligt så får vi en automatisk förstärkning av nervsignaler från de kontaktytor vi har med denna miljöfaktor. Och upplevelsen av dessa förstärkta nervsignaler skapar i sig ökad oro, som ytterligare förstärker nervsignalerna. Onda cirklar skapas, vilket också den danska studien bekräftade.

Betingning sker inte bara till lukter och ljud utan också till synintryck (exempelvis elektrisk utrustning, sprutor, sjukhus mm) och situationer, som skapar obehag. Vid upplevelse av samband mellan obehag och en

miljöfaktor brukar personen försöka undvika denna specifika exponering. Successivt sprids den omedvetna kopplingen också till andra sinnesintryck som uppkom i samband med den specifika miljöfaktorn. Detta ligger utanför personens kontroll, men mekanismen är automatiska feltolkningar i individens hjärna. Dessa mekanismer kan förklara varför en del personer har svårt att tolerera specifika miljöer även efter att omfattande, miljöförbättrande åtgärder genomförts.

Möjligheter till intervenering

Agerandet vid den första kontakten med en person som upplever sig ha fått besvär av inomhusmiljön kan avgöra hela den fortsatta utvecklingen. Centralt är att skapa tillit och trovärdighet genom ett respektfullt bemötande och genom att ge tid till att lyssna på oro och frågor angående miljön. Vid denna första kontakt är det viktigt att lyssna, inte tolka symptom eller diskutera samband. Det gäller att försöka förstå besvärens karaktär och svårighet och vilka konsekvenser de orsakar. Det är också viktigt att försöka lyssna in om personen känner sig motarbetad eller negligerad av arbetsgivare eller hyresvärd. Ligger det något annat bakom, en konflikt eller kränkning, som gör att personens hjärna omedvetet förstärker nervsignaler från den aktuella miljön? När önskemål framförs om åtgärder och mätningar gäller att vid denna första kontakt inte lova sådant som man inte kan hålla.

Nästa steg är att skapa en allsidig belysning av problemens omfattning. De miljöfrågeformulär som utvecklats i Örebro [MM-formulär] kan vara till god hjälp för att beskriva omfattning och utbredning av symptom hos dem som finns i samma inomhusmiljö. Formulären ger också utmärkta möjligheter att följa effekten av eventuellt genomförda miljöförbättrande åtgärder.

När detta är gjort har man ofta beslutsunderlag för ställningstagande till tekniska mätningar [Andersson 2005]. Men innan mätningar utförs skall man ha klart för sig hur olika mätresultat skall tolkas och vilka nivåer som skall gälla för att olika åtgärder skall genomföras. När resultatet av mätningarna sedan skall presenteras är det viktigt att genom basala kunskaper undvika fällor och fallgropar vid riskkommunikationen [Chess 1992].

Under hela utredningen är det viktigt att upprätthålla en förtroendeskapande dialog med personerna som upplever besvär. Då minskar risken för oro och förstärkta nervsignaler i hjärnan och förutsättningar skapas för att besvären successivt skall avta.

Referenser

Andersson K, Stridh G, Gunnarsson L-G. Utredningstrappa i tre steg – fråga först och mät sedan. VVS teknik installation 2005 okt:10-12. www.orebroll.se/ymk

Carlsson F, Karlsson B, Orbaek P, Osterberg K, Ostergren PO. Prevalence of annoyance attributed to electrical equipment and smells in a Swedish population, and relationship with subjective health and daily functioning. Public Health. 2005 Jul;119(7):568-577.

Chess C, Hance BJ, Sandman P. Bättre dialog med allmänheten. Yrkes- och miljömedicinska kliniken, Örebro, Rapport 92:1 (E-post: wenche.aslaksen@orebroll.se).

MM-formulär, Örebro. www.orebroll.se/ymk

Thörn Å. Epidemiologi och sjuka hus-syndrom – en olämplig kombination. Läkartidningen 2006;103:121-122.

Luftkvalitet og besvær

Peder Wolkoff

- ❑ Beskriv det pågående arbejdet for at vurdere kvaliteten på inomhusluften. Vad betyder lukter?
- ❑ Känner man orsaken till varför många upplever ögonbesvär i kontorsmiljöer?
- ❑ Är det möjligt att utveckla gränsvärden för inomhusluft?

Vad er luftkvalitet, og vad er lugt og sensorisk irritation?

Der findes ikke en entydig definition på ”luftkvalitet”, det afhænger delvis af hvilken fagdisciplin. Ved luftkvalitet (indoor air quality) forstås den kemisk-fysisk-mikrobiologiske sammensætning af indeluften, dette begreb anvendes også om udeluften. Luftkvalitet kan også opfattes som den måde, hvorpå indeluften opleves (perceptionen), og her spiller fugt og temperatur ind. Begrebet ”luftkvalitet” er populært inden for ventilationsbranchen. Det skyldes at man her fokuserer på, hvordan luftkvaliteten umiddelbart opleves ved indtræden i et lokale. Målet er, at 80% af et naivt panel skal være tilfredse ved indtræden i en bygning/lokale ifølge den amerikanske standard for ventilation (ASHRAE 62-2001). Det, der imidlertid er relevant i arbejdsmiljø-/indeklimateæssig sammenhæng, er i hvilken grad, hvordan og hvor hurtigt symptomer udvikles hen over arbejdsdagen. Det gælder især udvikling af sensorisk irritation (øjne og luftveje), træthed og hovedpine. Der er nemlig ikke nødvendigvis en sammenhæng mellem den umiddelbart oplevede luftkvalitet og symptomudviklingen, jævnfør (Bluyssen et al., 1996; Wolkoff et al., 1991).

Besværsområdet, der er relevant for indeklimate, befinder sig i koncentrationsområdet mellem lugtperception og sensorisk irritation. Det er derfor vigtigt at skelne mellem den umiddelbart oplevede luftkvalitet, der i vid udstrækning er et lugtindtryk- et ”flashindtryk”, og luftkvaliteten der opleves efter længere tids eksponering, for eksempel i løbet af en arbejdsdag, og kan udvikle sig til sensorisk irritation. For eksempel, i et klimakammerstudium blev forsøgspersoner over 6 timer eksponeret for en syrehærdende lak på en spånplade. Kammerluften var domineret af formaldehyd (ca. 1 mg/m³) og butylacetat (ca. 0,4 mg/m³) (Johnsen et al., 1991; Wolkoff et al., 1991). Luftkvaliteten blev vurderet af et naivt lugtpanel og forsøgspersonerne. I modsætning til lugtpanelet, rapporterede forsøgspersonerne

sensorisk irritation i løbet af de 6 timer, mens det lugtpanel oplevede dårlig luftkvalitet, men ikke sensorisk irritation inden for tidsrammen af den sensoriske vurdering på ca. ½ minut. Dette illustrerer hvor vigtig ”tiden” er i udvikling af sensoriske symptomer.

Lugt

I modsætning til sensorisk irritation i øjne, næse og svælg, der opbygges over tid i indeklimamæssige sammenhænge, opleves lugt momentant, da lugt har en stejl tids-effekt kurve (Berglund and Lindvall, 1992; Seeber et al., 2002). Lugtindtrykket spænder vidt fra behagelige (fx perfume- og blomsterduft) til ubehagelige (fx rådne æg) (Duffee and O'Brien, 2000; Distel et al., 1999). Lugt og luftkvalitet i indemiljøet er knyttet tæt sammen.

VOC'er er lugtstoffer

Det er især de organiske dampe (VOC'erne), der er ansvarlige for luftkvaliteten. Mange VOC'er, der stammer bl.a. fra byggematerialer og produkters emission, nabo-industri, trafik eller forurenede grunde, har lave lugt-tærskler. Den umiddelbart oplevede luftkvalitet i et indemiljø, er derfor det integrerede lugtindtryk af forskellige samtidigt tilstedeværende VOC'ers virkning. I nogle tilfælde vil et eller flere stoffer kunne dominere lugtindtrykket. Tilstedeværelsen af partikler kan også påvirke lugtindtrykket og lugtintensiteten, især hvis de er ”bærere” af lugtstoffer, jvf (Botcher, 2001).

Effekter og mekanismer af lugte/VOC'er

VOC'er kan fremprovokere symptomer eller effekter ved mindst tre forskellige overordnede mekanismer (Schiffman and Williams, 2005):

1. Sensorisk irritation er dominerende: Er koncentrationen af et eller flere VOC'er på niveau med irritationstærsklen, vil det normalt resultere i sensorisk irritation i øjne og luftvejene (bottom-up proces). Så høje koncentrationer af VOC'er forekommer dog normalt ikke i indemiljøer, hvorfor mekanismen ikke er relevant i normale indemiljøsammenhænge. Formaldehyd kan dog være en undtagelse. Lugten fra VOC'erne kan have en maskerende effekt (Cain and Murphy, 1980; van Thriel et al., 2003), således at sensorisk irritation ikke registreres ved vurdering af byggematerialers emission (Wolkoff et al., 1991).

2. Under tærskelniveau for sensorisk irritation: Der foreligger ikke entydige kausale sammenhænge mellem udvikling af symptomer ved VOC koncentrationer imellem lugttærsklen og tærsklen for sensorisk irritation. De entydige sammenhænge er knyttet til de forskellige lugtkarakteristika (intensitet og hedonisk indtryk). Der er fire mekanismer, som kan knyttes til symptomudviklingen (Dalton, 2003):
 - i) Hvis det hedoniske indtryk vurderes som ubehageligt, dvs ”dårlig” lugt, vurderes luftkvaliteten generelt som uacceptabelt i den vestlige verden. Lugtindtrykket kan have en forstærkende effekt på symptomudviklingen gennem en negativ påvirkning af stemningsleje og dermed øge stresspåvirkningen.
 - ii) Det oplevede lugtindtryk kan forveksles med sensorisk irritation (Dalton, 2003; Engen, 1986). Mange har til stadighed let irritation i øjne og luftveje, som vi er ubevidste om. Hvis vi blev bekymret over farligheden af en lugt, kan vi blive opmærksom på tilstanden, og tro at den skyldes lugten.
 - iii) Symptomer kan være tillærte på basis af tidligere negative erfaringer (individpsykologiske effekter via en top-down proces) (Devries et al., 2004a; Devries et al., 2004b; Van den Bergh et al., 2002; Shusterman, 2002).
 - iv) Ændring i vejrtrækningsmønstret især ”dårlige lugte” vil kunne sænke respirationen (Danuser et al., 2003; Schiffman and Williams, 2005).
3. Lugtstofferne forekommer sammen med andre luftforureninger. Stoffer, der har en biologisk/sundhedsmæssig effekt, fx endotoxiner (fugtskadede bygninger), kan være bærere af lugtstofferne, således at lugtindtrykket er surrogat for en biologisk aktiv eksponering.

Vurderingen af en lugt afhænger af en række personlige faktorer, hvor informationsflowet samtidigt foregår både som bottom-up proces, før aktivering af lugtreceptorerne, og som top-down proces (Smeets and Dalton, 2005). Bottom-up faktorerne er bl.a. adaptation (tilvænnning, en fysiologisk proces), mens nuværende og tidligere eksponering for og erfaring med den givne lugt, forventninger og formodning om den sundhedsmæssige risiko er en top-down proces. Lugtvurderingen kan afhænge af både individpsykologiske (fx stemningsleje og personlighedstype), men i høj grad også af eksterne miljøfaktorer (Dalton, 2003; Sucker et al., 2001). Især kan formodede sundhedsrisici, der er forbundet med lugten, have betydning (Bell and Paton, 2001). Det er imidlertid vigtigt at være opmærksom på begrænsningen i disse funds generaliserbarhed til indemiljøforhold. Dette skyldes, at resultaterne er baseret på undersøgelser, hvor personerne generelt har været udsat for betydeligt højere

lugtkoncentrationer end, hvad der normalt forekommer i indemiljøer. Ekstrapolation til indemiljøforhold skal derfor tages med forbehold. Alt andet lige er det dog rimeligt at antage, at tilvænning via erfaring kan mindske ”frygten” for eventuelle sundhedsrisici, fx (Distel et al., 1999).

Kan lugte resultere i sundhedseffekter?

Meget peger på, at lugte har en effekt, men hovedsagelig af ”psykologisk” karakter (Ilmberger et al., 2001), idet der ikke foreligger belæg for, at dårlig lugt (dårlig luftkvalitet) resulterer i objektive sundhedsmæssige påvirkninger, fx sensorisk irritation (Cavalini et al., 1991; Rosenkranz and Cunningham, 2003). Inden for den industrialiserede verden vurderes ”dårlig lugt” generelt som uacceptabelt, jævnfør (Ayabe-Kanamura et al., 1998), og det medfører normalt til rapportering over dårlig luftkvalitet. Der er flere indikationer på, at nogle lugte har indflydelse på rapporteringsmønstret for symptomer, for eksempel selv-rapporteret helbredseffekter, produktivitet og stemmeleje, dog uden at der er påviselige objektive tegn for så vidt angår helbred (Gilbert et al., 1997), jævnfør (Herz, 2002). En uidentificeret lugtkilde kan give anledning til et negativt stemningsleje, og dermed medvirke til at sænke den hedoniske lugtkvalitet, samt eventuelt også øge arousal-niveaue. Psykofysiologiske ændringer kan dog ikke udelukkes i forbindelse med lugte, for eksempel fra svinefarme (Avery et al., 2004).

Det er vigtigt at holde sig for øje, at det kan være vanskeligt at adskille lugtindtryk fra sensoriske irritation (Dalton, 2003). I den forbindelse er det velkendt, at personer med normal lugtesans (normosmikere) har en lavere tærskel for sensorisk irritation end personer, der har mistet lugtesansen (anosmikere) (Doty et al., 2004). Det kan derfor ikke udelukkes, at et kraftigt lugtindtryk resulterer i rapportering, fx af øjenirritation eller bekymring om potentielle sundhedseffekter, selvom de målte koncentrationer ligger langt under tærskler for eksempel sensorisk irritation, jf (Schiffman et al., 2005). I nogle tilfælde kan lugte ”trigge” et indeklimasyndrom (Opiekun et al., 2003; Devries et al., 2004a; Van den Bergh et al., 2002; Winters et al., 2003), muligvis på grund af noget ”ukendt kemi”, men også i forbindelse med en tidligere oplevelse af en ubehagelig lugt. Personlige forhold kan spille en rolle. For eksempel, udviser personer med ”moderat” perfume-kontaktallergi en større hyppighed og styrke i rapportering af sensorisk irritation end personer, der ikke har pågældende allergi, fx (Elberling et al., 2004; Shusterman et al., 2003). Rapporteringen af

symptomer som hovedpine, træthed, svimmelhed og sensorisk irritation afhænger i høj grad i hvilken kontekst personer bliver eksponeret for lugte (Dalton, 1996). En tredive minutters relativ høj eksponering for to kendte duftstoffer fremviste ingen øjen eller nasale ændringer hos personer med moderat astma i forhold til ren luft (Opiekun et al., 2003); astmatikere betragtes ofte som mere følsomme med hensyn til fysiologiske påvirkninger. Der er heller ikke umiddelbart belæg for, at såkaldt IEI (idiopathic environmental intolerance) patienter skulle have en lavere lugttærskel end normale personer (Doty, 1994; Kiesswetter et al., 2005) (jævnfør (Staudenmayer et al., 2004)).

Øjenirritation i kontormiljøet og kan det forklares ved kemiske luftforureninger?

Øjenirritation

Øjenirritation er blandt de hyppigst rapporterede klager (Kjærgaard, 2000), og blandt de hyppigste årsager til afbrydelser i kontorarbejdet (Hedge et al., 1989). Oplevelsen ”tør luft” på arbejdet er associeret med klager over irritation i øjne og øvre luftveje, men ikke nødvendigvis med den målte relative fugtighed (Sundell and Lindvall, 1993). Dette har været medvirkende til at fastholde hypotesen om, at luftens fugtighed ikke havde betydning for slimhindeirritation i øjne og øvre luftveje, men at årsagen måtte søges i luftforurening af indeluften.

”Tørre øjne” er en klage, der ofte behandles hos oftalmologer. En entydig diagnose af indemiljø-relateret øjenirritation er imidlertid vanskeliggjort, fordi symptomet mindskes eller helt forsvinder uden for kontormiljøet. I den oftalmologiske indfaldsvinkel til ”tørre øjne” er det dessiccation af tårefilmen (det præcorneale lag), inflammation, hypoproduktion af tårevæskens komponenter, der er de fremherskende faktorer (Tsubota, 2002). Fysiske og kemiske årsager har været de væsentlige inden for indemiljøforskningen, idet man antog, at det drejede sig om forbigående sensoriske effekter uden målbare objektive ændringer. Derfor er en tværfaglig indfaldsvinkel på øjenirritation i kontormiljøet nødvendig. Dette er muligt ved, at viden fra oftalmologien og indemiljøforskningen, herunder humane eksponeringsforsøg, bliver vurderet samlet.

Øjenirritation er kompleks

Øjenirritation er et kompleks af flere symptomer, hvor irriterede, sviende, kløende, tørre og trætte øjne er de væsentligste (Wolkoff et al., 2003). Øjensymptomer opleves forskelligt, men skyldes sensoriske impulser fra den okulære overflade medieret via Trigenimusnerven (Franck et al., 1993); der er derfor perceptuelt overlap mellem nogle af symptomerne. Både danske og internationale undersøgelser viser, at prævalensen af klager over øjensymptomer i kontorbygninger varierer mellem 5–40 % blandt andet afhængigt af hvilket arbejde, der udføres, og hvilken type kontor. Det er dog generelt, at klageprocenten blandt kvinder er højere end hos mænd (Wolkoff et al., 2003).

Trods mange års forskning er det endnu ikke lykkedes konsistent, at identificere årsager i indeklimaet til øjenirritation, men snarere at pege på nogle risikofaktorer (Wolkoff et al., 2003), som er vanskelige at fortolke i en årsags-sammenhæng; eksempelvis er det gentagne gange blevet påvist, at personer, der arbejder i "air conditionerede" bygninger, har en højere risiko for bl.a. øjenirritation end personer, der arbejder i naturligt ventilerede bygninger (Mendell, 2004), men hvorfor dette er tilfældet vides endnu ikke.

Hvorfor er det vigtigt at blinke?

Øjeæblet med hornhinde og tilgrænsende bindehinde er dækket af en beskyttende tynd væskefilm, tårefilmen, der yderst dækkes af et fedtlag, se Figur 1. Øjet blinker normalt 10-20 gange i minuttet. Blinkprocessen er vigtig, fordi den fornyr tårefilmen og fedtlaget. Et af fedtlagets væsentlige funktioner er at forhindre fordampning (Bron et al., 2004) og derved forhindrer udtørring af øjet, hvilket kan opleves som øjenirritation/træthed. Tårevæsken fra tårekirtlerne pumpes ud i hornhinden og sclerae og samtidig forsegles der med et tyndt lipid/olielag fra de Meibomske kirtler. Nerveimpulser fra hjernen, øjets slimhinde og cornea udløser nye blink via en blinkgenerator, bevidste og ubevidste (reflex) blink (Sibony and Evinger, 1998), idet blinkfrekvensen følger en sekvens af ca. 5-10 minutters varighed (Doughty, 2001; Nøjgaard et al., 2005), men mange eksterne faktorer influerer på blinkfrekvensen, jævnfør (Wolkoff et al., 2003; Wolkoff et al., 2005).

Flere arbejdsrelaterede faktorer bremser den naturlige blinkfrekvens, for eksempel computerarbejde og dårlig belysning (Wolkoff et al., 2003).

Ved computerarbejde blinker man to til tre gange mindre end ved afslappede forhold. Konsekvensen bliver en tynd eller utilstrækkeligt dækkende tårefilm, der bliver ustabil og bryder op, og der kan forventes en markant øget fordampning fra tårefilmen (Wolkoff et al., 2005; Craig and Tomlinson, 1997b). Sker opbrydningen før et nyt blink har udlagt ny tårefilm, øges vandfordampning derfra, og der opstår tørre pletter på øjet, se Billede 1. Der er netop fundet en moderat korrelation (på 0,33-0,75) mellem opbrydningstiden (break-up time, BUT) og blinkfrekvensen (Nakamori et al., 1997; Collins et al., 1989; Prause and Norn, 1987; Yap, 1991; Isreb et al., 2003), men mange andre forhold, overvejende i det ydre øje influerer på blinkfrekvensen sammen med opgavesituationen (Wolkoff et al., 2005; Franck et al., 1993; Doughty, 2001; Nakamori et al., 1997). De tørre pletter vil i løbet af arbejdsdagen føre til forskellige grader af øjentørhed, oplevelse af øjentræthed, irritation, og nedsat synskvalitet (læsbarheden), fordi tårefilmen bliver opbrudt, jævnfør referencer i (Wolkoff et al., 2005). Dette fører til øget behov for afbrydelse i arbejdet, samtidig med at processen, der kan være selvforstærkende, afhænger af flere faktorer (Wolkoff et al., 2003). Blehm et al. har postuleret i forbindelse med intensivt computerarbejde, at nedsat blinkfrekvens kan føre til Meibomian dysfunctions (Blehm et al., 2005).

Tårefilmen ændres ved computerarbejde

Undersøgelser i kontorbygninger har netop vist en vis sammenhæng mellem især rapporteret øjenirritation og objektive ændringer i tårefilmen. For eksempel har man observeret et tyndere fedtlag (end hos normalbefolkningen) hen over dagen, ustabil tårefilm, og tørre pletter på øjnene hos kontoransatte, der arbejder i en bygning med høj klageprocent over indemiljøsymptomer ("syg bygning") (Franck and Skov, 1989; Franck, 1991; Franck et al., 1993; Franck, 1986; Brasche et al., 2001). Dette stemmer overens med en generel stigning af rumtemperaturen hen over dagen, ligesom klageprocenten over øjensymptomer stiger hen over dagen (Begley et al., 2002).

Lav fugtighed udtørre øjnene

De termiske faktorer ændrer kvaliteten af tårefilmen (Wolkoff et al., 2005). Alt tyder på, at høj relativ fugtighed har en gavnlige virkning på tårefilmens struktur, mens den lettere bryder op og danner tørre pletter ved lav relativ fugtighed og høj rumtemperatur (Paschides et al., 1998; Smedbold et al., 2001a). Generelt stiger rumtemperaturen og den relative

fugtighed falder i kontorer i løbet af dagen, og der er da også fundet, at en lavere rumtemperatur medførte færre klager over øjensymptomer i et blindet cross-over studium (Mendell et al., 2002). Blinkfrekvensen reguleres delvist af temperaturfaldet henover hornhinden; en høj rumtemperatur nedsætter derfor blinkfrekvensen, og samtidig med at vandtabet forøges af en dermed følgende lavere relativ fugtighed på grund af den stigende temperatur, jf. (Wolkoff et al., 2005). (Bron et al., 2004) har desuden fremsat hypotesen, at fedtlaget er mere stabilt ved lav temperatur frem for høj temperatur. Det er derfor vigtigt at undgå alt for lav fugtighed i kontormiljøet, især ved intensivt computerarbejde. Her stilles høje visuelle og/eller kognitive krav, der ændrer tårefilmen, blandt andet på grund af den øgede fordamning forårsaget af dels lavere blinkfrekvens og dels større okulært areal, derfor bør en lav synsvinkel anvendes, dog uden af nakke-skulder-regionen belastes unødigt (Nielsen et al., 2005); brug af kontaktlinser, især ved lav relativ fugtighed, kan være associeret med øget udtørring, se referencer i (Wolkoff et al., 2005).

En ændret tårefilm vil alt andet lige være mere følsom over for høj luftpåstrøelse end en intakt tårefilm, idet for høj luftpåstrøelse, både op- og nedadrettet, mindsker det beskyttende præokulære grænselag af luft. En længerevarende udtørring kan medføre vedvarende tørre øjne med daglige gener til følge, for eksempel Meibonitis (Blehm et al., 2005).

Endvidere tyder det på, at effekten af eksponering for slimhindeirriterende stoffer er større ved lav end ved høj relativ fugtighed, både i dyrekkeeksperimentelle forsøg og human eksponering af øjet, jævnfør (Wolkoff et al., 2006). Dette skyldes blandt andet, at høj præokular relativ fugtighed under kliniske betingelser har vist sig at have en stabiliserende effekt på tårefilmens tykkelse (Korb, 2002; Farris, 1997), der også er korreleret negativt med vandfordampningen og positivt med BUT (Craig and Tomlinson, 1997a; Isreb et al., 2003; Nichols et al., 2002). Dette bestyrkes i en feltundersøgelse af kontorarbejdere, hvor høj relativ fugtighed tilsyneladende viste sig at have en stabiliserende effekt, det vil sige at BUT øges (Brasche et al., 2005). Lignende associationer er observeret i epidemiologiske (Paschides et al., 1998; Smedbold et al., 2001b) og klimakammerundersøgelser (Kjærgaard et al., 2004). Alternativt vil en høj relativ fugtighed kunne ændre sammensætningen af den kemiske eksponering, så den indeholder færre slimhindeirriterende luftforureninger, jævnfør (Wolkoff et al., 2006).

Kemiske luftforureningers betydning for øjenirritation

Det ydre miljøes luftkvalitet kan sandsynligvis påvirke tårefilmen, fx under transport til arbejde (Saxena et al., 2003), hvorved tårefilmen allerede fra morgen af kan være ændret og måske være mere modtagelig overfor indemiljøpåvirkninger, fx slimhindeirriterende luftforureninger. Re-etablering af tårefilmen skønnes at være ca. en time under normale forhold (Korb, 2002). Derimod er der ikke belæg for, at byggematerialers afgasning af opløsningsmidler (såkaldte VOC'er) øger forekomsten af øjensymptomer, ej heller støvpartikler i indemiljøet, jævnfør (Wolkoff et al., 2003). Undtagelsen er formaldehyd og andre kemiske oxidationsprodukter, som dannes ud fra bl.a. ozon i indemiljøer (Wolkoff et al., 2006).

Øjensymptomer kan derfor være forårsaget af en kombination mellem kemiske/fysiske påvirkninger. De opleves imidlertid først rigtigt generende i kombination med andre påvirkninger, hvilket kan være lav relativ fugtighed, ergonomiske, psykosociale samt individ-psykologiske faktorer, der er associeret med de organisatoriske/ledelsesmæssige, og arkitektoniske forhold i kontorerne. Det ofte rapporterede symptom ”tør luft” kan i lige så høj grad tilskrives ”tørre/irriterede øjne”, da begge perceptioner medieres via Trigenimusnerven.

Er der andre årsager til øjenirritation end luftforureninger?

Øjenirritation, kan også skyldes øjensygdomme (allergisk konjunktivitis, Sjøgrens sygdom og meget andet) (Blehm et al., 2005; Gilbard, 1999). Af andre årsager kan nævnes brug af øjendråber med konserveringsmiddel, medicinering, fx antihistamin baserede produkter (Craig, 2002), samt brug af kontaktlinser, jævnfør (Wolkoff et al., 2003, 2005).

Hvad er godt for øjet og produktiviteten?

Indeklimaforskningen har fokuseret på at finde årsagerne til øjenirritation i indeluftens kemiske sammensætning og typen af støvpartikler i luften. Måske er der et betydeligt forebyggelsespotentialer i at undgå uheldigt vandtab fra tårefilmen. Dette kan gøres ved at holde rumtemperaturen på 20-21°C, samtidigt med at for lav relativ fugtighed undgås. En række forhold peger på, at tør luft forstærker udviklingen af øjensymptomer, i særdeleshed i professioner, hvor der stilles visuelle og kognitive krav. Høj temperatur vil yderligere kunne forstærke effekten på øjnene. Man bør være opmærksom på luftfugtigheden samt acceptere pauser i

arbejdet. Især mikropauser (½-1 min) efter individuelle behov er godt for øjet, uden at pauserne nødvendigvis reducerer produktiviteten, tværtom, jf (Balci and Aghazader, 2003; Henning et al., 1997; Galinsky et al., 2000; McLean et al., 2001). I mikropausen bør man hvile synet ved at se langt væk, jævnfør (Blehm et al., 2005), og samtidig udføre komplette blink (Collins et al., 1987).

Hvordan udvikler man normværdier for VOC'er i indeklimaet?

Risikovurdering

Risikovurderinger tager udgangspunkt i stoffers toksikologiske egenskaber og i de eksponeringer, som mennesker udsættes for (IGHRC 2003). Ud fra de toksikologiske undersøgelser fastlægges de forskellige typer af effekter og det højeste eksponeringsniveau, (no-observed-adverse-effect-level, NOAEL), der ikke er skadeligt, bestemmes. Den effekt, der giver anledning til det laveste NOAEL niveau, kaldes den kritiske effekt, og værdien indgår i den videre risikoberegning. Det organ, der påvirkes, kaldes målorganet. NOAEL divideres med en eller flere sikkerhedsfaktorer, hvorved der opstår en ”referenceværdi”, en grænseværdi (GV) eller en guidelineværdi, alt efter hvad der skal beskyttes mod, og hvilken befolkningsgruppe, som værdien har til formål at beskytte. For at hindre skadevirkninger skal værdien være større end den eksponering, som populationen udsættes for:

Reference værdi, GV eller guidelineværdi = NOAEL/Sikkerhedsfaktor(er) > Eksponeringsniveauet

Eller omskrevet:

$$1 < \text{Eksponeringsniveauet} / [\text{NOAEL/Sikkerhedsfaktor(er)}]$$

Valget af sikkerhedsfaktorer, der kan variere fra 2 til 1000, afhænger bl.a. af den population, som skal beskyttes, af den måde NOAEL er fastsat på samt af de forskellige toksikologiske specialdiscipliners paradigmer.

AMI påbegyndte et sådant vurderingsarbejde og kom med et forslag til knap 30 værdier for typiske VOCer (Nielsen et al., 1996). En validering over for amerikanske grænseværdier til brug for vurdering af luft i rumkapsler (James and Gardner, 1996) viste, at de to vurderinger gav omtrent samme værdier i de tilfælde, hvor et stof var vurderet efter begge

systemer. De få værdier (Nielsen et al., 1996) er i sig selv utilstrækkelige til at tillade en samlet vurdering af målte VOC koncentrationer i inde-luften. Fortsættelse af vurderingsarbejdet ville kræve meget store ressourcer. Det blev derfor undersøgt, om Arbejdstilsynets grænseværdier (GV'er) kunne danne udgangspunkt for et simplificeret vurderingssystem.

Vurdering af systemiske effekter af ikke cancerfremkaldende VOC'er

Omregning af arbejdsmæssig eksponering til kontinuert eksponering kan foretages ved hjælp af Harbers lov, der går ud fra den simplificerede betragtning, at den samlede dosis i et givet tidsrum er det, der bestemmer toksiciteten. Antages det, at GV over en arbejdsuge beskytter mod skadelige virkninger, vil den tilsvarende dosis ved kontinuert eksponering $(8/24) \times (5/7) = \sim 1/4 \times GV$ også være uden skadelige virkninger. GV gælder for 5 dages arbejde om ugen i 8 timer per dag. Den arbejdende population omfatter normalt ikke potentielt særligt følsomme personer, f.eks. børn, syge og gamle. Følsomme grupper antages ofte at være beskyttet, hvis der anvendes en sikkerhedsfaktor på 10. Et første bud på, om en indemiljøeksponering vil kunne medføre uønskede systemiske påvirkninger, kan derfor være om en eksponering er større end $GV/40$ (Nielsen et al., 1995; Nielsen et al., 1997). Hvis GV alene er fastsat på baggrund af irritation, overvurderes de øvrige virkninger ved anvendelse af $GV/40$.

Der er kommet et tysk forslag til en standard for vurdering af VOC emission fra byggematerialer, der anvendes inden døre (Umwelt Bundes Amt 2005). I den forbindelse måles det enkelte byggematerialers VOC emissioner og de anvendes til at beregne, hvor meget (total) TVOC der ville være i et standardrum ved en anvendelse af byggematerialet, f.eks. gulvbelægningen. De enkelte VOC niveauer vurderes ud fra referencekoncentrationen, "lowest concentration of interest" (LCI), som er EUs eller den tyske GV (MAK) divideret med 100. Det tyske vurderingssystem er ikke fjernet fra det af AMI foreslåede system, når det tages i betragtning, at AMIs system er beregnet på at vurdere målte koncentrationer af indemiljøforureninger.

Diskussion

De forskellige toksikologiske områder anvender samme principielle fremgangsmåder ved risikovurderinger, NOAEL divideres med en eller flere sikkerhedsfaktorer. De forskellige områder har alle gode grunde til at anvende forskellige sikkerhedsfaktorer, hvorfor f.eks. grænseværdier for ude-

luft og arbejdsmiljøet kan være meget forskellige - hvert område har et velbegrunderet paradigme. Når det kommer til indeklimaområdet, foreligger der ikke et alment accepteret paradigme, selv om området er forskelligt fra både udemiljø- og arbejdsmiljøområdet. Der foreligger kun få guidelineværdier, som er specielt udarbejdet med henblik på vurderinger af indeklimaluft. AMI foreslår som et pragmatisk værktøj, at guidelineværdier for indeklimaforureninger, som ikke er carcinogene, sættes til GV/40. Princippet vil overvurdere irritationseffekterne, selv om GV er fastsat på baggrund af sensorisk irritation, og overvurderingen vil være endnu større, hvis GV er fastsat på baggrund af andre effekter. Vurderingsprincippet har en følsomhed, der tillader identifikation af VOC eksponeringer, som kan medføre sensorisk irritation eller andre toksikologiske effekter uden, at der samtidig opstår et meget stort antal falske positive udfald.

Artiklen: "Vurdering af VOCer i indemiljøluften. I: Sundhedseffekter og oplæg om pragmatiske guidelines" af G. Damgaard Nielsen og P. Wolkoff, Arbejdsmiljøinstituttet, *miljø og sundhed*, **29** (december 2005), side 31-40, findes på: <http://www.smf.dk/blad/ms0503.pdf>.

Litteratur

- Avery,R.C., Wing,S., Marshall,S.W. and Schiffman,S.S. (2004) "Odor from industrial hog farming operations and mucosal immune function in neighbors", *Archives of Environmental Health*, **59**, 101-108.
- Ayabe-Kanamura,S., Schicker,I., Laska,M., Hudson,R., Distel,H., Kobayakawa,T. and Saito,S. (1998) "Differences in Perception of Everyday Odors: a Japanese-German Cross-cultural Study", *Chemical Senses*, **23**, 31-38.
- Balci,R. and Aghazader,F. (2003) "The effect of work-rest schedules and type of task on the discomfort and performance of VDT users", *Ergonomics*, **46**, 455-465.
- Begley,C.G., Caffery,B., Chalmers,R.L. and Mitchell,G.L. (2002) "Use of dry eye questionnaire to measure symptoms of ocular irritation in patients with aqueous tear deficient dry eye", *Cornea*, **21**, 664-670.
- Bell,G.A. and Paton,J.E. (2001) "Verbal-cognitive strategy can influence odor judgement", *The Aroma-Chology Review*, **IX**, 3-9.
- Berglund,B. and Lindvall,T. (1992) "Theory and Method of Sensory Evaluation of Complex Gas Mixtures", *Annals of the New York Academy of Sciences*, **641**, 277-293.
- Blehm,C., Vishnu,S., Khattak,A., Mitra,S. and Yee,R.W. (2005) "Computer vision syndrome: A review", *Survey of Ophthalmology*, **50**, 253-262.
- Bluyssen,P.M., De Olivera Fernandes,E., Groes,L., Clausen,G., Fanger,P.O., Valbjørn,O., Bernhard,C.A. and Roulet,C.A. (1996) "European Indoor Air Quality Audit Project in 56 Office Buildings", *Indoor Air*, **6**, 221-238.
- Bottcher,R.W. (2001) "An Environmental Nuisance: Odor Concentrated and Transported by Dust", *Chemical Senses*, **26**, 327-331.

- Brasche,S., Bullinger,M., Bronish,M. and Bischof,W. (2001) "Eye- and skin symptoms in German office workers - subjective perception vs. objective medical screening", *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, **203**, 311-316.
- Brasche,S., Bullinger,M., Petrovitch,A., Mayer,E., Gebhardt,H., Herzog,V. and Bischof,W. (2005) "Self-reported eye symptoms and related diagnostic findings - comparison of risk factor profiles", *Indoor Air*, **15**, 56-64.
- Bron,A.J., Tiffany,J.M., Gouveia,S.M., Yokoi,N. and Voon,L.W. (2004) "Functional aspects of the tear film lipid layer", *Experimental Eye Research*, **78**, 347-360.
- Cain,W.S. and Murphy,C.L. (1980) "Interaction between chemoreceptive modalities of odour and irritation", *Nature*, **284**, 255-257.
- Cavalini,P.M., Koeter-Kemmerling,L.G. and Pulles,M.P.J. (1991) "Coping with odour annoyance and odour concentrations: Three field studies", *Journal of Environmental Psychology*, **11**, 123-142.
- Collins,M., Heron,H., Larsen,R. and Lindner,R. (1987) "Blinking patterns in soft contact lens wearers can be altered with training", *American Journal of Optometry & Physiological Optics*, **64**, 100-103.
- Collins,M., Seeto,R., Campbell,L. and Ross,M. (1989) "Blinking and corneal sensitivity", *Acta Ophthalmologica*, **67**, 525-531.
- Craig,J.P. Structure and function of the preocular tear film. In: *The Tear Film: structure, function and clinical examination*, Anonymous Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002, p. 18-50.
- Craig,J.P. and Tomlinson,A. (1997a) "Importance if the Lipid Layer in Human Tear Film Stability and Evaporation", *Optometry and Vision Science*, **74**, 8-13.
- Craig,J.P. and Tomlinson,A. (1997b) "Importance if the lipid layer in human tear film stability and evaporation", *Optometry and Vision Science*, **74**, 8-13.
- Dalton,P. (1996) "Odor Perception and Beliefs about Risk", *Chemical Senses*, **21**, 447-458.
- Dalton,P. (2003) "Upper airway irritation, odor perception and health risk due to airborne chemicals", *Toxicol Lett*, **140-141**, 239-248.
- Danuser,B., Moser,D., Vitale-Sethre,T., Hirsig,R. and Krueger,H. (2003) "Performance in a complex task and breathing under odor exposure", *Human Factors*, **45**, 549-562.
- Devries,S., Winters,W., Van Diest,I., De Peuter,S., Vos,G., Van de Voestijne,K. and Van den Bergh,O. (2004a) "Perceived relation between odors and a negative event determines learning of symptoms in response to chemicals", *Int Arch Occup Environ Health*, **77**, 200-204.
- Devries,S., Winters,W., Van Diest,I. and Van den Bergh,O. (2004b) "Contingency awareness in a symptom learning paradigm necessary but not sufficient", *Conscious Cognition*, **13**, 452
- Distel,H., Ayabe-Kanamura,S., Martinez-Gómez,M., Schicker,I., Kobayakawa,T., Saito,S. and Hudson,R. (1999) "Perception of Everyday Odors - Correlation between Intensity, Familiarity and Strength of Hedonic judgement", *Chemical Senses*, **24**, 191-199.
- Doty,R.L. (1994) "Olfaction and multiple chemical sensitivity", *Toxicology and Industrial Health*, **10**, 359-368.

- Doty,R.L., Cometto-Muñiz,J.E., Jalowayski,A.A., Dalton,P., Kendall-Reed,M. and Hodgson,M. (2004) "Assessment of upper respiratory tract and ocular irritative effects of volatile chemicals in humans", *Critical Reviews in Toxicology*, **34**, 85-142.
- Doughty,M.J. (2001) "Consideration of three types of spontaneous eyeblink activity in normal humans: during reading and video display terminal use, in primary gaze, and while in conversation", *Optometry and Vision Science*, **78**, 712-725.
- Duffee,R.A. and O'Brien,M. Response to odors. In: *Indoor Air Quality Handbook*, edited by Spengler,J.D., Samet,J.M. and McCarthy,J.F. New York: McGraw-Hill, 2000, p. 21.1-21.12
- Elberling,J., Linneberg,A., Mosbech,H., Dirksen,A., Frølund,L., Madsen,F., Nielsen,N.H. and Johansen,J.D. (2004) "A link between skin and airways regarding sensitivity to fragrance products?", *British Journal of Dermatology*, **151**, 1197-1203.
- Engen,T. (1986) "Perception of Odor and Irritation", *Environment International*, **12**, 177-187.
- Farris,R.L. (1997) "The diagnosis and management of the dry eye", *Journal of Ophthalmic Nursing Technology*, **16**, 164-174.
- Franck,C. (1986) "Eye symptoms and signs in buildings with indoor climate problems ('Office Eye Syndrome')", *Acta Ophthalmologica*, **64**, 306-311.
- Franck,C. (1991) "Fatty layer of the precorneal film in the 'office eye syndrome'", *Acta Ophthalmologica*, **69**, 737-743.
- Franck,C., Bach,E. and Skov,P. (1993) "Prevalence of objective eye manifestations in people working in office buildings with different prevalences of the sick building syndrome compared with the general population", *International Archives of Occupational Environmental Health*, **65**, 65-69.
- Franck,C. and Skov,P. (1989) "Foam at inner eye canthus in office workers, compared with an average Danish population as control group", *Acta Ophthalmologica*, **67**, 61-68.
- Galinsky,T.L., Swanson,N.G., Sauter,S.L., Hurrell,J.J. and Schleifer,M. (2000) "A field study of supplementary rest breaks for data-entry operators", *Ergonomics*, **43**, 622-638.
- Gilbard,J.P. (1999) "Dry eye, blepharitis and chronic eye irritation:divide and conquer", *Journal of Ophthalmic Nursing Technology*, **18**, 109-115.
- Gilbert,A.N., Knasko,S.C. and Sabini,J. (1997) "Sex Diferences in Task Performance Associated with Attention to Ambient Odor", *Archives of Environmental Health*, **52**, 195-198.
- Hedge,A., Burge,P.S., Robertson,A.S., Wilson,S. and Harris-bass,J. (1989) "Work-related Illness in Offices: A Proposed Model of the "Sick Building Syndrome"", *Environment International*, **15**, 143-158.
- Henning,R.A., Jacques,P., Kissel,G.V., Sullivan,A.B. and Alteras-Webb,S.M. (1997) "Frequent short rest breaks from computer work: effects on productivity and well-being at two field sites", *Ergonomics*, **40**, 78-91.
- Herz,R.S. Influences of odors on mood and affective cognition. In: *Olfaction, taste, and cognition*, edited by Rouby,C., Schaal,B., Dubois,D., Gervais,R. and Holley,A. Cambridge: Cambridge University Press, 2002, p. 160-177.

- Ilmberger,J., Heuberger,E., Mahrhofer,C., Dessovic,H., Kowarik,D. and Buchbauer,G. (2001) "The Influence of Essential Oils on Human Attention. 1: Alertness", *Chemical Senses*, **26**, 239-245.
- Isreb,M.A., Greiner,J.V., Korb,D.R., Glonek,T., Mody,S.S., Finnemore,V.M. and Reddy,C.V. (2003) "Correlation of lipid layer thickness measurements with fluorescein tear film break-up time and Schirmer's test", *Eye*, **17**, 79-83.
- James,J.T. and Gardner,D.E. (1996) "Exposure Limits for Airborne Contaminants in Spacecraft Atmospheres", *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, **11**, 1424-1432.
- Johnsen,C.R., Heinig,J.H., Schmidt,K., Albrechtsen,O., Nielsen,P.A., Wolkoff,P., Nielsen,G.D., Hansen,L.F. and Franck,C. (1991) "A Study of Human Reactions to Emissions from Building Materials in Climate Chambers. Part I: Clinical Data, Performance and Comfort", *Indoor Air*, **1**, 377-388.
- Kiesswetter,E., van Thriel,C., Schaper,M., Blaszkewicz,M. and Seeber,A. (2005) "Eye blinks as indicator for sensory irritation during constant and peak exposures to 2-ethylhexanol", *Environmental Toxicology and Pharmacology*, **19**, 531-541.
- Kjærgaard,S.K. The irritated eye in indoor environment. In: *Indoor Air Quality Handbook*, edited by Spengler,J.D., Samet,J.M. and McCarthy,J.F. New York: McGraw-Hill, 2000, p. 17.1-17.15
- Kjærgaard,S.K., Hempel-Jørgensen,A., Mølhav,L., Andersson,K., Juto,J.E. and Stridh,G. (2004) "Eye trigeminal sensitivity, tear film stability, and conjunctival epithelium damage in 182 non-allergic, non-smoking Danes", *Indoor Air*, **14**, 200-207.
- Korb,D.R. The tear film - its role today and in the future. In: *The Tear Film - structure, function and clinical examination*, Anonymous Oxford: Butterworth Heinemann, 2002, p. 126-192.
- McLean,L., Tingley,M., Scott,R.N. and Rikards,J. (2001) "Computer terminal work and the benefit of microbreaks", *Applied Ergonomics*, **32**, 225-237.
- Mendell,M.J. (2004) "Commentary: Air conditioning as a risk for increased use of health services", *Int J Epidemiol*, **33**, 1123-1126.
- Mendell,M.J., Fisk,W.J., Dong,M.X., Petersen,M., Hines,C.J., Dong,M., Faulkner,D., Deddens,J.A., Ruder,A.M., Sullivan,D.A. and Boeniger,M.F. (2002) "Indoor particles and symptoms among office workers: Results from a double-blind cross-over study", *Epidemiology*, **13**, 296-304.
- Nakamori,K., Odawara,M., Nakajima,K., Mizutani,T. and Tsubota,K. (1997) "Blinking is controlled primarily by ocular surface conditions", *American Journal of Ophthalmology*, **124**, 24-30.
- Nichols,J.J., Nichols,K.K., Puent,B., Saracino,M. and Mitchell,G.L. (2002) "Evaluation of tear film interference patterns and measures of tear break-up time", *Optometry and Vision Science*, **79**, 363-369.
- Nielsen,G.D., Alarie,Y., Poulsen,O.M. and Andersen Nexø,B. (1995) "Possible mechanisms for the respiratory tract of noncarcinogenic indoor-climate pollutants and bases for their risk assessment", *Scand J Work Environ Health*, **21**, 165-178.
- Nielsen,G.D., Hansen,L.F., Andersen Nexø,B. and Poulsen,O.M. (1996) "Toxicological based air quality guidelines for substances in indoor air", **1996:11 E**, Nordic Committee on Building Regulations, NKB, Helsingfors.

- Nielsen,G.D., Hansen,L.F. and Wolkoff,P. (1997) "Chemical and Biological Evaluation of Building Material Emissions. II. Approaches for Setting Indoor Air Standards or Guidelines for Chemicals", *Indoor Air*, **7**, 17-32.
- Nielsen, P.K., Sjøgaard, G., Bengtsen, E. and Wolkoff, P. (2005) The influence of major factors on eye irritation related symptoms during PC work – A literature review, In: *Proceedings of Indoor Air '05*, Vol. 5, pp. 3782-3786.
- Nøjgaard,J.K., Christensen,K.B. and Wolkoff,P. (2005) "The effect on human eye blink frequency by exposure to limonene oxidation products and methacrolein", *Toxicol Lett*, **156**, 241-251.
- Opiekun,R.E., Smeets,M.A.M., Sulewski,M., Rogers,R., Prasad,N., Vedula,U. and Dalton,P. (2003) "Assessment of ocular and nasal irritation in asthmatics resulting from fragrance exposure", *Clinical and Experimental Allergy*, **33**, 1256-1265.
- Paschides,C.A., Stefaniotou,M., Papageorgiou,J., Skourtis,P. and Psilas,K. (1998) "Ocular surface and environmental changes", *Acta Ophthalmologica Scandinavia*, **76**, 74-77.
- Prause,J.U. and Norn,M.S. (1987) "Relation between blink frequency and break-up time", *Acta Ophthalmologica*, **65**, 19-22.
- Rosenkranz,H.S. and Cunningham,A.R. (2003) "Environmental odors and health hazards", *Science of the Total Environment*, **313**, 15-24.
- Saxena,R., Srivastava,S., Trivedi,D., Anand,E., Joshi,S. and Gupta,S.K. (2003) "Impact of environmental pollution on the eye", *Acta Ophthalmologica Scandinavia*, **81**, 491-494.
- Schiffman,S.S., Studwell,C.E., Landermann,L.R., Berman,K. and Sundry,J.S. (2005) "Symptomatic effects of exposure to diluted air sampled from a swine confinement atmosphere on healthy human subjects", *Environmental Health Perspectives*, **113**, 567-576.
- Schiffman,S.S. and Williams,C.M. (2005) "Science of odor as a potential health issue", *Journal of Environmental Quality*, **34**, 129-138.
- Seeber,A., van Thriel,C., Haumann,K., Kiesswetter,E., Blaszkewicz,M. and Golka,K. (2002) "Psychological reactions related to chemosensory irritation", *Int Arch Occup Environ Health*, **75**, 314-325.
- Shusterman,D. (2002) "Review of the upper airway, including olfaction, as mediator of symptoms", *Environmental Health Perspectives*, **110**, 649-653.
- Shusterman,D., Murphy,M.A. and Balmes,J. (2003) "Differences in nasal irritant sensitivity by age, gender, and allergic rhinitis status", *Int Arch Occup Environ Health*, **76**, 577-583.
- Sibony,P.A. and Evinger,C. Anatomy and physiology of normal and abnormal eyelid position and movement. In: *Walsh & Hoyt's Clinical Neuro-Ophthalmology*, edited by Miller,N.R. and Newman,N.J. Baltimore: Williams & Wilkins, 1998, p. 1509-1592.
- Smedbold,H.T., Ahlen,C., Norbäck,D. and Hilt,B. (2001a) "Sign of Eye Irritation in Female Hospital Workers and the Indoor Environment", *Indoor Air*, **11**, 223-231.
- Smedbold,H.T., Ahlen,C., Norbäck,D. and Hilt,B. (2001b) "Sign of eye irritation in female hospital workers and the indoor environment", *Indoor Air*, **11**, 223-231.

- Smeets, M.A.M. and Dalton, P. (2005) "Evaluating the human response to chemicals: odor, irritation and non-sensory factors", *Environmental Toxicology and Pharmacology*, **19**, 581-588.
- Staudenmayer, H., Binkley, K.E., Leznoff, A. and Phillips, S. (2004) "Idiopathic environmental intolerance. Part 1: Causation analysis applying Bradford Hill's criteria to the toxicogenic theory", *Toxicol Rev*, **22**, 235-246.
- Sucker, K., Both, R. and Winneke, G. (2001) "Adverse effects of environmental odours: reviewing studies on annoyance responses and symptom reporting", *Water Science and Technology*, **44**, 43-51.
- Sundell, J. and Lindvall, T. (1993) "Indoor air humidity and the sensation of dryness as risk indicators of SBS", *Indoor Air*, **3**, 382-390.
- Tsubota, K. Understanding dry eye syndrome. In: *Lacrimal Gland, Tear Film, and Dry Eye Syndrome 3*, edited by Sullivan, D., Stern, A.H., Tsubota, K., Dartt, D.A., Sullivan, R.M. and Bromberg, B.B. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2002, p. 3-16.
- Van den Bergh, O., Winters, W., Devries, S. and Van Diest, I. (2002) "Learning subjective health complaints", *Scandinavian Journal of Psychology*, **43**, 147-152.
- van Thriel, C., Kiesswetter, E., Blaszkewicz, M., Golka, K. and Seeber, A. (2003) "Neurobehavioral effects during experimental exposure to 1-octanol and isopropanol", *Scand J Work Environ Health*, **29**, 143-151.
- Winters, W., Devries, S., Van Diest, I., Nemery, B., Veulemans, H., Eelen, P., Van de Voestijne, K. and Van den Bergh, O. (2003) "Media warnings about environmental pollution facilitate the acquisition of symptoms in response to chemical substances", *Psychosomatic Medicine*, **63**, 332-338.
- Wolkoff, P., Nielsen, G.D., Hansen, L.F., Albrechtsen, O., Johnsen, C.R., Heinig, J.H. and Franck, C. (1991) "A Study of Human reactions to Building Materials in Climatic Chambers. Part II: VOC Measurements, Mouse Bioassay, and Decipol Evaluation in the 1-2 mg/m³ TVOC Range", *Indoor Air*, **1**, 389-403.
- Wolkoff, P., Nøjgaard, J.K., Troiano, P. and Piccoli, B. (2005) "Eye complaints in the office environment: Precorneal tear film integrity influenced by eye blinking efficiency", *Occupational and Environmental Medicine*, **62**, 4-12.
- Wolkoff, P., Skov, P., Franck, C. and Pedersen, L.N. (2003) "Eye irritation and environmental factors in the office environment. Hypotheses, causes, and a physiological model", *Scand J Work Environ Health*, **29**, 411-430.
- Wolkoff, P., Wilkins, C.K., Clausen, P.A. and Nielsen, G.D. (2006) "Organic compounds in office environments - Sensory irritation, odor, measurements, and the role of reactive chemistry", *Indoor Air*, **16**, 7-19.
- Yap, M. (1991) "Tear break-up is related to blink frequency", *Acta Ophthalmologica*, **69**, 92-94.

Anvendelse af klimakamre til undersøgelse af sundhedseffekten af støv fra vandskadede bygninger

Lars Mølhavn

- Vilka möjligheter har vi att studera hur människor påverkas av damm och kemier i klimatkammarförsök?
- Reagerar vi olika på damm från torra och fuktiga byggnader – resultat från klimatkammarförsök?

KAUSALITET I MILJØMEDICIN

Kausalitetens grundbegreber

I bred videnskabelig forstand udtrykker kausalitet mellem to målbare størrelser (a og b), at en variation af a fører til en forudsigelig variation af b. dvs. der er en korrelation mellem de to variable a og b. En kausalitet anvendes i empirisk-videnskabelige modeller til at forudsige de ændringer, som vi kan observere i vore omgivelser.

Videnskabeligt set kan en hypotese om en sådan kausalitet ikke bevises definitivt. Den kan kun underbygges med udsagn som: *”hypotesen gav rigtige forudsigelser i x antal forsøg og har ikke kunnet modbevise ved eksperimenter, som blev tilrettelagte til påvisning af en anden sammenhæng”*. Ved konsensus godtages hypotesen da indtil nye informationer nødvendiggør en revision. Kausalitet er derfor subjektiv og udtrykker: *”Indtil videre er vi overbeviste om, at..”* Kausalitet er altså ikke en absolut størrelse, som går op gennem tiderne uden ændringer.

Kausalitetens sammenhænge forklares oftest ved en fysisk eller biologisk model, som kan være opbygget af en kæde af processer, der fører fra a til b. Se figur 1, som viser hvordan eksponeringen fører til en intern dosis, som skaber en biologisk effektiv dosis i et specifikt organ. Dette fører til tidlige responser, som fører til sygdom der derefter bliver værre (progredierer). Hver af disse delprocesser er under indflydelse af en række faktorer, som kaldes respons-modificerende eller følsomheds faktorer. Kausaliteten er kun veldokumenteret, når alle disse delprocesser og modificerende faktorer er kendte, og deres indflydelse kan bestemmes. For enhver miljøforurening kan etableres en sådan model for hver af de effekter, som dette stof måtte forårsage. Disse modeller er ikke ens, de er

sjældent alle kendte, og de få, der kendes, er oftest approksimationer med nedsat nøjagtighed.

Etablering af kausalitet

Kausaliteten kan ikke bevises, men etableres ved afvisning (negering) af kausalitetshypotesen. Dette foregår i eksperimenter. Etablering af en kausalitet forudsætter derfor både en hypoteseskabende og en hypotese-testende forskning.

Først etableres en eller flere hypoteser og biologiske forklaringsmodeller. Dette sker på basis af empiriske data eller hidtidige erfaringer. Hypotesernes forudsige hvilke ændringer, der kan observeres i et system under bestemte omstændigheder, hvis det påvirkes målbart. Denne forudsigelse testes derefter i laboratoriet gentagne gange under forskellige betingelser og omstændigheder. Passer forudsigelserne i flere forsøg etableres en konsensus om kausaliteten, som indtil videre accepteres. Hvis en modstrid findes modificeres hypoteserne, og man starter forfra med nye test.

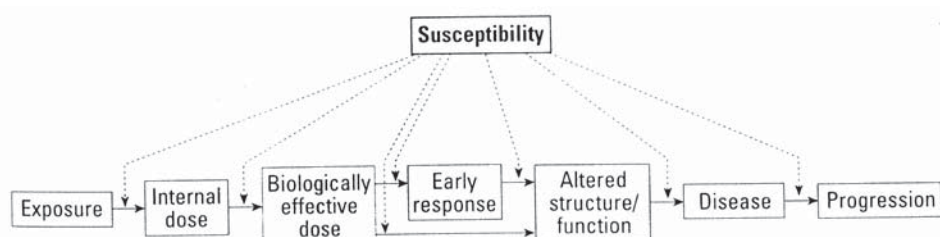


Figure 1. Relationship of biomarkers to exposure, susceptibility, and disease. Adapted from the National Research Council (36).

Kausalitet og biologiske modeller i miljømedicinsk og indeklimateknisk forskning

Etablering af miljølovgivning forudsætter oftest, at kausalitet og forklaringsmodeller er etableret for sammenhængen mellem en målbar eksponering og en målbar effekt. Uden målbare størrelser og modeller til

forudsigelse af effekten af indgreb er en rationel forebyggelse svær eller umulig.

I indemiljøer har man ikke altid bevis for kausalitet mellem forureninger og sundhedseffekter. Dette skyldes mange faktorer. Den vigtigste er, at vi generelt mangler viden om hvilke faktorer, der er relevante. Derfor har vi ofte ikke en konsensus om kausalitet og hyppigt heller ingen biologisk model, som kan anvendes til risikoidentifikation og risikovurderinger.

Eksponeringsniveauer i indeklimaet er ofte lavere end detektionsgrænserne for vore måleinstrumenter, og vi kender derfor ikke forekomst og koncentrationerne af mange relevante stoffer. Der er normalt samtidigt mange eksponeringskomponenter, og disse omfatter både kemiske, biologiske og fysiske eksponeringer. Multifaktorielle sammenhænge er måske mere reglen end undtagelsen og vi kender ikke alle relevante eksponeringer og deres mulige interaktioner i luften eller i kroppen.

Konsekvenserne af eksponeringerne i indemiljøer er overvejende uspecifikke effekter med mange mulige biologiske årsager. Forekomst af en sundhedseffekt identificerer derfor ikke entydigt årsagen. Ofte bruges biomarkører til at indikere effekt, men disse er ofte ikke i sig selv sundhedsskadelige effekter. Hertil kommer, at de fleste effekter er subjektive. Vi mangler objektive effektmål, og effekterne er derfor svære at kvantificere.

I indeklimaforskningen mangler vi også viden om mange biologiske reaktionstyper. Derfor mangler vi også viden om de relevante modificerende faktorer. Vi ved, at personlige følsomhedsfaktorer er af betydning, men de er stort set ukendte og kan derfor ikke kvantificeres.

Kausalitetens validitet

Uden målbare størrelser og veletableret kausalitet vurderes den eksisterende mangelfulde videns kvalitet eller validitet ud fra ønsket om på bedste måde at anvende den viden, vi nu engang har. Nogle af de aspekter, som anvendes i vurderingen af kvaliteten af den viden, som vi har, drejer sig om:

1. Associationens styrke (Strength): Ratio mellem syge i den eksponerede population og i den ueksponerede population.

2. Associationens konsistenthed (Consistency): Genfindes associationen i forskellige studier og populationer?
3. Hvor specifik er associationen (Specificity): Fører eksponeringen af en given størrelse altid til sygdom.
4. Tidsmæssig overensstemmelse (Temporality): Sygdommen optræder efter eksponeringen.
5. Biologisk gradient (Biologic gradient): bliver sygdommen mere intens ved stigende doser?
6. Er det rimeligt? (Coherence): Kan vi forklare kausaliteten med den nuværende biologiske viden.
7. Kan vi eksperimentelt eftergøre det? (Experimental evidence).

Jo flere af disse kriterier, som kan besvares positivt, jo nærmere er vi på at have en anerkendt kausalitet.

Epidemiologi versus eksperiment i grundforskning

I miljømedicinsk forskning anvendes to hovedværktøjer: epidemiologiske undersøgelser og eksperimenter. Begge kan foregå som feltundersøgelser eller som laboratorieforsøg. Et klimakammerstudie i laboratoriet kan indeholde både epidemiologiske og eksperimentelle dele.

Epidemiologiske undersøgelser er karakteriserede ved, at de kortlægger forekomst af eksponeringer, af prævalenser af sygdomme og af deres variationer i tid og rum. Epidemiologiske undersøgelser repræsenterer det virkelige liv og anvendes til at etablere associationer og korrelationer. De er derfor hypoteseskabende. Deres ulempe er, at de kun har få eller ingen kontrollerede variable, og at de derfor ikke kan teste hypoteser. Da de er hypoteseskabende er modellerne usikre og mange potentielt mulige faktorer må registreres eller måles, for at blive afprøvede i den efterfølgende statistiske analyse. Det er en statistisk nødvendighed, at jo flere faktorer, undersøgelsen indeholder, jo flere personer, skal den omfatte. Derfor bliver epidemiologiske indeklimate undersøgelser meget omfattende og dyre.

Eksperimentelle undersøgelser tester først og fremmest allerede etablerede hypoteser om kausalitet og biologiske sammenhænge. Eksperimentelle undersøgelser er fokuserede på kausalitet og ætiologi og er specifikt designet til at negere eller modbevise en bestemt hypotese. Ideelt er alle relevante modificerende faktorer identificerede på forhånd og deres

indflydelse neutraliseret i forsøgets design. Der er kun en eller få variable faktorer, hvis kontrollerede variation man undersøger effekten af. Der er derfor færre variable at tage hensyn til og antallet af personer kan derfor reduceres. Hvis undersøgelserne foregår i laboratoriet, kan man ofte anvende mere komplicerede og følsomme måleinstrumenter end i feltundersøgelser. Da forsøget tester hypotesen under veldefinerede omstændigheder, som den ikke har været prøvet under før, er resultaterne ofte ikke repræsentative for dagligdagen.

Videnskabelig er både epidemiologiske hypoteseskabende undersøgelser og eksperimentelle hypotesetestende undersøgelser nødvendige for etablering af miljø-toksikologisk viden. De har begge fordele og ulemper, som nævnt ovenfor. Kun eksperimenter kan dog bidrage til alle syv typer validitet, som er nævnt ovenfor.

Hvad er et klimakammerforsøg?

I dette lys er et klimakammerforsøg først og fremmest et grundvidenskabeligt forskningsinstrument til kontrollerede laboratorietest af hypoteser om årsagssammenhænge og til at udvikle biologiske modeller for reaktionerne. Forsøgets faser omfatter ofte først at specificer hypotesen og identificer alle relevante variabler. Fasthold derefter alle faktorer på nær en, som varieres kontrolleret og antag så, at den observerede effekt skyldes denne kontrollerede variation. Sammenlign til slut med, hvad modellen havde forudsagt, og konstater om forudsigelsen var korrekt.

Den biologiske model forudsiger hvilke reaktioner og deres størrelse, som kan forventes under bestemte påvirkninger, og testen består i at undersøge, om vi i klimakammeret under bestemte forsøgsbetingelser eller omstændigheder finder, hvad modellen forudsiger. Omstændigheden kan indeholde ekstreme klimabetingelser (fx temperatur og luftfugtighed) eller særlig følsomme persongruppe (e.g. risikogrupper). Fordelen ved kammerstudiet er, at man kan vælge omstændighederne for testen så udfordrende som muligt for teorien. Omstændighed vælges også, så man opnår størst mulig statistisk styrke i de statistiske beregninger ved at reducer spredningen (fx ved at vælge personer af samme køn, alder og ikke-rygere). Dvs. resultaterne er ikke nødvendigvis ikke repræsentative for normale betingelser.

Indbygget i det samme forsøg kan være andre hypoteseskabende målinger. Laboratoriet har fx en række måleinstrumenter som ofte giver udslag under eksponering af mennesker for en miljøfaktor. Disse metoder er relaterede til mange forskellige typer reaktioner som sensoriske, inflammatoriske, allergiske etc. reaktioner. Ved at inkludere dem uden at have formodning om, hvilke der er sandsynlige mekanismer teater man ikke en hypotese men indkredser for fremtidig forskning hvor fokus skal sættes. Dette kaldes ofte en hypoteseskabende fisketur.

Herudover anvendes kammerforsøg til teknisk forskning f.x. at etablere toksikologiske data til grænseværdifastsættelse samt til afprøvning af præventive tiltag til beskyttelse af befolkningen ved reduktion af emission, af eksponering eller ved beskyttelse af den enkelte person. Forsøget kan også omfatte afprøvning af kurative behandling af miljøsygdomme og identifikation af risikogrupper. Endeligt kan målinger anvendes til at udvikle bedre målemetoder for effekt og eksponeringer. Dette sker fx ved at inkludere en i den givne sammenhæng ny uafprøvet målemetode og sammenligne resultaterne med veletablerede målinger.

De fleste forsøg indeholder flere af disse elementer i den samme protokol. Det gælder også det eksempel, som jeg gennemgår nedenfor. Hovedformålet var at teste en hypotese. Herudover var der flere indlejrede hypoteseskabende målinger, og undersøgelserne havde et praktisk teknologisk perspektiv.

ET KLIMA KAMMERFORSØG

Hypotese test

Baggrund for hypotesen: Vandskadede bygninger er mistænkt for at indeholde svampevækst, som kan være sundhedsskadelig. En mulig biologisk forklaring er at svampene afgiver stoffer, som gennem støv påvirker mennesker gennem immunologiske reaktioner. Dette studie fokuserede derfor på sammenhængen mellem luftkvaliteten i vandskadede bygninger og beboernes sundhed.

De specifikke hypoteser: De to testede hypotese var, dels at støv fra bygninger i forsøg i klimakammer reducerer forsøgspersoners oplevelse af luftkvalitet og øger forekomsten af inflammatoriske symptomer hos personerne, og dels at reaktionerne under eksponering for støv fra vand-

skadede bygninger er kraftigere end de, der opleves under eksponering til støv fra ikke-vandskadede bygninger. Endeligt er indeklimaet ved lufttemperatur og fugtighed samt ventilation af betydning. All disse faktorer blev inkluderede i forsøget.

Biologisk model: Det antages, at forsøgspersoners oplevelse af luftkvalitet påvirkes gennem deres sanser, og at de oplevede inflammatoriske symptomer fra øjne, næse og hals er forårsaget af inflammatoriske signalstoffer, som bliver udløste i slimhinderne, og som iværksætter svage inflammatoriske reaktioner i disse slimhinder.

Relevante modificerende variable: Det antages at de modificerende faktorer er personernes følsomhed i luftvejene, allergier, alder, køn, livsstil (eg rygevaner) og helbred i øvrigt. De vandskadede bygninger er definerede ved gentagne svære vandskader uden efterfølgende renovering af bygningen, forekomst af symptomer på ”de Syge bygningers Syndrom (SBS)”, synlige skader og svampevækst, og kondensering af vanddamp på vinduerne om vinderen. Andre væsentlige faktorer er den træning i forsøgsgangen som personerne fik i løbet af forsøget, den ændring af forsøgspersonernes følsomhed, som sker i løbet af dagen eller gennem året. Disse faktorer indgik alle i forsøget.

Materiale og metode: Undersøgelserne blev lavede som provokationsforsøg i klimakammer. Forsøgsdesignet var et 3x3 Latin Square design (cross-over design). Forsøgspersonerne var deres egne kontrolpersoner (før-målinger) og indeholdt placebo eksponeringer (ren luft). Studiet var dobbelt blindt. Designet eliminerede effekten af indlæring og træning samt effekten af årstid og ugedag. Eksponeringerne skete med 3-4 ugers interval for at modvirke carry-over af effekt fra en eksponering til den næste.

Det anvendte støv blev indsamlet i skolebygninger i Århus og Københavnsområderne. Halvdelen af bygningerne var klassificeret som vandskadede efter det ovennævnte sæt kriterier angående tegn på vandskade og vækst af skimmelsvamp. Sunde bygninger måtte ikke vise disse tegn. Indsamling og behandling af støvet fulgte en standardmetode. (Mølhøve et al 1986). Fire skoler blev klassificeret som sunde og to som vandskadede. Af praktiske grunde kunne støvet fra de seks skoler ikke indsamles fra helt samme type rum. De sunde skoler omfattede flere servicerum og de vandskadede flere klasseværelser.

De 27 forsøgspersoner blev udvalgte blandt deltagerne af et tidligere forsøg og fordelt på ni grupper balanceret med hensyn til alder og køn. Både rygere og ikke rygere deltog. De ni person grupper inddeltes på tilfældig vis i tre hold af tre grupper, som hver sammen gennemførte designet med de ni forsøgsdage. Dvs. der var i alt tre gentagelser af det samme design og protokol.

Forsøgspersonerne blev eksponerede for støv i luften fra vandskadede og ikke-vandskadede bygninger. Efter en akklimatisering på 60 min. i ren luft gik personerne ind i kammeret og støvgeneratoren startedes. Eksponeringen varede derefter tre timer inklusiv 30 min til opbygningen af ligevægtskoncentrationen. Derefter foretoges i 20 min en række subakutte målinger. Eksponeringerne foregik i et 32 m³ rustfrit stål klimakammer (Mølhavé et al 1986, 2000b) Generatoren er en svagt ændret model af en tidligere udviklet akustisk generator. Støvgeneratoren er beskrevet i (Mølhavé et al 2000b). De gennemsnitlige eksponeringsniveauer var 140 µg/m³ +- 75 µg/m³ for normale bygninger, 121 µg/m³ +- 120 µg/m³ for bandskadede bygninger og 41 µg/m³ +- 84 µg/m³ under ren luft eksponering. Den stationære PM-TSP måling viste tilsvarende 443 µg/m³ +- 88 µg/m³, 361 µg/m³ +- 111 µg/m³ og 10µg/m³ +- 1µg/m³, respektive.

Støv eksponeringerne blev dokumenterede ved gravimetriske analyser af støvprøver opsamlede på filtre ved hjælp person bårne samplere. De personbårne prøvetagninger opsamlede over hele eksponeringsperioden inklusivt den fase, hvor ligevægt blev opbygget. Eksponeringen blev målt som total suspenderede partikler (TSP) µg/m³. Målingerne omfattede også kontinuerlige målinger med en CLIMET partikel måler af størrelsesfordelingen og dens ændringer under eksponeringerne.

Variationen af indeklimaets faktorer i kammeret blev holdt inden for forud fastsatte grænser på nær støvkoncentrationen, som ændredes efter et fast mønster. De indeklimatefaktorer, som ønskedes fastholdte var lydniveau 63,7 dB(A) +- 1.5 dB(A), lufttemperatur 23.0 °C +- 0,1 °C, luftfugtighed 24.4 % RH +- 10 % RH under eksponeringer til støv fra normale bygninger 62,8 dB(A) +- 2 dB(A), 23.1 °C +- 0,1 °C, 26.7 % RH +- 8 % RH under eksponeringer til støv fra vandskadede bygninger og 63,2 dB(A) +- 1.1 dB(A), 23.0°C +- 0,1 °C, 27.3 % RH +- 8 % RH under eksponeringer til ren luft. Ventilationen var i gennemsnit 200 m³/h +- 0,1 m³/h.

Effektmålingerne omfattede 29 spørgsmål om perception og oplevelse af symptomer og indeklima samt generelle symptomer (Mølhavé et al 2000a; 2002, 2004), samt tidsforløbet af irritation målt på en VAS skala (Mølhavé et al 2000a; 2002, 2004).

De statistiske analyser omfatter præliminære analyser af datakvalitet og fordeling samt indledende analyser. Hvis en signifikant effekt af eksponeringen blev påvist blev mere detaljerede analyser foretaget. Analyserne omfattede GLM procedurer med parret data og subtraktion af basislinie.

Resultater: Den initiale statistiske analyse med GLM procedurer af hver af effektvariablerne som uafhængige eksperimenter viste ingen effekter af støveksposeringerne undtaget i de subjektive vurderinger af luftkvalitet (korrigeret for basislinie). Både i de akutte reaktioner umiddelbart efter eksponeringens start og i de subakutte reaktioner ved eksponeringens slutning aftog den oplevede luftkvalitet (henholdsvis $P = 0,044$ og $0,013$, se figur 2 og 3). Der var ingen signifikante ændringer af reaktionerne under eksponeringer til normalt støv og støv fra vandskadede bygninger. Da den gennemsnitlige oplevelse af irritation ikke afveg mellem de forskellige eksponeringer blev ingen yderligere analyser lavet.

Diskussion: En del af studiets hypotese var at specielle stoffer i støv fra vandskadede bygninger udløste inflammatoriske signalstoffer i forsøgspersonerne. Det var derfor en del af den oprindelige hypotese at undersøge støvet for disse signalstoffer og næseslimhinden for niveauer af signalstoffer. Der blev ikke bevilget midler til disse bekostelige analyser. Sådanne analyser er nødvendige før endelige konklusioner kan drages af studiet.

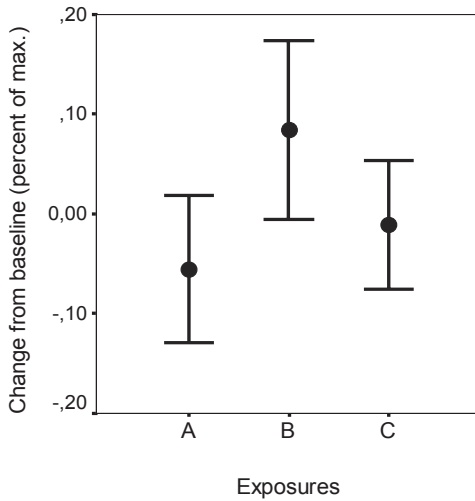


Figure 2. Effekten af støv eksponeringer på de akutte vurderinger af oplevet luft kvalitet. (A = Ren luft, B = Vandskadede bygninger, C = Normale bygninger)

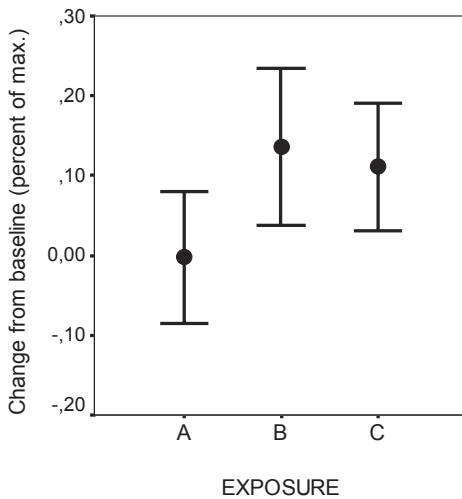


Figure 3. Effekten af støv eksponeringer på de sub akutte vurderinger af oplevet luft kvalitet. (A = Ren luft, B = Vandskadede bygninger, C = Normale bygninger)

Den eksperimentelle plan blev i øvrigt fulgt uden afvigelser. Der var ingen signifikante forskelle mellem eksponeringsbetingelserne i de tre repetitioner af designet eller andre overordnede faktorer. Støvkonzentrationerne afveg helle ikke mellem repetitionerne. De to bygningstyper var forskellige efter de forud definerede kriterier.

Antallet af forsøgspersoner var begrænset til 27, hvilket reducerer forsøgets følsomhed noget. Hertil kommer, at eksponeringstiden var få timer og at effekter, som måtte kræve længere eksponeringstid derfor ikke kunne observeres. Endvidere var de to typer bygninger af praktiske grunde ikke helt sammenlignelige fraset vandskader. Også dette kan have introduceret bias. Det konkluderes dog overordnet, at studiets design og organisering var egnet og at få tekniske eller forsøgsperson relaterede afvigelser optrådte.

Det er interessant, at der ikke ses ændringer af lugtindtrykket under eksponeringerne. Dette er også tidligere observeret (Mølhav 2003). Lugtesansen betragtes normalt som den mest følsomme sans over for mange miljøpåvirkninger. Derfor er lugte ofte tydelige under udsættelse for støv i klimakamre eller i huse. Denne lugtopfattelse gør det vanskeligt at arrangere fuldstændigt dobbelt blindede forsøg.

Mølhav et al (2000.a; 2002, 2004) fandt, at vurderinger af almindeligt velbefindende var korrelerede til irritation, lugtopfattelse, luftkvalitet og behovet for yderligere ventilation. Derfor kan ikke blot lugtopfattelser men også til lugten relaterede symptomer være biased af lugtopfattelserne. Denne bias blev ikke set i et andet studie, hvor der var ringe emission af odoranter fra det anvendte støv. I forsøget var irritation relateret til luftkvalitet, øjenirritation, og næse irritation men ikke til lugtoplevelse. Dette er senere set i andre studier (Mølhav 2003). Disse erfaringer tyder på at et lugtbias kan udelukkes i dette forsøg hvor der ikke blev registreret lugte under forsøget. Definitive konklusioner er dog ikke mulig på nuværende tidspunkt.

I betragtning af de lave eksponeringsniveauer sammenlignet med tidligere forsøg var kun få effekter forventede. Påvirkninger af luftkvaliteten er tidligere set (Mølhav et al 2000a).

Med disse reservationer skal de fundne effekter betragtes som indikative, indtil de har været påviste i gentagne uafhængige forsøg og støttes af målinger af støvet og slimhindernes signalstoffer.

Negationsanalyse: Forsøget tyder på, at luftkvaliteten er reduceret mere hos støveksponerede personer uanset støvtype end under renluft eksponering. Forsøget støtter derfor denne hypotese. Studiet er dog ikke konklusivt om dette. Forsøget tyder ikke på, at støv fra vandskadede bygninger i forsøg i klimakammer reducerer forsøgspersoners oplevelse af luftkvalitet og øger forekomsten af inflammatoriske symptomer hos personerne mere end støv fra normale bygninger. Teorien om at støv fra vandskadede bygninger er mere skadeligt kan derfor ikke understøttes. Studiet er dog ikke konklusivt om dette.

Hypotesegenererende aktiviteter

Hvis hypotesen vandskadede bygninger skulle være korrekt tyder undersøgelserne på, at definitionen af vandskadede bygninger efter de nævnte kriterier ikke er tilstrækkelig. Derfor virker støvet fra de to grupper ens. Nye og mere kvantificerbare kriterier er derfor nødvendige. Studiet er dog ikke konklusivt.

Tekniske forskningsaspekter

De sette effekter peger på, at støv er af betydning for indeklimaets kvalitet, og at fjernelse af støvets kilder fx. gennem rengøring og ventilation er af betydning for indeklimaet.

Studiet peger i retning af at moderat vandskade ikke er af betydning for indeklimaet og at oplevet luftkvalitet og inflammatoriske reaktioner er ikke er væsentlige argumenter for at renovere og istandsætte efter vandskade. Studiet er dog ikke konklusivt.

POST SCRIPTUM

Finansieret af FORMAS 24.1/2001-0536, Co-finansieret med FORMAS No. 24.2/2001-0539. Etnisk Komite ref. No.: 2001 0217 med accepteret ændring af protokollen den 26/6 2003. Med speciel tilladelse fra Århus Universitet og det lokale Amtsråd, som tillod ansatte at opretholde normal løn under deltagelse i forsøget.

Studiet udførtes af et forskerhold med følgende medlemmer: L. Mølhav, S.K.Kjærgaard, T. Sigsgaard, E.B. Jørgensen, Department of Environmental and Occupational Medicine, University of Aarhus, Jan-Erik Juto, Södre Stockholms Öron, Näsa, Halsklinik, Huddinge Sjukhus, Kjell Andersson, og Göran Stridh, Örebro University Hospital og Lennart Bodin, Örebro University, Department of Economics, Statistics and Informatics.

REFERENCER

Mølhav L (2003) Health effects of airborne dust and particulate matter indoors: A review of three climate chamber studies. In *Indoor environment: airborne particles and settled dust*.

Morawska L, Salthammer T (Eds.) p.387-406. Weinheim, Germany.

Mølhav, L., Bach, B., and Pedersen, O.F. (1986). Human reactions to low concentrations of volatile organic compounds. *Environm. Internat.*, 12: 167-175.

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

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

Mølhav, L., Kjærgaard, S. K., and Attermann, J. (2002) Effects in the eyes caused by exposures to office dust. *Indoor Air J.*; Vol. 12, p.165-174.

Mølhav, L., Kjærgaard, S. K., and Attermann, J. (2004) Respiratory effects of experimental exposure to office dust. *Indoor Air J.*; Vol. 14, p.376-384.

Session 2a. Föroreningar i innemiljön

Göran Stridh

Tord Larsson

Anders Sjöberg

Kemiska emissioner från olika ytmaterial vid olika fuktförhållanden

Mona Hygerth, Göran Stridh

- På vilket sätt kan emissioner av kemiska ämnen påverkas av fukt? Är alla ytmaterial av intresse?
- Hur påverkas emissionen från ett vanligt parkettgolv?
- Vilken påverkan på inneklimatet kan vi förutse?

Inledning

Trots många studier vet vi inte vilka ämnen eller vilka koncentrationer som bidrar till att vissa personer upplever besvär vid vistelse i sina bostäder eller på sina arbetsplatser som daghem, skolor, kontor och vårdinrättningar. Vi misstänker dock fortfarande att kemiska ämnen i ångform eller adsorberade till dammpartiklar spelar roll.

Under höstens inledning ökar antalet påringningar från företagshälsovården, kommunernas miljö- och hälsoskyddskontor eller direkt från arbetsplatserna. Man påtalar irritation i ögon, näsa och hals men även trötthet och tunghets känsla i huvudet, dvs symtom som brukar benämnas sjuka hus symtom. Beror detta på att vi då börjar vistas alltmer inomhus efter sommaren? Beror besvären på att vi under sommaren varit ifrån varandra och att vi blivit ”ovana” vid varandras bakterier och virus? Det är sannolikt att dessa faktorer bidrar men kan det finnas andra tekniska skäl?

Ventilationen i t ex skolor kan ha varit avstängd under sommaren då lokalerna inte använts och man ”glömt” att sätta igång den vid skolstarten. Detta kan förekomma men tillhör dessbättre ovanligheterna numera. Under hösten ökar nederbörden. Kan detta medföra att konstruktionen fuktas upp med risk för mikrobiell tillväxt? Kan den ökande fukthalten vara orsaken? Om vi bortser från rena läckage i byggnadsskalet som snabbt kan ge fuktproblem och lukter är en byggnadskonstruktion ett trögt system och uppfuktningen via normala väderleksförhållanden på hösten är långsam. Men paradoxalt nog kan både ventilation och fukt i kombination med ytmaterial ha en viktig betydelse för problemens uppkomst. I många fall tillkallar man en konsult som får till uppgift att finna orsaker till personernas besvär. Ofta genomförs mätning av inneluftens kemiska sammansättning

och i de flesta fall detekteras låga halter som inte avviker från normal-tillståndet och som knappast kan förklara besvären.

Den studie som beskrivs nedan utgör kärnpunkten i ett doktorsarbete vid Institutionen för teknik vid Örebro universitet i samarbete med Yrkes- och miljömedicinska kliniken, Universitetssjukhuset Örebro och Healthy Building Forum (en ideell förening med ca 40 medlemmar). Studiens syfte är att under kontrollerade förhållanden på laboratorium kvantitativt och kvalitativt mäta emissionen av flyktiga organiska ämnen (VOCs) från yt-material. Hypotesen är att emissionen från ytmaterial ökar under korta perioder i samband med uppvärmningssäsongens inledning på hösten. Då värmen kopplas på sänks inneluftens relativa fuktighet kraftigt medan materialen efter sommarens varma fuktiga klimat har hög relativ fuktighet. En typisk relativ luftfuktighet i inneluften kan vara 30-40 % medan materialen beroende på väderleksförhållanden under sommaren kan ha ca 70 %. Naturens strävan efter jämvikt medför en utströmning av fukt från material och inredning till omgivande luft. Fuktagvången åtföljs av en samtidig avgång av kemiska ämnen specifika för de enskilda materialen. För kemister är denna process känd som vattenångdestillation. Under tiden till jämvikt i fukthänseende – en till två veckor – ökar halten av kemiska ämnen i inneluften.

Det är i dagsläget inte känt hur och i vilka halter som ämnen avgår från olika material, möjligtvis med undantag för det slemhinneirriterande ämnet formaldehyd. I produkter där karbamidlim använts, t ex spånskivor, ökar formaldehydavgången då materialens fukthalt sänks från ca 70 till ca 30 %. Denna undersökning utfördes under 1980-talet och det är inte känt om förhållandet fortfarande är detsamma eller om tekniska förändringar i tillverkningsprocessen påverkat formaldehydavgivningen vid förändringar i fuktillstånd.

I ett 10-poängsarbete på byggingenjörsprogrammet, Örebro universitet, undersöktes avgivningen av VOCs från uttorkande träullsplattor. I ett tidigare arbete hade man visat att träullsplattor tog upp och avgav fukt beroende på yttre förhållanden. Fyra kvaliteter av Trällit Akustik användes. Dessa var plattor med tjockleken 20 och 50 mm med 1,0 resp. 2,5 mm fiberbredd. Plattornas sammansättning var i viktsprocent, cement 48 %, kalkstensmjöl 17 % och träull från gran 35 %.

Undersökningen genomfördes i en 0,54 m³ kammare av stål och glas med fläktstyrd ventilation. Plattorna hade total exponerad yta på 0,77 m² för kvaliteten 20 mm samt 0,45 m² för kvaliteten 50 mm, vilket innebar att belastningen var 1,43 resp. 0,83 m⁻¹, dvs studerad yta dividerad med kammarvolymen. Den relativa luftfuktigheten mättes med två Vaisala HMP45A-givare, en för till- och en för frånluft. TVOC-halten i till- resp. frånluften registrerades med Innova Multi-gas Monitor 1312. Vid ett av försöken provtogs luft i kammaren också med adsorption på Tenax TA-rör. Detta försök användes till att identifiera enskilda VOC i samband med uttorkningsförsöket.

Plattorna fuktades upp i särskild fukt-kammare under 71-113 timmar vid 95 % relativ luftfuktighet. De överfördes därefter till mät-kammaren där de fick torka under 72-113 timmar vid en tillförd relativ luftfuktighet av 23-25 %. Det kunde noteras att vattenavgången var snabb i början för att därefter plana ut. Efter ca 10 timmar (ca 9-13 % av totaltiden) hade drygt hälften av det upptagna vattnet avgått.

Med den använda mättekniken för TVOC kunde man inte avgöra om vattenavgången åtföljdes av avgång av TVOC väsentligen beroende på att den fotoakustiska mätmetoden inte hade tillräcklig upplösning, att VOC-innehållet i trämaterial var lågt samt att luftomsättningen i kammaren var hög. I försöket där VOCs anrikades på Tenax TA-rör visade den efterföljande analysen på mycket låga TVOC-halter, under 30 µg/m³. De enda enskilda komponenter som kunde detekteras var terpenier typiska för nordiska barrträd.

Förutom ovannämnda laboratoriestudie kommer en annan del av doktorsarbetet att bestå av mätningar i några nybyggda/renoverade skolor eller daghem under verkliga förhållanden i samband med uppvärmnings-säsongens start. Den sista delen av studien består i en toxikologisk värdering av emissionsprodukterna i laboratoriestudien.

Laboratoriestudien

Ytmaterial (se nedan) ur grupperna golvbeläggningar, byggskivor, isolering och inomhusfärg kommer väljas ut, konditioneras till 60, 70 och 75 % Rh och deras avgivning av kemiska ämnen mäts i FLEC-utrustningen (FLEC = Field and Laboratory Emission Cell). FLEC-utrustningen tillföres ren luft med ett Rh på 30 %. Provkroppstillverkning, konditionering,

emissionsundersökning samt provtagning och analys av avgivna kemiska ämnen kommer att följa de internationella standarderna ISO 16000-11, ISO 16000-10 (med undantag för fuktkraven och den inledande ekvibreringen), ISO 16000-6 samt ISO 16000-4. Provtagning av luften utgående från FLEC-utrustningen görs direkt efter materialets placering i FLEC-utrustningen, efter 6 respektive 12 timmar samt därefter dagligen till dess jämvikt uppnått. Detta förfarande kommer att ge en avklingningskurva för emissionen samt en indikation på tiden till jämvikt för respektive material. Matematiska samband beräknas för relationen emission – tid.

Efter ett mättillfälle konditioneras provkropparna åter till utgångsläget, t ex 70 % Rh, varefter en ny emissionsmätning genomförs. Detta förfarande upprepas upp till 6 gånger. På så sätt kommer materialet att genomgå emissionstest under 6 konsekutiva ”höstar”. Förfarandet ger en indikation på om avgivningen är repeterbar eller om den endast uppkommer vid första tillfället.

Ingående material:

Golvprodukter	linoleum PVC lamellparkett laminat massivt trä
Byggskivor	spånskiva gipsskiva plywood träfiberskiva hård cementbunden skiva
Isolering	glasull stenull cellulosabaserad ull extruderad polystyren
Inomhusfärg	vattenburen latexfärg vattenburen linoljefärg

Skol- och daghemsstudien

I några nybyggda/renoverade skolor och daghem, där väldokumenterade ytmaterial använts, kommer ineluftens kemiska sammansättning att studeras under två på varandra följande höstar i samband med uppvärmnings-säsongens start. Provtagning och analys kommer att ske enligt ISO 16000-2, ISO 16000-4 och ISO 16000-6.

Toxikologisk värdering av avgående ämnen

Den sista delen i doktorandarbetet kommer att bestå i en toxikologisk utvärdering av påvisade ämnen från laboriestudien. Värderingen baseras på tillgängliga litteraturuppgifter rörande ämnens inverkan på människan.

Vid konferensen kommer resultat från mätningar på lamellparkett (parkett med slitskikt av ek på bärare av gran) att redovisas. Provkroppar av parkett fuktades till 75, 65 och 50 % Rh och emissionen av VOC och formaldehyd bestämdes med FLEC-teknik vid tillförsel av luft med 30 % Rh. Avgående ämnen anrikades på adsorbenttrör (Tenax TA) för VOC och 2,4-DNF preparerade glasfiberfilter för aldehyder. Analys skedde därefter med termisk desorption till gaskromatograf-masspektrometer respektive vätskeextraktion i acetonitril till högtrycksvätskekromatograf.

Arbetet kommer att ge ökade kunskaper om materialemissioner vid olika relativa luftfuktigheter. Byggbranschens aktörer kan därmed välja mer lågemitterande material för att kunna bidra till en sund byggnad vad gäller konstruktion och ingående material. Resultatet kan också ge byggmaterialindustrin idéer till förändring av sammansättningen mot mindre riskfyllda komponenter och därmed minska den yrkesmässiga emissionen för byggnadsarbetare, exponering för brukarna av byggnaderna och allmänt minska miljöbelastningen i naturen. På sikt kommer de nya kunskaperna att arbetas in i undervisningen av blivande byggingenjörer.

Referenser

- Larsson, P., Paulin, R. (2003). Flyktiga organiska ämnen (TVOC) från uttorkade träullsplattor. Örebro universitet, Byggingenjörprogrammet. Reg. kod: Oru-Te-EXA096-B106/03.
- Palmér I., Ragnarsson, M. (2002). Fuktupptagning i träullsplattor. Örebro universitet, Byggingenjörprogrammet. Reg. kod: Oru-Te-EXA096-B101/02.

Växter är inga bra luftrenare

Tord Larsson

- Vad vet vi om växters förmåga att rena inneluften?
- Vilka erfarenheter har du av ”gröna” filter?
- Ser du en användning för ”gröna” filter i framtiden och vad krävs i så fall?

Sammanfattning

I veckopress påstås ofta att växter är bra luftrenare. De mätningar som det då hänvisas till var utförda i icke ventilerade utrymmen och i redovisningen anges inte storleken på växterna. Denna artikel visar att växter inte är några bra luftrenare och slutsatsen är underbyggd av ett fyraårigt forskningsprojekt vid Chalmers tekniska högskola och vid Örebro universitet. Försöken som här redovisas är utförda i en ventilerad mätbox och i ett ventilerat renrum.

För att kvantitativt kunna bestämma en krukväxts egenskap att rena luft har begreppet specifikt gasmassflöde används. Det är ett mått på hur mycket gas en växt av en viss storlek tar upp eller avger per tidsenhet. Det innebär att krukväxten som en gassänka (växten tar upp gas från rumsluften) eller gaskälla (växten avger gas till rumsluften) i ett rum är uppmätt som milligram gas per kvadratmeter bladarea och timme. För att kvantifiera växtens storlek används begreppet bladarea. För att mäta bladarean skapas först ett samband mellan en karakteristisk längd på bladet och bladets area. Sedan mäts samtliga blads karakteristiska längd och krukväxtens totala bladarea beräknas. För att mäta och beräkna massflödet av en viss gas har traditionella mätmetoder använts, vilket innebär att gaskoncentrationen mäts i tilluften och frånluften i mätkamrarna och därur beräknas rummets sänka av aktuell mätt gas.

De gaser som är uppmätta är koldioxid, formaldehyd och en speciell blandning av vanligt förekommande flyktiga organiska ämnen (VOC), Stridhs-blandning. Det senare användes för att simulera ämnen i vanlig kontorsluft. Krukväxterna tar inomhus i normal belysning på något sätt upp dessa gaser i mycket små mängder. Växterna avger vattenånga och på natten även små mängder koldioxid.

Mängden upptag är så liten att den inte nämnvärt kan påverka luftkvaliteten i kontorsrum eller bostadsrum.

Sökord: formaldehyd, koldioxid, krukväxter, luftkvalitet, VOC.

Bakgrund

I pressen, speciellt veckopressen, förekommer ofta rubriker och artiklar som beskriver rumsväxter som bra luftrenare. Bakgrunden till detta är att Wolverton (1997)^[1] beskriver hur denne har mätt upp ett 50-tal olika växter. Där framgår att rumsväxterna på något sätt tar upp olika ämnen från luften. Av skriften framgår att formaldehyd (FAD), bensen och andra flyktiga organiska ämnen (VOC) tas upp, om ämnena finns i luften. Bakgrundsmaterialet i den skriften bygger på över 15 artiklar som alla beskriver olika växter och hur dessa tar upp olika kemiska ämnen. Försöken är gjorda för rymdverksamhet och var kopplade till NASA. Man kan ifrågasätta dessa mätningar då de dels är utförda i slutna mätbox, dels sällan redovisar hur stor växten är.

En gas som växter tar upp är koldioxid. Växter tar upp koldioxid, som den tillsammans med ljus och vatten förvandlar till nyttiga ämnen för växten. I litteraturen anges bättre preciserade storlekar på växters förmåga att ta upp koldioxid, se tex Persson (2000)^[2] samt Taiz och Zeiger (1998)^[3]. De angivna uppgifterna är gällande för växter utomhus i dagsljus.

Olander (1993)^[8] visar med hjälp av litteraturstudier och beräkningar i sin artikel att växter generellt inte kan vara några bra luftrenare.

För att utröna vilken effekt växter har på att rena rumsluft från olika gaser har ett forskningsprojekt vid Örebro universitet, Institutionen för teknik, och vid Chalmers tekniska högskola, Institutionen för installationsteknik, pågått i fyra år. Projektet har visat att ett vanligt antal inomhusväxter i ett rum inte kan användas som luftrenare och inte kan mätbart påverka luftkvaliteten i kontorsrum eller bostäder.

Forskningsprojektet ovan finns beskrivet i Larsson (2004)^[4]. Det är här fråga om systematiska mätningar i ventilerat rum, gjorda på rumskrukväxter. Här är gassänkan och gaskälla framtagen för fyra olika gaser och kvantifiering av växternas storlek sker med hjälp av bladareor för tre olika krukväxtarter.

Metod

För att genomföra ett forskningsprojekt måste försöken som utförs kunna beskrivas så att andra forskare kan utföra samma försök och komma till samma resultat. Det kallas att forskningen är reproducerbar. Det viktigaste är då i aktuell tillämpning, att dels kunna kvantifiera växterna till storleken och dels systematiskt genomföra mätningar i laboratorie- och rumsskala. De storheter som då var lämpliga att ta fram är sådana som direkt kan användas av en praktiskt arbetande VVS-ingenjör. Det innebär att växten som en gassänka (växten tar upp gas från rumsluften) eller gaskälla (växten avger gas till rumsluften) skall beskrivas i storheter som lätt kan användas. Här har storheten specifikt gasmassflöde använts som sådan storhet.

Specifikt gasmassflöde

Med specifikt gasmassflöde, \dot{m} , avses den mängd gas som avges eller tas upp från växten per m^2 bladarea och timme. Enheten skulle då kunna vara:

1. $g\ CO_2\ m^{-2}\ h^{-1}$ - gram koldioxid per m^2 bladarea och timme
2. $mg\ FAD\ m^{-2}\ h^{-1}$ - milligram formaldehyd per m^2 bladarea och timme
3. $mg\ TVOC\ m^{-2}\ h^{-1}$ - milligram totala mängden flyktiga organiska ämnen per m^2 bladarea och timme
4. $kg\ H_2O\ m^{-2}\ h^{-1}$ - kilogram vattenånga per m^2 bladarea och timme

Tecknet på specifika gasmassflödet visar om gas lämnar rumsluften (sänka, negativ) eller om gas tillförs rumsluften (källa, positiv). Tecknet anges således sett från rumsluften. I växtfysiologisk litteratur ses alltid allt från växten, varför tecknet där är motsatt. Den första ovan angivna storheten är gram koldioxid per m^2 bladarea och timme. Det beskrivs lättats i enheterna enligt nedan.

$$\dot{m} \left[\frac{g\ CO_2}{m^2\ h} \right]$$

Det är dock vanligt, i löpande text, att det skrivs på en rad som i det första sättet ovan. Det kan jämföras med specifika koldioxidflödet från en människa [$g\ CO_2\ p^{-1}\ h^{-1}$], dvs hur stor massa koldioxid [$g\ CO_2$] per person [p] och per timme [h] som en människa avger. Den sista är således kilogram vatten(ånga) per m^2 bladarea och timme som krukväxten avger eller på något sätt tar upp eller bryter ner.

Krukväxter

Storleksordningen på det specifika gasmassflödet är för de fyra olika gaserna framräknade för tre olika växtarter. Mätningarna som ligger till grund för dessa beräkningar är utförda i två mätkammare. Den ena mätkammaren är en 0,56 m³ mätbox vid Örebro universitet, och den andra är det 19,5 m³ stora renrummet vid Chalmers tekniska högskola. Vid mätningarna i mätboxen vid Örebro universitet har metodiken utvecklats för dessa mätningar. Därmed gick de storskaliga mätningarna i renrummet på Chalmers enklare att utföra.

Krukväxter som är använda i försöken framgår av tabell 1 nedan. De har valts för att de är vanligt förekommande som krukväxter både i hem och offentliga miljöer och förekommer i Wolverton (1997)^[1]. Växterna är också lätta att anskaffa.

Tabell 1 Krukväxter som användes i mätserierna, deras svenska och vetenskapliga namn samt i vilken mätkammare de används i.

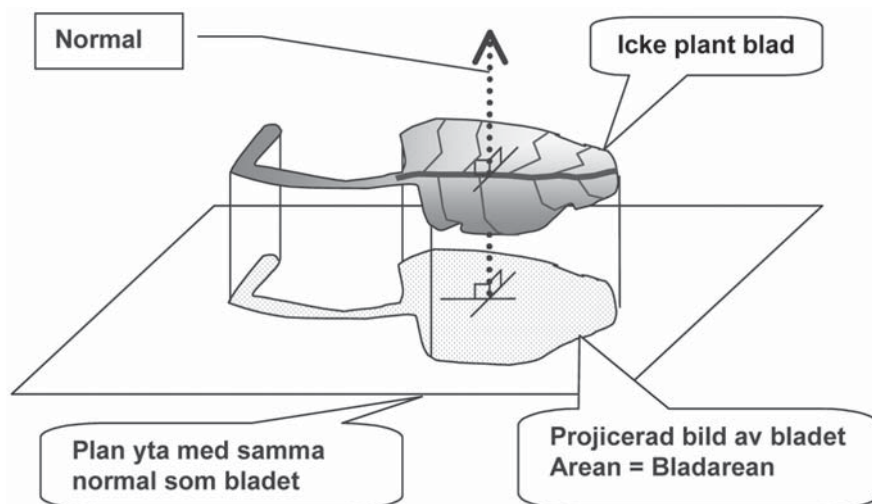
Svensk namn	Vetenskapliga namn	Mätbox	Renrum
Fredskalla	<i>Spathiphyllum kochii</i>	x	
Gullranka	<i>Epipremnum pinnatum</i>		x
Paraplyaralia, Schefflera	<i>Schefflera aboricola 'Nora'</i>	x	

För att bestämma specifika massflödet måste således ett väl definierat sätt att mäta upp bladarean tas fram. Detta för att kvantifiera växtens storlek. Vidare måste ett väl definierat sätt att mäta gaserna i ventilerade rum användas.

Kvantifiering av krukväxternas storlek

För att kvantifiera växternas storlek valdes bladarea som mått. Detta för att det är framförallt på bladets undersida som klyvöppningarna finns och det är i dessa växten tar upp koldioxid. Vidare finns ett klart samband mellan krukans storlek och bladarean enligt växtfysiologisk litteratur. En annan anledning är att det är på ytorna mot rumsluften som den större delen av ett eventuellt upptag eller avgivning av gaser kommer att ske. Bladens area mot rumsluften är då den dominerande faktorn för en krukväxt. Därför är bladarea ett bra mått på växtens storlek. I kukan och dess jord med näringsämnen sker också många kemiska processer som framför allt avger gaser. Den effekten har här fått ingå i bladareans egenskaper.

För att bestämma bladarean gjordes först en definition av vad som avses med bladarea. Med bladarea avses den projicerade bladarean och bladskaftets projicerade area, se figur 1. Den definitionen motsvarar väl den area där klyvöppningarna finns. Vidare ingår bladskftet som tillhör bladet.

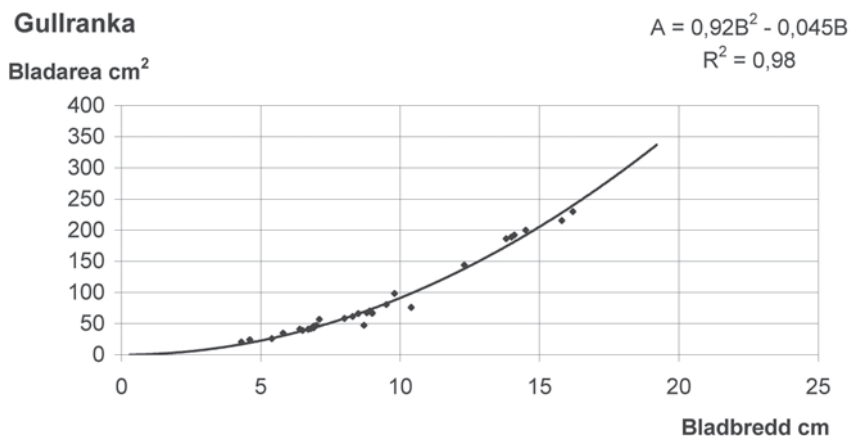


Figur 1. Genom att göra en projektion av bladet mot en plan yta erhålls bladarean.

För att sedan bestämma arean på bladet så skannades bladet in med en skanner och bladarean mättes då som antalet pixel. Varje pixel har sedan en känd storlek, vilket medför att bladets area därmed är lätt att beräkna.

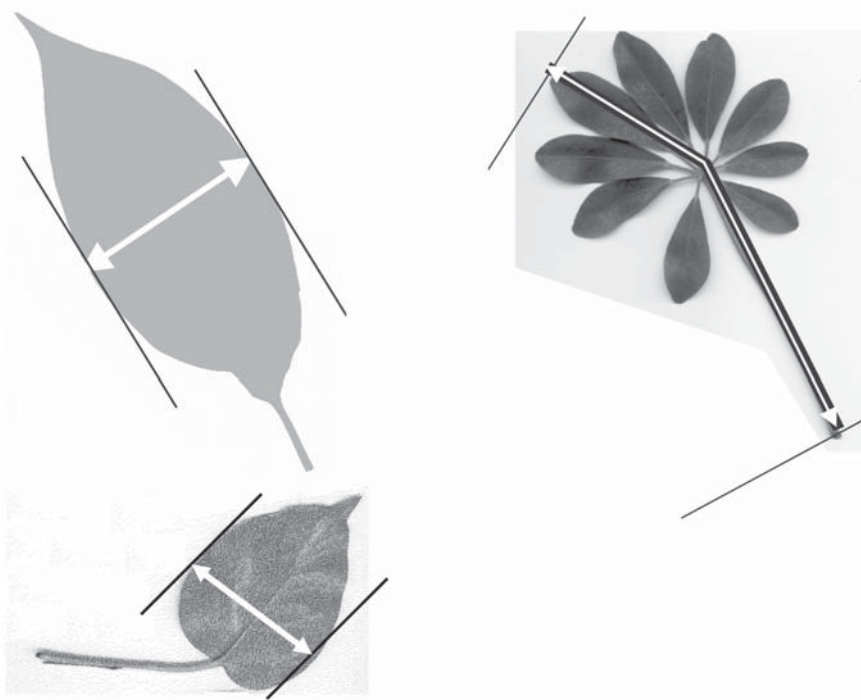
Att klippa bort 150 blad på en växt och skanna in dessa är inte lämpligt, dels på grund av tidsåtgången, dels på grund av att kvar blir då en växt utan blad. En växt utan blad kan inte ingå i ett försök. Därför valdes en metod med icke förstörande mätning. En karakteristisk bladlängd togs fram genom att slumpvis plocka ut 30 blad ur 10 plantor. Karakteristisk bladlängd kan jämföras med längden i Reynolds tal i vanlig rörberäkning eller längden i Nusselts tal i vanlig värmeöverföringsberäkning. Till sambanden i Reynolds respektive Nusselts tal beskrivs alltid en väl definierad längd som ingår i beräkningen. Ur varje planta klipptes två blad bort på olika ställen, antingen upptill, i mitten eller nedtill enligt ett slumpvist framtaget schema. Dessa uttagna blad skannades sedan in och bladarean beräknades samt bredd och några olika längder på bladet mättes manuellt. Då kan man med hjälp av minsta kvadratmetoden (ett sätt att

anpassa flera mätvärden till ett matematiskt samband) erhålla ett samband mellan bladarea och karakteristisk bladlängd. För varje krukväxtarts karakteristiska längd valdes det längdmått som fick bästa anpassningen enligt minsta kvadratsmetodens mening. Ett sådant exempel visas för gullranka i figur 2.



Figur 2. Mätserien för Gullranka för att bestämma sambandet mellan bladarea och karakteristisk bladlängd. Bästa anpassningen erhöles i detta fall för bladets bredd.

På så sätt bestämdes sambandet mellan bladarea och karateristisk bladlängd för de tre olika växtarterna. Hur den karateristiska bladlängden skall mätas visas i figur 3, för de tre olika krukväxterna.

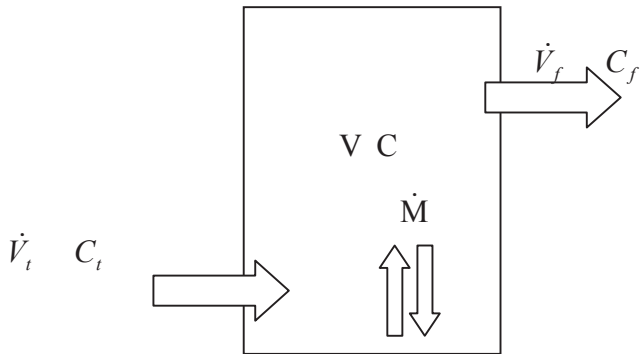


Figur 3. Mått-pilen visar hur den karakteristiska bladlängden skall mätas för *Spathiphyllum*, *Schefflera* och *Epipremnum*.

Därefter mättes karakteristiska bladlängden för alla blad i de slumpmässigt utvalda krukväxter som skulle ingå i aktuellt försök. Det var mellan 50 till 180 blad på varje krukväxt. För Scheffleran som har stam har dessutom ett liknande samband mellan bladarea och stamarea tagits fram för att snabbare kunna uppskatta bladarean.

Mätning av gaskälla eller gassänka

För uppmätning av gaskällan eller gassänkan användes beprövade metoder genom att mäta upp koncentrationer av aktuell gas i tilluften och frånluften. Denna metod finns väl beskriven i Afshari (1999)^[5], Kraenzmer (1999)^[6], Persson (2000)^[2] och Larsson (2004)^[4]. Rumskällan eller rums-sänkan, M , i figur 4 är då den sammanlagda egenskapen för krukväxter och rummet. Därför måste man först mäta upp egenskapen för rummet för respektive gas, för att sedan ta bort rumsegenskapen när sänkan/källan uppmäts för krukväxt och rum. Rumsegenskapen och egenskapen för rum med växter kan då enkelt beräknas med någon av de metoderna som finns beskrivna i angivna litteraturkällor.



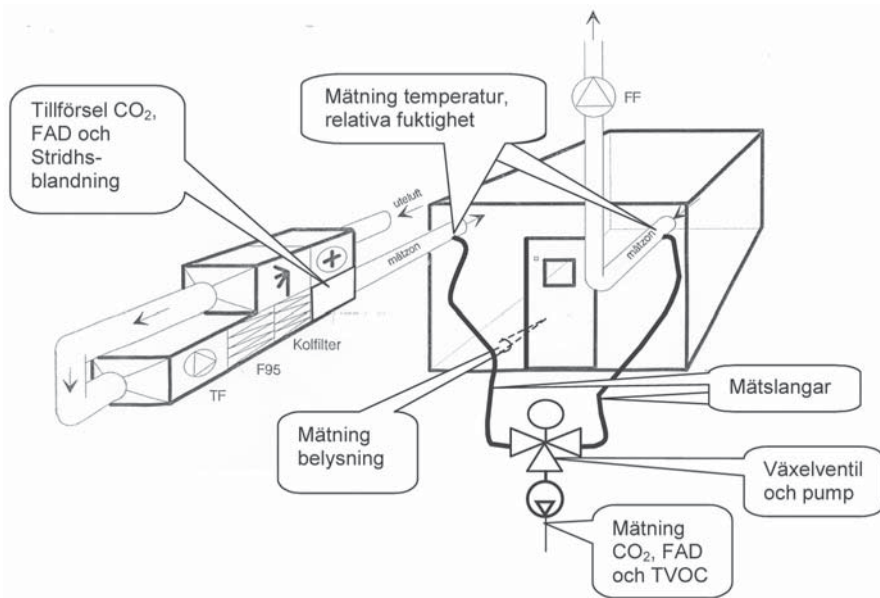
Figur 4. Modell för bestämning av koncentrationer av gaser i ett rum.

En väsentlig del av utrustningen var inlånad av Yrkes- och miljömedicinska kliniken vid Universitetssjukhuset i Örebro. Övrig mätutrustningen som användes tillhör institutionerna för installationsteknik och teknik. Mätprincipen framgår i figur 5.

Vid mätning i mätkamrarna, både mätboxen och renrummet, har samma utrustning använts. För att bestämma gassänkan/källan så mäts gas-koncentrationerna [ppm, omräknat till mg gas m⁻³] i till- och frånluft. Till hjälp för det finns ett mätinstrument och tillhörande växelventil och pump som hämtar gas varannan gång från tillluften och varannan gång ifrånluften. Volymflödet luft uppmäts med en kalibrerad strypfläns och mätkammarevolymen mäts upp en gång för respektive kammare. Vidare mäts i till- och frånluften luftklimatet upp genom att mäta temperatur [°C] och relativa ånghalten [%Rh]. Dessa är sedan omräknade till ångkvot [kg_{vatten} kg_{torr luft}⁻¹] för att bestämma vattenavgivningen från växterna.

Då bl a koldioxidsänkan är beroende av belysningsnivån är även den uppmätt i toppen av krukväxten i dels den för tekniker vanliga storheten belysningsstyrka [lux] och dels den för växtfysiologer vanligen använda fotosyntesaktivt ljus [Par].

Med hjälp av detta har sedan beräknats hur stort specifika gasmassflödet är för respektive gas och krukväxt.



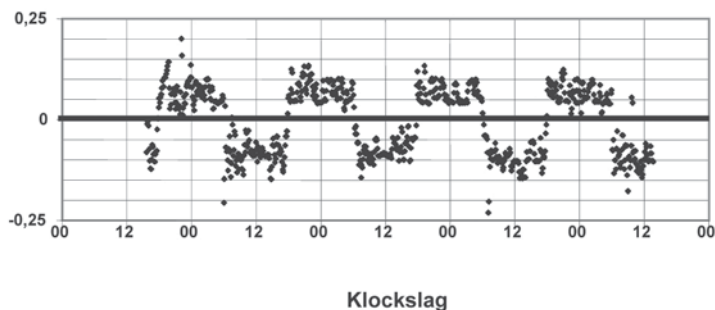
Figur 5. Renrummet vid Institutionen för installationsteknik, Chalmers Tekniska Högskola, med beskrivning av mätutrustningen. Till renrummet tillfördes koldioxid, formaldehyd, en speciell blandning av flyktiga organiska ämnen, Stridhs-blandning (för att simulera vanliga ämnen i kontor och bostäder), efter ett slumpmässigt framtaget körschema. Originalbilden finns vid renrummet. Fritt efter CTH/Installationsteknik.

Några exempel på resultat

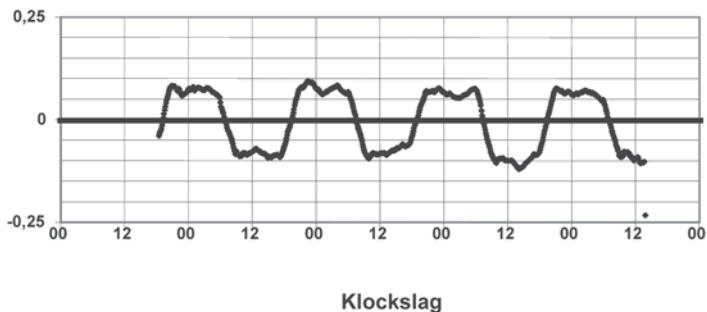
Ett exempel på framräknat resultat för *Spathiphyllum* vid belysningsstyrkan 8000 lux eller 101 Par visas i figur 6. Märk att 8000 lux är extremt stark belysning inomhus. Vid vanlig kontorsbelysning ligger belysningsstyrkan på omkring 500 lux.

Av figur 6 kan man se att när det är dag är växten en koldioxidsänka (negativt, den tar upp koldioxid) och på natten är den en koldioxidkälla (positivt, den avger koldioxid). Det är allmänt känt sedan länge att vid en växts normala växtplats så avger den omkring en sjättedel av den koldioxid den tar upp och det kallas för respiration av koldioxid.

Specifikt koldioxidflöde
 $\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$



Specifikt koldioxidflöde
 $\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$



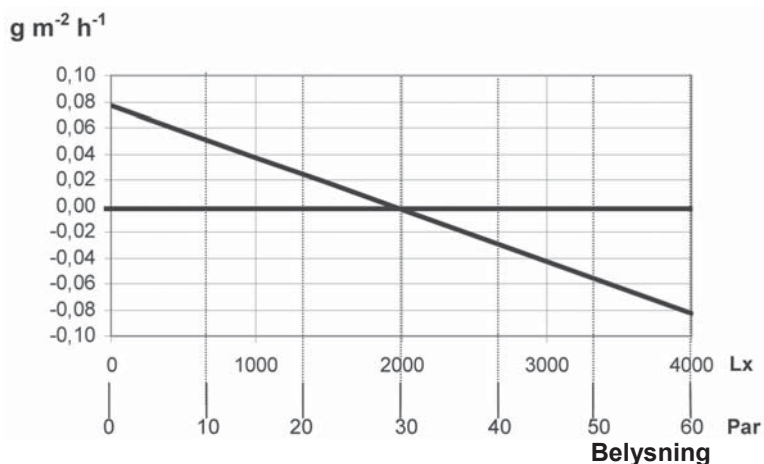
Figur 6. Exempel på momentana mätvärden överst (en punkt = ett framräknat resultat) och tre timmars glidande medelvärden underst. Växt *Spathiphyllum*, belysning 8000 lux eller 101 Par under dagtid. På natten 0 lux eller 0 Par. Ur rumsluften tar växten upp koldioxid på dagtid (negativa värden) och till rumsluften avger växten koldioxid under natten (positiva värden)

I figur 7 är det sammanställt koldioxidkällan/sänkan och dess beroende av belysningsnivån. Man kan i figur 7 märka att först vid 2000 lux/27 Par blir växten en sänka. Vid normala belysningsnivåer inomhus avger således växten koldioxid.

En speciell blandning av flyktiga organiska ämnen togs fram, benämnd Stridhs-blandning. Blandningen var ett urval av de ämnen man finner i kontor och bostäder och är vald så att den är lätt att analysera. Mätningar har skett med ett slumpvist valt schema som styrt tillförsel av de enstaka gaserna koldioxid, formaldehyd och flyktiga organiska ämnen (i form av

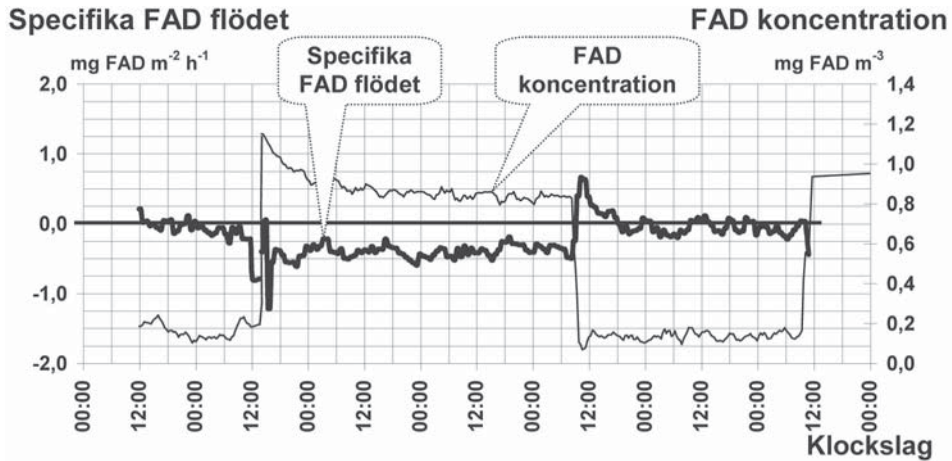
Stridhs-blandning) och kombinationer av tillförsel av ämnena. Totala mängden flyktiga organiska ämnen är uppmätta som TVOC_{pas}, i Toluenekvivalenter, vilket ger höga värden. För närmare förklaring se Ekberg(1994)^[7] eller Larsson(2004)^[4].

Specifikt koldioxidflöde



Figur 7. Sammanställning av *Spathiphyllum* som koldioxidkälla/sänka och dess beroende av tillförd belysning. I figuren finns ej mätdata redovisade utan bara matematiskt visad graf framräknad ur mätdata.

Liknade kurvor som figur 6 kan visas även för formaldehyd, totalmängden flyktiga organiska ämnen samt vattenavgivning från krukväxterna. Här visas bara ett exempel på en formaldehydsänka för *Epipremnum*, se figur 8. Där kan man konstatera att vid en tillförsel av omkring 0,8 mg FAD m⁻³ så är sänkan omkring 0,3 mg FAD m⁻² h⁻¹. Vid beräkning av specifika gasflödet används en finit differensmetod. Den har viss förmåga att ge pendlande resultat om gaskoncentrationen ändras mycket och hastigt mellan beräkningsstegen. Det framgår av figur 8 också.



Figur 8. Ett exempel när formaldehyd (FAD) tillförs renrummet med krukväxten *Epipremnum* i. På eftermiddagen det andra dygnet tillförs FAD och på förmiddagen det femte dygnet avslutas tillförseln. Vid plötsliga ändringar av FAD-koncentrationen, så dröjer det innan beräkningarna av specifika flödet stabiliseras och slutar att pendla. Exemplet visar att specifika FAD-flödet är ungefär 0 vid 0,2 mg FAD m⁻³ och 0,2 till 0,4 mg FAD m⁻² h⁻¹ vid en koncentration omkring 0,8 mg FAD m⁻³. Belysning 4300 lux och 61 Par.

Slutsats

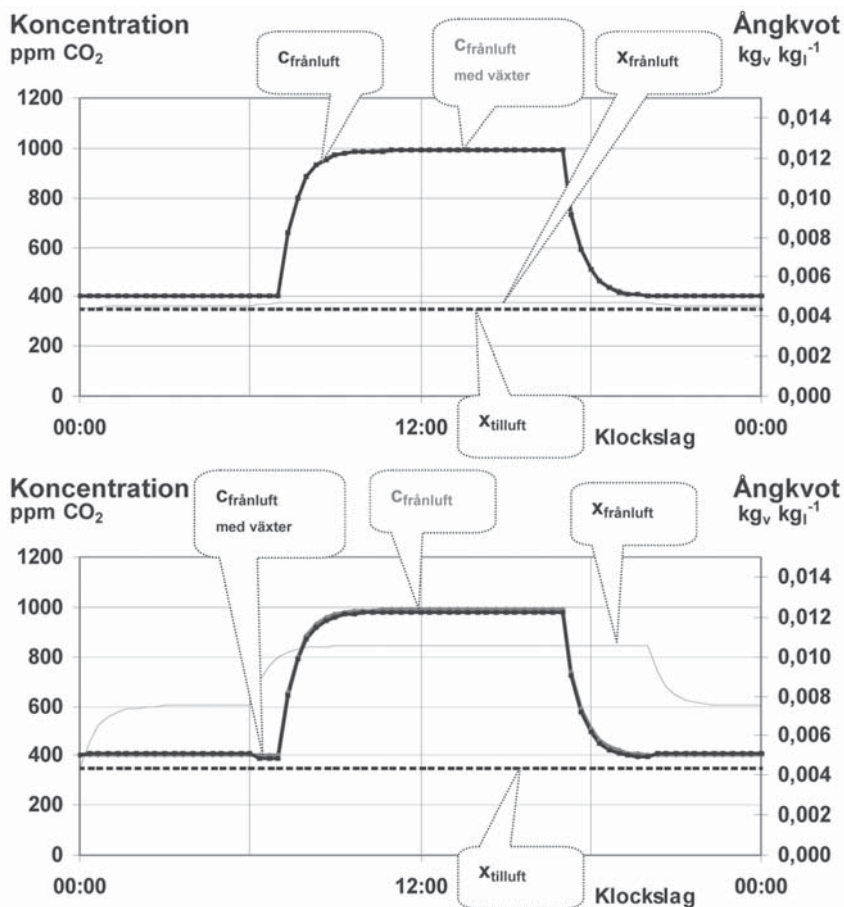
De viktigaste resultaten är följande:

- Krukväxters effekt inomhus som koldioxidsänkor är mindre än vad som anges normalt i litteraturen, beroende på att man normalt anger effektvärden för dagsljus. Storleksordningen på upptaget är 0,05 till 0,1 g CO₂ m⁻² h⁻¹ vid rimliga belysningsnivåer. Vid höga halter koldioxid (1500 ppm) ökar upptaget till mellan 1 och 5 g CO₂ m⁻² h⁻¹.
- Krukväxter respirerar (avger) koldioxid på nätterna, i storleksordningen 0,1 g CO₂ m⁻² h⁻¹.
- Krukväxter är en formaldehydsänka i storleksordningen 0,1 till 1 mg FAD m⁻² h⁻¹ på dagtid. Troligen är det växten som bryter ner formaldehyden. Formaldehyden tas troligen upp via klyvöppningarna av krukväxten.

- Krukväxter är en sänka för flyktiga organiska ämnen i storleksordningen 0,1 till 2 mg TVOC m⁻² h⁻¹. Troligen är det växtens egenskaper som adsorbent eller möjligen som katalysator som gör att koncentrationer av flyktiga organiska ämnen sänks. Det räcker med att en av tillförda gaser som ingår i Stridhs-blandning minskar för att totala mängden flyktiga organiska ämnen skall minska.
- Krukväxter inomhus är en vattenkälla som avger 10-20 g H₂O m⁻² h⁻¹ dagtid och 5 g H₂O m⁻² h⁻¹ på natten. Lagom mängd krukväxter kan vid riktig användning därför lämpa sig som fuktreglerare i inomhusmiljön, särskilt vintertid. Vid högre belysningsstyrka avges mer vatten.
- Ingen av de ovannämnda effekterna har visat sig vara så betydande att de kan användas för att nämnvärt förbättra luftkvaliteten inomhus.

Tillämpning

En tillämpning görs lämpligen i form av att studera koldioxidändringen i ett kontorsrum. Inte för att koldioxid är någon farlig gas men den används som ett mått på att rummet är förorenat med aktiviteter från människa. Ett koldioxidförlopp för kontorsrum redovisas ganska ofta så man känner igen sig när man ser det. Exakt samma tillämpning kan göras för andra gaser men då känner man inte igen storleksordningarna, så de blir mer svår-tolkade.



Figur 9. Överst: Beräkning av koldioxidkoncentrationen i ett kontorsrum med en växt med 1 m^2 bladarea. Gaskoncentrationen ändras i princip inget. Dock kan man se en svag höjning av ångkvoten x vars axel visas till höger. Nederst: Samma beräkning men med $16,5 \text{ m}^2$ bladarea i kontorsrummet. Då kan på natten en svag ökning ses samt på dagen en svag minskning av koldioxidkoncentrationen: Ångkvoten har då ökat från 4 till $10,5 \text{ g, kg}^{-1}$.

En tillämpning av ovan nämnda resultat kan göras t ex för ett kontorsrum där det finns en person som arbetar mellan kl 08 till 17. Kravet på luftkvalitet är satt så att ventilationen är dimensionerad för att det skall bli maximalt 1000 ppm i kontorsrummet när rummet används. Tillämpningen visas grafiskt i figur 9. I övre figuren noteras att inget händer med koldioxiden. På morgonen är det omkring 400 ppm (bakgrundsnivån utomhus). Koldioxidnivån stiger när personen kommer in i rummet för att bli

maximalt 990 ppm. På kvällen avklingar koldioxidnivån ner till bakgrunds-nivån. Fukttillskottet från människan är ringa och har inte medtagits i beräkningen.

Antag att man i rummet placerar en krukväxt med 1 m² bladarea (figur 9 överst) och ger växten 3000 lux belysning. Detta kan betraktas som en punktbelysning på en växt som är omkring 0,8 m hög. Belysningen är på mellan kl 06 till 18. I rummet är det omkring 990 ppm koldioxid oberoende om det är 1 m² bladarea i rummet eller ej. När belysningen tänds kan man dock mäta en viss ökad luftfuktighet som kan avläsas i form av ångkvoten [$\text{kg}_{\text{vatten}} \text{kg}_{\text{torrluft}}^{-1}$] på axeln till höger.

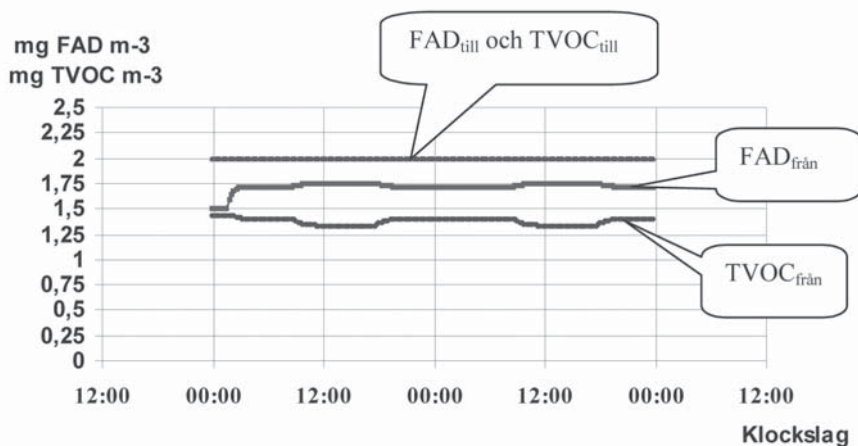
Nedre figuren: Samma beräkning men med 16,5 m² bladarea i kontorsrummet. Då kan på natten en svag ökning ses samt på dagen en svag minskning av koldioxidkoncentrationen: Ångkvoten har då ökat från 4 till 10,5 g_v kg_l⁻¹.

Ökar man växtantalet så att bladarean blir 16,5 m², vilket motsvarar hälften av kontorsrummets väggytor inkl dörr och fönster, så händer inte mycket. Det framgår av nedre figur 9. Man kan då notera att man får en något högre koldioxidnivå på natten på grund av koldioxidrespirationen och en något sänkt koldioxidnivå mellan kl 06 och 07 på grund av att växterna då tar upp koldioxid och ingen person finns i rummet. På dagen är det omkring 980 ppm istället för 990 ppm koldioxid. Om man skulle ta med egenskapen att koldioxidsänkan ökar med ökad koldioxidnivå i rummet så skulle man erhålla omkring 850 ppm koldioxidhalt i rummet.

Fuktnivån i rummet skulle öka från 0,004 till 0,0105 $\text{kg}_{\text{vatten}} \text{kg}_{\text{torrluft}}^{-1}$, vilket innebär från ca 35 %Rh till 75 %Rh vid ca 20 °C. Belysnings-effekten skulle öka från ca 80 W till 500 W. Det innebär att temperaturen skulle öka eller att man var tvungen att förändra ventilationssystemet och införa rumskyla.

Tillämpas mätresultatet från krukväxter och man beräknar vilka sänkorna blir för flyktiga organiska ämnen och formaldehyd, så erhålls grafen i figur 10. I exemplet är det 16,5 m² bladarea i ovan beskrivna kontorsrum. För enkelhets skull har antagits att det till rummet kommer 2 mg FAD m⁻³ och 2 mg TVOC m⁻³. Värdena är mycket höga och för formaldehyd ligger de

mer än 3 gånger högre än nivågränsvärdet. Sänkan kan jämföras med en "sänkingsgrad" i rummet på 0,27 (FAD) resp 0,33 % (TVOC). De 16,5 m² bladarea motsvarar ca 33 st Schefflera som är 0,75 m höga. Belysningseffekten i rummet motsvarar 600 - 700 W.



Figur 10. Sänkning av formaldehyd och totala mängden flyktiga organiska ämnen i ett kontorsrumsstort rum med 16,5 m² bladarea. Ventilationen är dimensionerad att ge 1000 ppm koldioxid om en person använder rummet. Notera att sänkningarna är ljusberoende. Flyktiga organiska ämnessänkan är störst på den ljusa delen och formalinsänkan är störst på den mörka delen av dygnet.

Slutsats av tillämpningarna

Av tillämpningsexemplen kan man dra slutsatsen att man inte enkelt kan använda krukväxter som luftrenare i rum. Dels behövs det mycket växter som tar stor plats och dels, för att dessa skall kunna leva och i viss mån fungera, behövs stor mängd belysning.

För att utnyttja växterna som luftrenare krävs att växten kommer i kontakt med den förorenade luften. Det innebär att växterna skall vara där föroreningskällan är och där minska föroreningarna. Att placera växterna i lokaler där föroreningarna diffust uppkommer kommer att ge stora mängder växter. Rum med skrivare, om det där genereras gaser som växter tar upp, skulle kunna vara en tillämpning.

Resultaten visar att växter inte är några bra luftrenare. Att påstå att en liten krukväxt ger bättre luftkvalitet i en lägenhet eller rum är således felaktigt.

Referenser

- 1 Wolverton, B., C. (1997); *Renare luft med växter*. Wahlströms ISBN 91-32-32144-9.
Wolverton, B. C. (1996); *Eco-friendly houseplants, 50 indoor plants that purify the air in homes and offices*, London, Weidenfeld & Nicolson, 0-297-83484-3.
- 2 Persson, M. (2000); *Dimensionerande luftflöden*. Department of Building Services Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, ISSN 1400-9544.
- 3 Taiz, L. och Zeiger, E. (1994); *Plant Physiology*. Sinauer Associates INC, Sunderland, Massachusetts, USA, ISBN 0-47493-431-1.
- 4 Larsson, T. (2004); *Några inomhusväxters förmåga att påverka luftkvaliteten*. Institutionen för installationsteknik, Chalmers tekniska högskola, ISBN 91-7291-414-9 eller Örebro universitet ISSN 0280-9605.
- 5 Afshari, A. (1999); *Determination of VOC Emissions from Surface Coatings by Environmental Test Chamber Measurements*. Chalmers University of Technology, Dept of Buildings Services Engineering, Göteborg, ISBN 91-7197-867-4.
- 6 Kraenzmer, M. (1999); *Modelling as a Tool to Evaluate Continuously Measured Concentration Values of Gaseous Indoor Air Pollutants*. Department of Building Services Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, ISBN 91-7197-755-4.
- 7 Ekberg, L., E. (1994); *Airborne contaminants in office buildings - Same factors influencing the indoor air quality*. Building Services Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, ISBN 91-7192-001-0.
- 8 Olander, L. (1993); *Gröna plantor och inomhusmiljö - Krukväxter är inga effektiva luftrenare*. Energi och Miljö, 1993:10. Förlags AB VVS, Stockholm.

Symboler och beteckningar

A	Bladarea	m^2, cm^2
B	Karakteristisk bladlängd, i detta fall bladets bredd	cm
C	Gaskoncentrationen i kammarluften	$mg\ m^{-3}$
C_t	Gaskoncentrationen i tilluften	$mg\ m^{-3}$
C_f	Gaskoncentrationen i frånluften	$mg\ m^{-3}$
c	Gaskoncentrationen i kammarluften	ppm, $\mu m^3\ m^{-3}$
\dot{M}	Massflödet gas till eller från kammaren pga kammare och växter, rumssänka eller rumskälla	$mg\ gas\ h^{-1}$
\dot{m}	Specifika gasmassflödet för växter, rumssänka eller rumskälla	$mg\ gas\ m^{-2}\ h^{-1}$
P	Antal personer	st
R^2	Determinationskoefficient	-
\dot{V}_t	Volymflödet i tilluften	$m^3\ h^{-1}$
\dot{V}_f	Volymflödet i frånluften	$m^3\ h^{-1}$
V	Mätkammarvolymen	m^3
x	Ångkvot	$\frac{kg_{vatten}}{kg_v}, \frac{kg_{torrluft}}{kg_l}$

Kemiska ämnen i golv och användning av emissions-spärrar

Anders Sjöberg

- ❑ Hur mäter man kemiska föroreningar i fuktskadade golv och hur tolkar man resultaten?
- ❑ Kan man emissionsspärra kemin i golv?
- ❑ Vad är skillnaden mellan olika emissionsspärrar?

Hur mäter man kemiska föroreningar i fuktskadade golv och hur tolkar man resultaten?

Riktade emissionsmätning

Vid utredning av orsakssambandet i byggnader med sjuka-hus sjukan (SBS, sick building syndrome) är det vanligt att utredaren gör riktade emissionsmätning mot golvet eller andra ytor som misstänks utgöra onormalt stora emissionskällor. Sådana mätningar kan i många fall hjälpa utredaren att hitta ytor i byggnaden som har onormalt höga emissioner. Exempel kan vara väggfärg som inte torkat på avsett vis, linoleummattor som skadats av städkemikalier eller en feltillverkad golvmatta med alldeles för höga egenemissioner. Dessa riktade emissionsmätningar kan utföras på ett standardiserat och repeterbart sätt med hjälp av mätcellen FLEC.

Det har dock visat sig att riktade emissionsmätningar mot ytor är ett otillräckligt verktyg för att med säkerhet avgöra om det finns emissionskällor inne i konstruktionen. Detta beror på att avgivningen av mätbara ämnen från ytan kan vara mycket liten även fast konstruktion är kraftig skadad inuti. Om konstruktionen exempelvis har ett ytmaterial som kraftigt minskar emissionen till rummet av de mätbara ämnena samt att luftväxlingen i lokalen är hög kan en stor emissionskälla inne i en konstruktion vara svår att upptäcka med en riktad emissionsmätning. För att mäta denna typen av emissionskällor behöver man istället använda sig av en annan typ av mätteknik där man öppnar upp konstruktionen innan mätningen sker.

Anledningen till att man vill hitta emissionskällor som inte är mätbara beror på att det finns erfarenheter som visar på ett samband mellan ohälsa, SBS och förekomsten av fuktrelaterade emissionskällor såsom mikrobiell

förekomst eller kemisk nedbrytning av vattenbaserade golvlím. Erfarenheten visar att i de fall man avhjälp t fuktproblemet och avlägsnat emissionskällan inne i konstruktionen har hälsoproblemen minskat eller helt försvunnit.

Observera att det endast finns ett fåtal erfarenhet om sambandet mellan ohälsa och förekomsten av ytor med höga emissioner. I vissa fall kan det till och med upplevas som positivt och väldoftande och vara önskvärt med materialemissioner, exempelvis från nysågat trä eller limoleummattor.

Emissionsmätning med hål i ytskiktet

Det har utvecklats olika typer av tekniker för att avgöra om det finns emissionskällor inne i en golvkonstruktion. Den första bygger på metodiken och utrustningen som används för riktade emissionsmätningar. Metoderna är så snarlika varandra att det många gånger kan vara svårt för en utomstående att inse att det inte är frågan om en riktad emissionsmätning.

Metoden innebär att ett hål görs i ytskiktet och därefter används samma metodik som för riktad emissionsmätning för att göra en emissionsmätning över hålet. Med standardiserad storlek på hålen kan resultaten från flera olika mätningar jämföras med varandra. Dock använder sig olika utredare av olika storlekar på hålen, vanligt förekommande är fyrkantiga hål med 10 cm sida samt runda stansade hål med 25 mm diameter.

Många utredare anser att den föreskrivna metodiken för mätcellen FLEC är för krånglig och tidsödande när man vill göra många mätningar i ett stort objekt. Därför använder de sig ibland istället av ett exsickatorlock och ett förenklat förfarande. Mätningar med hjälp av exsickatorlock utförs både genom att mäta koncentrationen i en konstant luftström som tas ur exsickatorlockets centrumhål och genom att kontinuerligt mäta koncentrationen som byggs upp inuti ett oventilerat exsickatorlock som ligger över hålet i golvbeläggningen. Ibland används ett direktvisande fotoakustisk analysinstrument av typen Brüel & Kjær 1302 vid mätningar med exsickatorlock.

Denna metodik används främst av erfarna utredare för att avgöra i vilken omfattning det förekommer deponerade nedbrytningsprodukter under mattan. Med hjälp av mätresultatet från denna mätning tillsammans med en uppmätt fuktprofil från undergolvet kan utredaren avgöra om det är en

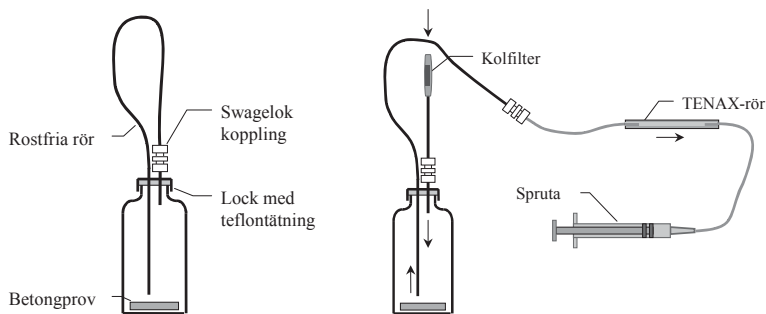
gammal eller pågående skada. Dessa olika situationer kräver sedan att man går vidare på olika sätt.

Handlar det om en fuktrelaterad emissionskada som nu är torr behöver man bara försäkra sig om att fukten inte återkommer efter det att emissionsskadan åtgärdats. Är det däremot en pågående fuktig skada måste man istället dimensionera en åtgärd som tar hand om både fukt- och emissionsproblematiken. Båda dessa situationer kan naturligtvis kräva att man fortsätter undersökningen, exempelvis med fördjupade mätningar.

Mätning på uttagna betongprover

För att i detalj kunna avgöra hur djupt deponerade nedbrytningsprodukter från alkalisk nedbrytning av golvlím har trängt in i betongundergolvet har olika analyslaboratorier utvecklat egna metoder. Med de flesta av dessa metoder kan man dessutom få en uppfattning om hur stor mängd nedbrytningsprodukter som deponerats och finns lagrade på olika djup i betongen. Dessa uppgifter kan sedan användas till att avgöra hur kraftfull åtgärd som måste användas för att avhjälpa emissionskadan.

Den första metoden kan liknas vid att mäta fukt i betong med RF-metoden för uttaget prov. Metoden är framtagen på Chalmers av Sjöberg (2001a) och går ut på att man tar upp betongbitar från olika djup i golvet och försluter dem i speciella flaskor, se figur 1. Efter ett par dagar i rumstemperatur, när ämnena i betongen har kommit i jämvikt med luften i flaskan tas ett luftprov från headspacen i flaskan. Luftprovet fångas på en absorbent av Tenax eller aktivt kol och koncentrationen analyserad med hjälp av en gaskromatograf (GC). Profilen som bildas av att koncentrationen av de gasformiga kemiska ämnena är olika på olika djup i betongen talar direkt om ifall ämnena nu håller på att tränga längre in i konstruktionen eller vädras ut. Eftersom koncentrationsskillnader är den drivande potentialen för transport i gasfas innebär detta i praktiken att nedbrytningsprodukter alltid transporten från områden med hög koncentration, till områden med låg koncentration.

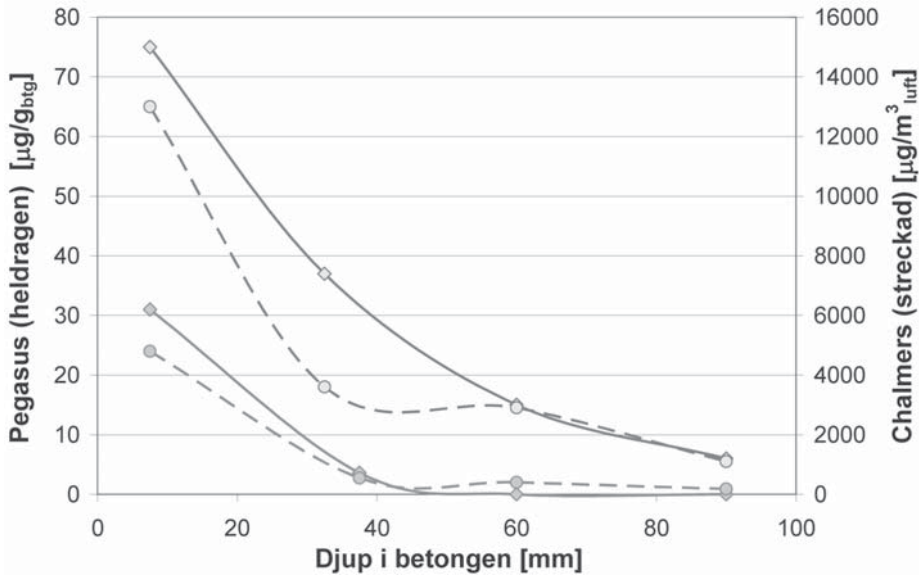


Figur 1. Flaskan vid konditionering respektive provtagning enligt Chalmers metod.

En annan metod har utvecklats av Pegasus Lab och bygger på att man indirekt mäter det totala innehållet av specifika kemiska ämnen i betongen. Ungefär 3g betongkross eller borrkax läggs i en vial tillsammans med 5 ml av en lösning bestående av vatten och etanol. Blandningen skakas under 30 minuter i 85 °C och därefter injiceras övertrycket i headspacen i en GC-MS. Genom framtagna samband kan sedan Pegasus Lab översätta analysresultatet till den totala mängden för två typiska nedbrytningsprodukter som ofta återfinns i emissionsskadad betong. Mätning på betong från flera djup på samma plats ger en profil av koncentrationen som även lämpar sig för att utvärdera inträngningsdjup och transportriktningar.

Utvärdering av profiler från betonganalyser

I figur 3 redovisas profiler från två platser uppmätta med både Pegasus och Chalmers metod. De heldragna linjerna är den totala mängden 2-etyl-1-hexanol i betongen uppmätt med Pegasus metod, vänster y-axel. De streckade linjerna är den fria koncentrationen av 2-etyl-1-hexanol i luften i porerna i betongen uppmätt med Chalmers metod, värden på höger y-axel.

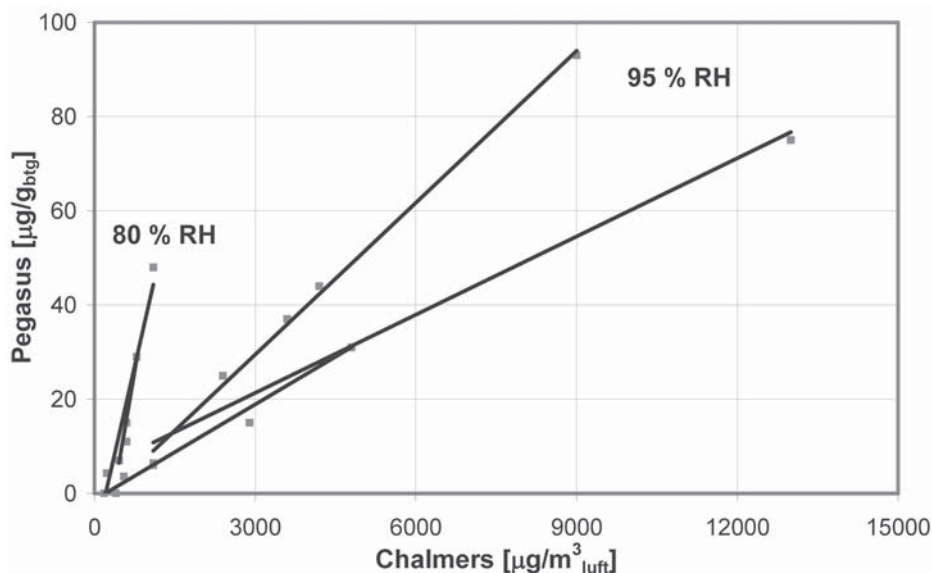


Figur 2. Profiler av total mängd (Pegasus) och fri koncentration (Chalmers) av 2-etylhexanol i betonggolvet på två olika platser.

Genom att studera profilernas form i figur 2 kan man få mycket information. Dels är profilernas form nära ytan intressant. I detta fall när de högsta värdena finns närmast ytan och värdena sjunker monotont med djupet i betongen säger det oss att nedbrytningen sannolikt ännu pågår. Hade istället högsta värdet funnits en bit in i konstruktionen hade vi förstått att ämnena under mattan börjat avta och tolkat detta som att nedbrytningen sannolikt avstannat sedan en tid. Nästa sak att lägga märke till är att inträngningsdjupet är markant olika för profilerna. I det översta fallet har ämnena trängt in till minst 90 mm djup medan inträngningsdjupet endast är omkring 40 mm i det understa fallet. Slutligen ger den integrerade ytan under linjerna oss en uppfattning om den totala mängden 2-etyl-1-hexanol vid respektive provtagningsplats. Dessa uppgifter kan man sedan sammanlagt användas i beslutsprocessen vid val av åtgärd för det emissionsskadade golvet.

Genom att kombinera resultat från de båda metoderna, som är uppmätta på betong från samma plats och djup, kan man få fram ett samband som beror av fuktnivån i betongen, se figur 3. Detta samband visar att betongen

innehåller en större total mängd 2-etylhexanol vid en lägre fuktighet om samma värde på den fria koncentrationen uppmätts.



Figur 3. Samband mellan total mängd (Pegasus) och fri koncentration (Chalmers) av 2-etylhexanol vid två olika fuktnivåer.

Kan man emissionsspärta kemin i golv?

Olika alternativ till åtgärdsförslag

Den tekniskt sett bästa åtgärden för ett emissionsskadat golv är att avlägsna allt ”smittat” material, åtgärda fuktkällan samt återställa konstruktionen med en robust lösning som inte riskerar att få framtida problem. Ofta låter detta sig inte göras utan man väljer istället en lösning med en ventilerade spaltbildande golvskena som för bort emissionerna från golvkonstruktionen innan de når inomhusluften. Nackdelen med denna lösning är att den vanligen kräver åtminstone någon cm bygghöjd samt ett kontinuerligt underhåll för att fungera i längden.

I de fall när det bara finns en begränsad mängd deponerade nedbrytningsprodukter i undergolvet kan ovanstående åtgärder bedömas vara onödigt kraftfulla. I de fallen övervägs ibland att istället applicera ett målningsbart spärrskikt direkt på betongen efter att den gamla ytbeläggningen avlägs-

nats. Denna lösning används ibland även när det inte går att montera ett ventilerat övergolv på grund av dess bygghöjd. Ett målningsbart spärrskikt byggs som mest endast någon 1/10-dels mm.

Erfarenheter och referenser för emissionsspärrar

Erfarenheter av målade emissionsspärrar är mycket blandade. Ingen vet säkert om de verkligen kan avhjälpa hälsoproblem av typen SBS när problemet antas vara emissioner från golvkonstruktioner. Tillverkare och leverantörer av dessa produkter har inte tillgång till adekvat information om sina egna produkters funktion och egenskaper. I bästa fall har de rapporter från referensobjekt där något problem uppges ha upphört sedan preparatet applicerats på golvet. Men ibland beskriver dessa rapporter inte ens vilken typ av problem som avses samt omfattningen av problemet som avhjälpas.

Samtliga av dessa rapporter är skrivna på sådant sätt att det inte med säkerhet går att avgöra om spärrskiktet haft en avgörande inverkan på problemets lösning. Bland annat beror denna osäkerhet på att undersökningarna har gjorts utan ordentliga referensobjekt. Ofta har man dessutom vidtagit flera åtgärder samtidigt, exempelvis bytt golvbeläggning och vädrat undergolvet en tid. Det går då inte att särskilja inverkan av dessa extra åtgärder från spärrskiktets. Slutligen är uppföljningarna av åtgärder som presenteras bristfälligt utförda. Ofta är de dessutom gjorda efter mycket kort tid, 1 månad – 1 år. Inte i något enda fall har en ordentlig uppföljning av det ursprungliga problemet utförts efter lång tid, dvs 2 – 10 år.

Vad är skillnaden mellan olika emissionsspärrar?

Uppmätta egenskaper

Det har visat sig i en studie på Chalmers av Sjöberg (2001b) att det går att sänka emissionen av n-butanol och 2-etyl-1-hexanol från en betongyta genom att applicera ett målningsbart spärrskikt. Emissionen av enskilda kemiska ämnen minskar markant med rätt emissionspärr, men ingen undersökning har hittills visat att en emissionspärr helt kan spärra alla emissioner från en betongyta.

Chalmers undersökning visade att det var stora skillnader mellan olika typer av emissionspärrar. Nedanstående tabell är en sammanställning av uppgifter från Sjöberg (2001a & 2001b). Samtliga värden på spärrskikt är

framtagna med spärrskikten applicerade på 20 mm tjocka betongskivor av två olika kvaliteter. Betongskivornas inverkan är subtraherad från de värden för spärrskiktens som redovisas i tabell 1.

Tabell 1. Genomgångsmotstånd hos spärrskikt och andra golvbeläggningar, [$\cdot 10^3$ s/m].

	Betong, vct 0,66			Betong, vct 0,39		
	H ₂ O	BuOH	EtHx	H ₂ O	BuOH	EtHx
Epoxi*	410	3'200	150	210	1'600	230
Silan*	57	0	12	95	600	23
Vattenglas*	4	4	12	0	0	23
Creom*	0	16	12	0	180	23
Penetron*	0	31	30	0	160	23
Betong, 20 mm	15	180	88	37	260	120
Linoleum	400	2'900	90	–	–	–
PVC-matta	2'000	3'700	380	–	–	–
Platon Golv (blå)	11'000	10'400	2'400	–	–	–

* värdena är uppmätta med skiktet applicerat på 20 mm betongskiva, vars täthet sedan subtraherats.

Nedanstående beskrivningar av spärrskikten är en sammanställning av uppgifter ur Sjöberg (2001b) samt information lämnad av leverantörer och användare av spärrskikten.

Epoxi

Detta preparat är en tvåkomponent härdplast som uppges fungera som fukt-, alkali- samt emissionsspärr. 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 skyddande skikt.

Det härdade epoxiskiktet fungerar som emissionsspärr eller snarare ”emissionsbroms” genom att reducerar emissionen av mätbara nedbrytningsprodukter från betongytan. Vid nyproduktion av betonggolv fungerar det härdade epoxiskiktet som ett effektivt skydd som förhindrar alkalisk nedbrytning av golvljmet.

Erfarenheten av renovering av emissionsskadade golv är god för denna produkt. Författaren känner för tillfället inte till några objekt där renovering av torra men emissionsskadade golv misslyckats.

Silan

Detta preparat är en polär monomer som tränger ned någon cm i betongen efter applicering och binder på porväggarna. Preparatet uppges vara kapillärbrytande och diffusionsöppet samt emissionspärrande. 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, t.ex. 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 (vattenavvisande). I det hydrofoberade område kan inte vatten, nedbrytningsprodukter eller andra ämnen fästa. De nedbrytningsprodukter som tidigare deponerats och finns bundna i detta område tvingas att bli flyktiga.

Betongytor som impregnerats med silan har endast begränsat emissionspärrande egenskaper. Detta beror på att dessa ytor fortfarande är diffusionsöppna och kan utan motstånd släppa genom nedbrytningsprodukter. Den reducerande effekt som ses i tabell 1 härrör sannolikt från att nedbrytningsprodukterna inte kan binda till porväggarna i det impregnerade området. Vid nyproduktion av betonggolvs har hydrofoberingen uppvisat hindrande inverkan på alkalisk nedbrytning av golvljmmet.

Erfarenheten av renovering av emissionsskadade golv är blandad för denna produkt. Författaren känner till ett antal objekt där renovering av torra men emissionsskadade golv misslyckats och behövt göras om med annan lösning efter ett antal år.

Vattenglas

Detta preparat tränger vid applicering ned i betong mellan 1 – 3 cm och härdar till svårlösliga kiselföreningar. Kiseldioxiden reagerar huvudsakligen med kalciumsalter, t.ex. kalciumklorid och kalciumhydroxid, och bildar kalciumsilikat som sätter sig på porväggar och förstärker strukturen. Preparaten uppges fungera som fukt- och alkalispärr. I bland uppges en impregnering sänka pH värdet med 2-3 enheter och fuktnivån till under 85 % RF. Denna effekt samt dess inverkan på golvsystemet finns dock inte dokumenterad i någon rapport.

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. Vattenglas har fått sitt namn då den kvarvarande ”massan” efter vattnet dunstat bort liknar glas.

Betongytor som behandlats med vattenglas har knappt inga emissions-spärrande egenskaper. Den svaga effekt som ses i tabell 1 härrör sannolikt från att porsystemets tvärsnittsarea minskar något när vattenglas binder till strukturen. Vid nyproduktion av betonggolvet har dock vattenglas uppvisat hindrande inverkan på alkalisk nedbrytning av golvljmet.

Erfarenheten av renovering av emissionsskadade golv är blandad även för denna produkt. Författaren känner till ett antal objekt där renovering av torra men emissionsskadade golv misslyckats och behövt göras om med annan lösning efter ett antal år.

Creom

Detta preparat är en termoplast som uppges fungera som fukt- och alkalispärr men ibland även används som emissions-spärr. Preparatet är en halvtransparent emulsion i vätskeform som består av alifatisk polyeten, copolymerharts samt akrylatpolyme och är helt vattenbaserat utan lösningsmedel.

Efter att preparatet applicerats på en betongyta, uppges det tränga in 2 –10 mm och härda. Efter härdning bryts betongens kapillärsugande förmåga, samt nötningsbeständighet ökar.

Betongytor som behandlats med Creom har knappt inga emissions-spärrande egenskaper. Den svaga effekt som ses i tabell 1 härrör sannolikt från att porsystemets tvärsnittsarea minskar något när preparatet binder till strukturen. Vid nyproduktion av betonggolvet har dock Creom uppvisat hindrande inverkan på alkalisk nedbrytning av golvljmet.

Erfarenheten av renovering av emissionsskadade golv är blandad även för denna produkt. Författaren känner till ett antal objekt där renovering av torra men emissionsskadade golv misslyckats och behövt göras om med annan lösning efter ett antal år.

Penetron

Detta preparat är cementbaserat och uppges vara en kapillär vattentätning för betong som även kan användas för att påskynda uttorkning och spärra emissioner. 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 Sjöberg (2001b) blandades preparatet till en slamma, av tillverkaren, som sedan ströks på betongytan.

Betongytor som behandlats med Penetron har knappt inga emissions-spärrande egenskaper. Den svaga effekt som ses i tabell 1 härrör sannolikt från att porsystemets tvärsnittsarea minskar något när preparatet binder till strukturen. Vid nyproduktion av betonggolv har Penetron inte uppvisat någon som helst hindrande inverkan på alkalisk nedbrytning av golvlimet, snarare tvärt om.

Författaren saknar erfarenheter av renovering av emissionsskadade golv saknas för denna produkt.

Referenser

- Sjöberg A. Sekundära emissioner från betonggolv med limmade golvmaterial –effekter av alkalisk hydrolys och deponerade nedbrytningsprodukter. Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers, Göteborg P-01:4. 188 sidor. Svensk översättning av doktorsavhandling. www.bm.chalmers.se/research/publika/p014.htm
- Sjöberg A. Egenskaper och funktion hos fukt- och alkalispärrar på betong Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers, Göteborg 2001. P-01:5. (42) sidor. www.bm.chalmers.se/research/publika/p015.htm

Session 2b. Föroreningar i innemiljön

Aino Nevalainen

Peder Wolkoff

Sarka Langer, Lars Ekberg

Göran Stridh

Tom Follin

Ingemar Samuelson

Mikroorganismers betydelse i skadeutredningar

Aino Nevalainen

- ❑ Vilka nya metoder finns för bestämning av egenskaper hos olika mögel- och bakteriestammar? Någor nytt om MVOC?
- ❑ I vilken utsträckning kan dessa metoder användas vid praktiska skadeutredningar?
- ❑ Vilka metoder generellt tror Du kommer att bli mest användbara vid skadeutredningar i framtiden? Har man lyckats etablera krav på hur provtagning och analyser bör utföras?

Inledning

Mikrobtillväxt är en oundviklig konsekvens om byggnads- eller inredningsmaterial blir våta eller tillräckligt fuktiga. Mikroberna kan växa på vilket material som helst, stål, glas och betong inräknade. Fuktproblem och mikrobtillväxt går därför vanligen tillsammans. Det föreligger välkända associationer mellan fukt- eller mögelproblem i hus och hälsoproblem hos brukare (IOM 2004). Trots de starka sambanden vet man ännu inte vilka mikrobarter eller vilka produkter som svarar för registrerade hälsoeffekter. Kemiska emissioner från material och bristfällig ventilation utgör andra möjliga orsaker till upplevda symptom.

Man har i många studier visat att förhöjda koncentrationer av mikrober och en förändrad mikrobfloora i inneluften indikerar mikrobväxt i byggnaden. Mikrobmätningar kan därför vara ett bra arbetsredskap, som berättar om husets mikrobiologiska situation och om innemiljön är "normal" eller inte, förutsatt att mätningarna är väl planerade och utförda på rätt sätt. Man måste ta tillräckligt många prov och ha referensmaterial till vilka resultaten kan jämföras för att kunna beskriva miljön på ett rimligt sätt. Mikrobernas koncentration i inneluften och uteluften varierar mycket med plats och över tid, och därför är ett prov inte tillräckligt för att representera förhållandena i ett rum eller hus. Ett absolut minimum för korttidsprover (15-20 min) är 3-5 prov för en bostad och cirka 10 prov för en skola. Om man kan göra mätningarna på vintern, då mikrobkoncentrationerna är mycket låga utomhus, underlättas tolkningen av resultatet.

Luftprover kan användas för att utvärdera effekten av skadeåtgärder. Detta förutsätter att mätningarna görs såväl före som efter åtgärder och vid samma årstid och med samma metodik (Meklin et al. 2005). Detta kan vara svårt att organisera i praktiska fall, även om det skulle vara nyttigt att ha sådan dokumentation.

Det är lättare att tolka resultatet av yt- eller materialprover, som man kan ta för att försäkra sig om en observation av fuktmarkering eller skadat material medfört mikrotillväxt. Ett ytprov med mikrobhalten >1000 cfu/cm² och materialprov med mikrobhalten $>10\ 000$ cfu/g visar att mikroväxt föreligger (Social- och hälsovårdsministeriet i Finland 2003).

Ett problem med olika odlingsmetoder är att man bara kan hitta 1-10 % av alla mikroorganismer i miljöprov. Eftersom även skadade eller döda mikrobceller kan ha såväl allergena, toxiska som andra bioaktiva egenskaper, är det viktigt att utveckla effektivare metoder för mikrobanalys. Metodutvecklingen inom mikrobiologin har medfört många nya möjligheter att värdera mikrobexponeringen i innemiljöer. Användning av kemiska markörer för att analysera hela biomassan av olika mikrobgrupper är en möjlighet (Sebastian et al. 2005). Utvecklingen av DNA-baserade metoder är nuförtiden också snabb, men är ännu i valideringsstadiet (Zeng et al. 2006, Rintala et al. 2004). Även om man kan hitta tio-eller hundratals nya mikrobarter i innemiljöer med sekvensering och hundra-eller tusentals högre koncentrationer av vissa mikrober med PCR metoder än med odlingsmetoder, vet man ännu inte vad dessa observationer betyder. Det kommer att behövas ytterligare några års utveckling innan man kan använda dessa metoder i rutinarbete vid skadeutredningar.

Problem uppstår om man försöker att kombinera mätresultaten av mikroorganismer direkt med symptom eller andra hälsoeffekter. Det är nödvändigt att komma ihåg att symptom, som kan associeras med fukt och mögelpåväxt utvecklas över tiden och är beroende av många faktorer förutom individuella egenskaper och individens exponeringshistoria. Eftersom mikrobkoncentrationen i ineluften varierar så mycket, kan den vanligen inte användas som ett direkt mått på hela exponeringen.

Det är också möjligt att närvaro av vissa mikrobarter inte utgör den kritiska exponeringen i fukt-och mögelskadade hus. Det är möjligt att närvaro av sekundära metaboliter av växande mikrober har betydelse, då

dessa ofta är mycket toxiska eller biologiskt aktiva. Bra exempel på toxiska metaboliter är mykotoxiner och bakterietoxiner, som bildas på byggnadsmaterial (Tuomi et al. 2000). Risken med dessa substanser är svår att värdera i praktiska fall, eftersom det fortfarande finns för lite data om faktisk exponering för toxiner. Preliminära resultat visar att toxiner kan förekomma i ineluften (Brasel et al. 2005).

I praktiska skadeutredningar är det bäst att kombinera resultat från mikrobiologiska mätningar med information från tekniska utredningar och information om byggnadens användnings- och skadehistoria för att avgöra om det är fråga om exponering för en fukt-och mögelskadad innemiljö.

Vilka nya metoder finns för bestämning av egenskaper hos olika mögel- och bakteriestammar? Något nytt om MVOC?

Det finns olika in vitro-metoder för att karakterisera toxicitet eller inflammatorisk potential hos olika mögel- eller bakteriearter (Huttunen et al. 2003). Man kan använda olika cellinjer, t.ex. makrofager eller epitelceller som är av samma celltyper som man har i andningsvägarna. Genom att exponera makrofager för mögel- eller bakteriesuspensioner kan man observera förekomst av akut celltoxicitet eller suspensionens inflammatoriska potential genom att mäta inflammationsmarkörer som NO, TNF α eller olika interleukiner. Genom att använda sådana metoder har man visat att olika mikrober har olika egenskaper, och att dessa egenskaper även är beroende av materialet på vilket mikroberna växer (Roponen et al. 2001, Murtoniemi et al. 2002).

Vad gäller MVOC finns det inte något särskilt nytt. Det finns fall där MVOC- (eller VOC-) mätningar kan användas, men liksom för alla mätningar gäller att de måste tillämpas på ett klokt sätt. För närvarande finns inte etablerade riktlinjer för hur MVOC mätningar ska kunna användas på ett standardiserat sätt.

I vilken utsträckning kan dessa metoder användas vid praktiska skadeutredningar?

Det finns många problem när man önskar tillämpa här nämnda metoder i det praktiska rutinarbetet. Om man använder en enskild mikrobart som odlats från ett miljöprov kan man inte vara säker på att mikroben har samma egenskaper som i det ursprungliga provet. Det är också möjligt att

toxinproduktionen är bunden till samväxt med andra mikrober, och i så fall ser man inte samma effekt om man använder en isolerad mikrob.

Det behövs mera validerings- och standardiseringsarbete innan här nämnda testmetoder kan användas vid praktiska skadeutredningar.

Vilka metoder generellt tror Du kommer att bli mest användbara vid skadeutredningar i framtiden? Har man lyckats etablera krav på hur provtagning och analyser bör utföras?

En snabb utveckling av mikrobiologiska metoder kan betyda ett verkligt genombrott för skadeutredningarna. PCR-och andra DNA-baserade metoder skulle möjliggöra en snabb och omfattande karakterisering av den mikrobiologiska kvaliteten på en innemiljö. Utvecklingen till att ha en microchip med hundra- eller tusentals olika prober till mikrober skulle medföra en ny möjlighet att karakterisera ett miljöprov snabbt och effektivt. Chip-tekniken kan också baseras på funktionella gener, t.ex. toxinproduktionen. Även om chip-tekniken inte är kvantitativ, kan man kvantifiera mikrober med real-time PCR som skulle kunna utvecklas till genus- eller artspecifiska analyser.

Idag är dessa tekniker ännu i utvecklingsstadiet, men arbete pågår i såväl Sverige som i Finland. Om man lyckas skaffa finansiering för några års utvecklings- och valideringsarbete, skulle de nya metoderna kunna vara färdiga att användas i bland annat skadeutredningar.

Referenser

Brasel TL, Martin JM, Carriker CG, Wilson SC, Straus DC. Detection of airborne *Stachybotrys chartarum* macrocyclic trichotecene mycotoxins in the indoor environment. *Appl Environ Microbiol* 2005;71(11):7376-7388.

Huttunen K, Hyvärinen A, Nevalainen A, Komulainen H, Hirvonen M-R. Production and pro-inflammatory mediators by indoor bacteria and fungal spores in mouse and human cell lines. *Environ Health Perspect* 2003; 111:85-92.

IOM (Institute of Medicine), National Academies of Science. *Damp Indoor Spaces and Health (Committee Report)*. National Academies Press, Washington D.C. 2004.

Meklin T, Putus T, Pekkanen J, Hyvärinen A, Hirvonen M-R, Nevalainen A. Effects of moisture-damage repairs on microbial exposure and symptoms in schoolchildren. *Indoor Air* 2005;15 Suppl 10:40-47.

Murtoniemi T, Nevalainen A, Suuteri M, Hirvonen M-R. Effect of liner and core materials of plasterboard on microbial growth, spore-induced inflammatory responses, and cytotoxicity in macrophages. *Inhal Toxicol* 2002;14:1087-1101.

Rintala H, Hyvärinen A, Paulin L, Nevalainen A. Detection of streptomycetes in house dust – comparison of culture and PCR methods. *Indoor Air* 2004;14(2):112-119.

Roponen M, Toivola M, Meklin T, Ruotsalainen M, Komulainen H, Nevalainen A, Hirvonen MR. Differences in inflammatory responses and cytotoxicity in RAW264.7 macrophages induced by *Streptomyces anulatus* grown on different building materials. *Indoor Air* 2001;11(3):179-184.

Sebastian A, Szponar B, Larsson L. Characterization of the microbial community in indoor environments by chemical marker analysis: an update and critical evaluation. *Indoor Air* 2005; 15 Suppl 9:20-26.

Social- och hälsovårdsministeriet (Finland). Anvisning om boendehälsa. Fysikaliska, kemiska och mikrobiologiska faktorer i bostäder och andra vistelseutrymmen Handböcker 2003:1, Helsingfors 2003.

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 Environ Microbiol* 2000;66:1899-1904.

Zeng Q-Y, Westermark S-O, Rasmuson-Lestander Å, Wang X-R. Detection and quantification of *Cladosporium* in aerosols by real-time PCR. *J Environ Monit* 2006;8(1):153-160.

Finns det ”okända ämnen X” i inneluften och vad betyder i så fall dessa?

Peder Wolkoff

- ❑ Ozon och dess påverkan på andra luftföroreningar – vad vet man egentligen?
- ❑ Finns möjligheter att mäta ämnen som man misstänker bildas?
- ❑ Vad betyder närvaro av partiklar i detta sammanhang?

Indledning

For nogle år siden stillede vi spørgsmålet, om de relevante luftforureninger bliver målt i indeklimaet (Wolkoff et al., 1997; Wolkoff and Nielsen, 2001). Årsagen var, at målte koncentrationer af typiske VOC'er i luften ikke kunne forklare forekomsten af slimhindeirritation (også kaldet sensorisk irritation) i øjne og luftveje. Tærskler for sensorisk irritation i øjne og luftveje er størrelsesordner over de målte koncentrationer i indeklimaet; de målte VOC koncentrationer kan derfor normalt ikke anvendes som forklaringsmodel, selvom normal addition antages for de forskellige VOC'ers irritative effekt (Alarie et al., 1996). Der er dog tilfælde, hvor koncentrationen af specifikke reaktive luftvejsirritanter, for eksempel formaldehyd og eddikesyre, kan nærme sig deres tærskel for luftvejsirritation og sammen med andre VOC'er resultere i indeklimaproblemer. Mange VOC'er har betydeligt lavere lugttærskler end tidligere antaget, og det er derfor sandsynligt, at dårlig luftkvalitet eller ubehagelig lugt kan resultere i en vis overrapportering af sensorisk irritation i øjne og luftveje, jævnfør (Wolkoff et al., 2006a).

Kemiske reaktioner i indeluften

Fra den organiske kemi er det velkendt, at ozon reagerer med umættede VOC'er, for eksempel limonen (fra bl.a. citronolie). Limonen er blandt de VOC'er, der oftest og i størst mængde forekommer i indeklimaet (Brown, 1999b; Wolkoff et al., 2000). Halveringstiden for limonen samt andre indeklimarelevante terpener og styren er ved 50 ppb ozon kun nogle få timer (Weschler, 2000). Limonens reaktion med ozon er tilstrækkeligt hurtig til at kunne konkurrere med luftskifter mindre end 1-2 gange i timen, og dermed kan der nås at danne oxidationsprodukter (Weschler and Shields, 2000). Typiske luftskifter på vores breddegrader er generelt be-

tydeligt mindre end 1/time. Limonens oxidationsprodukter består af en kompleks blanding af dels stabile produkter (formaldehyd, andre aldehyder, ketoner og syrer) og dels intermediære forbindelser, for eksempel hydroxylradikalet (Atkinson and Arey, 2003; Calogirou et al., 1999). Epidemiologiske undersøgelser antyder, at forøget koncentration af ozon og/eller lav koncentration af terpen er associeret med effekter på luftvejene, jævnfør litteratur i (Wolkoff et al., 2006a). Det var derfor en nærliggende hypotese, at oxidationsprodukter fra for eksempel ozon/terpen reaktioner kan anvendes som forklaring på den højere forekomst af rapporteret sensorisk irritation for eksempel i kontormiljøer. Rationalet er, at ozon reagerer med terpenener inklusive hemi-terpenen isopren og andre umættede VOC'er i indeklimaet og danner nye aktive (intermediære) forbindelser og sensoriske irritanter, der resulterer i sensorisk irritation i øjne og luftvejene. Dette kaldes hypotesen om den "reaktive kemi", som en forklaringsmodel for sensorisk irritation i indeklimaet (Wolkoff and Nielsen, 2001).

Hypotesen om den "reaktive kemi"

For at efterprøve hypotesen om den reaktive kemi er der blevet gennemført en række dyreeksperimentelle undersøgelser og humane eksponeringsforsøg med henblik på at måle terpen-oxidation produkters (TOPs) sensoriske irritationspotentiale i de øvre og nedre luftveje (Clausen et al., 2001; Rohr et al., 2002; Wilkins et al., 2001; Wolkoff et al., 1999), samt i øjet (Klenø and Wolkoff, 2002; Nøjgaard et al., 2005). Både α -pinen og limonen er hyppigt forekommende VOC'er i indeklimaet, enten hidrørende fra træ, planter eller anvendt i diverse parfumeblandinger i rengøringsmidler, men der anvendes en lang række terpenoid-lignende stoffer både som opløsningsmiddel og som duftstof i mange forskellige produkter (Nazaroff and Weschler, 2004; Wolkoff et al., 2000). Isopren er, udover at det afgives fra forskellige planter, en betydelig menneskelig metabolit med en emissions hastighed på ca. 0,5-1,5 mg per time i udåndingsluften (Fenske and Paulson, 1999).

Ozon i indemiljøer skyldes hovedsageligt transport fra udeluften (Weschler, 2000), samt i nogen grad emissioner fra kontorudstyr, især fotokopimaskiner (Brown, 1999a). Ozon nedbrydes på overflader (eks. lofter og gulve) og ved reaktion med organiske stoffer i luften. Eksempler herpå er umættede stoffer som limonen og isopren.

De dyreeksperimentelle forsøg viste, at eksponering for TOP'er resulterede i en middel-reduktionen i respirationsfrekvensen, der er et mål for sensorisk irritation (Alarie, 1973), på mellem 30% og 50%. Reduktionerne var signifikant forskellige fra ren luft, såvel som fra terpenerne, ozon, og de irriterende aldehyder i de målte koncentrationer under eksponeringen af musene. En vurdering ud fra de etablerede dosis-responskurver for de enkelte TOP'er og residualkoncentrationerne af terpenerne og ozon viser, at de målte koncentrationer kun kan forklare en brøkdel af de observerede effekter. Dette peger på, at der er blevet dannet en eller flere stærke sensoriske irritanter (hvis strukturer er ukendte). Resultaterne støtter den reaktive kemi hypotese.

Ozon reagerer med terpener og nitrogendioxid - og øjet påvirkes

Det er vanskeligt at slutte fra dyreforsøg til mennesker. Derfor blev øjet hos en række mandlige forsøgspersoner eksponeret for forskellige typer reaktiv stoffer ved 20% relativ fugtighed i 20 minutter. Forsøgspersonerne blev eksponeret blindt og i tilfældig rækkefølge, og øjets blinkfrekvens blev målt med videooptagelse i hele forsøgsperioden, imens forsøgspersonerne så en neutral dyrefilm. Reaktionsblandinger af ozon og limonen viste ca. 40% signifikant forøgelse i blinkfrekvensen i forhold til ren luft. Den observerede effekt stemte overens med kvalitativ rapportering af øjenirritation. Derimod blev der ikke observeret nogen effekter på øjet af ozon alene, limonen eller ren luft. Nitratradikalet (NO_3), der dannes ud fra ozon (50 ppb) og nitrogendioxid (140 ppb), viste også en signifikant forøgelse af blinkfrekvensen på ca 20%. Den observerede effekt mindskedes svagt ved forøgelse af den relative fugtighed fra 20% til 50% (Nøjgaard et al., 2005). En tilsvarende tendens observeredes også i de dyreeksperimentelle forsøg med limonen, isopren og ozon (Wilkins et al., 2003).

Humaneksponeringsstudierne viste, at en limonen (92 ppb) /ozon (101 ppb) kan øge blinkfrekvensen signifikant med 17% og inducere mild øjenirritation hos 40% af deltagerne efter 20 min eksponering. Reaktionsgraden var blot 18 ppb ozon, hvilket indikerer forekomsten af stærke øjenirritanter i blandingen. Tilsvarende forsøg blev også udført med methacrolein, en kendt sensorisk irritant (Larsen and Nielsen, 2000). Her viste det sig, at cirka 300 ppb methacrolein resulterede i en tilsvarende stigning i blinkfrekvensen (Nøjgaard et al., 2005). Det skal nævnes, at ozon- og alkenkoncentrationer i kontormiljøer typisk er lavere end dem,

der er benyttet i dette studium, om end de som peakkoncentrationer er realistiske i for eksempel flere amerikanske storbyer (Wolkoff et al., 2000; Weschler, 2000). En direkte sammenligning er imidlertid ikke meningsfuld, idet udviklingen af symptomer er bestemt af eksponeringstiden, der er væsentlig længere på en fuld arbejdsdag end dette studies 20 min. Feltnålinger af ozon og alkener er ofte gennemsnitsværdier, hvorimod de omtalte eksponeringsstudier netop illustrerer effekten af korttidseksponering for peakkoncentrationer. Feltnålingerne er residualkoncentrationer og underestimerede, da ozon/alkenreaktionerne konstant finder sted under prøveopsamlingen.

Kan ozon + kemiska forureninger have sundhedsmæssig betydning?

Sammen med visse kemisk-reaktive VOC'er forårsager ozon ændringer i øjets blinkfrekvens ved 20 minutters eksponering. Dette tilskrives stimulering af irritationsnerven (Trigemimus) ved koncentrationsniveauer, der forekommer i kontormiljøet. Det er sandsynligt, at den sensoriske irritationseffekt intensiveres, dels ved eksponering svarende til en hel arbejdsdag (8 timer), dels ved at forsøgspersonerne er kvinder, jævnfør (Wolkoff et al., 2003).

Den større effekt der observeredes ved lav relativ fugtighed i forhold til høj relativ fugtighed både i dyremodellen og i eksponering af øjet er særlig interessant. Årsagen skal søges dels i en forskydning mod dannelse af mere stabile oxidationsprodukter, der har lav sensorisk irritationseffekt, og dels i en øget stabilitet af det ydre øjet mod nedbrydning og udtørring af dets tårefilm; dermed beskyttes øjet måske fra angreb af sensoriske irritanter (Wolkoff et al., 2005).

Fornylig er et studium rapporteret, hvor ca. 130 ikke-rygende kvinder er blevet eksponeret for en cocktail af VOC'er i niveau svarende til ca. 26 mg/m³ i 140 minutter, samtidig med at de blev udsat for psykologiske tests og rapporterede symptomer (Fiedler et al., 2005; Laumbach et al., 2005). Forsøgspersonerne blev også udsat for cocktailen tilsat ozon med en residualkoncentration på 40 ppb. Der sås ingen forskelle i symptomrapportering mellem med eller uden ozon. Forfatterne konkluderer, at det er stress-faktorer mere end den kemiske eksponering, der er ansvarlige for de observerede effekter. Artiklens konklusion skal dog tages med kraftigt forbehold, da koncentrationsniveauerne langt har overskredet lugttærskler for flere kraftigt lugtende VOC'er.

Et af hovedprodukterne fra oxidation af terpenener er formaldehyd (Atkinson and Arey, 2003). Der er flere artikler, der antyder, at langtidseksponering for formaldehyd kan resultere i lungeeffekter, jævnt (Sherriff et al., 2006). Der er tydeligt et behov for mere viden om langtidseksponering for formaldehyd ved lavt niveau.

Bliver alle relevante forureninger måtet?

Vi postulerede i 1997, at der er stor sandsynlighed for at relevante stoffer, der er ansvarlige for sensorisk irritation i indeklimaet, måske ikke måles med de traditionelle opsamlings- og analysemetoder (Wolkoff et al., 1997). Vi argumenterede i 2001, at de fleste VOC'er i indeluften ikke kan forklare sensorisk irritation, og den reaktive kemi hypotese blev foreslået som en ny forklaringsmodel (Wolkoff and Nielsen, 2001). I 2006 vurderede vi effekten af lugte i indeklimaet, og vi sandsynliggjorde, at lugte kan have en negativ effekt, der måske resulterer i overrapportering af sensorisk irritation (Wolkoff et al., 2006a).

Reduktion i respirationsfrekvensen kunne tænkes at skyldes intermediære reaktionsprodukter (for eksempel Criegee radikaler) (Atkinson and Arey, 2003). Sådanne species kan ikke måles med eksisterende og traditionelle målemetoder. Opsamling på Tenax TA efterfulgt af termisk desorption og gaskromatografi (TD/GC) er den generelle metode til måling af VOC'er og SVOC'er i indeluften. Man kan spekulere om denne metode kan opsamle alle relevante stoffer i indeluften, eller om for eksempel termisk labile stoffer nedbrydes? Det er velkendt, at visse typer VOC'er og SVOC'er, for eksempel terpenener, nedbrydes af ozon også under selve opsamlingen (Calogirou et al., 1996; Pollmann et al., 2005). Nye derivatiseringsmetoder og massespektrometriske teknikker har vist, at der udover de klassiske oxidationsprodukter kan dannes en lang række stoffer, som ikke måles med TD/GC metoden. For eksempel er en lang række oxygenerede organiske stoffer blevet identificeret ved hjælp af derivatiseringsmetoder eller "soft" opsamling og "soft" analysemetoder:

- Carboxylsyrer, ketosyrer, hydroxyaldehyder ved silylering (Glasius et al., 2000; Reisen et al., 2003; Wells, 2005).
- Hydrogenperoxid og total hydroperoxider (Li et al., 2002).
- Hydroxy hydroperoxider ved silylering (Docherty et al., 2004).
- Hydroxylradikalet målt indirekte (Weschler and Shields, 1997).

- Sekundære limonen-ozonider ved hjælp af ”pressurized liquid extraction” kombineret med cold-on-column injection og gaskromatografi (Nørgaard et al., 2006).
- Det skal bemærkes, at den klassiske DNPH-metode til opsamling og analyse af aldehyder og ketoner kan være behæftet med fejl. Det er vanskeligt at måle de umættede karbonylforbindelser, for eksempel acrolein, da der er mulighed for nedbrydning ved ozoneksponering under selve opsamlingen. Umættede aldehyder kan derved være underestimeret, da DNPH-adduktet er ustabil, for eksempel acrolein (Schulte-Ladbeck et al., 2001).

Hydroperoxider er muligvis oxidanter, der er sensoriske irritanter (Wolkoff et al., 2006b). Ligeledes er limonens sekundære ozonid en mulig kandidat, idet det er postuleret, at ”lipid ozonation products” kan resultere i effekter i de nedre luftveje, jævnt før (Cvitaš et al., 2005). Dette skal imidlertid bekræftes eksperimentelt.

Har partiklerne betydning?

Det er velkendt, at ozon/terpen reaktioner også danner ultrafine partikler i indeklimaet, for eksempel (Wainman et al., 2000). Partiklerne består af poly-xygenerede stoffer (bl.a. dialdehyder, keto-carboxylsyrer og dicarboxylsyrer) (se for eksempel (Glasius et al., 2000)). Det vurderes dog, at dannelsen af de ultrafine partikler har mindre betydning for sensorisk irritation, da dannelsen af partiklerne er lavest i isopren/ozon systemet (Pandis et al., 1991), hvor det biologiske respons i museassayet er størst. Det bliver imidlertid afgørende at kunne adskille partikelfasen fra gasfasen og undersøge de to faser hver for sig, før det kan afklares, hvilken fase der er biologisk aktiv.

Litteratur

- Alarie, Y. (1973) "Sensory irritation by airborne chemicals", *Critical Reviews in Toxicology*, **2**, 299-363.
- Alarie, Y., Schaper, M., Nielsen, G.D. and Abraham, M.H. (1996) "Estimating the sensory Irritating Potency of Airborne Nonreactive Volatile Organic Chemicals and Their Mixtures", *SAR/QSAR Environmental Research*, **5**, 151-165.
- Atkinson, R. and Arey, J. (2003) "Gas-phase tropospheric chemistry of biogenic volatile organic compounds: a review", *Atmospheric Environment*, **37**, S197-S219
- Brown, S.K. (1999a) "Assessment of Pollutant Emissions from Dry-Process Photocopiers", *Indoor Air*, **9**, 259-267.

- Brown,S.K. Occurrence of Volatile Organic Compounds in Indoor Air. In: *Organic Indoor Air Pollutants*, edited by Salthammer,T. Weinheim: Wiley-VCH, 1999b, p. 171-184.
- Calogirou,A., Larsen,B.R., Brussol,C., Duane,M. and Kotzias,D. (1996) "Decomposition of Terpenes by Ozone during Sampling on Tenax", *Analytical Chemistry*, **68**, 1499-1506.
- Calogirou,A., Larsen,B.R. and Kotzias,D. (1999) "Gas-phase terpene oxidation products: a review", *Atmospheric Environment*, **33**, 1423-1439.
- Clausen,P.A., Wilkins,C.K., Wolkoff,P. and Nielsen,G.D. (2001) "Chemical and biological evaluation of a reaction mixture of R-(+)-limonene/ozone: Formation of strong airway irritants", *Environment International*, **26**, 511-522.
- Cvitaš,L., Kezele,N., McGlynn,S.P. and Pryor,W.A. (2005) "New Directions: How dangerous is ozone?", *Atmospheric Environment*, **39**, 4607-4608.
- Docherty,K.S., Kumboonert,K., Lee,I.J. and Ziemann,P.J. (2004) "Gas chromatography of trimethylsilyl derivatives of α -methoxyalkyl hydroperoxides formed in alkene-O₃ reactions", *Journal of Chromatography A*, **1029**, 204-215.
- Fenske,J.D. and Paulson,S.E. (1999) "Human breath emissions of VOCs", *Journal of Air Waste Management Association*, **49**, 594-598.
- Fiedler,N., Laumbach,R., Kelly-McNeil,K., Liou,P., Fan,Z.-H., Zhang,J., Ottenweller,J., Ohman-Strickland,P. and Kipen,H. (2005) "Health effects of a mixture of indoor air volatile organics, their ozone oxidation products, and stress", *Environ.Health Perspec.*, **113**, 1542-1548.
- Glasius,M., Lahaniati,M., Calogirou,A., Di Bella,D., Jensen,N.R., Hjorth,J., Kotzias,D. and Larsen,B.R. (2000) "Carboxylic Acids in Secondary Aerosols from Oxidation of Cyclic Monoterpenes by Ozone", *Environmental Science & Technology*, **34**, 1001-1010.
- Klenø,J.G. and Wolkoff,P. (2002) "Eye irritation from exposure to PPB levels of limonene oxidation products". In: Levin,H., Bindy,G., and Condell,J. (eds.) Wisconsin, Indoor Air 2002, Vol. 2, pp. 602-607.
- larsen,S.T. and Nielsen,G.D. (2000) "The effects of methacrolein on the respiratory tract in mice", *Toxicology Letters*, **114**, 197-202.
- Laumbach,R.J., Fielder,N., Gardner,C.R., Laskin,D.L., Fan,Z.-H., Zhang,J., Weschler,C.J., Liou,P., Devlin,R.B., Ohman-Strickland,P., Kelly-McNeil,K. and Kipen,H. (2005) "Nasal effects of a mixture of volatile organic compounds and their ozone oxidation products", *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, **47**, 1182-1189.
- Li,T.-S., Turpin,B.J., Shields,H.C. and Weschler,C.J. (2002) "Indoor Hydrogen Peroxide Derived from Ozone/d-limonene Reactions", *Environmental Science & Technology*, **36**, 3295-3302.
- Nazaroff,W.W. and Weschler,C.J. (2004) "Cleaning products and air fresheners. exposure to primary and secondary pollutants", *Atmospheric Environment*, **38**, 2841-2865.
- Nøjgaard,J.K., Christensen,K.B. and Wolkoff,P. (2005) "The effect on human eye blink frequency by exposure to limonene oxidation products and methacrolein", *Toxicol Lett*, **156**, 241-251.

- Nørgaard, A.W., Nøjgaard, J.K., Larsen, K., Spørring, S., Wilkins, C.K., Clausen, P.A. and Wolkoff, P. (2006) "Secondary limonene endo-ozonide: A major product from gas-phase ozonolysis of *R*-(+)-limonene at ambient temperature", *Atmospheric Environment*, accepted for publication.
- Pandis, S.N., Paulson, S.E., Seinfeld, J.H. and Flagan, R.C. (1991) "Aerosol formation in the photooxidation of isoprene and β -pinene", *Atmospheric Environment*, **25A**, 997-1008.
- Pollmann, J., Ortega, J. and Helmig, D. (2005) "Analysis of atmospheric sesquiterpenes: Sampling losses and mitigation of ozone interferences", *Environmental Science & Technology*, **39**, 9620-9629.
- Reisen, F., Aschmann, S.M., Atkinson, R. and Arey, J. (2003) "Hydroxyaldehyde products from hydroxyl radical reactions of *Z*-3-hexen-1-ol and 2-methyl-3-buten-2-ol quantified by SPME and API-MS", *Environmental Science & Technology*, **37**, 4664-4671.
- Rohr, A., Wilkins, C.K., Clausen, P.A., Hammer, M., Nielsen, G.D., Wolkoff, P. and Spengler, J.D. (2002) "Upper airway and pulmonary effects of oxidation products of (+)- α -pinene, *d*-limonene, and isoprene in BALB/c mice", *Inhalation Toxicology*, **14**, 663-684.
- Schulte-Ladbeck, R., Lindahl, R., Levin, J.O. and Karst, U. (2001) "Characterization of chemical interferences in the determination of unsaturated aldehydes using aromatic hydrazine reagents and liquid chromatography", *Journal of Environmental Monitoring*, **3**, 306-310.
- Sherriff, A., Farrow, A., Golding, J., The ALSPAC Study Team and Henderson, J. (2006) "Frequent use of chemical household products is associated with persistent wheezing in pre-school age children", *Thorax*, **60**, 45-49.
- Wainman, T., Zhang, J., Weschler, C.J. and Liou, P.J. (2000) "Ozone and Limonene in Indoor Air: A Source of Submicron Particle Exposure", *Environmental Health Perspectives*, **108**, 1139-1145.
- Wells, J.R. (2005) "Gas-phase chemistry of α -terpineol with ozone and OH radical: Rate constants and products", *Environmental Science & Technology*, **39**, 6937-6943.
- Weschler, C.J. (2000) "Ozone in Indoor Environments: Concentrations and Chemistry", *Indoor Air*, **10**, 269-288.
- Weschler, C.J. and Shields, H.C. (1997) "Measurements of the Hydroxyl Radical in a Manipulated but Realistic Indoor Environment", *Environmental Science & Technology*, **31**, 3719-3722.
- Weschler, C.J. and Shields, H.C. (2000) "The Influence of Ventilation on Reactions Among Indoor Pollutants: Modeling and Experimental Observations", *Indoor Air*, **10**, 92-100.
- Wilkins, C.K., Clausen, P.A., Wolkoff, P., Larsen, S.T., Hammer, M., Larsen, K., Hansen, V. and Nielsen, G.D. (2001) "Formation of strong airway irritants in mixtures of isoprene/ozone and isoprene/ozone/nitrogen dioxide", *Environmental Health Perspectives*, **109**, 937-941.
- Wilkins, C.K., Wolkoff, P., Clausen, P.A., Hammer, M. and Nielsen, G.D. (2003) "Upper airway irritation of terpene/ozone oxidation products (TOPS). Dependence on reaction time, relative humidity and initial ozone concentration", *Toxicology Letters*, **143**, 109-114.

- Wolkoff,P., Clausen,P.A., Jensen,B., Nielsen,G.D. and Wilkins,C.K. (1997) "Are We Measuring the Relevant Indoor Pollutants?", *Indoor Air*, **7**, 92-106.
- Wolkoff,P., Clausen,P.A., Wilkins,C.K., Hougaard,K.S. and Nielsen,G.D. (1999) "Formation of strong airway irritants in a model mixture of (+)- α -pinene/ozone", *Atmospheric Environment*, **33**, 693-698.
- Wolkoff,P., Clausen,P.A., Wilkins,C.K. and Nielsen,G.D. (2000) "Formation of Strong Airway Irritants in Terpene/Ozone Mixtures", *Indoor Air*, **10**, 82-91.
- Wolkoff,P. and Nielsen,G.D. (2001) "Organic Compounds in Indoor Air - Their Relevance for Perceived Indoor Air Quality", *Atmospheric Environment*, **35**, 4407-4417.
- Wolkoff,P., Nøjgaard,J.K., Troiano,P. and Piccoli,B. (2005) "Eye complaints in the office environment: Precorneal tear film integrity influenced by eye blinking efficiency", *Occupational and Environmental Medicine*, **62**, 4-12.
- Wolkoff,P., Skov,P., Franck,C. and Pedersen,L.N. (2003) "Eye irritation and environmental factors in the office environment. Hypotheses, causes, and a physiological model", *Scand J Work Environ Health*, **29**, 411-430.
- Wolkoff,P., Wilkins,C.K., Clausen,P.A. and Nielsen,G.D. (2006a) "Organic compounds in office environments - Sensory irritation, odor, measurements, and the role of reactive chemistry", *Indoor Air*, **16**, 7-19.
- Wolkoff,P., Wilkins,C.K., Clausen,P.A. and Nielsen,G.D. (2006b) "In search of sensory irritants in terpene oxidation reactions: The effects of peroxides and hydroperoxides" to be published.

Småpartiklar inomhus och partikelspridning via ventilationen

Sarka Langer, Lars Ekberg

- ❑ Förekommer små partiklar i högre grad i inneluften nu jämfört med tidigare? Vad är i så fall anledningen?
- ❑ Hur mäter man små partiklar och när är det i praktiken meningsfullt att göra sådana mätningar? Vilka slutsatser kan i så fall dras?
- ❑ Man misstänker ibland att partiklar (såväl stora som små) sprids via ventilationen. I vilken utsträckning kan detta ske och hur kontrollerar man i så fall detta?

Luften i bostäder, kontor, skolor etc innehåller såväl små som stora partiklar. Som tumregel kan man säga att stora partiklar i inomhusluften i huvudsak alstrats av aktiviteter inomhus, i varje fall om den luft som tillförs huset filtreras. I stort sett alla typer av ventilationsfilter har nämligen rätt god förmåga att skilja av stora partiklar, vilket leder till att inverkan på innemiljön av uteluftens innehåll av stora partiklar reduceras avsevärt. Små partiklar i inomhusluften kan härröra dels från källor inomhus, dels utifrån. Uteluften innehåller alltid småpartiklar och filter av olika klass har högst varierande filtreringseffekt för småpartiklar. Bland källorna till intern generering av småpartiklar är tobaksrökning kanske den mest uppenbara och välkända. Under senare år har man uppmärksammat att småpartiklar också kan bildas inomhus i samband med andra förbränningsprocesser (t ex brinnande stearinljus) och kemiska reaktioner varvid småpartiklar kan bildas då exempelvis ozon reagerar med terpenier. Ozon kan tillföras byggnaden utifrån och/eller genereras exempelvis av kopieringsmaskiner och laserskrivare. Terpenier avges exempelvis från vissa typer av rengöringsprodukter.

Som stora partiklar räknas i detta sammanhang partiklar med diametrar över någon mikrometer, medan partiklar mindre än någon mikrometer kan betraktas som små. Under senare år har intresset riktats mot allt mindre partiklar. De allra minsta partiklarna benämns ultrafina partiklar, vilket definitionsmässigt är alla partiklar som är mindre än 0,1 mikrometer (μm).

Har förekomsten av små partiklar i ineluften förändrats över tid?

Sedan 70-talets början har stadsluftens halt av sotpartiklar minskat drastiskt, vilket sannolikt bidragit till att halterna även minskat i byggnader belägna i stadsmiljö. Den största förändringen skedde under 70-talet, och stadsluftens koncentrationsnivå av partiklar förefaller inte ha förändrats nämnvärt under den senaste 15-årsperioden. Detta gäller såväl de mycket små sotpartiklarna som grövre partikelfraktioner exempelvis mätt som halten PM10. Lokalt kan bilden ovan naturligtvis vara en annan, exempelvis i områden där det förekommer småskalig biobränsleeldning. Uppgifter om uteluftens föroreningsinnehåll kan hämtas från flera kommuners miljöövervakningssystem (www.miljo.goteborg.se/luftnet/, www.slb.nu). Här presenteras bl a uppgifter om PM10 och eventuellt också om PM2.5, men inte om halten ultrafina partiklar. För att ge en uppfattning om vilken storleksordning halten av sådana små partiklar redovisas i Tabell 1 data från tre olika mätplatser.

Under de senaste 10-15 åren har man också kunnat se en tendens till val av tilluftsfilter 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 F7), framförallt i lokalbyggnader. Denna tendens kan antas bero bl a på en ökad medvetenhet om partiklars hälsomässiga betydelse. Möjligen kan detta antas ha bidragit till allt lägre halter av små partiklar i inomhusluften. Samtidigt förekommer det att man helt bortser från behovet av luftfiltrering i exempelvis bostäder som ventileras med självdrag och mekanisk frånluft.

Förekomsten av småpartiklar i inomhusluften kan också ha förändrats i samband med att verksamheten i inomhus förändrats och i samband med att nya, partikelgenererade produkter börjat användas. Ett exempel är användningen av nya tvättmedel med tillsats av sk zeoliter. Ett annat exempel är en ökad användning av ozonalstrande kontorsmaskiner, vilket kan bidra till förhöjda ozonhalter som vid reaktion med terpenener kan generera ultrafina partiklar. Terpenener är en grupp organiska ämnen som förekommer i citrusfrukter, och som doftämne i vissa rengöringsprodukter. Alstring av ultrafina partiklar genom reaktion mellan dessa ämnen skulle kunna förekomma i speciellt stor omfattning i bostäder där hemkontor inretts utan att ventilationsflödet anpassas till en högre föroreningsalstring, vilket kan antas bli allt vanligare. Låga luftflöden och blandningen av ozon och terpenener kan då misstänkas leda till höga halter av små partiklar.

Tabell 1. Halten av ultrafina partiklar ($d_p > 20\text{nm}$) uppmätt i uteluften på tre olika platser. Mätningen omfattar totalt 29 dygn (Matson 2005).

Plats	Medelvärde [p/cm ³]	Högsta dygnsmedel [p/cm ³]	Lägsta dygnsmedel (bakgrund) [p/cm ³]
Köpenhamn	13 000	17 000	7 000
Göteborg	6 600	10 000	4 000
Lantlig miljö utanför Borås	2 500	4 000	1 000

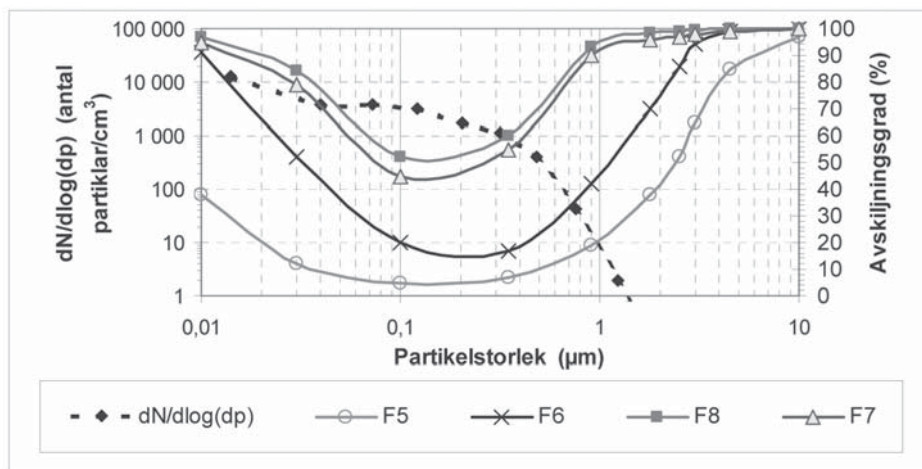
Krav och rekommendationer beträffande luftburna partiklar

Under senare år har åtskilliga medicinska och miljömedicinska rapporter pekat på att luftburna partiklar inomhus skulle kunna ha negativa hälsoeffekter. Det saknas idag etablerade riktlinjer för vad som kan anses vara acceptabla halter av olika slag av partiklar i inomhusluften. Det är således mycket begränsade möjligheter att finna några kravnivåer beträffande inomhusluftens partikelinnehåll. I Boverkets förslag till nya byggregler anges dock som krav att den luft som tillförs byggnader inte får vara högre än gällande ”gränsvärden för uteluft”. Gällande gränsvärde torde vara det som specificeras i förordningen om miljökvalitetsnormer (SFS 2001:527). Enligt dessa normer får uteluftens årsmedelvärde av PM₁₀ inte överstiga 40µg/m³ och dygnsmedelvärdet 50µg/m³ får överskridas under högst 10% av året. Sannolikt kommer de angivna kravnivåerna på sikt att skärpas ytterligare. Miljökvalitetsnormerna kommer troligtvis så småningom också att kompletteras med krav beträffande halten PM_{2.5}. Formuleringarna i förslaget till nya byggregler pekar således mot att krav beträffande inomhusluftens partikelhalt kommer att införas enligt ovan. Oavsett om eller när dessa krav kommer att införas kan man konstatera att det idag är rätt vanligt att man försöker reducera halten luftburna partiklar inomhus, i enlighet med vad som skulle kunna betecknas som någon slags försiktighetsprincip. Som nämnts ovan kan man inom forskningen konstatera ett ökat intresse för allt mindre partiklar. För närvarande saknas dock underlag för specifikation av krav eller rekommendationer beträffande halten av ultrafina partiklar både utomhus som inomhus.

Effektiv filtrering av tilluft

För att filtreringen av ventilationsluft skall kunna betraktas som effektiv måste filtret under hela sin livslängd uppvisa en tillräckligt hög

avskiljningsgrad (förmåga att fånga upp och skilja av partiklar från luftströmmen). En fråga som väcks i detta sammanhang gäller vad som kan anses vara en tillräckligt hög avskiljningsgrad. Idag används ofta finfilter av klass F7 i kontor, skolor och andra likande lokalbyggnader. De finska riktlinjerna (FiSIAQ 2001) rekommenderar filterklass F8 för den högsta luftkvalitetsklassen. Exempel på vad olika filterklasser innebär i procentuell avskiljning av partiklar av olika storlek redovisas Figur 1. För båda av de ovan nämnda filterklasserna gäller att tilluften renas i stort sett fullständigt från partiklar större än någon mikrometer, och även att halten ultrafina partiklar reduceras avsevärt. Genom att de stora partiklarna fångas av filtret elimineras risken att de invändiga ytorna i tilluftssystemet försmutsas, och ovannämnda kravnivåer beträffande högsta halt av PM10 i tilluften kan sannolikt också uppfyllas med god marginal.



Figur 1. Exempel på avskiljningsgrad för filter av olika klass. Den streckade kurvan visar ett exempel på partikelstorleksfördelning uppmätt i uteluften strax utanför Borås (Matson 2004).

Risker med dåligt skötta filter

Om tilluftsfiltern är skadade eller bristfälligt installerade eller om inga tilluftsfilter används kommer stora partiklar att deponeras på tilluftsystemets inre ytor. Deponerade partiklar binds rätt hårt till ytan och risken för att de skulle lossna igen och senare tillföras luften torde vara liten (Fransson et al. 1995). I samma rapport dras slutsatsen att det inte är meningsfullt att mäta föroreningshalten i tilluften för att avgöra om

kanalsystemet är nedsmutsat. Rekommendationen är att i första hand genomföra okulära kontroller.

Ansamling av damm i kanalsystem skulle på sikt kunna ge upphov till lukter. Om dammansamlingen är omfattande kan detta tänkas leda till ett ökat flödesmotstånd med allt för låga luftflöden som följd. Detta torde dock endast kunna bli aktuellt i frånluftskanaler, eftersom dessa exponeras för ofiltrerad rumsluft som ofta innehåller en betydande mängd stora partiklar.

Ett flertal undersökningar, bl a från Danmark, har pekat på att tilluftsfilter som inte byts tillräckligt ofta kan ge upphov till luktproblem. Bland de mest långtgående riktlinjerna för att råda bot på detta potentiella problem återfinns de tidigare nämnda Finska inneklimateknikerna. Dessa rekommenderar bl a att filter som exponeras för obehandlad uteluft bör bytas ut efter 6 månaders drift, eller då de varit blöta under en längre tid (någon vecka). Luftintag bör således utformas för att minska risken för regninslag och ansamling av väta i luftbehandlingsaggregatets intagsdel. Det förefaller lämpligt att anordna med ett avlopp så att vatten som ändå tränger in i intagsdelen kan dräneras bort, samt att ordna så att intagsdelens insida kan rengöras vid behov.

System med återföring av rumsluft

Det är uppenbart att återföring av luft leder till att också föroreningar återförs till lokalerna. Det är också självklart att det inte sker någon spridning av föroreningar mellan olika utrymmen om luften återförs endast till samma lokal varifrån den togs. Under förutsättning att den återförda luften filtreras kommer ett sådant arrangemang i själva verket leda till att partikelhalterna i lokalen reduceras jämfört med fallet utan återföring av luft. Om återluftföring anordnas i en större del av en byggnad kommer skillnaden i föroreningshalt att jämnas ut mellan olika rum. Det finns flera exempel på situationer när detta är olämpligt med hänsyn till spridning av lukter. Det finns också många exempel på fall då återluftföring är fördelaktigt ur luftkvalitetssynpunkt. Typexempel på detta kan hämtas från renrumstillämpningar inom mikroelektronikindustrin, läkemedelsindustrin och livsmedelsindustrin, där återföring av luft i kombination med effektiv filtrering är den tekniska lösning som möjliggör att man kan åstadkomma praktiskt taget helt partikelfri rumsluft. Samma teknik skulle kunna

användas i icke-industriella lokaler, under förutsättning att filtrerings-systemet utformas och sköts på rätt sätt.

Partikelalstring från interna källor i byggnaden

Även om halten partiklar som infiltreras till inomhusluft från uteluften kan begränsas med hjälp av filter kan en betydande mängd partiklar bildas ”på plats” i byggnaden. Vi kan läsa ett antal forskningsrapporter om inverkan av mänskliga aktiviteter inomhus såsom stekning, användning av stearinljus och rökning (ref Matson, Afshari). Under senare år har också atmosfärskemiska processer som orsak till alstring av små partiklar inomhus rönt allt större intresse inom forskningen. Mycket av återstoden av föreliggande artikel koncentreras på detta område eftersom det representerar en ny inriktning inom inomhusmiljöforskningen och publiceringen på området är ännu rätt begränsad.

Atmosfärkemi är ett vetenskapligt område om hur föroreningar i luft (atmosfären) uppstår, omvandlas, transporteras och deponeras. Under de senaste 30 åren har betydande kunskap om kemiska reaktioner mellan primärt uppkomna luftföroreningar vuxit fram (t ex Finlayson-Pitts and Pitts, 2000). Den drivande kraften i atmosfärskemisk omvandling är solljus. Under inverkan av energi från solen bildas s k atmosfäriska oxidanter, hydroxylradikal (OH^\bullet) och ozon (O_3), i reaktioner där ursprungligen kväveoxider, vattenånga och flyktiga organiska ämnen ingår. Under förhållanden utan direkt solljus kan ytterligare en viktig oxidant bildas – nitratradikal (NO_3). Omvandlingsprocesser i atmosfären kallas oxidation eftersom syre från luften alltid ingår i reaktionscyklerna. Därför är produkterna av dessa processer alltid syrenehållande ämnen. På så sätt bildas aldehyder och ketoner eller multifunktionella syrenehållande organiska ämnen vid atmosfärskemisk omvandling av kolväten.

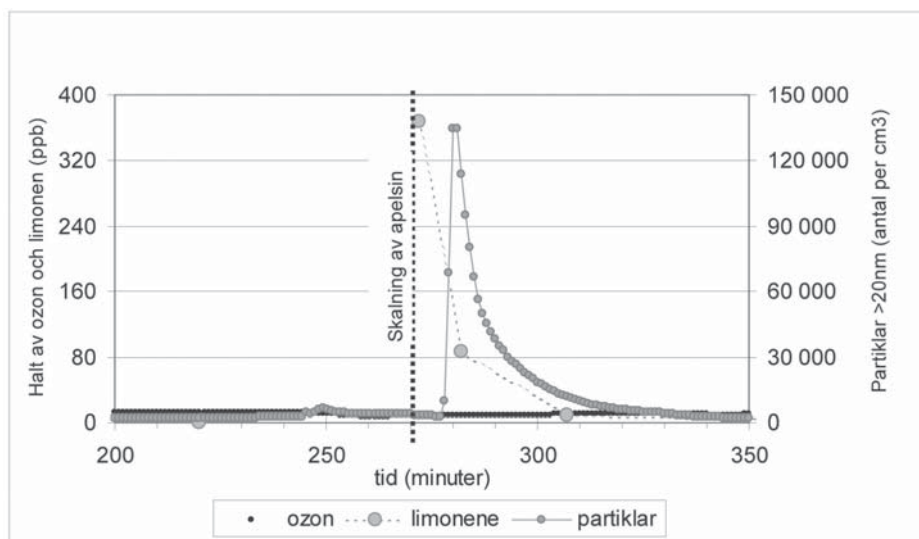
De viktiga parametrarna för en kemisk reaktion är hur snabbt reaktionerna går, vilket karakteriseras av reaktionens hastighetskonstant, och vilka produkter som bildas. De initiala koncentrationerna av de reagerande ämnena tillsammans med hastighetskonstanten avgör till vilken grad den aktuella omvandlingsprocessen påverkar luftkvaliteten. Dessa parametrar – hastighetskonstanter och reaktionsprodukter för många atmosfäriska reaktioner - har blivit dokumenterade och kritiskt utvärderade och kan hittas i befintliga databaser.

Atmosfärkemi har länge studerats med utgångspunkt i utomhusluft. Man skulle kunna säga att betydelsen av atmosfärkemisk omvandling av organiska ämnen i inomhusluft har blivit försummad. Under senare tid har området dock fått viss uppmärksamhet (Weschler 2004). Principerna för atmosfärkemi inomhus är desamma som för utomhusluft, men med något annorlunda förutsättningar. Inomhus saknas tillgång till det direkta solljuset, vilket leder till att koncentrationen av den viktigaste oxidanten, OH radikalen, är lägre. Vidare är halten flyktiga organiska ämnen högre inomhus än utomhus. Ozon och kväveoxider tillförs inomhus med ventilationsluften; koncentrationerna är ofta något lägre inne än ute, men ozon kan också nå högre halter genom intern generering från exempelvis kontorsmaskiner. Det har visat sig att reaktionerna mellan kolväten och ozon är speciellt viktiga för inomhusluftens föroreningsinnehåll. Den tid kemiska reaktioner inomhus har på sig avgörs av ventilationsförloppets hastighet, dvs luftväxlingens storlek.

Terpener är kemiska ämnen som finns t ex i citrusfrukter och barrträd. Grandoftan orsakas av terpenen α -pinen medan det doftande ämnet från citroner och apelsiner är limonen. Det finns ett större antal terpen, vilka har samma kemiska formel, $C_{10}H_{16}$, men olika strukturer. De innehåller dubbelbindningar mellan kolatomerna, vilket gör dem extremt reaktiva gentemot de vanliga atmosfäriska oxidanterna OH-radikaler, NO_3 -radikaler och ozon. Terpenerna är kända att vid sidan om gasformiga produkter också bilda partiklar genom s.k. "gas-to-particle conversion". Atmosfärkemiska reaktioner av terpen är ett utmärkt exempel på hur ångformiga ämnen bidrar till bildning av partikelformiga föroreningar. Rent atmosfärvetenskapligt har dessa reaktioner blivit väl utforskade och hastighetskonstanterna och reaktionsprodukterna är relativt väl kända. Under senare tid har partikelbildning genom reaktioner i inomhusluften mellan terpen och ozon börjat studeras (Sarwar et al. 2003). En viktig observation i dessa studier är att partiklarna från terpen-ozon reaktionerna ligger just i det fina ($< 2.5 \mu m$) och ultrafina ($< 0.1 \mu m$) storleksområdet.

I Sverige pågår forskning på området vid SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut i samarbete med IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Göteborgs Universitet, Chalmers och Chalmers Industriteknik. Nedan sammanfattas några resultat från denna Formas-finansierade forskning. Figur 2 visas resultatet av mätningar av ozon, limonen och ultrafina partiklar genomförda i ett kontorsrum ventilerat med motsvarande ca 4

luftomsättningar per timma. Limonenhalten (maximum 360 ppb) genererades i samband med att en apelsin skalades. Ozon förekom i rummet vid ca 10 ppb utan att detta ämne hade tillförts på ”konstgjord” väg.



Figur 2. Halter av ozon, limonen och ultrafina partiklar i ett kontrosum ventilerat med ca 4 luftomsättningar per timma. Limonenhalten genererades i samband med skalning av en apelsin. Ozon förekom vid en bakgrundshalt om ca 10 ppb.

Som framgår av figuren bildades ultrafina partiklar (>20nm) som nådde en kortvarig koncentrationstopp på ca 130 000 partiklar per cm³. Man kan konstatera att denna koncentrationstopp är av samma storleksordning som toppkoncentrationer genererade i samband med cigarettökning (Matson, 2004). Observera detta endast är en jämförelse av koncentrationsnivåer, utan någon som helst hälsomässig värdering.

Klimatkammarförsök

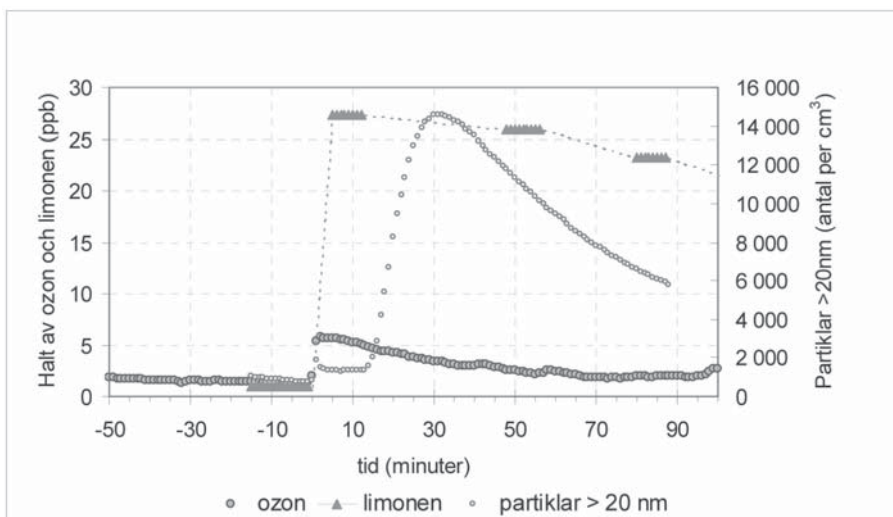
I ovannämnda projekt ingår forskare inom atmosfärkemi, ventilations-teknik, aerosolfysik och modellering av atmosfärkemiska processer. Undersökningen genomförs huvudsakligen i dels en liten testkammare (1m³), dels i en fullskalekammare (13,5m³). Vid experimenten studeras förutom hur koncentrationerna av ozon och limonen påverkar partikel-

bildningen, också vilken inverkan luftväxlingens storlek och den relativa luftfuktigheten har.

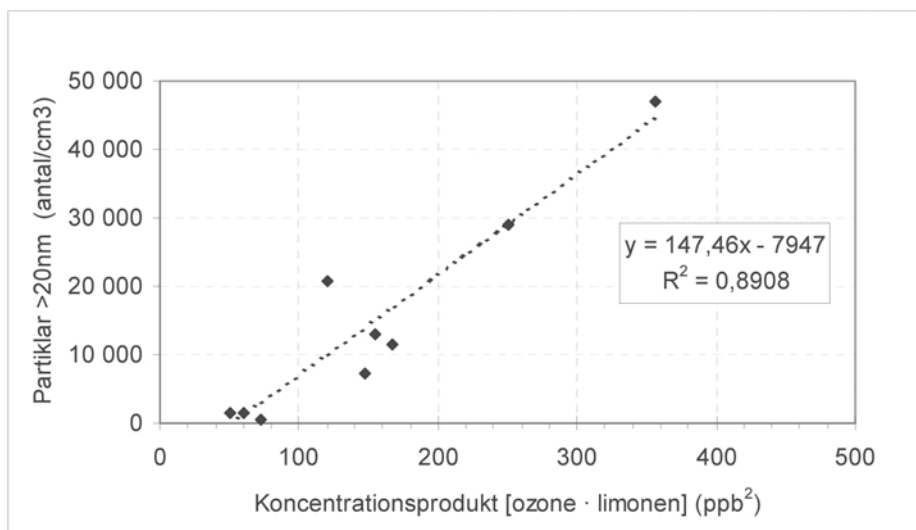
Ozon och limonen tillförs kammrarna i noggrant bestämda mängder. Ozon bereds på plats med hjälp av en ozongenerator och mäts med en ozonmonitor (kalibrerad vid BIMP i Paris). Limonen introduceras från emissionskällor. Partiklarnas koncentration mäts med en optisk partikelräknare som antal partiklar ($d_p > 0,020 \mu\text{m}$) per cm^3 luft (TSI Model 8525, P-trak) och deras storleksfördelning mäts med en Scanning Mobility Particle Counter (TSI Model 3936) kopplad till en kondensationskärnräknare. Det har visat sig att partiklarnas storlek till övervägande del återfinns i det ultrafina området ($< 0.1 \mu\text{m}$).

I Figur 3 visas ett exempel på halter av ozon och limonen samt partiklar $>20\text{nm}$ uppmätta i den stora av de två testkammrarna. Kammaren var vid försöket oventilerad. Vid tiden noll tillfördes både ozon och limonen till kammaren. De initiala koncentrationerna av ozon och limonen var 5,7 ppb respektive 27,3 ppb. Efter 30 minuter hade partikelkoncentrationen stigit från mindre än 1 000 till över 14 000 partiklar per cm^3 .

Det ovan beskrivna experimentet upprepades ett flertal gånger med olika nivå på de initiala ozon- och limonenhalterna, både i stor och liten testkammare. Resultaten har sammanställts i Figur 4. På y-axeln visas den maximala partikelkoncentration som uppmättes efter det att ozon och limonen tillförts kammarlufte. På x-axeln visas produkten mellan de initiala koncentrationerna av ozon och limonen, uppmätta vid starten av varje försök. Figuren antyder att en partikelbildning initieras först om koncentrationerna av ozon och limonen är tillräckligt höga för att produkten mellan dem skall överstiga ca 50ppb^2 .



Figur 3. Halter av ozon och limonen samt partiklar >20nm uppmätta i en oventilerad testkammare med volymen 13,5m³. Vid tiden noll tillfördes både ozon och limonen till kammaren.



Figur 4. Den maximala partikelkoncentrationen uppmätt i en oventilerad testkammare av volymen 1m³ som funktion av produkten mellan koncentrationerna av ozon och limonen. Figuren baseras på de initiala ozon och limonenkoncentrationerna som uppmättes vid starten av varje försök.

Mätning av partikelhalter

Det finns en lång rad av metoder för mätning av luftburna partiklar. Flerparten av dessa metoder är fortfarande främst lämpliga som forskningshjälpmedel, exempelvis för bestämning av aerosolers storleksfördelning, partiklars ytstruktur och kemiska sammansättning. Eftersom effekten av luftburna partiklar på komfort och hälsa fortfarande är dåligt känd förefaller det inte heller vara meningsfullt att använda avancerade mätmetoder för detaljerad karaktärisering av partiklarförekomsten i samband med utredning av innemiljöproblem. Vid sådana undersökningar skulle det dock kunna vara befogat att mäta:

- Halten PM_{10} och/eller $PM_{2.5}$ för jämförelse med gällande miljö kvalitetsnormer för utomhusluft och data från kommunala miljöövervakningssystem. Detta skulle kunna vara ett hjälpmedel för att avgöra huruvida den aktuella platsen är speciellt utsatt för partikulära luftföroreningar. PM_{10} och $PM_{2.5}$ kan indikeras med hjälp av ett förhållandevis okomplicerat optiskt instrument, såsom aerosolfotometer.
- Partikelantal i storleksfraktioner mellan $0,3\mu m$ och $10\mu m$ mätt med optisk partikelräknare före och efter ventilationsfilter (eller vid uteluftsintag och i tilluft) för att avgöra om aktuellt filter fungerar som avsett. I detta fall används lämpligen de krav SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut ställt upp i samband med P-märkning av luftfilter som referens.

Sammanfattande kommentarer

Med hjälp av effektiva och välskötta tilluftsfilter kan partiklar utifrån i rätt stor utsträckning förhindras att nå inomhusluften. För att begränsa halten av internt genererade partiklar bör också partikelalstringen (källstyrkan) begränsas. Det finns många exempel på interna partikelkällor i byggnader, varav de flesta är förknippade med mänsklig aktivitet. Bland de nyare rönen på området kan kemiska reaktioner inomhus mellan ozon och terpener nämnas. Dessa reaktioner kan leda till halter av ultrafina partiklar av samma storleksordning som halterna av sådana partiklar i stadsluft, och även av samma storleksordning som de halter som alstras vid tobaksrökning inomhus. Detta resonemang skall inte tolkas som en rekommendation att förbjuda partikelalstrande aktiviteter såsom att skala apelsiner, tända stearinljus etc.

Vi känner i dagsläget till en lång rad källor som kan ge höga partikelhalter inomhus. Vi vet dock inte särskilt mycket beträffande dessa partiklars inverkan på hälsan, speciellt inte då det gäller de ultrafina partiklarna. Det finns miljö kvalitetsnormer för PM10 och det har föreslagits att dessa skall kompletteras med krav beträffande halten av PM2.5. Möjligen kommer forskningen på området så småningom leda till krav också beträffande ultrafina partiklar.

Referenser

Finlayson-Pitts, B.J., Pitts Jr., J.N., 2000. Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere. Theory, Experiments, and Applications, Academic Press, San Diego.

FiSIAQ (2001) Classification of indoor climate 2000, Target values, design guidance and product requirements, FiSIAQ Publication 5E, Espoo, Finland.

Fransson, J.I., Ruud, S.H., Rosell, L. 1995. Rena Ventilationskanaler, SP Rapport 1995:38, Borås.

Matson, U. 2004. Ultrafine Particles in Indoor Air: Measurements and Modelling, Doktorsavhandling vid Chalmers Tekniska Högskola, Serie 2204, Göteborg.

Matson, U. 2005. Indoor and outdoor concentrations of ultrafine particles in some Scandinavian rural and urban areas. Science of The Total Environment, 343, pp. 169-176.

Nazaroff, W.W., Weschler, C.J., 2004. Cleaning products and air fresheners: exposure to primary and secondary air pollutants. Atmospheric Environment 38, 2841-2865.

SFS 2001:527, Förordning om miljö kvalitetsnormer för utomhusluft, Miljödepartementet, 2001

Sarwar, G., Corsi, R., Allen, D., Weschler, C.J., 2003. The significance of secondary organic aerosol formation and growth in buildings: experimental and computational evidence. Atmospheric Environment 37, 1365-1381.

Weschler, C.J., 2004. Chemical reactions among indoor pollutants: what we've learned in the new millennium. Indoor Air 14 (Suppl. 7), 184-194.

Partiklar och kemi

Göran Stridh

- ❑ Varför är partiklarnas kemi av intresse?
- ❑ Vilka olika metoder finns för analys av kemiska ämnen på partiklar? Ger metoderna likartade resultat?
- ❑ Hur kan dessa resultat användas?

Introduktion

Sambanden mellan inomhusmiljön och besvär hos brukare har diskuterats ofta under gångna 30-talet åren dock utan att vetenskapliga studier kunnat förklara vilka bakomliggande fysikaliska och kemiska faktorer som dominerar. Bland de kemiska faktorerna rörde tidigt gas- och ångformiga ämnen i inomhusluften stort intresse. Under 1970-talets senare hälft var spånskivor och därifrån emitterad formaldehyd i fokus men uppmätta luftkoncentrationer kunde endast i något fall ge rimlig förklaring till besvärerna hos brukarna. Senare kom kemiska ämnen avgivna från kaseinhaltiga självutjämnande spackel att dominera. Ammoniak bortgick i höga halter då ingående proteiner i produkterna under inverkan av alkalisk fukt bröts ner. Huvuddelen av ammoniak stannade kvar under golvytbeläggningen och det var ytterst sällsynt att man kunde påvisa ämnet i inomhusluften och då i koncentrationer som knappast kunde förklara uppgivna besvär. Problemen i bostadsområdet Enskededalen resulterade i en doktorsavhandling (Bornehag 1994), där det genom kombination av svar i enkäter från de boende och mätningar av kemiska ämnen i inomhusluften i lägenheterna kunde påvisas ett statistiskt samband mellan irritation i slemhinnor och vissa kemiska ämnen. Två alkoholer, 1-butanol och 2-etyl-1-hexanol, kom att spela stor roll i den fortsatta forskningen. Flera studier med samma upplägg som i Enskededalenstudien genomfördes med särskilt 2-etyl-1-hexanol som huvudämne dock utan att konklusiva resultat erhöles.

En kontrollerad exponeringsstudie med normal- och hyperreagerande försökspersoner genomfördes i klimatkammare i Århus (Andersson et al. 2000a; Andersson et al. 2000b). Blandningar av tre aldehyder respektive tre alkoholer, däribland n-butanol och 2-etyl-1-hexanol, användes och näs-slemhinnans reaktion vid exponering utgjorde ett av effektmåten. Ingen av grupperna visade reaktion på blandningarna. Trots detta använder konsulter förekomst av alkoholerna under golvmattor som förklaring till

rapporterade besvär. Man hävdar dock inte att det är alkoholerna som är den direkta anledningen till rapporterade besvär utan använder dem mera som förklaringsmodell och menar att det indikerar förekomst av andra kemiska ämnen som utgör det direkta problemet.

Under 2000-talet har ett markant ökat intresse riktats mot förekomsten av partiklar (damm) i inneluften som mycket små partiklar (nanopartiklar, partiklar vars sfäriska diameter är mindre än 100 nanometer) i såväl arbetsplats- som uteluft. Särskilt intresse riktas mot möjligheten att dessa små partiklar penetrerar lungblåsorna och kommer in i blodomloppet där de kan bidra till ökad förekomst av hjärt- kärlsjukdomar. Under 2004 publicerades ett arbete inom det s k DBH-projektet där statistiska samband kunde påvisas mellan förekomst av två vanliga mjukgörare, DEHP, dietylhexylftalat och BBzP, butylbensylftalat, i deponerat damm på högt belägna horisontella ytor och astma respektive rhinit hos barn (Bornehag et al 2004).

I en annan kontrollerad exponeringsstudie med normal- och hyperreagerande och allergiska försökspersoner i klimatkammare i Århus exponerades deltagarna för vanligt inomhusdamm från golv insamlat i kontorsbyggnader. Till delar av dammet tillsattes aldehyderna n-hexanal, n-nonanal och n-dekanal, dvs samma aldehyder som tidigare använts i ångform, samt β -1,3-d-glukan. Exponeringsnivån för damm var $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nässlemhinnans reaktion med svullnad samt förekomst av inflammationsmarkörer i nässköljvätska användes som effektmått. Det visade sig att ingen av grupperna reagerade på det insamlade ursprungliga dammet medan såväl hyperreaktiva som allergiska försökspersoner reagerade för dammet med tillsatta aldehyder respektive β -1,3-d-glukan (Möhlhave et al 2004).

Under innevarande år pågår en ny exponeringsstudie i klimatkammaren i Århus med hyperreaktiva och allergiska personer, som exponeras för damm med β -1,3-d-glukan i nivåer från 0 till $750 \mu\text{g}/\text{m}^3$, för att fastställa om ett eventuellt dos-respons samband för känsliga personer föreligger.

Genomförda studier pekar alltså mot att vanligt inomhusdamm har förmåga att på sin yta adsorbera kemiska ämnen som förekommer i inneluften i ångform och att exponering för detta damm kan påverka nässlemhinnan.

Material och metoder

Nedanstående text beskriver kortfattat de svårigheter man ställs inför vid bestämningen av vilka ämnen och i vilka halter ämnena adsorberade på damm förekommer. Studien omfattar sju sorters damm som kommit till användning vid olika exponeringsstudier. Samtliga damm har uppsamlats från golv med dammsugare och därefter bearbetats enligt att standardiserat förfarande (Möhlhave 1999). Samtliga dammprov har använts vid exponeringsstudier i Århus.

Dammets beteckning	Uppsamlingsställe	Eventuella tillsatser
A	Icke fuktskadade kontor	-
B	Icke fuktskadade kontor	Aldehyder
C	Icke fuktskadade kontor	β -1,3-d-glukan
D	Fuktskadade skolor	-
E	Icke fuktskadade skolor	-
F	Icke fuktskadade skolor	β -1,3-d-glukan
G	Icke fuktskadade kontor	β -1,3-d-glukan

Dammproven analyserades med avseende på torrsubstanshalt, andel organisk/oorganisk del, andel vattenlöslig/vattenolöslig del enligt SS 02 81 13. Elementarsammansättning för varje dammprov bestämdes med röntgenfluorescenssteknik (Link ISIS Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) i samband med svepelektronmikroskopering (LEO 435 VP, 20 eV, 20 Pa).

Adsorberade ämnen på dammen analyserades genom extraktion med metanol (Öie et al., 1997), toluen (Nagorka et al., 2002) eller diklormetan (Bornehag et al., 2004) och genom termisk desorption vid 120 °C under 120 minuter till Tenaxrör (Wolkoff et al., 1994) eller genom 10 minuters desorption direkt till gaskromatograf vid 150 °C (Nilsson et al., 2004). Både kvalitativ och kvantitativ analys gjordes. Vid kvantifieringen användes toluen som referens. I samtliga fall genomfördes 6 prov per dammsort för varje extraktionsmetod vid vätskeextraktion och 2 prov per dammsort vid termisk desorption vid 120 °C och 6 prov per dammsort vid termisk desorption vid 150 °C.

De adsorberade kemiska ämnena analyserades med gaskromatograf (Agilent 6890N) med maselektiv detektor (Agilent 5973). Vid analys av proven som desorberats med vätska användes följande GC-parametrar: Isotermt vid 50 °C under 3 minuter, temperaturhöjning med 10 °C/min till 300 °C, isotermt under 15 minuter. Kolonnflöde 1 ml/min helium.

Vid analys av de termiskt desorberade proven användes följande parametrar:

Koncentration på Tenax TA kylfälla vid +10 °C med 30 ml/min helium samt injektion vid 300 °C under 1 minut med ett splitförhållande på 10:1.

GC-parametrar:

Isotermt vid 50 °C under 1 minut, temperaturhöjning med 5 °C/min till 170 °C, därefter temperaturhöjning med 20°C till 310 °C och slutligen isotermt under 3 minuter.

Vid analyserna användes en 30 meters HP-5MS kolonn med 0,25 mm inre diameter och 0,25 µm filmtjocklek med konstant kolonnflöde på 1,0 ml/min helium.

Ämnena med signal/brus förhållande större än 3 identifierades med NIST Mass Spectral Search Program version 2.0a och kvantifierades med Chemstation version D.02.00275.

Slutligen analyserades samtliga dammprov med svepelektronmikroskop.

Resultat

Tabell 1. Torrsubstanshalt, organisk/oorganisk andel och vattenlöslig/-vattenolöslig andel för de sju dammproven.

Dammets beteckning	Torrsubstanshalt (g/kg)	Organisk andel (g/kg)	Oorganisk andel (g/kg)	Vattenlöslig andel (g/kg)	Vattenolöslig andel (g/kg)
A	977	370	630	70	930
B	979	347	653	65	935
C	981	310	690	134	866
D	988	139	861	31	969
E	981	266	734	60	940
F	967	468	532	126	874
G	989	135	865	72	938

Torrsubstanshalten varierade endast marginellt (974-989 g/kg), medan det förekom stora variationer i oorganisk andel (532-865 g/kg). Även variationen i vattenlöslig andel varierade mer än förväntat (866-969 g/kg).

Tabell 2. Elementarsammansättning för de 7 dammproven.

Damm	C	O	Na	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Al
A	40,3	38,1	2,5	10,4	-	3,8	0,5	3,2	0,2	1,0	-
B	45,9	32,6	3,3	3,3	2,8	4,8	0,4	5,8	0,2	0,9	-
C	40,0	40,6	0,7	9,7	-	1,7	0,6	4,5	0,2	0,9	1,0
D	44,5	36,3	0,8	7,3	0,8	1,8	0,6	6,0	0,4	1,7	-
E	42,2	38,2	0,8	4,9	1,0	2,2	1,0	7,5	0,5	1,7	-
F	43,2	35,4	1,6	6,9	1,0	2,9	1,0	6,5	0,4	1,1	-
G	42,3	37,1	1,0	10,2	0,5	1,5	0,8	4,7	0,3	1,7	-

Elementarsammansättningen liknar varandra både kvalitativt och kvantitativt men elementet svavel förekom endast i 5 av dammen och aluminium i endast ett damm.

Med metanol, toluen och diklormetan som extraktionsmedium identifierades 159 olika kemiska ämnen i de sju dammproven. Av dessa var 11 organiska syror, 38 organiska estrar varav 25 ftalater samt 19 aldehyder. Vidare identifierades aromatiska föreningar, mättade kolväten och fenyletrar. I alla dammproven utom de som kom från skolmiljöer detekterades även nikotin. DEHP (Di-etylhexylftalat) var det ämne som förkom i högst halt, 4,34 mg/g damm för dammprov G, vid extraktion med diklormetan. Andra ämnen med hög halt i alla dammproven var BBzP (butylbensylftalat), DBP (dibutylftalat), di-nbutylftalat och trifenylfosfat.

Vid termisk desorption dominerade MEK (2-butanon), hexanal, nonanal, dekanal och 2-etylhexanol i samtliga dammprov.

I nedanstående tabell 3 och tabell 4 redovisas de 10 mest förekommande ämnena adsorberade på de sju dammproven för de tre olika vätske-desorptionsmetoderna och för de två metoderna med termisk desorption.

Tabell 3. Kemiska föreningar i 7 dammprov från inomhusmiljöanalysen med extraktionsteknik. För varje teknik anges de 10 mest förekommande ämnena i µg/g damm.

Kemisk förening	Damm A			Damm B			Damm C			Damm D		
	Metanol	Toluen	Diklormetan	Metanol	Toluen	Diklormetan	Metanol	Toluen	Diklormetan	Metanol	Toluen	Diklormetan
2,4-Di-tert-butylphenol			43			70			70			
2,6-di-tert-butyl-4-ethylphenol												
2-methyl-, 3-hydroxy-2,4,4-trimethylpentyl ester propanoic acid												
2-Propen-1-ol												
Benzaldehyde							40					
Butylbenzylphthalate	105	126	229	102	93	265	94	55	265	58	45	132
Di(2-ethylhexyl)phthalate	1 124	1 301	2 615	1 154	1 070	2 564	956	2 667	2 564	1 607	729	3 025
Diethylphthalate		27				48			48			
Diisobutylphthalate			46			59			59		68	198
Di-n-butylphthalate	41	40	51	57	33	67		83	67	94	128	178
Diphenyl-2-ethylhexylphosphat			50		20			50				
Dodecanoic acid							44			162		147
Dodecanoic acid, methyl ester		33			40			101			143	
Hexacosane												
Hexadecanoic acid		41		64	48		62	119		69	48	274
Hexadecanoic acid, methyl ester		69		59			58			87		
Hexanoic acid							54					
Isopropylmyristate		49								51		
Linoleic, methyl ester		55										
m/z 539												
Nicotine		106		73				83				
Nonanoic acid												
Octadecanoic acid												401
Octadecanol			36							32	74	98
Oleic acid												
Oleic acid, methyl ester		53		47			51			72		
Pentacosane											28	
Phenyl ether (R124.757)											37	
Phenyl ether (R124.887)												70
Phenyl ether (R125.683)												
Phthalate (R124.516)		34	46	59	29	60		74	60			
Phthalate (R124.575)		27	35		22	45		55	45			
Phthalate (R124.642)												54
Phthalate (R124.752)		35										
Pinene												
Stearic acid, methyl ester												51
Tetracosane												
Tetradecanoic acid												
Tributylacetylacitrate												31
Triphenylphosphat	73	58	90	88	42	78	63	113	78			

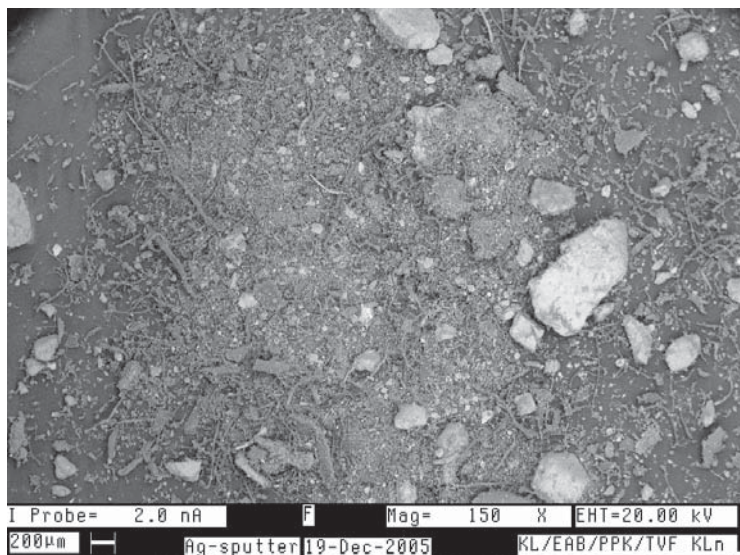
forts **Tabell 3.** Kemiska föreningar i 7 dammprov från inneklimat analyserade med extraktionsteknik. För varje teknik anges de 10 mest förekommande ämnena i µg/g damm.

Kemisk förening	Damm E		Damm F		Damm G	
	Metanol	Toluen	Metanol	Toluen	Metanol	Toluen
2,4-Di-tert-butylphenol		48		37		57
2,6-di-tert-butyl-4-ethylphenol				24		
2-methyl-, 3-hydroxy-2,4,4-trimethylpentyl ester propanoic acid						
2-Propen-, 1-ol						
Benzaldehyde	14					
Butylbenzylphthalate	58	45	132	100	229	253
Di(2-ethylhexyl)phthalate	1 358	1 625	3 194	2 385	1 883	2 132
Diethylphthalate			90			4 340
Diisobutylphthalate	96	44	121	95	244	116
Di-n-butylphthalate	50	41	75	102	71	82
Diphenyl-2-ethylhexylphosphate						339
Dodecanoic acid			68		100	91
Dodecanoic acid, methyl ester						59
Hexacosane		9		30		62
Hexadecanoic acid			53	17		
Hexadecanoic acid, methyl ester	88		57		329	360
Hexanoic acid						95
Isopropylmyristate						
Linoleic, methyl ester	28					
m/z 539						
Nicotine						85
Nonanoic acid						65
Octadecanoic acid						
Octadecanol					88	48
Oleic acid					109	79
Oleic acid, methyl ester	78		55			106
Pentacosane		13		20		
Phenyl ether (Rt24.757)				27		
Phenyl ether (Rt24.887)		18				
Phenyl ether (Rt25.683)				61		
Phthalate (Rt24.516)						
Phthalate (Rt24.575)						
Phthalate (Rt24.642)						
Phthalate (Rt24.752)						
Pimene						
Stearic acid, methyl ester	35					
Tetracosane		9	27	20	30	62
Tetradecanoic acid					83	74
Tributylacetyl/citrate	109	11	17			
Triphenylphosphate		42	51	105	153	42
			220			61

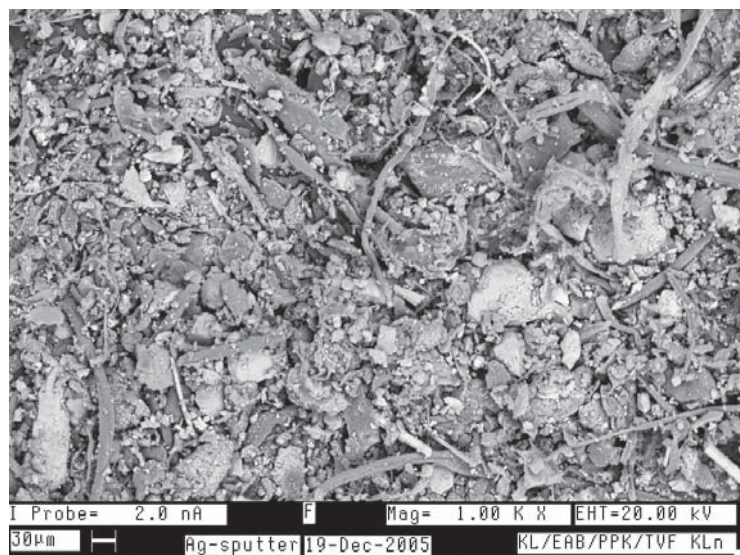
Tabell 4. Kemiska föreningar i 7 dammprov från inomhusmiljön analyserade med termisk desorption vid 150 och 120 °C. För varje analysstyp anges de 10 mest förekommande ämnena i µg/g damm.

Kemisk förening	Damm A		Damm B		Damm C		Damm D		Damm E		Damm F		Damm G	
	150	120	150	120	150	120	150	120	150	120	150	120	150	120
Acetic acid	384	45	475	506	973	45	200	48	298	43	634	48		
Acetophenone	74		89	47	92	49								
Benzaldehyde		47				45		79						
2-Butanone	137	51	184	50	240	61	185	47	76	46	106	45	259	53
2-Butoxyethanol									48					
2-(2-butoxyethoxy) ethanol				45		62								
CAS #: 28564-83-2														
Cyclohexyl isothiocyanate				46	92	49	56	43	58	51	57	43	106	47
Decanal	79	64	84											
Diethyl phthalate														
2-Ethoxyethyl acetate										50				
2-Ethylhexanol	104	52	112	51	116	52	108	50	136	78	81	46		50
2-Ethylhexyl acrylate		50												
2-Ethylhexyl ester propenoic acid	74													
Heptanal						45	66	44						
Hexanal	115	60	143	53	138	53	113	47	59	49	73	44	234	63
4-Hydroxy-4-methyl-2-pentanone						69								
5-Hydroxy-2-pentanone					138		97		54		65		147	
Neocudione			165										164	
Nicotine			140	48	136	48							49	
Nonanal	151	46	186	69	191	69	298	69	95	100	110	55	364	80
2-Nonenoic acid													91	
Octanal		47		47		47		45	50	54	58	45	46	
Phthalic anhydride														
Propylene glycol								42						
Pyranone														
Triacetin														49
Tributylphosphate	121	48	139	47	108	52			50		70		154	
Tridecanoic acid	103								47		50			

Figurerna 1 och 2 visar prov på damm F vid 150 respektive 1000 gångers förstoring. Den inlagda skalan i respektive figurs nedre vänstra hörn ger en uppfattning om ingående partiklars och fibrers storlekar.

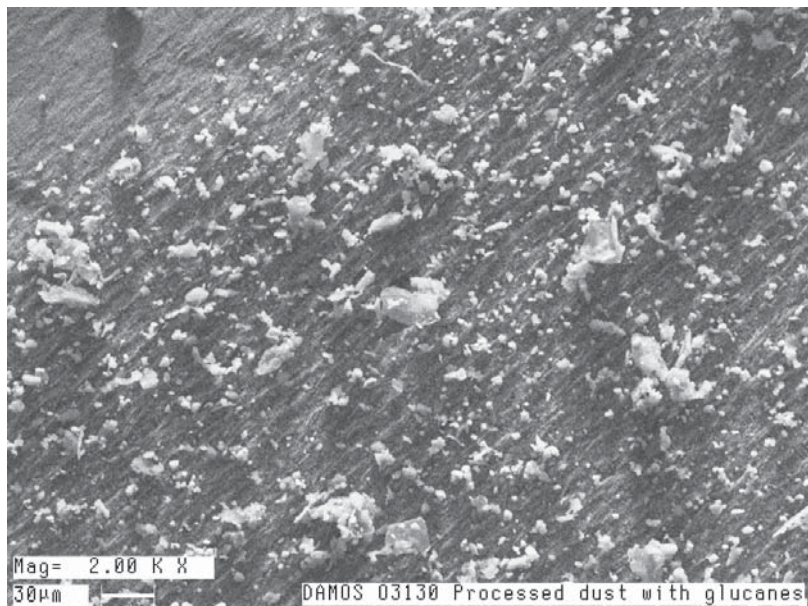


Figur 1. SEM fotografi av damm F vid 150 ggr förstoring.



Figur 2. SEM fotografi av damm F vid 1000 ggr förstoring.

I figur 3 visas ett foto från svepelektronmikroskopet på ett personburet provtagningsfilter vid exponeringsförsöken vid 2 000 gångers förstoring. Det framgår att partiklarna försökspersonerna exponerats för i huvudsak ansluter till PM_{10} .



Figur 3.

Vilka slutsatser kan man dra av undersökningen?

Någon allmän accepterad standard för insamling av damm och upp-
arbetning av dammet har inte utarbetats och i de fall ”standardförfarande”
utvecklats används det endast lokalt. I denna undersökning har samma
metod använts och det är därför något förvånande att proven visar stora
inhomogeniteter för oorganisk och vattenolöslig andel. Detta medför
svårigheter vid återupprepning av studier och jämförelser. Man kan fastslå
att uppsamlat damm är inhomogent både vad gäller partikeltyp och par-
tikelstorlek och olika resultat kan därför förväntas om provet sugits upp,
torkats upp eller passivt samlats upp. Liknande iakttagelser har gjorts i
andra studier av damm (Wensing et al., 2005).

Vid analys av kemiska ämnen adsorberade på dammproven kan följande reflektioner göras:

- det är svårt att kvantitativt och kvalitativt analysera lättflyktiga ämnen efter extraktion med vätska

- ingen av vätskorna utmärkte sig att vara bättre för vissa ämnesgrupper

- det är ingen stor kvalitativ skillnad mellan extraktion med metanol, toluen eller diklormetan men det föreligger stor skillnad kvantitativt för ftalater, där diklormetan är effektivast följt av toluen och metanol. För kvantitativ bestämning av nikotin fungerar metanol bäst

- vid extraktion med vätska blir bakgrunden i analyserna i allmänhet små, vilket gör kvantifieringen säkrare

- vid termisk desorption kan man kvantitativt bestämma många ämnen som inte går att göra med vätskeextraktion och vice versa

- det är svårt att analysera ämnen som är polära eller svårflyktiga med termisk desorption

- i allmänhet blir bakgrunden hög – särskilt för högre organiska syror och ftalater - vid termisk desorption

- det föreligger inga stora skillnader mellan termisk desorption vid 120 och 150 °C, men vid 150 °C påvisas fler ämnen och kvantifieringen blir bättre

- vad gäller förekomst av adsorberade kemiska ämnen föreligger inga större skillnader mellan skolor och kontor eller mellan fuktskadade och icke-fuktskadade skolor.

Ett relativt litet antal kvantitativa studier på organiska ämnen adsorberade till damm har rapporterats, vilket beror delvis på att det saknas enhetlig metod för både provtagning, upparbetning och analys. Ett undantag utgör dock studier av ftalater på damm. I tabell 5 sammanfattas publicerade resultat från några studier, där olika upparbetningsätt använts.

Tabell 5. Resultat från några studier av DEHP i damm, där olika upparbetningsätt använts.

Typ av damm	Upparbetningsmetod	Koncentration DEHP (mg/g damm)	Referens
Bostäder, sedimenterat	Extraktion, metanol	0,64	Öie et al., 1997
Bostäder, golv	Extraktion, metanol	0.86	Clausen et al., 2003
Skolor, golv	Extraktion, metanol	3,20	Clausen et al., 2003
Bostäder, sedimenterat	Extraktion, diklormetan	0,83 (fall)	Bornehag et al., 2004
Bostäder, sedimenterat	Extraktion, toluen	0,72 (kontroller)	Nagorka et al., 2002
Bostäder, golv	Extraktion, toluen	0,42	Becker et al., 2002
Bostäder, golv	Extraktion, toluen	0,52	Becker et al., 2004
Daghem, golv	Pressurized liquid extraction	Ej redovisat	Fromme et al., 2004
Bostäder, golv	Pressurized liquid extraction	0,78	Clausen et al., 2003
Skolor	Pressurized liquid extraction	3,21	Clausen et al., 2003
A, Kontor, golv	Extraktion, metanol	1,12	Denna undersökning
A, Kontor, golv	Extraktion, toluen	1,30	Denna undersökning
A, Kontor, golv	Extraktion, diklormetan	2.62	Denna undersökning
B, Kontor, golv	Extraktion, metanol	0,96	Denna undersökning
B, Kontor, golv	Extraktion, toluen	2,67	Denna undersökning
B, Kontor, golv	Extraktion, diklormetan	2,56	Denna undersökning
C, Kontor, golv	Extraktion, metanol	1,16	Denna undersökning
C, Kontor, golv	Extraktion, toluen	1,07	Denna undersökning
C, Kontor, golv	Extraktion, diklormetan	2,56	Denna undersökning

forts **Tabell 5**

Typ av damm	Upparbetningsmetod	Koncentration DEHP (mg/g damm)	Referens
D, Skolor, golv	Extraktion, metanol	1,61	Denna undersökning
D, Skolor, golv	Extraktion, toluen	0,73	Denna undersökning
D, Skolor, golv	Extraktion, diklormetan	3,03	Denna undersökning
E, Skolor, golv	Extraktion, metanol	1,36	Denna undersökning
E, Skolor, golv	Extraktion, toluen	1,63	Denna undersökning
E, Skolor, golv	Extraktion, diklormetan	3,19	Denna undersökning
F, Skolor, golv	Extraktion, metanol	1,07	Denna undersökning
F, Skolor, golv	Extraktion, toluen	1,17	Denna undersökning
F, Skolor, golv	Extraktion, diklormetan	2,39	Denna undersökning
G, Kontor, golv	Extraktion, metanol	1,88	Denna undersökning
G, Kontor, golv	Extraktion, toluen	2,13	Denna undersökning
G, Kontor, golv	Extraktion, diklormetan	4,34	Denna undersökning

Det är ett stort behov av vidareutveckling av metoderna så att korrelationsstudier mellan exponering av kemiska ämnen på damm och hälsopåverkan kan utföras. Det kan i dagsläget inte rekommenderas att man i verkliga skadefall i byggnader gör uttalanden om skäl till brukarnas rapporterade besvär utifrån analyser av adsorberade ämnen på insamlat damm.

Referenser

Andersson, K., Christensen, O., Falk J., Hempel-Jørgensen, A., Juto, J-E., Kjaergaard, S., Mölhave, L. And Stridh, G. (2000a). The Relation between aldehydes in indoor air climate and irritation to the mucous membranes in humans. Report on a climate chamber study (DSN-3). IMA-report no 2000.1 Air Pollution Unit, Department of Environmental and Occupational Medicine. The University of Aarhus, Denmark. Rapport till Byggeforskningsrådet.

Andersson, K., Christensen, O., Falk, J., Hempel-Jørgensen, A., Juto, J-E., Kjaergaard, S., Mölhave, L. And Stridh, G. (2000b). The relation between alcohols in indoor air climate and irritation to the mucous membrane in humans. A climate chamber study: Report on study DSN-4.

Becker, K., Seiwert, M., Kaus, S., Krause, C., Schultz, C. and Seifert, B. (2002). German Environmental Survey 1998 (GERES III): Pesticide and other pollutants i house dust. In: Proceedings of the 9th International conference on the indoor air quality and climate, Indoor Air 2002, Monterey, IV, 883-887.

Becker, K., Seiwert, M., Angerer, J., Heger, W., Koch, H.M., Nagorka, R., Roskamp, E., Schluter, C., Sifert, B. and Ullrich, D. (2004). DEHP metabolites in urine of children and DEHP in house dust. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 207 s 409-417.

Bornehag, C-G (1994) Mönsteranalys av inomhusluft. Diss. Byggeforskningsrådet R23. Stockholm.

Bornehag, C-G., Sundell, J., Weschler, C., Sigsgaard, T., Lundgren, B., Hasselgren, M. and Hägerhed-Engman, L. (2004). The association between asthma and allergic symptoms in children and phtalates in house dust: a nested case-control study. Environ. Health Perspect. Vol 112 (14) , p 1393-1397.

Clausen, P.A., Lindeberg Bille, R.L., Nilsson, T., Hansen, V., Svensmark, B. and Bovadt, S. (2003). Simultaneous extraction of di(2-ethylhexyl)phthalate and nonionic surfactants from house dust. Concentrations in floor dust from 15 Danish schools. J. of Chromatography A, 986, 179-190.

Fromme, H., Lahrz, T., Piloty, M., Gebhart, H., Oddoy, A. and Ruden, H. (2004). Occurrence of phtalates and musk fragrances in indoor air and dust from apartments and kindergartens in Berlin (Germany). Indoor Air, 14, p 188-195.

Möhlhave L., Sigsgaard, T., Kjaergaard, S., Juto, J-E., Andersson, K., Stridh, G., Bönlökke, J., Bonefeld-Jørgensen E., Löfstedt, H., Karlsson, T., Pan, Z., Bodin, L. and Niepsju, M. (2004). Changes in airway mucosal membranes after experimental exposures to dust containing glucan and volatile organis compounds. Vol 3: Effects of dust exposure in climate chamber. IMA-report no 2004.1 Air Pollution Unit, Department of Environmental and Occupational Medicine. The University of Aarhus, Denmark. Rapport till Formas.

Möhlhave, L. (1999) Standardprocedur för fältinsamling av damm till klimatkammarförsök. Air Pollution Unit, Department of Environmental and Occupational Medicine. The University of Aarhus, Denmark.

Nagorka, R., Scheller, C., Ullrich, D. And Seifert, B. (2002). Methods to determine plasticizers in indoor dust. Proceedings of the 9th international conference on the indoor air quality and Climate, Indoor Air 2002, Monterey, IV, p 193-198.

Nilsson, A., Kihlström, E., Lagesson, V., Wessén, B., Szponar, B., Larsson, L. And Tagesson, C. (2004). Microorganisms and volatile organic compounds in airborne dust from damp residences. Indoor Air 14 (2), p 74-82.

Wensing, M., Udhe, E. and Salthammer, T. (2005). Plastics additives in the indoor environment – flame retardants and plasticizers. Science of the total environment, 339. p 19-40.

Wolkoff, P. and Wilkins C.K. (1994). Indoor VOCs from household floor dust: comparison of headspace with desorbed VOCs; method for VOC release determination. Indoor Air 4 (4), p 248-254.

Öie, L., Hersoug, L-G. and Madsen, J-O. (1997). Residential exposure to plasticizers and its possible roll in the pathogenesis of asthma. Environ. Health Perspect. 105, p 972-978.

Har vi någon nytta av partikelmätningar vid skadefall?

Tom Follin

- ❑ Träffar du ofta på skadefall där klagomål på partiklar och damm är framträdande?
- ❑ Hur brukar du genomföra sådana utredningar?
- ❑ Vilken erfarenhet har du av att använda partikelmätningar och analys av partikelinnehåll?

Under ett seminarium arrangerat av FORMAS, där forskningsprogrammet ”Det sunda huset” presenterades, preciserades ett antal områden där forskning behövdes.

Bland dessa områden märks:

- Hälsoeffekter av inomhuspartiklar relaterat till deras storlek, yta, sammansättning, kemisk och biologisk aktivitet.
- Interaktion och samverkans effekter av partiklar i inomhusluft och gaser.

Det jag skrivit nedan baseras alltså inte (med något undantag) på några vetenskapligt högtstående rön utan är mina och mina kollegors erfarenheter utifrån en praktikers horisont.

Partiklar kan bestå av i stort sett vad som helst, vara hur små som helst och finnas var som helst. På partiklar adderas mindre partiklar och molekyler av ämnen som finns i luften. Vi andas in dessa. Beroende av storlek når partiklarna mer eller mindre långt ner i våra andningsvägar. De flesta partiklar $> 5 \mu\text{m}$ sorteras bort i de övre andningsvägarna. I många fall (de flesta) orsakas SBS-symptom av ämnen vi andas in eller får på huden. Tyvärr har vi ingen kunskap om vilka dessa ämnen är. Det enda (rörande partiklar) vi vet något om (utanför industriell miljö och utemiljö) är partiklar som framkallar allergireaktioner, till exempel hyffragment och sporer från vissa mögelsvampar. Detta är dock inte SBS-symptom. Vi vet också att partiklar/damm påverkar skolbarns hälsa och prestationsförmåga. Utöver detta finns hos oss som utreder innemiljöproblem en förvisning om att partiklar från golvpulver som frigörs vid så kallad powdering är förklaring till vissa besvär i slemhinnor och på hud. Om partiklarna kommer från en pågående mögeltillväxt måste denna finnas på en yta som

vetter mot rummet (då syns det) eller som finns invid en luftström riktad mot rummet.

Svaret på den första frågan i rubriken blir ”Ja ibland men oftast inte när vi utreder innemiljöproblem som har kopplingar till SBS-symptom”.

Mina erfarenheter av att använda partikelmätningar och analys av partikelinnehåll

Innemiljöproblem där klagomål framförts med koppling till partiklar och damm förekommer. Klagomålen på damm och partiklar är oftast inte framträdande utan finns någon gång när den drabbade själv funderar över vad orsaken till problemen kan vara. Ibland kan det finnas anledning att kontrollera partikel- eller dammhalt respektive partiklarnas eller dammets sammansättning för att hitta källan eller för att lugna en orolig person. De typer av partikelmätningar jag varit med om är antingen uppsamling av partiklar/luftburet damm på vägda filter eller partikelräkning där olika storlekar på partiklar räknas med partikelräknare. Enstaka mätningar av PM 10 har även utförts av kollegor men där saknar jag egen erfarenhet.

Vägda filter

Under 1980-talet, kanske en bit in på 1990-talet förekom det i några få innemiljöutredningar att luftprover pumpades genom vägda filter. Analysen visade sedan viktökningen på filtret och i några fall vet jag även att vi lät analysera vad partiklarna bestod av. Jag kan dock inte erinra mig något fall där vi kunde förklara innemiljöproblemen med hjälp av provtagning på vägda filter. Sannolikt har denna metod en bättre tillämpning i mer förorenade arbetsmiljöer eller i miljöer med stora krav på frihet från partiklar.

Partikelräkning

Relativt ofta, i kanske 5 % av våra fall, använder vi en partikelräknare som heter Laser Particle Counter Met One. Med den kan partiklar större än två olika storlekar åt gången räknas. Vi har valt att oftast räkna storlekarna $> 5 \mu\text{m}$ och $> 0,5 \mu\text{m}$ av den anledningen att SBS-symptom ibland är kopplade till de övre luftvägarna. Partiklar större än $5 \mu\text{m}$ sorteras bort i de övre luftvägarna och skulle alltså kunna vara en orsak till problem där. Vi har haft en del nytta av räknaren, dock inte för att finna svaret på frågor om orsak till SBS-symptom.

Postgirot i Stockholm hade någon gång i slutet av 1980-talet installerat två likadana blankettsorteringsmaskiner. De kostade 30 millioner styck och var installerade i varsitt rum. För funktionens skull var RF i rumsluften tvungen att vara ca 50 % om jag minns rätt. Av den anledningen fanns luftbefuktning i båda rummen. Den ena maskinen stannade ideligen och ett felmeddelande om rengöringsbehov kom på en display. I maskinerna fanns en guldspiegel som belystes. När tillräckligt många dammkorn hade landat på spegeln bröts strömmen för den tyckte det var dags för rengörning. Jag mätte partikelkoncentrationen i de båda rummen och mycket riktigt var antalet fina partiklar mycket högt i det ena rummet. Det underliga var att koncentrationen gick i vågor från nästan normala värden till mycket höga. Det visade sig, efter analys av fläckar på guldspiegeln, bero på befuktningens installationerna. I rummet utan problem befuktades tilluften i tilluftskanalen och i problemrummet var dysor monterade på en vattenledning monterad på vägg i rummet. Varje gång RF sjönk under den nedre gränsen dimmades en aerosol av fina vattendroppar in i rumsluften. Dropparna hann inte förångas innan de landade på guldspiegeln. Kalk från vattnet och själva vattendropparna orsakade felmeddelandet. I rummet med den fungerande maskinen hann aerosolen förångas innan luften nådde rummet. Med partikelräknaren kunde vi alltså fastställa att det var problem med inneluften, inte med maskinen.

Polishuset och tingsrätten i Arvidsjaur hade utrympts på grund av inomhusmiljöproblem (kaseinspackel). En handlingskraftig försäljare av luftrenare (samlade upp partiklar genom statisk uppladdning) hade efter utrymningen installerat ett 20-tal luftrenare på olika håll i huset för att visa hur friskt huset skulle bli. För att kontrollera effekten av dessa luftrenare på partikelkoncentrationen i rumsluften fick jag uppdraget av fastighetsägaren att mäta detta. Trots att det tydligt gick att se att uppsamlingsanordningarna blivit svärtade av uppsamlade partiklar (hade alltså fångat upp en del) gick det inte att konstatera någon tydlig skillnad i partikelkoncentration i rumsluften där luftrenarna fanns. Mätningar gjordes under ett par dagar på olika avstånd framför luftrenarna, bakom luftrenarna, i rum utan luftrenare och med luftrenare i drift respektive avstängda (mättes dagen efter avstängning). Här kunde vi alltså hjälpa fastighetsägaren att inte köpa en massa onödigt utrustning då det inte hade haft någon effekt på orsaken till inomhusmiljöproblemen.

Ett vanligare användningsområde för partikelräknaren är att översiktligt kontrollera funktionen hos filtren i tilluftssystemet. Normalt passerar inga partiklar större än 5 μm genom de filter som används i moderna installationer och för det mesta reduceras även halten finare partiklar. Luftintaget till räknaren förs in i tilluftsdonet och partikelhalten börjar registreras när jämvikt uppnåtts. Den första luften som passerar räknaren är luft någon annanstans ifrån (föregående mätställe) och skall bortses från. Referensmätning i uteluften görs också.

Ibland (inte så sällan) har annan aktör tidigare tagit prov på partiklar eller mätt partikelhalt på ena eller andra sättet. Då görs en mätning på samma ställe och normalt visar den att partikelhalten inte var högre där än någon annanstans och att den var normal. Mätningar har utförts under många år och med tiden har det utbildats en intern standard för vad som är normalt i innemiljöer (ej industrimiljö). Den aktuella mätaren räknar antalet partiklar av aktuella storlekar som passerar genom räknaren per minut.

Under 1980-talet var det vanligare att vi mätte partikelkoncentrationen i ineluften i vår jakt på förklaringar till innemiljöproblem än vad det är i dag när vi upptäckt att vi inte kan se några tydliga skillnader i partikelkoncentration mellan problemmiljöer och andra miljöer. Ofta framförs att klagomål på torr luft inte beror på torr luft utan beror på hög partikelhalt i luften. Något sådant samband har vi inte kunnat utläsa av de partikelräkningar vi utfört.

Mätningar av partikelhalt (st/m^3) görs alltså primärt inte för att hitta svar på orsaken till SBS-symptom utan mer för att rensa i diskussionen. Hittills har vi inte kunnat notera någon skillnad i partikelkoncentration mellan lokaler där symptom på ohälsa upplevs och andra lokaler.

Sporprovtagningar

Ibland får vi frågan om vi kan ”mäta mögel”. Orsaken är då att någon tror att det finns onormalt mycket sporer i luften eller att de sporer som finns är orsak till ohälsa. I något fall har det rört sig om ett mikrobiologiskt laboratorium där mögelsporer skulle kunna äventyra de normala analyser som utfördes i laboratoriet. I andra fall händer det att vi eller någon annan känner att vi behöver kontrollera ett ventilationssystem där kylning eller befuktning förekommer eller där regn, snö och löv sugits in i luftintagen. Oavsett orsaken sker ibland sådana provtagningar. Om skälet är att vi vill

kontrollera eventuell tillväxt i ett ventilationssystem tas prov i uteluften, i tilluften och i rumsluften. Proverna tas direkt på det näringsmedium (maltagar), vi använder RCS-samplers, som sedan odlingen utförs på i laboratoriet. Artsammansättning och koncentration i de olika proverna jämförs sedan. Finns en art i nämnvärd omfattning i tilluften men saknas i uteluften finns anledning att närmare kontrollera var i systemet denna art växer. I övriga fall tas proverna i aktuella rum med referensprov från uteluften. Här är det alltså inte fråga om det man normalt menar med partikel-mätningar.

VOC-provtagningar

Vi antar på goda grunder att vissa SBS-symptom orsakas av ämnen vi andas in. Det vi andas in utgörs av allt som finns i luften, både i gas- och partikelform. Av denna anledning tar vi de flesta VOC-prover som pumpad provtagning då denna metod mer liknar andning än vad en diffusionsprovtagning gör. Svaret på analysen visar inte vilken påverkan just partiklarna (form eller storlek) har men de gasformiga ämnen som kondenserat på partikeln och de flyktiga ämnen som kan avgå från partikeln och som sugits in i provtagningsröret bör kunna upptäckas lättare vid en analys än om provet tagits med diffusion då endast gasformiga ämnen i luften fångas upp.

Insamling av damm

Tejpavtryck

Ett vanligt problem som vi stöter på är när golvpolish, oftast på linoleum-mattor, har mjölat (så kallad powdering). Polishen fäster inte på mattan utan bildar en hinna som spricker sönder och krossas till ett fint damm på golvet. Golvet ser dammig och ostädat ut även om det nyss har rengjorts. Dammet fastnar under skor och nertill på byxor.



Mjölät golvpolish som suttit under skosulorna har skrapats av på stolens nederdel.

Detta kan man väl leva med men allvarligare är att dammet även far omkring i luften varvid det fastnar i ögon, på huden och i andningsvägarna. Enligt vår erfarenhet är det vanligt med problem kopplade till ögon, hud (ansikte, händer) och andningsvägar där mjölrad golvpolish förekommer. För att undersöka om mjölning förekommer kan man, förutom att titta på golvet, stryka med handen över golvytan. Fastnar då ett vitt/gråvitt damm på fingrarna tyder det på mjölning. För att bekräfta detta tas prov på partiklar som sedimenterat högt upp i rummet, ovanpå en takarmatur, ovanpå ett dörrfoder eller en tavelram. Provet tas med tejp som trycks mot ytan varefter provet fästs inuti en plastmapp (oanvänd) och lämnas till ett laboratorium som gör en kemisk analys och bestämmer vilka grundämnen, partiklar och fibrer som förekommer. Detta jämförs sedan med ett referensprov av den använda golvpolishen. De flesta polishsorter innehåller zink varför det inte alltid behövs något referensprov. Säkerheten ökar dock om det går att få reda på vilken typ av polish som används.

Provtagning på Plötsligt nedsvärtad yta

Under 1980 talet och däromkring förekom ett inomhusmiljöproblem som kallades "Plötslig nedsvärtning". Det var nog snarare så att upptäckten av nedsvärtningen kom plötsligt mer än att själva nedsvärtningen kom plötsligt. I samtliga sådana fall där jag varit utredare har nedsvärtningen inträffat på kalla ytor och på plastmaterial (dörrfoder, husgeråd m m). Undersökningarna har visat att det på de kalla ytorna handlar om termodynamik och på plasten om statisk elektricitet eller en viss klibbighet hos ytan. I samtliga fall har det visat sig att nedsvärtningen bestod av vanligt husdamm med ett inslag av sot från bilavgaser, eldningsolja eller stearinljus. Provtagningen i dessa fall utgjordes oftast av att en tejpbit skars ut eller att tejpavtryck togs. Analysen utfördes sedan av ett laboratorium som identifierade partiklarnas beståndsdelar. I dessa fall utfördes normalt också partikelräkning i rumsluften och möjliga vägar in för förorenad luft kontrollerades.

"Sekundär förorening" av partiklar

Det har i ett danskt forskningsprojekt konstaterats att det luktar sämre om luft som passerat ett smutsigt filter än om luft som passerat ett rent filter. Detta bör ju vara ganska självklart men har vi lärt oss något av detta? I vart fall har det inte satt några spår som ändrat principen för när filter skall bytas. Detta är fortfarande knutet till en viss tidsintervall eller ett visst tryckfall över filtret. Luften vi andas inne är alltså mer förorenad av gasformiga föroreningar än den skulle varit utan filter.

En mycket stor andel av ineluften har kommit in någon annan väg än via ventilationssystemet. Om vi till exempel har en bostadslägenhet med mekanisk frånluftsventilation där hyresgästen stängt springventiler eller vädringsluckor för att det drar kallt så kommer ändå lika mycket luft att sugas ut ur lägenheten via frånluftsventilationen. Varifrån kommer ersättningsluften till lägenheten? Det är en av de frågor vi har att besvara när vi gör inomhusmiljöutredningar ibland annat lägenheterna från millionprogrammet.



Luft har läckt in genom glasullen i ytterväggen och isoleringen har fungerat som ett permanent tilluftsfilter.

Ofta kommer luften in från trapphus, ventilationsschakt, grannlägenhet eller utifrån via ytterväggar eller under syllar i utfackningsväggar via fyllning i bjälklaget. Ofta klagas på unken lukt i dessa lägenheter. Många förklaringar finns till detta men då denna artikel handlar om partiklar räcker det med att titta på bilden ovan och jämföra med forskningen som visat att det luktar illa om luft som passerat ett smutsigt filter. Mineralullen i en yttervägg byts aldrig ut och vid undertryck inne (= alla F-system) kommer en stor andel av ersättningsluften in via detta minst sagt smutsiga filter. Det som syns på bilden är fullt normalt och kan ses var man än öppnar en regelyttervägg med några år på nacken där luft läckt in. Svärtingen består av normalt utomhusdamm, bland annat innehållande mögelsporer. Det är bland annat av denna anledning jag och mina kollegor anser att det är fel att påstå att materialprover som utsätts för odling på mikrobiologiskt laboratorium kan visa om mögeltillväxt finns eller ej. Tas ett prov ut ur den svärtade ytan och odlas kommer resultatet att visa på

mögelproblem då det finns en hög koncentration sporer i provet. Detta trots att det inte finns någon mögeltillväxt i mineralullen.

Certifiering av skadeutredare – behövs det?

Ingemar Samuelson

- ❑ Vilket arbete förekommer för att öka kvaliteten vid inneklimatutredningar?
- ❑ Vad bör man som beställare tänka på när man behöver hjälp med inneklimatproblem?
- ❑ Hur ser du som rutinerad skadeutredare på behovet av kemiska eller mikrobiologiska mätningar eller partikelmätningar vid utredning av innemiljöproblem?

Det finns idag många skadeutredare, de flesta gör ett bra arbete, utreder systematiskt, förklarar varför skador har skett, ger åtgärdsförslag, skriver bra rapporter och följer upp resultatet. Men det finns också alltför många som gör dåliga utredningar som kostar beställaren onödigt arbete och mycket pengar. För att underlätta för beställarna att få en bra skadeutredare skulle ett sätt kunna vara att införa krav och regler för hur en utredning skall genomföras och eventuellt kvalitetssäkra sättet att arbeta genom certifiering. En certifiering skulle således syfta till både att höja och säkerställa kompetensen hos skadeutredarna, likrikta arbetsätt och metoder och i förlängningen även att minska marknaden för oseriösa aktörer.

Arbetsgrupp för kvalitetssäkring av skadeutredning

SWESIAQ, som är den svenska avdelningen inom ISIAQ, International Society for Indoor Air Quality, har en arbetsgrupp som arbetar med rekommendationer för styrning och hjälp i samband med skadeutredningar. Arbetsgruppen har arbetat med en bakgrundsbeskrivning och en checklista och håller på att utarbeta en metodlista som hjälp. Meningen är att detta material skall utgöra riktlinjer för kvalitetssäkring av skadeutredningar.

Förhoppningen är att en kvalitetssäkring kommer att innebära en bättre marknad för seriösa utredare gentemot mindre seriösa eller mindre kompetenta. Dock har det visat sig att diplomerade utredare inom t.ex. byggdoktorsystemet inte har bättre marknad än många konsulter som inte har denna utbildning. Detta beror förmodligen på bristande information och kunskap hos beställare. Detta visar behovet av särskilda marknadsåtgärder.

Svårt att utreda inomhusmiljöproblem

Från 1970-talet och framåt har byggnadsskador som påverkar inomhusmiljön uppmärksamats allt mer. Rapporter om skador av fukt och mögel, flytspackel, formaldehyd och radon ger intryck av att byggbranschen har misslyckats i sin strävan att bygga bra hus med god inomhusmiljö. Begreppet ”sjuka hus”, som i och för sig är ett oklart begrepp, har också kommit till under denna tid vilket kan ge intryck av att tidigare bebyggelse skulle vara utan problem. Många hävdar också att det är så. I gamla hus fanns inte så många olika material, man byggde inte med så kraftig värmeisolering och husen var inte lika täta som nya hus är. Och detta tas som intäkt för att det var bättre förr. Men sanningen är inte så enkel. Det behöver inte alls bli byggsador eller dålig inomhusmiljö i byggnader med nya material och konstruktioner. Rätt material på rätt plats ger inga skador. Men risken att göra fel ökar när byggnaderna blir allt mera komplexa.

Att det blir problem i inomhusmiljön har också många förvaltare fått erfara. Personal och brukare klagar över besvär när man vistas i byggnaden. Besvären försvinner när man är hemma eller i annan miljö. Orsaken till besvären är sällan påtaglig för andra än dem som har problem och därför kan det vara svårt att ta dem som klagar på allvar. Det är därför som förvaltare ibland lätt att tro att brukarna överdriver eller att besvären har annan förklaring.

Men en god regel är att så tidigt som möjligt ta klagomålen på allvar och undersöka orsaken. Den förvaltare som gör det löper mindre risk för att oro sprider sig och leder till fler problem. Det finns alltför många exempel på detta.

Vad är en skada?

En skada kan vara mer eller mindre påtaglig, och den kan upplevas på mycket olika sätt. En fuktskada med synliga fläckar eller missfärgningar av mikroorganismer på väggar eller golv eller dropp från taket när det regnar är exempel på tydliga skador som inte behöver bli föremål för någon större utredning. Skadorna syns eller känns och när skadeorsaken är klarlagd kan man vidta åtgärder. Andra skador är svårare att utreda. Det gäller exempelvis en fuktskada inne i en konstruktion som ger obestämbar lukt eller emissioner, eller en kemisk nedbrytning som ger emissioner. Sådana emissioner kan misstänkas påverka brukarna så att de upplever

besvär. Det kräver både systematik och stor erfarenhet innan man kan föreslå åtgärder i sådana fall.

Ofta är de drabbade väl insatta i vad som kan orsaka de problem som har uppstått. Genom egna studier, genom information från medier eller genom kontakter med andra drabbade har personerna ifråga fått en uppfattning om skadeorsaken. Det kan vara både bra och dåligt för skadeutredaren. Det är till exempel vanligt att den drabbade alltför snabbt bestämmer sig för en viss bestämd skadeorsak, som till exempel mögel, el- eller magnetfält, flytspackel eller formaldehyd, och envist håller fast vid att just den skadeorsaken ska utredas. Det kan innebära kostsamma undersökningar och analyser utan att det för utredningen framåt. Självklart måste en skadeutredare ta hänsyn till personens synpunkter, men de får inte skymma sikten för andra skadeorsaker och framför allt inte för att arbeta systematiskt.

För den som ska utreda orsaken till klagomål är det viktigt att vara nollställd och ta allas uppgifter på allvar men inte ta ställning eller försöka ge förklaringar eller förslag till åtgärder förrän utredningen har visat vad som är fel.

Hur ska innemiljöproblem utredas?

Det finns en grundläggande svårighet i att utreda orsaken till problemen i hus med inneklimateproblem. Eftersom kunskap i stort sett saknas om enskilda ämnen eller förhållanden som orsakar besvären är det omöjligt att med mätningar på ett enkelt sätt konstatera fel. En grundläggande regel är därför att inte mäta eller göra analyser av specifika förhållanden på ett för tidigt stadium. Om man tidigt gör sådana mätningar är man låst och det leder i de flesta fall till att man måste göra omfattande åtgärder. Om man istället först har skapat en översiktlig bild av problemen kan man därefter successivt göra allt mera avancerade analyser och mätningar.

En sådan översikt kan man få genom information från brukare och servicepersonal, från ritningsgenomgång och tidigare klagomål, ombyggnader med mera. Vad är det som gör att man klagat på innemiljön just nu? När och var förekommer besvär, när började besvären och hur yttrar de sig? Samtidigt bör man identifiera och klarlägga eventuella tekniska avvikelser och brister.

I de flesta fall brukar samarbetet vara gott mellan skadeutredaren och den boende/brukaren, förvaltaren och byggaren. Men ibland är det inte så och då är risken stor att det blir fel. När brukaren misstror skadeutredarens avsikt med undersökningen eller när förvaltaren vill styra utredningen kan det gå snett. Det är nödvändigt att ha ett förtroende mellan olika parter och att låta alla komma till tals. Tydlig kommunikation ger trygghet för de inblandade. Om man från någon parts sida försöker undanhålla fakta är risken stor att projektet misslyckas.

Vanliga fel

En erfaren byggtekniker eller skadeutredare som informerar sig om husets konstruktioner och funktioner kan snabbt identifiera svaga punkter. Efter genomgång av ritningar och efter en första okulär kontroll av byggnaden kan han bilda sig en uppfattning av var han ska börja en mera noggrann teknisk utredning. Erfarenheter från utredningar visar att det i många fall är fråga om att ventilationen inte fungerar på avsett sätt, att det finns fukt-skador som ger materialnedbrytning som på ett eller annat sätt påverkar innemiljön eller att det finns material som avger föroreningar med obehaglig lukt eller som kan påverka hälsan.

En god regel är därför att i början av varje utredning genom enkla indikationer klarlägga om någon av dessa brister är för handen.

Krav på en utredare

En certifierad skadeutredare (om en sådan kommer till stånd) skall utföra sin utredning på ett standardiserat sätt och ha dokumenterade kunskaper inom området som fortlöpande uppdateras. Utförda utredningar kan stickprovsmässigt kontrolleras av en tredje part. Detta skulle kunna vara en opartisk expertgrupp i Swesiaqs namn.

Ett första steg mot en eventuell certifiering av skadeutredare

Som ett första steg mot en eventuell certifiering av skadeutredare tänker arbetsgruppen att en handledning och en checklista ska läggas ut på Swesiaqs hemsida. Detta material skall beskriva vilka metoder man bör använda i innemiljöutredningar. Hur detaljerat ett sådant dokument skall vara avseende t.ex. metoder och gränsvärden kan diskuteras. En skadeutredare kan i sin rapport skriva att han/hon arbetar enligt dessa riktlinjer.

En förhoppning är att sådana riktlinjer kommer att användas av seriösa utredare. En annan förhoppning är att beställare av utredning skall kräva att dessa riktlinjer följs. Om det blir så kanske detta räcker som kvalitets-säkring. Då kanske det inte är nödvändigt att införa ett system för certifiering. Ett sådant system innebär nämligen inte bara fördelar. Utbildning, certifiering och kontroll av tredje part kostar tid och pengar och det finns en risk att beställarna inte vill ta på sig ökade kostnader för en utredning gjord av en certifierad utredare.

Session 3. Energibesparing och inommiljö

Ingemar Samuelson

Göran Leander

Sten-Olaf Hanssen

Energihushållning och innemiljö – möjligheter och risker

Ingemar Samuelson

- Hur stora bedömer du riskerna vara för försämrat inneklimat när man nu skall försöka uppnå de nya energimålen för fastighetsbeståndet?
- Vad måste man tänka på för att undvika att vi upprepar de misstag vi gjorde under energikrisen på 70-talet?

Under de senaste decennierna har utvecklingen inom byggbranschen gått snabbt och förändringarna har avlöst varandra. Krav på energisnåla, billiga byggnader har lett till nya material, konstruktioner och byggsätt. Alla dessa förändringar medförde inte bättre förhållanden inomhus. Tvärtom ledde åtgärderna ibland till både fuktskador och dålig innemiljö. Nu står vi inför nya utmaningar när energianvändningen i bebyggelsen skall minskas. Detta innebär krav på åtgärder framför allt i befintliga hus.

Erfarenheterna från energihushållningsåtgärder som hittills gjorts har dock inte bara varit negativa. Nya hus har byggts med dokumenterat god innemiljö och med mycket låg energianvändning. Ett bra exempel är husen i Lindås utanför Göteborg. Men i andra fall har det inte blivit bra. I många fall har innemiljön försämrats av de åtgärder som man har gjort i energi- och kostnadsbesparande syfte. Ibland har material som använts i sig varit negativa för innemiljön, ibland har de använts på fel sätt med skador som följd. Vi har sett flytspackel, fogmassor, golvlim, plastprodukter, färger och tapeter som inte har haft de funktioner man trodde och hoppades på utan medverkat till skador och dålig innemiljö. Ständiga larm om byggsador, mögelhus och sjuka byggnader leder tankarna till att inte heller konstruktionerna varit de bästa, eller att byggsättet varit olämpligt.

Känsliga brukare och känsliga byggkonstruktioner

Det finns flera skäl till att byggnader idag, jämfört med förr, har en innemiljö som vissa brukare har skäl att klaga på. Det första skälet är att andelen människor med överkänslighet eller allergiska besvär är större idag. Många av dessa personer hade inga problem förr men har det nu. Det andra skälet är att konstruktioner och material i välisolerade, energisnåla hus är känsligare för skador i samband med uppfuktning än i äldre hus.

En konsekvens av det senare är att man inte kan tillämpa gamla principer t ex i samband med vattenskador och läckage. ”Det gör inget, det torkar själv” kanske var en vanlig kommentar efter inträffad, måttlig skada. Det håller inte idag. Man måste vara mycket mera uppmärksam på risken för skador som kan medverka till biologisk eller kemisk nedbrytning som ger dålig innemiljö.

Allt fler personer reagerar med allergi eller annan överkänslighet i dålig innemiljö. Detta skulle kunna tyda på att innemiljön blir sämre och sämre. Det är inte självklart att det är så. Det fanns många byggnader med dålig innemiljö förr och dagens byggnader är inte sämre än dem. Men känsliga personer reagerar i denna dåliga innemiljö på ett sätt som man inte gjorde förr. Även om alla byggnader gjordes om till helt friska hus (hur nu detta skulle gå till) skulle förmodligen inte hälsoläget på gruppnivå förbättras på ett drastiskt sätt. Mycket mera än innemiljön påverkar sannolikt dessa personers reaktioner.

Målet för byggbranschen måste alltså vara att från början bygga hus som alla mår bra i, byggnader som inte har fått skador i samband med uppförandet, byggnader som har sunda material och konstruktioner och byggnader som har ventilationssystem som säkerställer god luftkvalitet. Och under förvaltningsskedet skall dessa byggnader skötas och underhållas på rätt sätt.

Val av uppvärmning påverkar

En väsentlig förändring i nyare hus är övergången från uppvärmning med öppen eld i kaminer eller ved- eller oljepanna till direktverkande el eller fjärrvärme. Dessa förändringar har lett inte bara till billigare och enklare system och bättre komfort för de boende utan 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 självklart att byte av uppvärmningssystem kan komma att påverka ventilationsförhållandena och öka risken för fuktskador och därmed medverka till sämre innemiljö.

Ventilation avgör

Förr i tiden ventilerades byggnaderna med självdrag. Luften sögs ut genom ventilationskanaler i skorstenen där 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.

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. Av energibesparingskäl vill man återvinna värme ur frånluften och detta har lett till system med både frånluft och tilluft med värmeväxling, alternativt frånluft med värmepump. 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. Ventilationssystem med till- och frånluft är mera komplicerade och mindre självklara i sin funktion än det gamla självdraget och kräver helt annan skötsel och underhåll.

Svårt få fullgod ventilation med ”modernt” självdrag

Det är svårt att få fullgod ventilationsfunktion när man försöker ventilerade nya byggnader med självdrag utan utsug genom en varm skorsten. Det beror på att man får ett system som är helt väderberoende. Det fungerar bäst när det är kallt och blåsigt ute. Man får också risk för fuktskador beroende på den tryckskillnad som är självdragets förutsättning. Undersökningar i moderna, självdragsventilerade skolor har visat att det dels är svårt att uppnå normenlig ventilation dels förekommer fuktskador på grund av konvektion.

Moderna konstruktioner är känsliga för fukt

Konstruktioner för tak, väggar och golv har under senare tid genomgått stora förändringar. Mängden värmeisolering har ökat och konstruktionerna har gjorts både lufttäta och ångtäta. Detta har, förutom en rad positiva egenskaper, även medfört att konstruktionerna blivit känsligare för fukt. En välisolerad konstruktion med flera mer eller mindre täta skikt, som blir blöt, torkar långsamt och måste därför skyddas så att den inte fuktas upp

vare sig under byggskedet eller senare. Tyvärr är det vanligt att nederbörd kan läcka in vid felaktigt utförda detaljer eller anslutningar t ex vid fönster. Välisolerade väggar och tak är energisnåla och medverkar till god komfort eftersom yttemperaturen på väggens insida är ungefär som inne-temperaturen. Ur fuktsynvinkel kan ökad mängd värmeisolering vara både positivt och negativt. Den del av konstruktionen som hamnar innanför värmeisoleringen blir varm och torr medan den som hamnar utanför blir kall och fuktig. Två konstruktioner har under senare tid, till följd av allt mera värmeisolering, hamnat kallare och blivit särskilt utsatta – vindar och kryppgrunder.

Fuktig vind med risk för skador

En uteluftventilerad vind får under vintern ungefär samma klimat som uteluften dvs det blir kallt och fuktigt. Luften på vinden i ett äldre hus är något varmare än uteluften eftersom både vindsbjälklaget och skorstenen tillför värme. Men vinden i ett nytt hus är obetydligt varmare än uteluften vilket ger ett klimat som under hösten och vintern är tillräckligt fuktigt för att tillväxt av mikroorganismer skall kunna ske. Risken är störst när utetemperaturen ligger mellan fem och tio plusgrader och det samtidigt är mulet och regnigt, dvs det klimat som förekommer i södra Sverige under hösten. Är det kallt händer inget eftersom dessa mikroorganismer kräver temperaturer över noll för tillväxt.

Denna förändring av förutsättningarna för klimatet på vinden innebär dels att påväxt kan ske under höst och vinter dels att risken för skador ökar om det skulle komma in fukt. Även lite fukt som tillförs under vintern, t ex genom att fuktig luft läcker upp genom en otät taklucka, är för mycket. Det finns ingen extra säkerhet i den moderna välisolerade vinden, tillförs fukt blir det kondens på undersidan av underlagstaket. Och lösningen är inte att förbättra ventilationen eftersom uteluften som är kall och fuktig inte värms upp och därför har mycket begränsad förmåga att torka. Lösningen är istället att hindra tillförseln av fukt, i detta fall att täta takluckan eller att ändra tryckförhållandena så att inneluften inte kan komma upp. Det kräver att man tar reda på var och hur fukttilförseln sker, om det är i form av fuktig inneluft som tillförs genom konvektion eller i form av regnvatten som läcker in utifrån.

Moderna krypgrunder

På samma sätt som i vindarna har klimatet i krypgrunderna försämrats i takt med att golvbjälklaget har blivit allt bättre värmeisolerat. I gamla hus fanns ett varmt fundament under spisen som värmden grunden. När denna värmekälla togs bort blev grunden kallare och fuktigare. Detta tillsammans med att krypgrunden har en ventilation som är lika stor sommar som vinter ger fuktförhållanden som helt styrs av uteklimatet. När det är kallt kyls ventilationsluften marken i grunden. Denna markkyla finns kvar på sommaren när varm och fuktig luft ventilerar grunden. Då kyls luften av och den relativa fuktigheten i krypgrunden stiger, ofta till mättnad och det är inte ovanligt med kondensutfall både på blindbotten och på markytan. Alltså, även i en korrekt utförd grund utan inläckande vatten och utan fuktavgivning från marken sker detta.

Om grunden är illa utförd så att fukt läcker in eller avdunstar från marken är den fuktig hela året och då finns stor risk för att inte bara mögel och bakterier tillväxer utan även att rötta utvecklas. Men även i en väl utförd krypgrund är det alltså fuktigt under sommaren och då är det också relativt varmt i grunden. Detta ger mycket gynnsamma förhållanden för tillväxt av mögel och bakterier. Det är inte alltid som denna påväxt syns för blotta ögat men om man analyserar prover från blindbotten, träreglar och syllar finner man påväxt i större eller mindre omfattning i alla uteluftventilerade grunder. Detta leder inte automatiskt till att det känns elak lukt vare sig i grunden eller inne i byggnaden. Men förekomsten av tillväxt varje sommar innebär en risk för att detta så småningom utvecklas till ett problem.

Gammal torpargrund bättre

Torpargrunden i hus från förr var inte en riskkonstruktion på samma sätt som krypgrunden är i nyare hus. Torpargrunden ventilerades inte på vintern för då ville man undvika kalla golv. Man täppte igen ventilationshålen och skottade snö eller lade ris mot grunden för att värmeisolera den. Fundamentet för spisen spred värme i grunden och när man på våren öppnade ventilationshålen efter vintern var grunden, om inte varm, så dock inte så kall som dagens uteluftventilerade grund är. Av detta skäl fungerade den gamla torpargrunden betydligt bättre, den gav någorlunda varma golv på vintern och denna värme höll grunden torr.

Energihushålla men med bibehållen god innemiljö

Både den enskilde och samhället har krav på att byggnaden inte skall slösa med energi. Detta har lett till att man som husägare har sett om sitt hus med tilläggsisolering på vinden, bättre fönster, annan energitillförsel och värmeåtervinning ur frånluften. Samhället har stött denna ombyggnad till energisnålare hus genom bidrag och förmånliga lån. Ett felaktigt energisparande har emellertid ibland lett till skador och sämre innemiljö.

Drar man ner på luftväxlingen sparar man energi men man kan få dålig 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 som ger dålig 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.

Det är lätt att vara efterklok och påstå att de flesta fel som gjordes under energikrisen borde ha undvikits. Med facit i hand kan vi göra det. Men det är inte alltid lätt att inse konsekvenser av förändringar. Vad vi behöver göra nu när nya mål för energibesparingar sätts upp är att för varje ny förändring som planeras analysera och utvärdera inte bara fördelar och möjligheter utan även nackdelar och risker. Varje förändring kan nämligen innebära både positiva och negativa förändringar för byggnaden och för innemiljön.

Vi ska inte upprepa de fel som gjordes då och vi ska så långt som möjligt försöka undvika att göra nya fel. Hjälpmidlen i form av checklistor, beräkningsprogram, materialkunskap, kunskap om uttorkning, om materialtålighet osv finns tillgängliga. Förutsättningarna och möjligheterna för att göra rätt är betydligt bättre nu än de var under energikrisen.

Det finns goda exempel som visar att energihushållning och god innemiljö kan gå hand i hand. Det kräver dock att man anstränger sig och tar till sig kunskap, använder robusta material och konstruktioner och kvalitetssäkrar och fuktsäkrar byggprocessen. Fuktsäkerhet är en förutsättning för sunt bygge. Det innebär bland annat att material och konstruktioner skyddas

mot nederbörd och helst att hela arbetsplatsen väderskyddas under arbetet.
Fukt är i alla former en risk för skador och dålig innemiljö.

Energihushållning och kvalitetssäkring av inomhusmiljön – praktiska erfarenheter

Göran Leander

- Beskriv hur ni inom företaget hanterat såväl inomhusmiljöfrågor som energibesparing?
- Vilka svårigheter har ni mött när det gäller att engagera såväl lokala politiker som de boende i arbetet?

Energisparande i bebyggelsen har varit aktuell i 30 år. Genom åren har olika begrepp använts för i stort sett samma sak. I den tidiga oljekrisens dagar under 70-talet skulle vi spara energi för att minska oljekonsumtionen. Fjärrvärme, elvärme och energisparande var dåtidens honnörsord. Alla medel var tillåtna för att reducera oljeförbrukningen. Göteborgshem, som 1997 bytte namn till Bostads AB Poseidon, hade 1973 en energiförbrukning för värme och varmvatten på 330 kwh per kvadratmeter!

I slutet av 80-talet hade minnet av oljekrisen bleknat och oljereduktion ersattes med energisparande. År 1991 kom förordningen om obligatorisk ventilationskontroll, OVK. I anslutning till att lagen togs fram fördes den första breda debatten om inomhusmiljö och energisparande. Energisparandet fick, ibland välförtjänt, klä skott för fuktskador och dålig inomhusmiljö.

Under hela 90-talet var energifrågan inte särskilt het. Först mot slutet av decenniet, gjordes kopplingen mellan energiförbrukning och miljö tydlig. Miljöavgifter och allmänt stigande energipriser har sedan gjort att energihushållning står högt på dagordningen hos de flesta fastighetsägare. Dessutom har inomhusmiljön lyfts upp på ett helt annat sätt än tidigare. Ett tecken på detta är att det som startade som ett EU-direktiv om energideklarationer år 2002, blir en lag om energihushållning och inomhusmiljö.

Vad är energihushållning?

Energihushållning innebär att man inte skall använda mer energi än vad som är nödvändigt för att uppnå ett visst syfte. I fastighetssammanhang innebär det att man, utifrån fastställda och/eller vedertagna krav på husets funktion och inomhusmiljö, skall minimera energiförbrukningen med hänsyn till ekonomi och miljö. Detta låter lika självklart som enkelt. Tyvärr är

verkligheten inte lika enkel eftersom funktion, innemiljö, ekonomi och miljö inte alltid går hand i hand. En fastighetsägares vardag är därför att göra avvägningar mellan dessa faktorer. Det är också detta som är det verkliga energihushållningsarbetet.

Att reducera energiförbrukningen

I slutet av 1990-talet fastställde Bostads AB Poseidons ledning en plan för att på fem år, fram till år 2005, reducera energiförbrukningen från 188 kwh/m² till 150 kwh/m² (BILAGA 1). De åtgärder som planerades, presenterades utifrån ett energibalansperspektiv. För att kunna minska den köpta energimängden, måste man reducera husets förluster via klimatskärm, ventilation eller avlopp. Vi gjorde bedömningen att det fanns fyra angelägna investeringar att vidta.

Positiv

Positiv står för POSeidons IT-system för InnemiljöVård (BILAGA 2) och är vårt datoriserade system för övervakning och styrning av husens tekniska system. Under en treårsperiod anslöts alla Poseidons fastigheter till ett sammanhängande övervakningssystem. Därigenom fick alla aktörer som så önskade omedelbar information om status och driftförhållanden i samtliga hus.

Varvtalsstyrning av fläktar

Samtliga fläktar försågs med möjligheter till varvtalsstyrning utifrån utetemperatur. Genom nedvarvning av fläktarna vid låg utetemperatur, minskas dragproblemen samtidigt som stora mängder energi kan sparas.

Injustering av värmesystem

För att utjämna rumstemperaturer inom huset erfordras att värmesystemet injusteras. Med ett injusterat värmesystem har man möjlighet att sänka medeltemperaturen i huset. Dessutom får man kontroll över att huset svarar mot den styrning som är nödvändig för ett effektivt energihushållningsarbete. Ett stort antal lägenheter har därför värmeinjusterats.

Varmvattenmätning

Det har visat sig att system med kollektiv debitering av förbrukningskostnader, innebär 20-30 % högre förbrukning än vid individuell debitering. Varmvattenförbrukningen har i Sverige av hävd ingått i hyran. Det bör således finnas en avsevärd besparingspotential att gå över till

individuell mätning och debitering av varmvatten i lägenheter. Bostads AB Poseidon har genomfört prov som pekar på att så också är fallet. Vi kommer därför att intensifiera utbyggnaden av den individuella varmvattenmätningen.

Energiinriktad drift

Med de verktyg som skapades, finns det ett bra underlag för energiinriktad drift. Drift kan delas upp i två områden där det ena området kan benämnas vidmakthållande och det andra förbättrande.

Vidmakthållande drift handlar om att skapa rutiner för att upptäcka om inställningar förändras eller tekniska fel uppstår. Det innebär övervakning, rondering, funktionskontroll, klagomålshantering och dokumentation.

Förbättrande drift flyttar fram positionerna. För detta ändamål anlitar vårt företag så kallade ”Energijägare”. Energijägarna är handplockade konsulter med mycket goda energikunskaper. Energijägarnas uppgift är att hitta ”energitjuvar” och att ständigt trimma anläggningarna.

Uppföljning

Energiinvesteringar och energiinriktad drift är inte mycket värd om man inte har relevanta uppföljningssystem som klarar av att redovisa om de eftersträvade funktionerna uppfylls.

Det handlar alltså om att kunna läsa ut om man erhåller den innemiljö som önskas och den energiförbrukning som förväntas.

Energiförbrukningen läses av månatligt och presenteras för alla berörda inom företaget.

När det gäller innemiljön har vi två verktyg för uppföljning

P-märkning är vårt huvudsystem för att följa upp och säkra innemiljön. I P-märkningssystemet ingår bland annat årlig innemiljökontroll i 20 % av de P-märkta lägenheterna, rutiner för rondering och klagomålshantering, underhållsplaner samt återkommande revisioner av såväl intern som extern revisor. All inblandad personal och entreprenörer genomgår en innemiljöutbildning och alla hyresgäster får information om innemiljö. Den första veckan i december genomför vi årligen en komfortmätning. Komfortmätningen genomförs i ca 300 lägenheter som är utspridda i vårt

fastighetsbestånd. Vid komfortmätningen mäter vi rums- och varmvattentemperatur. Vi frågar även hyresgästerna om dom är nöjda med värmen och ventilationen i lägenheten. Av den senaste mätningen kan man utläsa att rumstemperaturen är 21,0 grader i genomsnitt och att 73 % var nöjda med värmen. 80 % var nöjda med ventilationen (BILAGA 3 och 4).

P-märkning av innemiljö - ett förvaltningssystem

Systemet för P-märkning av innemiljö enligt SPCR 114 har tagits fram i samarbete mellan SP, Svenska Bostäder och Bostads AB Poseidon. Systemet är i första hand ett förvaltningssystem, där det gäller att upprätta och kvalitetssäkra rutiner för att vidmakthålla den innemiljö som har beslutats. För att erhålla P-märkning måste huset dessutom uppfylla fastställda minimikrav för det som benämns ”God innemiljö”. Dessa krav finns ursprungligen beskrivna i Boverkets publikation ”Kriterier för sunda byggnader och material”. Senare har det gjorts vissa förtydliganden av kraven, och den aktuella versionen finns numera att tillgå på SP’s hemsida.

Varför P-märker Poseidon sina fastigheter?

Ursprunget till att vi intresserade oss för kvalitetssäkring av innemiljön, var att vi ansåg att OVK-förordningen, var för begränsad och kostsam i förhållande till resultatet. Skall vi ändå besiktiga, kan vi lika gärna beakta alla innemiljöaspekter. Det öppnade sig även en möjlighet att få **undantag från OVK** för den som kvalitetssäkrade innemiljön via tredjepartscertifiering. Vi hoppas att denna möjlighet finns även i framtiden.

Miljöbalkens intåg innebar att bevisbördan flyttades från den som drabbas till den som orsakar en miljöolägenhet. Det innebär att vi måste kunna visa att vi har god ordning på innemiljöförvaltningen.

Genom en aktiv innemiljöförvaltning med besök i varje lägenhet **upptäcker vi fuktskador** och andra underhållsproblem i tidigt skede.

I en vikande bostadsmarknad tror vi att P-märkt innemiljö **stärker vårt varumärke** och **ökar attraktionskraften** vid uthyrning.

På senare tid har även **energideklarationerna** och dess koppling till innemiljön lyfts fram. Oron för att åter igen spara energi utan hänsyn till innemiljö är påtaglig. P-märkning av innemiljö är då en trygghet.

Så fungerar P-märkning av innemiljö

Den som planerar att P-märka sina fastigheter skall upprätta ett innemiljösystem som följer SP's certifieringsregler, SPCR 114. Innemiljösystemet beskriver de rutiner, ansvarsgränser och kontroller som säkrar en god innemiljö. Efter granskning och godkännande av SP, erhåller fastighetsägaren ett certifikat. Inom ramen för detta certifikat, kan fastighetsägaren P-märka sina byggnader.

P-märkning går till som följer

Ett hus eller område med likartad byggnation väljs ut. De boende erbjuds att, via en innemiljöenkät, svara på hur de upplever innemiljön. Enkät-svaren och intervjuer med drift och förvaltningspersonal, ligger sedan som bas för en grundlig första undersökning (GFU).

Vid GFU sker mätning och besiktning utifrån samtliga innemiljöaspekter. Resultatet av GFU jämförs sedan med fastställda funktionskrav. I den mån husets funktion avviker från funktionskraven, skall åtgärder vidtas. Avvikelse beträffande rumstemperatur, ventilation, tappvarmvattentemperatur, fuktskador och installationsrelaterat buller, måste åtgärdas innan huset kan P-märkas. Andra avvikelser, såsom utifrån kommande buller och självdragsventilation, kan läggas i underhållsplan för åtgärd vid kommande ombyggnation.

När fastighetsägaren anser att objektet är klart för P-märkning, gör SP en teknisk granskning. Om SP anser att objektet uppfyller ställda funktionskrav, sker P-märkning. Som en bekräftelse på att P-märkning har godkänts, utfärdar SP ett certifikat, för uppsättning i trapphus (BILAGA 5). När en byggnad är P-märkt omfattas den av fastighetsägarens system för innemiljöförvaltning. Innemiljöförvaltningssystemet skall innehålla rutiner för innemiljökontroll, klagomålshantering, drift och underhåll, återkommande boendeenkäter samt information och utbildning. Innemiljökontroll genomförs i tjugo procent av lägenheterna i det P-märkta beståndet varje år. Efter fem år har samtliga lägenheter kontrollerats.

Vid innemiljökontrollen sker mätning och besiktning av rumstemperatur, ventilation, tappvarmvattentemperatur och fukt. Dessutom ges information och hyresgästen får besvara frågor om innemiljö. Med stöd av innemiljökontroll, klagomål och erfarenheter från förvaltningspersonal och

entreprenörer, görs årligen en värdering om innemiljön fortfarande kan betecknas som god. Om åtgärder behöver vidtas, skall detta dokumenteras.

Hela innemiljösystemet revideras varje år, såväl av interna revisorer som SP. Resultatet av dessa revisioner presenteras vid den årliga ”Ledningens genomgång”.

Den svåra balansgången mellan kostnad och innemiljö

Som tidigare nämnts går inte alltid de tekniska funktionskraven och hyresgästernas upplevelse av innemiljön, hand i hand. Ett tydligt exempel på detta är kraven på luftomsättning. Normenlig ventilation, leder ibland till obehag för de boende och till att ventilationssystemet sätts ur spel. Självfallet kan man säga att det går att åstadkomma normenlig ventilation utan obehag. Genom åren har det dock visat sig att väldigt få har varit beredda att betala kostnaden för detta. Istället har vi idag en situation, där det förefaller som om ventilationskraven är för högt ställda för den befintliga bebyggelsen. Kanske hade det varit en bättre väg att tillåta lägre luftomsättning i den befintliga bebyggelsen och öka satsningen på information till de boende. Är det egentligen så konstigt och för mycket begärt, att den boende kan använda fönstervädring som en metod att styra sin ventilation när luften blir dålig.

Hus är individer

Innemiljön påverkas såväl av väder och vind som av drift och underhåll av de tekniska systemen. Hur stor påverkan av väder är beror på husets placering och klimatskärmens beskaffenhet. För den som vistas inomhus har det givetvis stor betydelse om fasaden suger fukt eller inte och om kallstrålningen från fönstren ökar dramatiskt vid sjunkande utetemperatur. Även principer för drift har betydelse. En värmereglering som är baserad på utetemperatur, tar ingen hänsyn till blåst.

Innemiljön påverkas också av underhållsinsatserna. Ett nyligen rengjort ventilationssystem ger högre luftomsättning än det som inte är rensat på flera år. Självfallet går det att sätta ett pris på innemiljön. Vad kostar det att fuktsäkra en fasad eller att minska kallraset från fönster. Vad kostar det att ”överventilera” för att säkra en miniminivå på luftomsättningen.

Man måste acceptera att det finns olikheter mellan olika hus. Man får även leva med att underhåll av de system som påverkar innemiljön, sker med

visst intervall. Därför kommer vi alltid att ha en debatt om vad som är en god innemiljö och vilken innemiljö vi vill ha och är beredda att betala för.

Individuell mätning av värme och tappvarmvatten

Under senare år har allt fler röster höjts för att införa individuell mätning och debitering av värme och varmvatten. Motiven från myndigheternas sida har varit att individuell mätning skulle sänka energiförbrukningen eftersom den enskilde hyresgästen fick ett sparincitament. Flera fastighetsförvaltare har sett individuell mätning som en metod att få nöjdare hyresgäster och mindre klagomål. Bland hyresgästerna har det ofta setts som en rättvisefråga.

Den erfarenhet som vi hittills har av individuell mätning ger två besked. Det ena är att individuell värmemätning inte spar energi. Det andra är att individuell varmvattenmätning minskar varmvattenförbrukningen. Grunden för mitt påstående är hämtat från mätning i 250 lägenheter i centrala Göteborg. De lägenheter som vi har studerat, visar på att hyresgästerna väljer en högre temperatur vid individuell mätning, än vad vi erbjuder i vårt övriga fastighetsbestånd. De visar också att varmvattenförbrukningen i området är betydligt lägre än i 5 referenshus där vi inte har individuell varmvattenmätning (BILAGA 6).

När är hyresgästerna nöjda?

Den första veckan i december har vi i femton års tid, genomfört en så kallad komfortmätning. Vid komfortmätningen väljer vi ut ca 300 lägenheter som är spridda i vårt fastighetsbestånd. Vi besöker lägenheterna och mäter rums- och tappvarmvattentemperatur. Dessutom frågar vi hyresgästerna om dom är nöjda med värmen och ventilationen i lägenheten. Vi kan notera att under senare år, när vi har intensifierat vårt energihushållningsarbete, så kan man skönja en ökning av andelen nöjda.

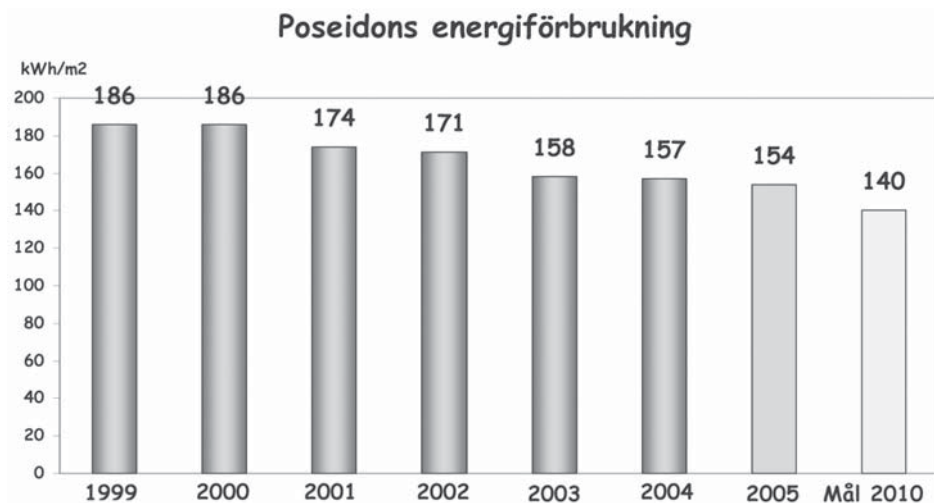
Boråd

Det är nödvändigt att de boende förstår hur värme- och ventilationsystemen fungerar i lägenheten och hur det egna beteendet påverkar innemiljön. Att nå dit är dock inte enkelt. Som ett försök att öka kunskapen, har vi tagit fram en informationsbroschyr, så kallade Boråd, där vi försöker illustrera systemens funktion och skötselbehov. Broschyren anpassas till respektive bostadsområde och delas ut till samtliga hyresgäster (BILAGA 7).

Sammanfattning

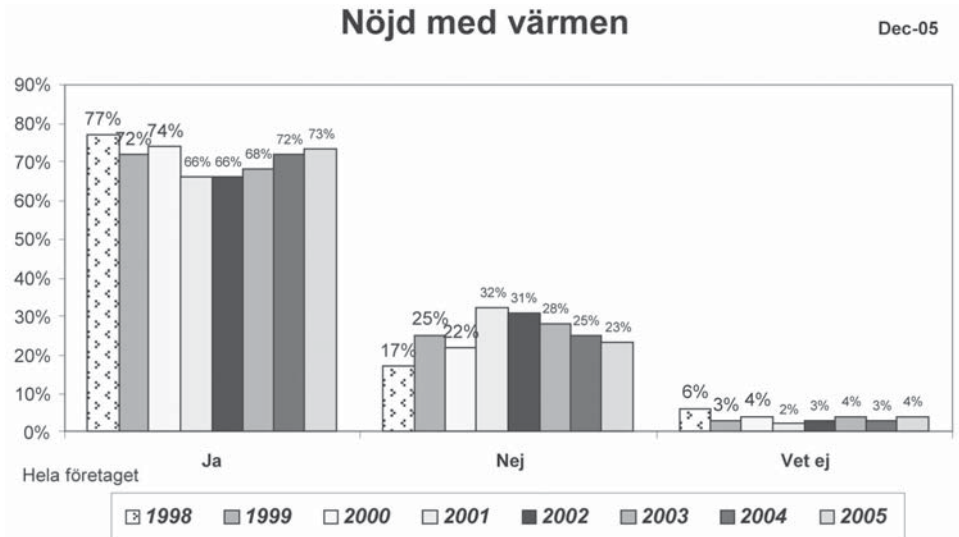
Det finns en stor energihushållningspotential i bostadsbeståndet och de flesta energisparåtgärder påverkar innemiljön på något sätt. Vi får acceptera att innemiljön varierar mellan olika byggnader. I strävan att minska energiförbrukningen måste innemiljön säkras genom rutiner för innemiljöförvaltning. De boende måste förstå hur det egna beteendet påverkar innemiljön.

BILAGA 1

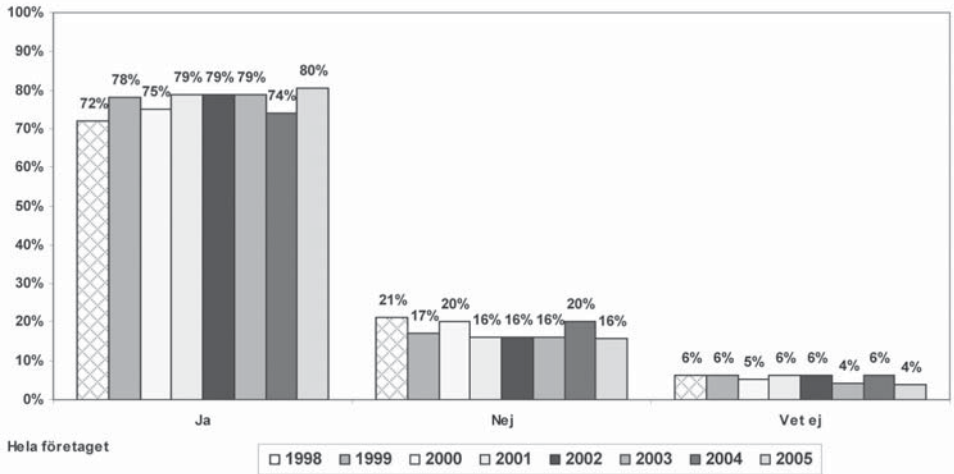


BILAGA 2





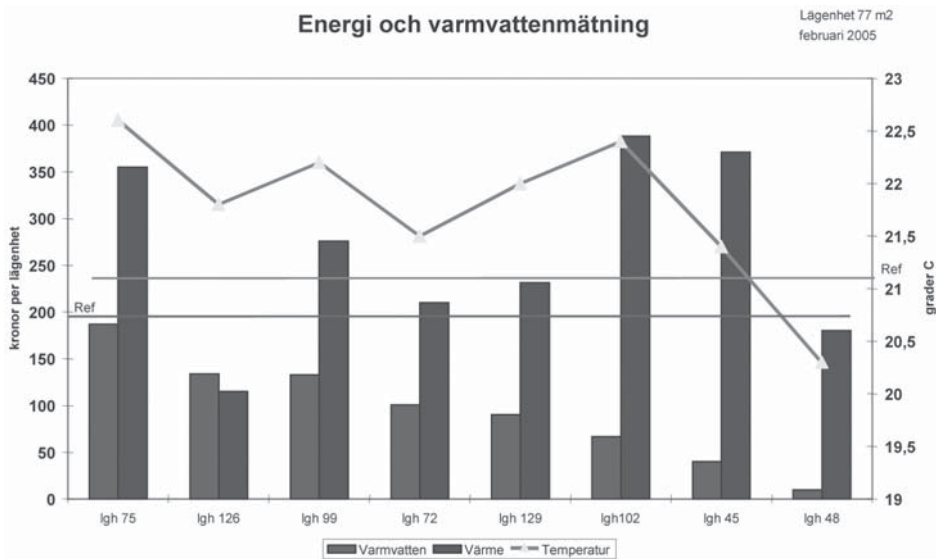
Dec -05



BILAGA 5



BILAGA 6



Boråd

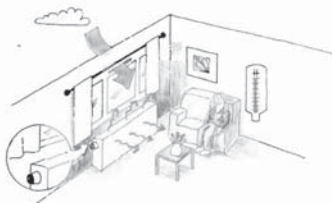
Råd för en god inommiljö



Högsbohöjd

Värme

Värme
- möblering



1

Värme

Ventilation

Spiskåpa

Golvbrunn

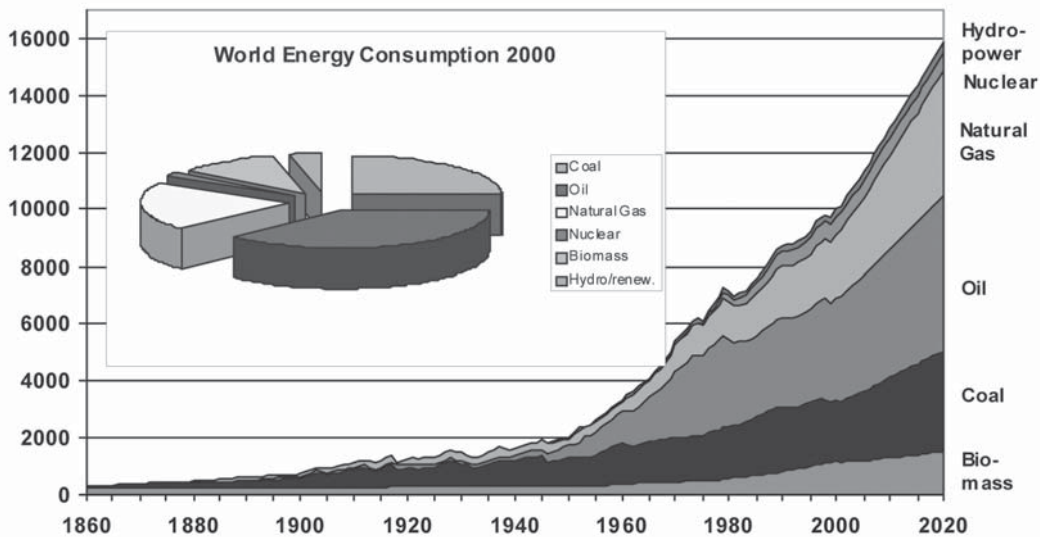
Diskussion: Klarer vi energimålen utan att försämra innemiljön?

Sten Olaf Hanssen

Innledning

I rapporten ”World Energy Outlook” for perioden frem til 2030 påpeker IEA (International Energy Agency) at verdens energibehov forventes å øke med anslagsvis 60 %, at fossilt brensel vil fortsette å dominere, at nesten 2/3 av veksten vil skje i utviklingsland og at dette vil resultere i at den internasjonale energihandelen vil øke dramatisk. Mens transportsektoren fortsatt vil dominere veksten i oljeforbruk, så vil gass være den raskest voksende, og etter hvert dominerende, fossile energikilden.

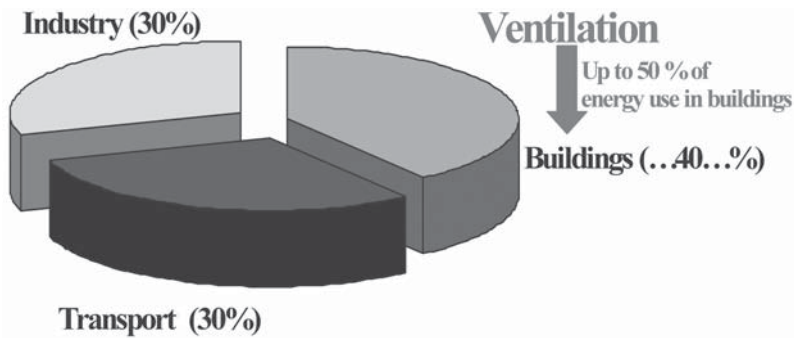
Til sluttbruk vil imidlertid elektrisitet være raskest voksende og andelen av verdens befolkning uten tilgang til elektrisitet vil reduseres med cirka 30 %. Prognosene for utviklingen i verdens energibehov er svært dramatisk, og vi må spesielt forvente at etterspørselen etter elektrisk energi blir kritisk. Det er også tankevekkende at basert på den politikk som føres i dag, forventes CO₂-utslippene fra energibruk å fortsette sin økning, og selv om nye teknologier vil komme på banen, vil ingen av dem vil være i stand til å dominere energibildet i perioden før 2030.



Figur 1. Total energibruk, prognose frem til 2020, ref.: ”NTNU og SINTEF - internasjonalt fremragende sammen”, arbeidsdokument frem mot en felles strategi, Trondheim 22.11.2005.

Ut fra disse spådommene og prognosene er det lett å forstå at ”Nullenergi” boliger og lavenergi næringsbygg er en filosofi og trend som griper stadig sterkere inn i tankegangen til offentlige myndigheter, planleggere og forvaltningsorganer. Ofte medfører dette en målsetting om superisolerte boliger med ekstra god lufttetting for å redusere infiltrasjonen mest mulig samt yrkesbygg med minimumsløsninger med hensyn på ventilasjon og luftskifte.

Årsaken til at fokus legges på bygningssektoren er for så vidt rimelig, fordi bygninger står for omlag 40 % av energibruken i de fleste vesteuropeiske land og beregninger indikerer at dette kan reduseres med opptil 20 % ved å forbedre energieffektiviteten. Videre er det forståelig at det blir lagt spesielt mye fokus på ventilasjons- og klimaanlegg fordi opptil 50 % av den totale energibruken i bolig og næringsbygg går med til ventilasjon og klimatisering.



Figur 2. Relativ betydning av ulike energibrukere, ref.: ECA Report No.24 “Ventilation, good Indoor Air Quality and rational use of energy”, European Communities, 2003.

”Energy Performance of Buildings Directive” (EPBD) 2002/91/EF

For å svare på noen av disse utfordringene (utmaningarna) har EU innført et direktiv som forplikter alle EU/EØS-land til å innføre nasjonale lover om bygningers energieffektivitet. Målet med direktivet er å fremme økt energieffektivitet i bygninger der det blir tatt hensyn til uteklime og lokale forhold samt krav til inneklime og kostnadseffektivitet. Direktivet om bygningers energiytelse, ”Energy Performance of Buildings Directive” (EPBD) 2002/91/EF, skal derfor føre til:

- Økt energieffektivitet i bygningsmassen
- Reduserte utslipp av klimagasser
- Bedret kraftbalanse
- Økt forsyningsikkerhet

Frist for gjennomføring av direktivet i EU/EØS var 4. januar 2006, men det er innført en tre års ”innføringsfrist” dersom noen land har behov for en slik overgangsperiode. For å oppnå en mer effektiv energibruk i bygningsmassen innføres det en ordning med:

1. Felles metode for beregning av energibruk i bygninger.
2. Minstekrav for energiytelse for nye bygg og bygg som renoveres.

3. Energisertifikater for nye bygg og bygg som omsettes eller leies ut (hyrs ut).
4. Energimerking av bygninger ved oppføring, salg eller utleie
5. Regelmessige inspeksjoner av kjelanlegg (vårmepannor), kjøle- og luftkondisjoneringsanlegg.

Ordningen med energimerking og inspeksjoner gjelder i utgangspunktet alle bygningstyper over 50 m² hvor energi blir brukt for å påvirke innneklima, men det er grunn til å anta at en rekke spesielle bygningstyper helt eller delvis blir unntatt fra denne regelen. I Norge kan dette være fritidsboliger, midlertidige (tillfälliga) bygninger, industribygninger og verksteder, vernede bygninger, landbruksbygninger samt bygninger som benyttes til religiøse formål og forsvarseiendommer. Unntakene vil imidlertid være opp til hvert enkelt land. For offentlige bygninger på over 1000 m² blir det i tillegg krav om synlig energimerking. Hensikten er å synliggjøre byggets energibehov og reelle energibruk slik at brukere og besøkende lett skal kunne se hvor energieffektivt bygget er. Energimerket skal inneholde referanseverdier som gjør det mulig å sammenligne den beregnede energibruken med blant annet kravene til nye bygninger og typiske verdier for eksisterende bygninger med tilsvarende utforming og anvendelse. Referanseverdier for de ulike bygningstyper utarbeides på nasjonalt nivå ut fra landenes klima, topografi, økonomi og kultur.

Her ligger noe av utfordringen med hensyn til om vi klarer energimålene uten at det går ut over kvaliteten på vårt innneklima. Ønsket om lavest mulig energibruk kan lett komme i konflikt med helse, trivsel og velvære dersom referanseverdiene settes urealistisk lave. Dette så vi klare tendenser til etter den første oljekrisen i 1973 da behovet for energiøkonomisering (energihusholdning) i mange tilfeller direkte gled over i ukritisk energisparing som ofte fikk svært negative konsekvenser i form av utilfredsstillende eller direkte dårlig innneklima.

Effektiv energibruk

Det er stor forskjell på energisparing og energiøkonomisering (energihusholdning). I et opplysningshefte fra det norske Olje og energi-

departementet ble det allerede midt i 70-årene gitt en kort og treffende definisjon på begrepet energiøkonomisering:

- Energiøkonomisering er et begrep som i videste forstand betyr at energien skal brukes i den form, og i den mengde og til den tid som totalt sett er mest lønnsom når alle fordeler og ulemper er vektet mot hverandre.

Det ble sterkt understreket at ”ordet energiøkonomisering kan derfor ikke erstattes med det enklere ordet energisparing. Det er ikke ønskelig å spare energi uten hensyn til konsekvensene, f.eks. for arbeidsmiljø og kostnader”.

Dette er helt klare signaler som også omfatter inneklima, helse og trivsel. Det er samfunnets totale driftsregnskap som skal legges til grunn når vi skal diskutere energibruk i bygninger. Dette impliserer at effektiv energibruk og inneklima aldri står i motsetning til hverandre. Tvert imot, systematisk og riktig gjennomført energihusholdning med høy energi-effektivitet sikrer et godt inneklima i bygningsmassen. Den samme argumentasjonen kan vi derfor også bruke når det gjelder implementeringen av intensjonene i Direktivet om bygningers energiytelse.

Inneklima, innemiljø og energibruk

Når vi skal diskutere om vi klarer å nå målene i energidirektivet uten at vi påvirker inneklima i negativ retning, er det hensiktsmessig å definere noen av de ord vi anvender. Forenklet kan vi eksempelvis si at innemiljø omfatter alt som omgir og påvirker oss, inkludert estetiske og psykososiale faktorer, det vil si:

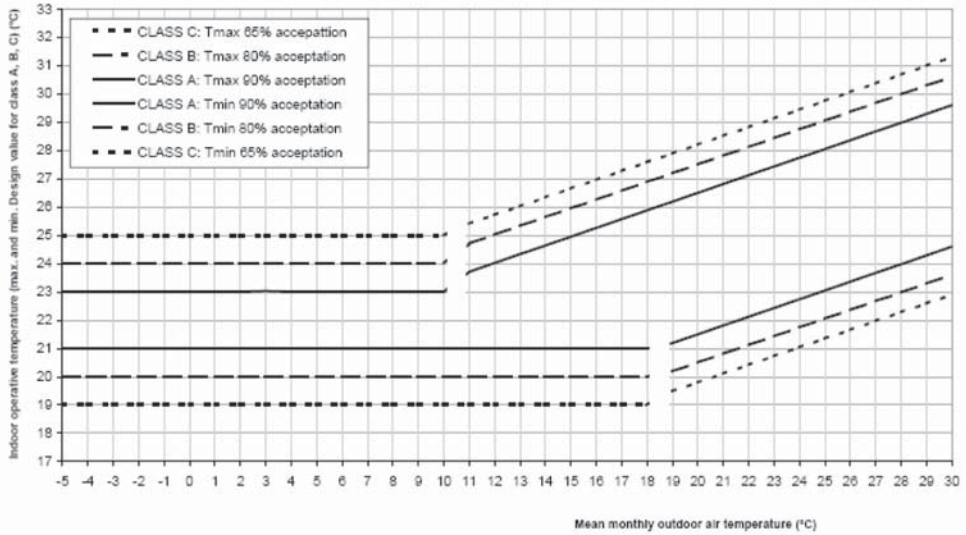
- Det termiske miljø (menneskets varmebalanse, termisk komfort)
- Det atmosfæriske miljø (forurensninger, gasser, damper, fiber og partikler)
- Det akustiske miljø (hørsel, persepsjon, lydpåvirkning og støy (buller))
- Det aktiniske miljø (lys, radon, stråle-, bølge- (våg-) og feltfenomener)
- Det mekaniske miljø (følesans (känselinne), ergonomi og ulykker)
- Det estetiske miljø (det som vanligvis oppfattes som behagelig for øye, øre, nese og smak)

- Det psykososiale miljø (forholdet til medarbeidere, kolleger og bedriftsledelse)

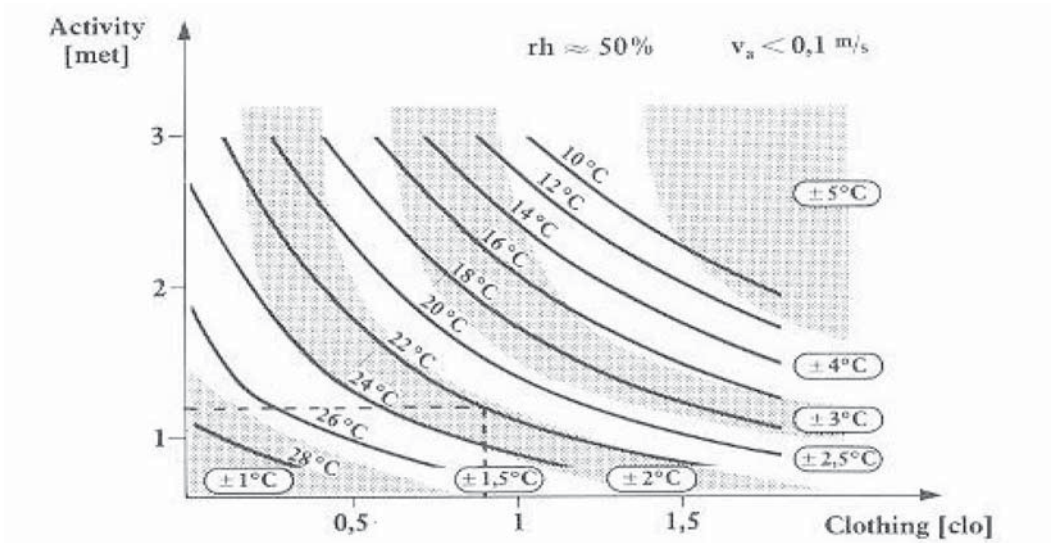
Av disse er det typisk det termiske, atmosfæriske og i noen grad det aktiniske miljø som krever vesentlig bruk av energi. Anbefalinger og verdier på de ulike områder er i stor grad fastlagt i internasjonale standarder, veiledninger og anbefalinger fra CEN, ISO og WHO samt fra andre nasjonale og internasjonale organer.

For termisk komfort har vi eksempelvis EN ISO 7730 “Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort” og tilsvarende prEN 13779:2005 (E) “Ventilation for non-residential buildings - Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems”. Ute til høring har vi per dato DRAFT ISO/DIS 16814: ”Building environment design - Indoor air quality - Methods of expressing the quality of indoor air for human occupancy” for ventilasjon og klimatisering av næringsbygg generelt. I *vedlegg 1 (bilaga 1)* er det vist et eksempel på hvor mange normative referanser som kan ligge til grunn for en enkelt standard, dette for å understreke at hver enkelt standard oftest bygger på en rekke andre standarder.

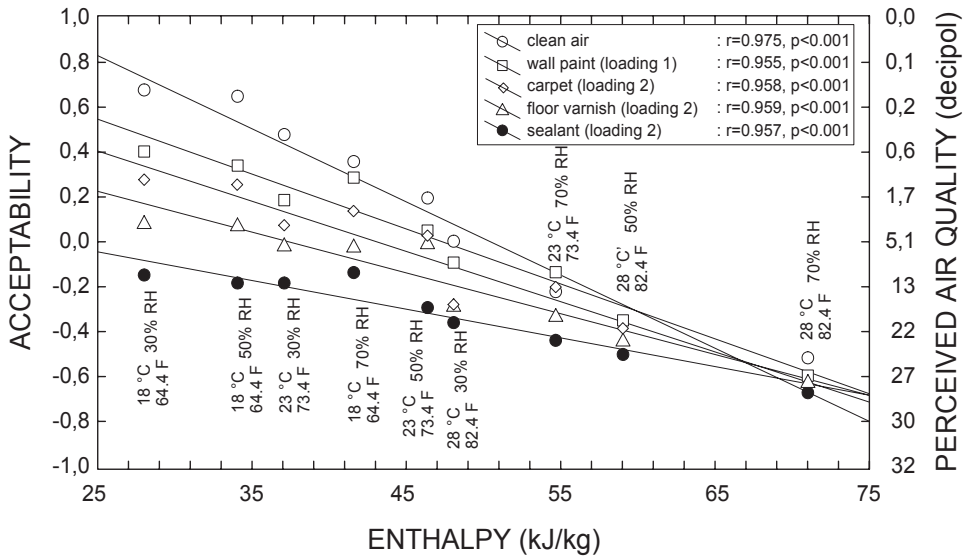
Det er ikke mulig i en kort presentasjon som dette å angi alle relevante parametere for inneklimate, men i det etterfølgende er det gitt noen eksempler på termiske og atmosfæriske anbefalinger i ikke-industrielle bygg. Figur 3 viser et eksempel på hvordan vi kan la operativ inne-temperatur ”gli” avhengig av midlere månedstemperatur ute (klasse A>90 % aksept, B>80 % aksept og C>65 % aksept). Figur 4 viser hvordan vi kan fastlegge optimal operativ temperatur ut fra aktivitetsnivå (met) og bekledning (clo) for et næringsbygg. Figur 5 viser hvor viktig det er å holde både temperatur og relativ luftfuktighet på et lavest mulig nivå for at luftkvaliteten skal oppleves akseptabel når vi har forurensninger i luften. I *vedlegg 2 (bilaga 2)* er det gitt noen eksempler fra prEN 13779:2005 (E) som viser at det også skal tas hensyn til kvaliteten på uteluften og ikke bare stilles kvantitative krav til lufttilførsel til rom og lokaler.



Figur 3. Design values for the indoor operative temperature for buildings without mechanical cooling systems, CEN. 2004, Ref.: CEN TC156/WG12, December 2004



Figur 4. Optimal operativ temperatur som funksjon av beklledning og aktivitet. Følsomheten for temperaturendring øker ved synkende beklledning og aktivitet. Ref.: ISO 7730.



Figur 5. Linear correlation between acceptability and enthalpy of five air samples. Clean outdoor air and air polluted by wall panel, carpet, floor varnish and sealant. Ref.: Fang, L., Clausen, G., and Fanger, P.O., Journal of Indoor Air, vol. 8, 1998.

I tillegg utarbeides nå et “Umbrella document” med tittelen “Explanation of the general relationship between various CEN standards and the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)”. Det er BT/WG 173 “Energy Performance of Buildings Project Group” som er ansvarlig arbeidsgruppe og dokumentet vil inneholde en oversikt over beregningsprosedyrer for hvordan energiytelsen skal fastlegges samtidig som det inneholder en liste over europeiske standarder med de ulike beregningsmetodene.

Per dato foreligger Version 5, datert 19. desember 2005, og neste arbeidsutkast (Version 6) skal etter planen fremlegges i februar 2006. Når dokumentet er ferdig utarbeidet vil det etter planen bli utgitt som en ”Technical Report” fra CEN.

Totalt sett er det derfor all grunn til å påstå at det ikke er mangel (brist) på veiledninger som vil medføre problemer med inn klima som følge av innføringen av EPBD, derimot vil en eventuell neglisjering av anbefalingene kunne gi problemer.

Energiattest og energimerking

Vi har en rekke ulike bygningstyper både når det gjelder boliger og næringsbygg. I tillegg til småhus og boligblokker (flerbostadshus) har vi alle typer barnehager (daghem), kontorbygg, skolebygg, sykehus, sykehjem, hoteller, restaurantbygg, idrettsbygg, forretningsbygg, kulturbygg samt bygninger for lett industri og verksteder. I bygningenes totale netto energibehov inngår bygningens behov for energi til oppvarming, ventilasjon, tappevann, belysning, teknisk utstyr, kjøling med tilhørende hjelpesystemer, alt estimert ved standard bruk av bygget og ved gitte krav til inneklima.

Energimerket angir nivået for energiegenskapene til bygningen i form av en karakter (betyg), eksempelvis bokstav (A til G), stjerner, tallkarakter, eller lignende. I Norge er det ennå ikke tatt endelig avgjørelse om hvilken form som skal benyttes, men i en rapport fra SINTEF i 2005 (kan lastes ned fra internett på adressen <http://www.bygningsenergidirektivet.no/>) er det gitt følgende anbefalinger til nivå på vektet tilført energi for norske bygg. Det understrekes at dette kun er forslag og ikke vedtatte krav. Energirammekrav beregnet ut fra forslag (2003) til nye norske byggeforskrifter er ført inn for sammenligningens skyld.

Tabell 1. Forslag til vektet tilført energi, ref. SINTEF rapport ”Energimerking av næringsbygg” og SINTEF rapport ”Energimerking av boliger”, <http://www.bygningsenergidirektivet.no/>

Nivå / merke energiklasse	Småhus kWh/m ²	Boligblokker kWh/m ²	Kontorbygg kWh/m ²	Skolebygg kWh/m ²
A	≤ 75	≤ 65	≤ 80	≤ 65
B	76 – 115	66 – 100	81 – 120	66 - 100
C	115 - 150	101 - 130	121 – 160	101 – 130
D	151 – 190	131 – 175	161 - 190	131 – 160
E	191 – 230	176 - 215	191 – 225	161 – 190
F	231- 345	176 - 215	226 - 335	191 - 290
G	≥ 345	≥ 325	≥ 335	≥ 290
Energiramme, forslag 2003	150	130	160	130

Her ser vi kanskje noe av problematikken omkring ”energimål og inne-klima”. I sin iver etter å senke behovet for netto tilført energi kan noen bli fristet til å redusere temperaturnivået til et uakseptabelt nivå i hele eller deler av døgnet vinterstid samtidig som det tillates uakseptabelt høy temperatur om sommeren for å ”spare” energi til kjøling. Tilsvarende kan bli tilfellet for ventilasjon siden dette i mange bygninger krever opptil 20 % av energibruken.

Mange av disse fallgropene kan unngås dersom man i større grad sørger for ventilasjon og klimatisering ut fra en behovsanalyse for bygget og brukeren. Tilstedeværelsesdetektorer (närvarodetektor) og frikjøling må utnyttes i langt større grad. Videre er det av stor betydning at vi aktivt utnytter bygningens termiske masser i et dynamisk samspill med de tekniske installasjonene. Det er også avgjørende at de tekniske installasjonene blir designet riktig i forhold til byggets arkitektoniske utforming og brukerens atferd (beteende).

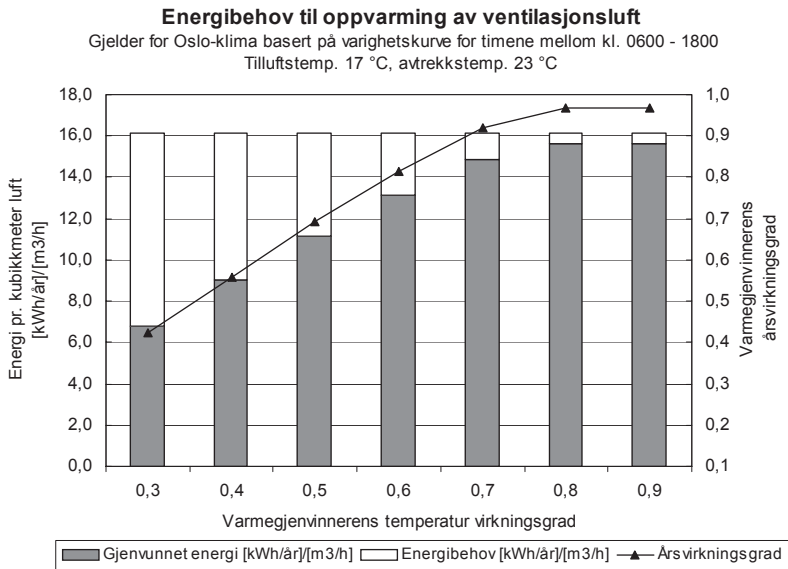
Stikkordet er her tilpasningsdyktige (anpassningsbara) bygninger, dvs. at generalitet, elastisitet og fleksibilitet utnyttes i en samhandling og samspill mellom arkitekt og de tekniske disipliner.

At ventilasjonen ikke trenger å være det store energisluket skulle klart fremgå av Tabell 2 og Figur 6. Både energibruk til oppvarming av ventilasjonsluft og drift av vifter (fläktar) kan reduseres betydelig dersom man anvender en varmegjenvinner med god virkningsgrad samtidig som man tilstreber en lav SFP-faktor ved dimensjonering av anlegget. En selvsagt forutsetning er selvfølgelig at drift og vedlikehold (underhåll) er tilfredsstillende både for bygg og installasjoner.

Tabell 2. Hva koster normalventilasjon i kontorbygg? Ref.: M. Berner og J. Stang, SINTEF.

Energibruk per år		
Energi til oppvarming av ventilasjonsluft	144 kWh/år per m ² uten varmeveksler	28 kWh/år per m ² med varmeveksler $\eta=0,8$
Energi til viftedrift	24 kWh/år/m ³ /h SFP = 3	7 kWh/år/m ³ /h SFP = 1

Forutsetninger: Osloklimate, luftmengde 2,5 l/s m², dvs. 9 m³/h m², driftstid 3120 timer per år.



Figur 6. Energibruk med og uten varmegjenvinner, ref.: Jens Tønnesen og Jacob Stang, SINTEF Energiforskning (rapport)

Konklusjon

Vi kan nå energimålene uten at det får negative konsekvenser for inneklima og arbeidsmiljø dersom alle involverte parter anvender eksisterende kunnskap og erfaring. Konsekvensene kan i motsatt fall bli formidable hvis vi ikke tar dette inn over oss fordi:

- Lønnskostnadene kan være 10 til 100 ganger høyere enn alle andre bygningsrelaterte kostnader per m² kontorareal (Ref.: EPA 1989 Djukanovic, Wargocki and Fanger 2002.....Seppänen and Fisk 2005)
- På nasjonalt nivå kan dårlig inneklima medføre i enorme tap:
 - Norge: 2500 NOK/innbyger og år (ref.: Sten O. Hanssen)
 - USA: 3500 NOK/innbyger og år (ref.: William Fisk)
 - Finland: 5000 NOK/innbyger og år (ref.: Olli Seppänen)

Vedlegg 1: Eksempel på hvor mange normative referanser som kan ligge til grunn for en enkelt standard

prEN 13779:2005 (E) “Ventilation for non-residential buildings - Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems”,
Normative references:

- EN 308, *Heat exchangers — Test procedures for establishing performance of air to air and flue gases heat recovery devices*
- prEN 12097, *Ventilation for buildings — Ductwork — Requirements for ductwork components to facilitate maintenance of ductwork systems*
- EN 12237, *Ventilation for buildings — Ductwork — Strength and leakage of circular sheet metal ducts*
- EN 12464-1, *Light and lighting — Lighting of work places — Part 1: Indoor work places*
- EN 12599:2000, *Ventilation for buildings — Test procedures and measuring methods for handing over installed ventilation and air conditioning systems*
- EN 12792:2002, *Ventilation for buildings — Symbols and terminology*
- EN 13053, *Ventilation for buildings — Air handling units — Ratings and performance for components and sections*
- EN 13182, *Ventilation for buildings — instrumentation requirements for air velocity measurements in ventilated spaces*
- EN ISO 7730, *Moderate thermal environments — Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*
- EN ISO 7726, *Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities*
- EN ISO 8990, *Thermal insulation — Determination of steady-state thermal transmission properties - Calibrated and guarded hot box*

- prEN ISO 9920, *Ergonomics of the thermal environment — Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble*
- prEN 14788, *Ventilation of buildings — Design and dimensioning of systems of residential ventilation systems*
- prEN EPBD WI 6, *Ventilation for buildings — Energy performance of buildings — Guidelines for inspection of air conditioning systems*
- prEN EPBD WI 12, *Ventilation for buildings — Calculation of room temperatures and of load and energy for buildings with room conditioning systems*
- prEN EPBD WI 19, *Ventilation for buildings — Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration*
- prEN EPBD WI 20/21, *Ventilation for buildings – Calculation methods for energy requirements due to ventilation systems in buildings*
- prEN EPBD WI 22, *Calculation methods for energy Efficiency improvements by the application of integrated building automation systems*
- prEN EPBD WI 30, *Ventilation for buildings — Energy performance of buildings — Guidelines for inspection of ventilation systems*

**Vedlegg 2. Eksempler på anbefalinger gitt i prEN 13779:2005 (E)
 “Ventilation for non-residential buildings - Performance requirements
 for ventilation and room-conditioning systems”.**

Classification of outdoor air (ODA).

Category	Description
ODA 1	Pure air which may be only temporarily dusty (e.g. pollen)
ODA 2	Outdoor air with high concentrations of particulate matter
ODA 3	Outdoor air with high concentrations of gaseous pollutants
ODA 4	Outdoor air with high concentrations of gaseous pollutants and particulate matter
ODA 5	Outdoor air with very high concentrations of gaseous pollutants or particulate matter

**Examples of pollutant concentrations in outdoor air
 (INFORMATIVE).**

Description of location	Concentration					
	CO ₂ ppm	CO mg m ⁻³	NO ₂ µg m ⁻³	SO _{2,3} µg m ⁻³	Total PM mg m ⁻³	PM _{10,3} µg m ⁻³
Rural area; no significant sources	350	< 1	5 to 35	< 5	< 0.1	< 20
Smaller town	375	1 to 3	15 to 40	5 to 15	0,1 – 0,3	10 to 30
Polluted city centre	400	2 to 6	30 to 80	10 to 50	0,2 – 1,0	20 to 50

**Classification of indoor air (IDA), CO₂-levels in room
 (INFORMATIVE)**

Category	CO ₂ -level above level of outdoor air in ppm	
	Typical range	Default value
IDA 1	≤ 400	350
IDA 2	400 – 600	500
IDA 3	600 – 1,000	800
IDA 4	> 1,000	1,200

Rates of outdoor air per person (INFORMATIVE).

Category	Unit	Rate of outdoor air per person			
		Non-smoking area		Smoking area	
		Typical range	Default value	Typical range	Default value
IDA 1	$\text{l.s}^{-1}\text{.person}^{-1}$	> 15	20	> 30	40
IDA 2	$\text{l.s}^{-1}\text{.person}^{-1}$	10 – 15	12,5	20 - 30	25
IDA 3	$\text{l.s}^{-1}\text{.person}^{-1}$	6 – 10	8	12 - 20	16
IDA 4	$\text{l.s}^{-1}\text{.person}^{-1}$	< 6	5	< 12	10



ÖREBRO LÄNS
LANDSTING

Universitetssjukhuset Örebro

Yrkes- och miljömedicinska kliniken

ISBN 91-973975-3-9