



# LUND UNIVERSITY

## Byggnaden och innemiljön : ett försök till sammanfattning av kunskapsläget

Wadsö, Lars

1999

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Wadsö, L. (1999). *Byggnaden och innemiljön : ett försök till sammanfattning av kunskapsläget*. (Rapport TVBM; Vol. 3084). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

*Total number of authors:*

1

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00



LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA

Lunds universitet

---

Avd Byggnadsmaterial

# Byggnaden och Innemiljön

- ett försök till sammanfattning av kunskapsläget -

Lars Wadsö

Rapport TVBM-3084  
Lund 1999

---



LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Lunds universitet

Avd Byggnadsmaterial

# Byggnaden och Innemiljön

- ett försök till sammanfattning av kunskapsläget -

Lars Wadsö

Rapport TVBM-3084  
Lund, januari 1999

**Sammanfattning 4****Inledande kommentarer 4****Symptom kopplade till inommiljön 6**

*Allmänna sjuka-hus symptom 6*

*Astma och allergi 7*

*Legionärsjukan och sjukdomar som enbart sprids i byggnader 9*

**Föroreningar i inomhusluften 9**

*Organiska ämnen 10*

*Formaldehyd 11*

*Lösningsmedel 12*

*Bekämpningsmedel och träskyddsmedel 13*

*Övriga organiska ämnen 14*

*Kväveoxider 15*

*Ozon 15*

*Partiklar 15*

*Fibrer 16*

*Biologiska föroreningar 17*

*Radon 19*

**Föroreningarnas ursprung 20**

*Emissioner utifrån 20*

*Byggnadsmaterial 20*

*Inredning 21*

*Återemission av absorberade ämnen 21*

*Aktiviteter 21*

*Biogena emissioner 21*

*Kemiska reaktioner i inomhusluften 21*

**Andra möjliga orsaker till SBS 21**

*Psykologiska faktorer 22*

*Fysiska och kemiska faktorer 23*

**Metoder att studera inommiljö 25**

*Mätning av klimat 25*

*VOC i luft 26*

*VOC-emission från material 26*

*Mikroorganismer 27*

*Partiklar 27*

*Radon 28*

*Allergi och överkänslighet 28*

*Objektiva mätmetoder för upplevelser och symptom 28*

*Risikanalyt och gränsvärden 29*

*Epidemiologiska undersökningar 30*

*Djurförsök 32*

### **Byggnadsteknik och SBS 33**

### **Åtgärder för att få sunda hus 34**

*Befintliga byggnader 34*

*Nybyggnation 35*

### **Forskningsbehov 37**

*Övergripande projekt 37*

*Specifika projekt: material 37*

*Specifika projekt: partiklar/aerosoler 38*

*Specifika projekt: biologiska föroreningar 39*

*Specifika projekt: medicin 39*

*Specifika projekt: mätteknik 39*

### **Tack 39**

### **Förkortningsordlista 40**

### **Referenser 44**

## Sammanfattning

Det är en allmän uppfattning att den ökande sjuklighet vi idag ser i vissa typer av sjukdomar beror på faktorer i inomhusmiljön. Dels eftersom vi vistas övervägande delen av våra liv inomhus, dels för att många människor har symptom som uppkommer i samband med vistelse i framförallt vissa byggnader, s.k. "sjuka hus".

Det är huvudsakligen två typer av symptom som kopplas till sjuka hus: dels allmänna besvär som huvudvärk och röda ögon, dels astma och allergi. Vad gäller de allmänna besvären anses de ofta bero på en eller flera av ett antal kända faktorer som dålig ventilation, höga halter av luftföroreningar, dåligt socialt klimat, hög temperatur, dålig städning etc. Ofta minskar sådana problem efter en genomgång av olika möjliga orsaker samt åtgärder för att förbättra situationen.

Överkänslighetsreaktioner, astma och allergi, har ökat kraftigt i i-länder sedan andra världskriget. Ökningen anses i alla fall till en viss del bero på våra inomhusmiljöer, dels genom att man i ett flertal undersökningar har visat på en koppling mellan fuktiga byggnader och risk att utveckla allergi, dels genom att allergiska (redan sensibiliserade) personer får problem vid vistelser i byggnader med höga halter av t.ex. kvalster- och kattallergen i dammet eller höga halter av irriterande ämnen som formaldehyd.

I många undersökningar har man sett en stark koppling mellan allergi och fuktiga hus, men man har inte funnit några klara orsakssamband. Vad gäller fukt i byggnader är det tvärtom så att vår inomhusmiljö generellt har blivit allt torrare, men det är möjligt att t.ex. vissa typer av skadlig mikrobiologisk aktivitet är vanligare i byggnader idag.

Synergieffekter mellan olika var för sig låga exponeringar nämns också som en förklaring till den ökade sjukligheten i vissa sjukdomar. Ökad användning av syntetiska kemiska ämnen i t.ex. mat, rengöringsmedel och kosmetika kan ha gett oss en minskad motståndskraft mot naturligt förekommande ämnen som vi exponeras för.

En stor mängd epidemiologiska undersökningar har gjorts inom detta område och många av dessa visar på kopplingar mellan olika exponeringsfaktorer och ohälsa. Innan orsakssambanden mellan exponering och symptom är utredda (t.ex. genom kontrollerade försök) bör man dock vara försiktig med att dra slutsatser från sådana undersökningar.

Föroreningar i inomhusluften har många källor: utomhusluften, aktiviteter, byggnadsmaterial, inredning, människor och mikrobiologisk aktivitet. Ofta är det svårt att hitta källan till en viss förorening. I dagens läge är det omöjligt att sätta gränsvärden för alla de ämnen som finns i innemiljön. Ett mål med all produktutveckling av byggnadsmaterial, inredning och andra produkter som används i våra byggnader bör dock vara att minska emissionerna från dem. Vilka ämnen som är farligast och som det är viktigast att minska vet vi dock ej.

## Inledande kommentarer

Denna rapport är skriven som en inledande allmän litteraturstudie vid starten av den KK-stiftelsestödda forskarskolan "Byggnaden och Innemiljön" vid Lunds universitet. Den bygger på ett försök till kritisk genomgång av svensk och internationell litteratur kring innemiljöns påverkan på människans hälsa; det område som på engelska sammanfattas under begreppen SBS ("Sick Building Syndrome") och IAQ ("Indoor Air Quality"). Den är skriven vid starten av den KK-stiftelsestödda företagsforskarskolan "Byggnaden och Innemiljön" vid Lunds Universitet.

Forskningen inom detta område är relativt ung; det var först på 1970-talet som intresset för kopplingen mellan hälsa och inomhusmiljö tog fart. För att spara energi under energikrisen på 70-talet tätades många byggnader, ventilationen minskades och återluft användes i högre utsträckning. I många skolor och kontor blev tilluftflödena så låga att folk började må dåligt eftersom halten av koldioxid och irriterande ämnen i luften ökade. I USA[39] fick många ägare till hus som tilläggsisolerades med skummad urea-formaldehyd stora problem med formaldehyd i inomhusluften. I Sverige fick vi problem med emissioner från konstruktioner med kaseinhaltigt flytspackel; saneringen av området Dalen i Enskede blev något av en svensk symbol för det nya begreppet "sjuka hus"[97]. Mögel började också uppfattas som ett allvarligt problem i nyare hus. Idag är det vetenskapliga intresset för dessa problem väl etablerat i USA och Västeuropa, och ökande i resten av världen. Det har också med nödvändighet blivit ett allt mer tvärvetenskapligt forskningsfält[96].

Huvudproblemet inom SBS-området är att det kan finnas skadliga ämnen i inomhusluften. Efter många år av diskussion om miljöförstöring och luftföroreningar i den yttre miljön handlar det nu om den inre miljön. Egentligen är det inte märkligt att vi har problem med föroreningar i inomhusluften eftersom denna nästan alltid är betydligt mer förorenad än utomhusluften. Det är enbart SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> och O<sub>3</sub> som normalt uppvisar lägre halter inomhus än utomhus; dessa reaktiva gaser bildas huvudsakligen utomhus och är inte så långlivade inomhus då de reagerar med material i t.ex. ventilationssystem. De flesta andra ämnen finns i högst halter inomhus där människor i den industrialiserade världen uppehåller sig mer än 90% av sin tid[121].

Jag har valt att använda de väl etablerade begreppen "sjuka hus" och SBS. Normalt när man talar om sjuka hus menar man byggnader där människor blir sjuka, inte att husen är sjuka. Därför är ju dessa begrepp egentligen missvisande. Ibland talar man istället om "sunda hus", men det är ju svårt att använda här när jag skall diskutera möjliga problem med inomhusmiljö; kanske hade "osunda hus" ("unhealthy buildings") varit en bättre sammanfattande benämning på byggnader där folk inte mår bra.

När jag läser litteraturen inom detta område får jag en känsla av att det är många forskare och andra som mer eller mindre medvetet tycker sig finna de samband de letar efter. En hel del orsakssamband som genomgående tas upp i litteraturen, är egentligen ganska tveksamma. Detta gäller t.ex. att det är större risk att få astma idag eftersom man har högre fukthalt inomhus idag än förr i tiden[16, 22]. Det har därför varit mitt mål att skriva en *kritisk* sammanfattning av nuläget. Risken med detta är att jag skriver om sådant om vilket jag har bristande kunskap, men den risken tar jag. Jag tar gärna emot synpunkter på innehållet i rapporten.

Jag har medvetet valt att främst gå igenom internationell engelskspråkig litteratur. Därför tas SBS-problematiken delvis upp ur ett amerikanskt perspektiv som skiljer sig från det svenska. De viktigaste av dessa skillnader är följande:

- I USA avser sjuka-hus-problemet till övervägande delen kontor; bostäder nämns sällan som drabbade av SBS[47]. I Norden diskuterar vi både arbetsplatser och bostäder, men mest de senare.
- I USA misstänker man ofta att inomhusföroreningar (särskilt sådana med biologiskt ursprung) kommer från heltäckningsmattor[2]. Dessa är numera sällsynta i Sverige.
- I USA mäter man ofta högre koncentrationer av klorerade kolväten än vad vi gör i Sverige eftersom vi har en mycket mer begränsad användning av sådana ämnen[41].
- I USA handlar en stor del av diskussionen om föroreningar som sprids från olika typer av luftbehandlingsaggregat (främst befuktare), samt användningen av återluft. Även om vi i

Sverige också skulle kunna ha problem med t.ex. värmeväxlare så nämns detta sällan som en orsak till SBS.

- En bidragande orsak till intresset i USA är att arbetsgivare och fastighetsförvaltare riskerar att bli stämnda av anställda som anser att deras hälsa har påverkats av byggnaden de arbetar i[56]. Denna pådrivande faktor är säkert inte lika stark i Europa.

Jag har så långt som möjligt försökt ange referenser. Dessa är i många fall andrahandsreferenser eftersom jag inte har haft tid att gå till originalreferenserna. De stycken som ej är försedda med litteraturreferenser innehåller huvudsakligen mina egna synpunkter och idéer. Vissa av dessa, särskilt i kapitlet om andra möjliga orsaker till SBS, är spekulativa, men eftersom sjuka-hus-problematiken till viss del fortfarande är utan väldokumenterade och kända orsaker har det känts viktigt att vidga vyerna så mycket som möjligt och visa hur komplicerad vår omgivande luftmiljö är och hur mycket den har förändrats de senaste decennierna. Det senare är intressant då man är helt säker på att astma och allergi har ökat kraftigt i t.ex. Sverige sedan andra världskriget utan att vi vet varför.

### Symptom kopplade till innemiljön

Det finns olika sätt att dela in sjukdomar och symptom hänfödda till SBS. Mölhavé[74] ger följande uppdelning som bygger på förslag från arbetsgrupper i Danmark och inom EU:

1. Allvarliga/irreversibla-kroniska effekter (cancer, allergisk sensibilisering).
2. Överkänslighetsreaktioner (astma).
3. Mindre allvarliga, reversibla effekter.
4. Inflammatoriska reaktioner (sveda, röda ögon, svullnader).
5. Sensoriska reaktioner och upplevelser (lukt).

Det finns även andra sätt att dela in symptom orsakade av exponering för föroreningar inomhus[96]. Dessa kan ju vara allt från somatiska sjukdomar som cancer till psykisk ohälsa eller en känsla av att allt inte står rätt till. Jag gör nedan en mer förenklad indelning i tre typer av symptom.

#### *Allmänna sjuka-hus symptom*

I byggnader som betecknas som "sjuka" visar människor ett eller flera av följande närmast triviala symptom[14, 45]: irritation i ögon, näsa eller hals, huvudvärk, förkylningssymptom, hudirritation, hosta, andnöd, allmän trötthet, yrsel, illamående och lätt förvirring. Typiskt är att symptomen uppkommer när man kommer in i byggnaden och försvinner en kort tid efter att man lämnat den, och att symptomen på arbetsplatser är starkare på eftermiddagen än på morgonen. Dessutom anses det att på arbetsplatser är kvinnor mer drabbade än män, tjänstemän mer drabbade än arbetare, och de i underordnad ställning mer drabbade än chefer. Särskilt det faktum att kvinnor i högre utsträckning lider av SBS har framkommit i ett flertal undersökningar[23, 39, 45]. Orsaken till detta är oklar, men det lär inte bero på att kvinnor anmäler symptom oftare än män[107]. Att kvinnor skulle vara känsligare än män för t.ex. organiska ämnen har inte kunnat påvisas i laboratoriestudier[85].

Att de flesta av dessa symptom härrör från slemhinnorna är inte märkligt eftersom dessa är en stor och känslig del av vår kontaktyta med omgivande miljö. Det passerar t.ex. ca.  $12 \text{ m}^3$  luft dagligen genom näsan och många partiklar fångas upp där för vidare transport bakåt till svalget[54]. Man har uppskattat att 99% av vår exponering för flyktiga organiska ämnen sker via andningsvägarna[47]. Exponering för emissioner ger ofta en känsla av torrhet, så



klagomål på torr luft är en indikation på att inomhusmiljön är dålig. Det finns dock ingen koppling mellan klagomål på torr luft och låga luftfuktigheter[111].

Olika människor reagerar olika starkt på föroreningar i inomhusmiljön. Det finns inga bevis för att dessa reaktioner är allergiska till sin natur, utan den skillnad man ser mellan olika individer kan bero på olika människors olika känslighet för olika ämnen[90]. Reaktionen på irriterande ämnen kan ha vissa likheter med reaktionen på dofter, och det finns människor som är extremt känsliga för t.ex. parfymer[73]. Hur man reagerar på dofter har många psykologiska kopplingar; dock anses det att det finns fysiologiska mekanismer som gör att vissa människor är känsligare för dofter än andra. En stor andel av de människor som besvärar av starka reaktioner på dofter säger att problemen började efter det att de hade exponerats för höga halter av lösningsmedel, bekämpningsmedel eller någon annan kemikalie[73].

Lukt och slemhinneirritation är två fenomen som bidrar till upplevelsen av dålig inomhusmiljö. Människor kan normalt skilja mellan ämnen som luktar och ämnen som är irriterande[12]. Det finns idag utvecklat ett antal tekniker att bedöma hur kraftiga dofter är och hur irriterade ämnen är[25].

### *Astma och allergi*

Kopplingen mellan inomhusmiljö respektive astma och allergi har dragit till sig allt mer intresse de senaste åren då man i en mängd undersökningar har visat, eller trott sig visa, olika kopplingar mellan byggnader och sådana sjukdomstillstånd. Området är svårgreppbart och fastän allergiker rapporterar symptom i högre grad vid vistelse i sjuka hus så vet man inte om det är de dåliga inomhusmiljöerna som *skapar* allergier[3].

Vi utsätts hela tiden för främmande ämnen på vår hud och våra slemhinnor. Normalt reagerar vi inte på dem om de inte förekommer i mycket höga halter eller är särskilt aggressiva och irriterande.

Överkänslighet är när en person reagerar på ett ämne som förekommer i normala halter. Begreppet överkänslighet är dock svårt att definiera användningsfritt då bakomliggande orsaker delvis är okända[42].

Överkänslighet anses utvecklas i tre steg:

1. Man exponeras för olika halter av ett eller flera ämnen under en längre tid utan att kroppen reagerar.
2. Sensibilisering sker, dvs. kroppen visar plötsligt en överkänslighet mot ett eller flera ämnen.
3. Man reagerar sedan med överkänslighetsreaktioner även vid mycket låga halter.

Den konstaterade ökningen av astma och allergi de senaste åren[68] anses av en del bero på att sensibiliseringen har ökat eftersom vi utsätts för ökande halter av allergen[68]. Möjligen är det istället andra faktorer som gör oss känsligare eftersom det är tveksamt om halterna av vanliga allergen från t.ex. pollen, katt och kvalster har ökat de senaste decennierna[68].

Man skiljer normalt på två huvudgrupper av överkänslighet; dels *allergisk* överkänslighet där kroppens immunologiska försvar försöker eliminera främmande ämnen, dels *icke-allergisk* överkänslighet då immunförsvaret inte aktiveras[42]. Det ämne som uppfattas som kroppsfrämmande och ger upphov till ett immunförsvar kallas ett *antigen*. När det kommer in i kroppen kallas det ett *allergen*. De flesta allergen är allmänt förekommande naturprodukter[17]. *Atopi* är en ärftlig benägenhet att bilda en hög koncentration av de s.k. IgE-antikroppar som bildas av kroppen vid allergisk överkänslighet .

Uppdelningen i allergiska och icke-allergiska reaktioner är grundläggande och används ofta i undersökningar eftersom man kan testa om en person har antikroppar mot ett visst antigen. En person kan dock ha antikroppar mot ett antigen utan att för den skull visa en överkänslighetsreaktion mot det. Personer med IgE-antikroppar mot olika antigener löper dock hög risk att senare utveckla allergi.

Följande faktorer är grundläggande för diskussionen om astma och allergi i samband med SBS[17]:

- Astma och allergier har under de senaste decennierna ökat kraftigt i Västeuropa och USA
- Vi vet inte vad det är som ligger bakom ökningen
- Vår miljö (kostvanor, yttre och inre miljö, kommunikationer...) har ändrats kraftigt de senaste decennierna.

Kopplingar mellan exponering och symptom är dock mycket svåra att reda ut. Till exempel så diskuteras det fortfarande om en så pass kraftig exponering som passiv rökning är skadlig [46, 118] (även om flera undersökningar har pekat i den riktningen).

Enligt Björkstén[16] finns det följande "säkra eller sannolika epidemiologiska fakta om astma och andra allergier":

- De grundläggs ofta tidigt i livet.
- De är mer utbredda i städer än på landsbygden.
- De är mer utbredda i norra än i södra Skandinavien.
- De har ökat under de senaste 100 åren, särskilt de senaste 20-30 åren.
- Ökningen uppträdde initialt hos de mer välbeställda medborgarna.
- Ökningen har varit mest påtaglig hos barn och unga vuxna.
- Skillnader mellan länder *kan inte* förklaras av luftföroreningar, luftvägsinfektioner eller amningsfrekvens.
- De ökar i länder som industrialiseras.
- De är även mycket utbredda bland de mest välbeställda i utvecklingsländer.

Det har lagts ner stort arbete på att finna de miljöfaktorer som orsakar ökande astma och allergi. Det är dock inte lätt att säkert belägga sådana samband. Genom djurförsök tror man sig idag veta[16] att tobaksrök, bilavgaser och SO<sub>2</sub> är riskfaktorer. Andra faktorer som tidigare har nämnts, men som inte har gått att få bekräftade är (minskad) amning, ändrade kostvanor och ökad stress.

Tidigare utgick man från att infektioner alltid var av ondo, men idag diskuterar man om inte infektioner i tidig ålder aktiverar immunförsvaret på rätt sätt och kanske därmed t.o.m. minskar risken för astma och allergier[21]. Detta resonemang bygger bl.a. på att dessa sjukdomar är mycket vanligare i Sverige än i t.ex. de baltiska staterna där den yttre miljön är betydligt sämre med höga halter av t.ex. SO<sub>2</sub> och fler luftvägssjukdomar hos barn. Trångboddhet och många äldre syskon verkar också vara faktorer som minskar risken för allergi[21].

Sensibiliserande ämnen är antingen naturliga högmolekylära ämnen som proteiner, eller lågmolekylära irriterande ämnen som formaldehyd[7]. De naturliga ämnena upplevs normalt inte som irriterande på något sätt. Vissa artificiella lågmolekylära ämnen kan bindas till proteiner i kroppen och då bli allergena. Bakke et al.[7, 8] diskuterar olika sätt som kemiska ämnen kan fungera som sensibiliserande ämnen och initiera astma, samt ger exempel på ämnen som man idag vet har dessa egenskaper.

Kvalsteravföring innehåller allergener som många människor reagerar för. Eftersom vi i stort sett enbart kommer i kontakt med kvalster i våra byggnader är detta ett inomhusproblem. Vad gäller mögel är situationen inte lika klar[90]. De studier som har gjorts om kopplingarna mellan fukt i hus, som skulle vara ett mått på mögelförekomst, och symptom har gett osäkra resultat. Det finns dock fall då människor har blivit sjuka då de har utsatts för aerosoler innehållande mögel eller bakterier. Dessa kommer då oftast från dåligt underhållna luftfuktare ("humidifier fever"). Symptomen liknar influensa och verkar bero på känslighet mot vissa ämnen. Endotoxiner från s.k. gram-negativa bakterier nämns ofta som en orsak till denna typ av problem[90].

Exponering för allergen i tidig ålder anses öka risken för senare utveckling av överkänslighet. För pollen och kvalster har man visat att barn födda några få månader innan dessa allergiframkallande ämnen har sitt årliga maximum har större andel överkänslighet[90]. Detta skulle innebära att det är under de första få månaderna av en människas liv som immunförsvaret kan fås i obalans med ökad risk för överkänslighet och allergi som följd. Det har på samma sätt visats att de som exponeras för katt eller hund under sitt första levnadsår löper större risk att senare i livet bli överkänsliga mot dessa djur[90].

### *Legionärsjukan och sjukdomar som enbart sprids i byggnader*

I amerikansk litteratur skiljer man ibland på SBS ("Sick Building Syndrome") och BRI ("Building Related Illness"). Det senare är sådana diagnostiserbara sjukdomstillstånd som direkt kan kopplas till en viss faktor i en byggnad. Ett exempel på BRI är den allvarliga legionärsjukan som orsakas av bakterien *Legionella pneumophila* som kan spridas från dåligt rengjorda luftfuktare. Denna uppdelning är dock svår att göra i många fall[96].

Bakterien *Legionella pneumophila* är vanlig i vatten i naturen och smittar normalt inte människor. Den kan dock komma in i och föröka sig i dåligt skötta luftfuktare eller andra system med stillastående vatten. Spridningen sker genom att människor inandas vattenaerosoler innehållande bakterier. Aerosolerna kan bildas på många vis, t.ex. i befuktare, duschar och verkstadsmaskiner (med vattenbaserade kylmedel). Sjukdomen är en sorts lunginflammation med hög dödlighet hos framförallt äldre människor och människor som redan är sjuka i andra sjukdomar. Det finns även mindre aggressiva varianter av bakterien *L. pneumophila* som ger influensaliknande symptom, t.ex. Pontiacfeber. De flesta utbrotten av dessa sjukdomar sker på sjukhus, hotell och liknande byggnader med centrala luftbehandlingssystem och sjukdomarna sprids ej från person till person[60]. Eftersom man idag väl känner hur *Legionella* sprids kan man genom regelbunden skötsel och förebyggande åtgärder förhindra att den sprids i byggnader[60].

I amerikansk litteratur[14] räknar man ibland även t.ex. astma till BRI om symptomen uppkommer när man utsätts för en allergen som finns i en byggnad. I skandinavisk litteratur görs ej uppdelningen mellan SBS och BRI. En anledning är kanske att vi inte har så många luftbehandlingsaggregat som kan sprida legionärsjuka och liknande sjukdomar.

### **Föroreningar i inomhusluften**

Det finns en stor mängd ämnen i luften, från enskilda molekyler i gasfas till större partiklar (aerosoler). Halterna av föroreningar i inomhusluften varierar kraftigt mellan olika byggnader, tidpunkter och aktiviteter, och kommer från många olika källor: utomhusluften, aktiviteter, inredning, byggnadsmaterial, människor och djur, och mikrobiologisk aktivitet[34]. Det är huvudsakligen bland emissioner som man har letat och fortfarande letar efter orsaken till sjuka-hus-sjukan. Utvecklingen av mätteknik har nu också gått så långt att man rutinmässigt kan mäta extremt låga halter av organiska föroreningar i luft. Tyvärr har man inte nått lika långt i kunskapsuppbyggandet när det gäller hur man skall tolka mätresultaten och vad man

skall göra efter mätningen. I stort sett saknas toxikologisk och medicinsk kunskap om effekten av extremt låga halter av kemiska ämnen[3].

### *Organiska ämnen*

Under denna rubrik sammanfattar jag allmän kunskap om organiska ämnen i inomhusluften. Vissa viktiga organiska ämnen behandlas dessutom var för sig efter denna inledning. I många undersökningar av inomhusluft detekterar man i storleksordningen hundra olika organiska föreningar, de flesta i mycket låga halter[39]. Exempel på ämnen man kan hitta är alkaner (t.ex. hexan), cyclohexaner (t.ex. cyklohexan), aromatiska kolväten (t.ex. toluen), klorerade kolväten (t.ex. trikloretylen), terpener (t.ex.  $\alpha$ -pinen), karbonyler (t.ex. etylacetat) och alkoholer (t.ex. 2-etylhexanol). Vilka ämnen man finner beror förstås på vilken byggnad man undersöker och vid vilken tidpunkt den undersöks. Även vilket land byggnaden ligger i spelar roll; t.ex. finner man mycket högre halter av klorerade kolväten i amerikanska byggnader än i europeiska beroende på att dessa ämnen används mer i USA än i Europa[41].

Det är väl känt att det är vissa egenskaper som gör ämnen irriterande, t.ex. förmågan att bryta disulfidbindningar, förmågan att oxidera tiolgrupper, eller att medverka vid syra-bas-reaktioner, men dessa allmänna karakteristika utgör inte tillräcklig grund för att uppskatta hur farliga eller irriterande olika ämnen är[25]. Dessutom finns det ingen grund till att klassificera ämnen som ofarliga bara för att vi inte förefaller störas av dem. Ämnen som luktar illa ger oss dock ofta en obehagsupplevelse som gör att vi tycker att innemiljön är dålig. Vårt sätt att reagera såväl känslomässigt som kroppsligt påverkas därför av hur våra sinnen upplever ämnen[25].

Organiska föreningar kan dels uppträda i gasform, dels som fasta eller flytande ämnen i form av aerosoler. Det huvudsakliga intresset i samband med sjuka hus har koncentrerats kring de gasformiga ämnena. Dessa flyktiga organiska ämnen kallas oftast VOC ("Volatile Organic Compounds"). Mäter man en summakoncentration av olika VOC kallas denna TVOC ("Total VOC").

Flyktigheten hos organiska molekyler skiljer sig avsevärt. Hög flyktighet kännetecknar mindre molekyler med svaga bindningar. Dessa ämnen har låg kokpunkt och högt ångtryck, två egenskaper som används för att klassificera organiska ämnen i inomhusmiljön. Man har visat på samband mellan ångtryck och tröskelnivåer för när man kan känna ett visst ämne med näsan[30].

Ibland används en finare indelning av organiska ämnen i inomhusluften[74]:

VVOC	"Very Volatile Organic Compounds"
VOC	"Volatile Organic Compounds"
SVOC	"Semi-Volatile Organic Compounds"
POM	"Particulate Organic Material"

Dessutom används förkortningen MVOC ("Microbiological/Metabolic Volatile Organic Compounds") för ämnen som har biologiskt ursprung.

Enligt Mölhave[74] är det främst VOC som är av intresse i inomhusmiljön eftersom VVOC är så flyktiga att deras koncentrationer sjunker mycket snabbt medan SVOC och POM är så svagt flyktiga att deras toxikologiska effekt kan försummas. Det senare är dock inte helt självklart då SVOC och POM mycket väl kan inhaleras via partiklar som deponeras i lungorna.

För arbetsplatser finns det gränsvärden för flyktiga ämnen. De halter man finner i byggnader är dock oftast flera tiopotenser lägre än dessa gränsvärden[39]. Det finns heller ännu ingen vetenskaplig grund att sätta gränsvärden för flyktiga ämnen i inomhusluften,

undantaget formaldehyd. Man har dock diskuterat att använda gränsvärden för olika grupper av organiska ämnen eller ett gränsvärde för alla flyktiga ämnen[69]. Det har diskuterats mycket om TVOC, den totala mängden VOC uttryckt som toluenekvivalenter, är ett användbart mått på inomhusmiljöns kvalitet. Framförallt är det Mölhaves [74] som har förespråkat en försiktig användning av TVOC och gett följande gränser:

TVOC mg/m <sup>3</sup>	symptom	område
<0,2	inga	komfortområdet
0,2-3	irritation möjlig om andra faktorer påverkar	flerfaktorsområdet
3-25	irritation och huvudvärk om andra faktorer påverkar	otrevnadsområdet
>25	ytterligare neurotoxiska effekter förutom huvudvärk	det toxiska området

Användningen av TVOC har dock kritiserats och det finns inga vetenskapliga bevis för att man skulle kunna sätta användbara gränsvärden för TVOC[5]. I brist på något bättre kan en försiktig användning av TVOC-begreppet ändå ge en fingervisning om vilken föroreningsnivå man har i en lokal[74].

En uppdelning i olika typer av ämnen har föreslagits av Seifert[69]. Förenklat innebär den att man har gränsvärden för följande grupper av ämnen (formaldehyd räknas inte in i gruppen aldehyder och ketoner, utan bedöms separat):

typ av organiskt ämne	gränsvärde mg/m <sup>3</sup>
alkaner	0,1
aromatiska kolväten	0,05
terpener	0,03
halogenerade kolväten	0,02
estrar	0,02
aldehyder och ketoner	0,02
andra ämnen	0,05

Mölhaves och Seiferts gränsvärden bygger inte på toxikologiska resonemang, utan på hur retande olika ämnen är. Även om det i vissa fall kan finnas en koppling mellan t.ex. retning av slemhinnor och farlighet i någon bemärkelse, som t.ex. för ammoniak och svavelväte, så finns det många farliga ämnen som vi inte kan upptäcka med våra sinnen, t.ex. koloxid.

Seiferts uppdelning bygger på att man tror att besläktade ämnen har liknande effekter. Detta är dock ett mycket förenklat synsätt som inte kan ge mycket mer än TVOC-begreppet. Dessutom bygger båda dessa försök till gränsvärden på att lika massor av helt olika ämnen har samma effekt. Det kan knappast vara så. Exempelvis har en molekyl av det relativt ogiftiga ämnet etanol att få större massa än en molekyl av det giftiga ämnet metanol

### Formaldehyd

Det mest kända flyktiga organiska ämnet inomhus är *formaldehyd* (CH<sub>2</sub>O). Det är en vattenlöslig och irriterande gas som har stor industriell användning, bl.a. i trälimmer och i vissa plaster. En viss andel av formaldehyden i sådana produkter är fri att diffundera ut ur

materialet. Det finns dock även en viss låg naturlig halt av formaldehyd från t.ex. trä. Halterna av formaldehyd i inomhusluft kunde tidigare bli mycket höga i nybyggda hus och i byggnader med ny inredning. I de flesta fall i Europa var det spån- och MDF-skivor med ureaformaldehydlim som orsakade problemen. I USA var det skummad isolering (UFFI="Urea-Formaldehyde Foamed Insulation") som mest uppmärksammades, framförallt i husbilar uppmättes så höga halter att de som bodde i dem fick stora problem.

Typiska halter i olika miljöer ges i följande tabell[13]:

	formaldehydhalt / $\mu\text{g}/\text{m}^3$
över oceanerna	0.1
bakgrundshalt över land	1
hög halt i industriregion	40
hus isolerat med UFFI	100-800
husbil isolerad med UFFI	500-3700 (max)

Bakgrundshalten över land hörrör från nedbrytning av organiskt material. De högsta halterna är irriterande för de som vistas i lokalerna. I Sverige har man gränsvärden på 100 och 700  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  för nya respektive gamla byggnader[13]. Arbetsplatsgränsvärden ligger på 100-2000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i olika länder[13]. Formaldehyd är det ända ämne för vilket man känner ett dos-respons-samband i lågdosområdet[108].

Formaldehyd är mycket irriterande för ögon, luftvägar och hud[39]. Det har även visats att mer än tio års exponering för höga halter formaldehyd i husbilar gav en ökad risk för näscancer[39]. Det är en av de få klart bevisade kopplingarna mellan en inomhusmiljö och en allvarlig sjukdom. Formaldehyd i låga koncentrationer kan även utlösa astma hos redan sensibiliserade personer[39]; kanske är det också möjligt att bli sensibiliserad genom exponering för formaldehyd i luften.

Formaldehydkoncentrationen i inomhusluft minskar ofta med tiden (värdena för hus och husbil ovan är troligtvis för relativt ny isolering) och beror, förutom på mängden fri formaldehyd i produkten, även på temperatur, fuktighet och ventilation[13, 39].

### Lösningsmedel

Lösningsmedel är väl kända arbetsmiljöfaror och är därför väl studerade, bl.a. finns det modeller för hur de tas upp, omsätts och utsöndras ur kroppen. Halten av de flesta lösningsmedel i blodet når snabbt jämvikt med halten i omgivande luft[91]. Olika lösningsmedel har dock mycket olika jämviktsnivåer och halveringstider i olika delar av kroppen[91]. Det är också känt att det i vissa fall inte är lösningsmedlen själva som är farliga utan metaboliska produkter från kroppens försök att eliminera dem[91].

Eftersom lösningsmedel ofta är mycket flyktiga har de i många fall kort halveringstid i inomhusluften. I ett tyskt fall[41] mätte man t.ex. att halten toluen från ett mattlim avklingade från 30 till 0,1 (bakgrundsvärdet)  $\text{mg}/\text{m}^3$  på tre månader. I amerikanska mätningar av flyktiga ämnen i sjuka byggnader ser man ofta höga halter av klorerade kolväten. Detta avspeglar troligtvis den större användningen av dessa ämnen i USA än i Europa[41].

*Etanol* och *acetone* är två vanliga lösningsmedel som man har arbetsmiljögränsvärden för. De brukar dock undantas i diskussioner om SBS eftersom människor konsumerar stora mängder etanol (jämfört med de som finns i luften) i alkoholhaltiga drycker och andra livsmedel, och acetone återfinns i utandningsluften hos små barn och personer som fastar.

*Lacknafta* ("white spirit") är en syntetisk blandning av delvis aromatiska kolväten som används som lösningsmedel för färger och hydrofoberingsmedel. Eftersom lacknafta är ett

mycket vanligt lösningsmedel för både yrkes- och hobbybruk kommer troligtvis en hel del av olika uppmätta flyktiga organiska ämnen i inomhusluft från lacknafta. Särskilt i några fall med hydrofoberande medel på tegelfasader har höga och långvariga halter av alifatiska kolväten från lacknafta (t.ex. dekan) uppmätts i inomhusluften[41]. Hydrofoberande medel är dock extrema eftersom stora mängder nästan ren lacknafta flödig sprutas på ett mycket sugande underlag (den aktiva produkten är ofta bara ca. 5% av blandningen)[41].

Andra använda lösningsmedelsblandningar är *förtunning* (syntetisk blandning av t.ex. xylen, etylacetat och etanol), och *terpentin* (delvis aromatiskt destillat från träkåda). Särskilt terpentin är intressant eftersom det anses vara betydligt skadligare i yrkesmässig användning än t.ex. lacknafta. Trots det har dess användning troligtvis ökat något de senaste åren eftersom det är en naturprodukt som används vid grundmålning med traditionella linoljefärger.

Ray[91] diskuterar en mängd olika lösningsmedel i inomhusluften, t.ex. bensen, toluen, kloroform och koltetraklorid. Typiskt är att man vet mycket om responsen vid hög exponering, men ingenting om hälsoeffekterna vid de låga halter som återfinns i inomhusmiljön. Ett exempel är toluen där man känner samband mellan följande typiska halter och effekter[91]:

inomhushalter (exempel)	0,01-0,6 mg/m <sup>3</sup>
kan detekteras (lukts)	10 mg/m <sup>3</sup>
arbetsmiljögränsvärde (8h USA)	377 mg/m <sup>3</sup>
ger nedsatt CNS-funktion, huvudvärk och trötthet	200-750 mg/m <sup>3</sup>
ger svaghet och förvirring	750-1130 mg/m <sup>3</sup>

Det är som synes några tiopotenser mellan de halter som återfinns i inomhusmiljön och arbetsmiljögränsvärdet. I framförallt Norden har man dock accepterat att man kan få skador av långtidsexponering för lösningsmedel i lägre halter än de som används som arbetsmiljögränsvärden i t.ex. USA. Framförallt är det styren, men även toluen, tetrakloretylen, trikloretylen och lacknafta som ensamma eller i blandning har utpekats som orsakerna. Symptomen på denna s.k. målarersjuka ("psycho-organic syndrome" eller "solvent-induced pre-senile dementia") är allmänt nedsatt intellektuell funktion. Det är dock inte allmänt accepterat internationellt att man kan få sådana skador av exponering för lösningsmedel[91].

#### *Bekämpningsmedel och träskyddsmedel*

I många länder används stora mängder organiska bekämpningsmedel i och omkring bostäder och andra lokaler. Det gäller både medel för konstruktivt skydd mot röta och termiter, och bekämpningsmedel som används av de boende mot gnagare, ohyra på växter etc. De flesta bekämpningsmedel som används inomhus har låg flyktighet (SVOC) och återfinns därför endast i mycket låga koncentrationer som fria ämnen i inomhusluften[91]. På partiklar kan de dock i princip transporteras runt i inomhusluften. Om man t.ex. använder ett bekämpningsmedel i en luftfuktare för att hindra bakterietillväxt så kan man få bekämpningsmedlet spritt i lokalerna via aerosolen som genereras av fuktaren[75].

Flera i Sverige förbjudna insekticider som DDT och lindan användes förr regelbundet i t.ex. museer[59]. Eftersom dessa ämnen är mycket långlivade kan de fortfarande mätas i höga halter på sådana ställen och då utgöra ett inomhusmiljöproblem. Eftersom de är långlivade och dessutom fortfarande används i många länder kan de mätas i låga halter över hela jorden.

*Pentaklorfenol* (PCP) är ett klorerat kolväte som har använts mycket för impregnering av trä. Det anses idag vara cancerogent och är förbjudet i många länder. Tyska studier har visat

att i byggnader med PCP-impregnerat virke återfinns PCP även i de inneboendes urin samt i damm, och på tapeter och textilier[39].

*Kreosot* (stenkolstjära) är ett effektivt rötskyddsmedel för trä som innehåller huvudsakligen aromatiska kolväten, vissa med hög flyktighet[41]. Eftersom det luktar och smetar av sig används det huvudsakligen för trästolpar och slipers. Gamla stolpar och slipers sågas dock ofta upp och används t.ex. som golv på uteplatser. Inbyggt kreosotbehandlat virke kan ge kraftig lukt och mätbara halter av naftalen och andra kreosotkomponenter[41]. Andra produkter innehållande tjära av olika slag (trätjära och tjärpapp) kan ge liknande problem. Sedan 1992 är det förbjudet att använda kreosotimpregnerat virke i bostadshus i Sverige.

Akuta hälsoeffekter har rapporterats efter användning av träskyddsmedel och medel mot insekter (termiter). Oftast har det gällt ren felanvändning av medlen. I många fall kan man misstänka att det inte är den aktiva substansen som orsakar hälsoproblemen, utan de lösningsmedel som substansen är löst i[39]. Träskyddsmedel för t.ex. fönster appliceras ofta upplösta i lacknafta.

### *Övriga organiska ämnen*

Plaster är oftast inte bara en polymer, utan en blandning av denna och den obundna monomeren, mjukgörare och andra tillsatsmedel. Polymeren själv är inte flyktig, men flera av de andra komponenterna kan avges till omgivningen[41]. Det har sedan länge uppmärksammats att funktionen av reläer och kontakter på telefonstationer kan störas av beläggningar av sådana ämnen. Inom bilindustrin, där man använder allt större andel polymera material, är detta ett stort problem, både för att många konsumenter inte längre uppskattar lukten i en ny bil och för att de ämnen som avges från plastmaterial kondenserar på fönsterrutor och minskar genomsiktligheten (s.k. "fogging")[41].

Det finns några ämnen som förekommer i utredningar kring skador på golvbeläggningar på fuktig betong[41]: dodecylbensen, TXIB, dodecen, 2-etylhexanol osv. Dessa ämnen är antingen ämnen i plastmattor eller nedbrytningsprodukter från mattor och lim i den alkaliska miljön på fuktig betong. Även ämnen med mycket låg flyktighet, som ftalatmjukgörare, kan under ogynnsamma förhållanden brytas ned till ämnen som förorenar inomhusluften. Fuktig betong har ett mycket högt pH som är aggressivt mot många polymera material och deras tillsatsmedel. Detsamma gäller många flytspackel som är baserade på cement[41]. Den potentiellt höga alkaliniteten är dock inget problem så länge som betongen är torr[41].

I Dalen[97] och många andra sjuka-hus fall i Sverige kom problem med missfärgade golv och lukt från en typ av kaseinhaltigt flytspackel som användes 1977-1983[41]. Detta flytspackel var enligt vissa källor inte beständigt ens i kontakt med relativt torr betong som 75% RF[41]. Problemen visade sig både genom missfärgningar av parkett och kork-o-plast, golvmattor som släppte från underlaget, samt som obehaglig lukt[97]. Eftersom denna typ av flytspackel inte längre används, de kemiska processer som gav problemen delvis är outhärdade, och många byggnader sanerade, är den svenska flytspackelproblematiken ett exempel på ett löst sjuka-hus problem, *dock utan att man hittade något säkert samband mellan flytspackel och ohälsa*[97]. Detta visar att begreppet "sjuka hus" är problematiskt eftersom det kan användas dels för byggsador som inte ger människor ohälsa, dels för byggnadsrelaterad ohälsa. Dessutom finns det säkerligen en mängd fall där man talar om "sjuka hus", men där ohälsan har andra orsaker.

Det finns en mängd olika VOC som naturligt utsöndras *från människor* och som kan nå höga halter om ventilationen är dålig. I en amerikansk undersökning[39] fann man att koncentrationerna av ett antal ämnen i ett klassrum mångdubblades under dagtid. Flera av de ämnen man fann (acetone, acetaldehyd, alkylalkohol, amylalkohol, dietylketon, etylacetat, etanol, ättiksyra) härrör troligen direkt från människorna i lokalen, medan vissa andra (t.ex.



toluen) troligen hade sitt ursprung i kläder, parfymer eller saker som eleverna förde med sig in i klassrummet.

I USA har det uppmätts tio gånger så höga halter av *PCB* (polyklorerade bifenyl) i luften inomhus som utomhus[91]. De mest kända inomhuskällorna till *PCB* är elektriska installationer, framförallt transformatorer, och mycket höga koncentrationer i luft har uppmätts efter brand i äldre elektrisk utrustning. Dessutom har *PCB* under en period i slutet av 60-talet använts som mjukgörare i färger och fogmassor. *PCB* är sedan många år förbjudet att använda, men finns kvar framförallt i äldre elutrustning. *PCB* är extremt lipofilt (binds till fetter) och har en mycket långsam utsöndring ur människokroppen. Det anses vara ett av de mer skadliga miljögifterna eftersom det liknar naturliga hormoner. Halterna av *PCB* i inomhusluft är dock så låga att man har bedömt att det endast är efter brand i äldre elektriska installationer i dåligt ventilerade lokaler som *PCB* utgör en hälsofara för människor[91].

Naturliga flyktiga organiska ämnen, t.ex. terpenen  $\alpha$ -pinen, avges i stora mängder från nysågat virke[41]. Det anses allmänt att dessa ämnen luktar gott. Även om det inte finns några bevis på att människor har skadats av dessa ämnen, bör man notera att de är närbesläktade med ämnen som anses farliga vid höga koncentrationer i arbetslivet.

### *Kväveoxider*

Kväveoxiderna bildas vid förbränning. Inomhus genereras de framförallt av tobaksrökning, gasspisar, fotogenkaminer och eldstäder.  $\text{NO}_2$  nämns ofta som en allvarlig luftförorening, men det är ännu inte visat att  $\text{NO}_2$  är farligt för friska människor i de halter som finns t.ex. inomhus[61, 103].  $\text{NO}$  är ej studerat lika mycket, men är betydligt mer reaktivt än  $\text{NO}_2$  och reagerar normalt med luftens syre under bildning av  $\text{NO}_2$ . Eventuellt kan  $\text{NO}$  som bildas vid rökning stabiliseras på rökpartiklar och då utgöra en större hälsofara[103]. Astmatiker är ofta känsliga för ökade halter av kväveoxider.

### *Ozon*

Ozon är en reaktiv och irriterande gas som ibland anses orsaka inomhusproblem, bl.a. genom att delta i reaktioner i inomhusluften vid vilka skadliga ämnen bildas. Dock är normalt ozonhalten högre utomhus än inomhus eftersom ozon huvudsakligen bildas genom fotokemiska reaktioner mellan syre och olika luftföroreningar. Det finns få ozonkällor inomhus (vissa elektriska apparater kan avge ozon). Eftersom de flesta personer spenderar huvuddelen av sin tid inomhus har det dock föreslagits[121] att man skulle installera filter och minska ventilationen när ozonkoncentrationerna är höga utomhus för att minska befolkningens totala exponering för ozon.

### *Partiklar*

Luften utomhus innehåller en stor mängd partiklar med olika ursprung och en stor del av de partiklar som finns i inomhusluften kommer in med ventilationsluften. Detta gäller t.ex. pollen och partiklar från förbränning. I en normal bostad har man en förvånansvärt hög partikelkoncentration. I renrum som operationsrum på sjukhus och anläggningar för elektroniktillverkning minskar man antalet partiklar genom att filtrera luften och undvika partikelgenerering i lokalerna. I extrema fall (t.ex. för tillverkning av tätt packade integrerade kretsar) kan man då uppnå en partikelkoncentration av mindre än 10 partiklar ( $>0,5 \mu\text{m}$ ) per kubikmeter[123].

Partiklar i luften är ofta så små att de uppför sig helt olika större partiklar, bl.a. sedimenterar de inte. Normalt delar man in partiklar i olika typer efter hur de uppför sig i de mänskliga andningsorganen. En ungefärlig uppdelning är följande (tar ej hänsyn till att även partiklarnas densitet spelar en viss roll för hur de uppför sig)[10, 83, 108]:

diameter mindre än 0,5 $\mu\text{m}$	följer med utandningsluften ut
diameter mellan 0,5 och 5 $\mu\text{m}$	kan deponeras i lungorna
diameter mellan 5 och 10 $\mu\text{m}$	fastnar i de övre luftvägarna
diameter över 10 $\mu\text{m}$	kommer ej ned i luftvägarna

Det finns en mängd allvarliga lungsjukdomar som orsakas av arbete med höga halter av partiklar. Mest känt i Sverige är kanske silikos som drabbade arbetare i miljöer med höga halter kvartsdamm. Det är dock vanligare att organiska naturmaterial ger problem, som t.ex. vid s.k. justerverkssjuka som orsakas av extremt höga halter av mögelsporer i luften i sågverk. Internationellt är "byssinosis" som drabbar textilarbetare en välkänd sjukdom. Man vet dock ej exakt vad som orsakar den, men senare tiders forskning har visat att endotoxiner kan vara en generell orsak till många av dessa sjukdomar[79]. Listan på partikelgenererande material som kan ge problem är mycket lång. Möjligt är att det är en kombination av ämnen i en produkt och ämnen producerade av mögel eller bakterier som ger problem.

Pollen från blommande växter uppträder säsongvis och är mycket vanliga allergener. Det är främst vissa vindpollinerade växter som ger problem. I Sverige är det främst björk tidigt på våren, gräs fram till midsommar, och gråbo under sommaren. Allergenerna är naturliga proteiner på pollenpartiklarna. Även svampsporer förekommer säsongvis; ofta i högre halter än pollen[79]. De flesta sporer genereras utomhus och det är ovanligt med högre sporhalter inomhus än utomhus[10].

Partiklar från förbränning är ofta små (0,07-0,2  $\mu\text{m}$  [32]). Innehållet i dem beror på vad som bränns, förbränningstemperaturen och tillgången på syre vid förbränningen. Huvudbeståndsdelen är olika tjärliknande organiska ämnen, vilket gör att sådana partiklar ofta klibbar fast på väggen vid luftintag[32].

Tobaksrökning genererar stora mängder partiklar innehållande en mängd hälsofarliga ämnen. Rökning av en cigarett genererar över  $10^{12}$  partiklar[46, 118]. Att tobaksrökning är farligt är alla överens om, men farorna med passiv rökning diskuteras fortfarande[46, 118]. För barn verkar det dock vara klarlagt att passiv rökning leder till ökad risk för astma[38]. Sett ur SBS-perspektiv skulle man dock kunna säga att om man röker i en normalt ventilerad lokal så avges det så mycket misstänkt farliga ämnen i höga koncentrationer att de dränker de flesta andra emissionskällor.

Även människor genererar partiklar. Det har beräknats att en människa avsöndrar nästan  $10^7$  partiklar/min och att var och en av dessa bär med sig i genomsnitt fyra mikroorganismer[14]. De flesta av dessa partiklar är hudflagor och hudceller. I renrum har personalen speciella kläder för att dessa partiklar ej skall förorena lokalen[123].

### *Fibrer*

Fibrer uppför sig i huvudsak som andra partiklar, men eftersom de är långa uppför sig en fiber ungefär som en sfärisk partikel (av samma material) med något större diameter. Långa fibrer kan dessutom också fastna tidigare i de lägre luftvägarna än mer sfäriska partiklar och därmed ha annorlunda egenskaper än dessa.

Asbest är ett samlingsnamn på en grupp silikatmineral med fiberlika kristaller[20] som har använts för isolering i ventilationsanläggningar, i bromsklossar på bilar, som armering i byggnadsmaterial etc. I byggnader är det framförallt asbest i ventilationsanläggningar och asbest som frigörs vid rivning av asbesthaltiga material som har uppmärksammats.

Asbestmaterial var mycket använda tills det visade sig att regelbunden inandning av asbestfibrer, framförallt i kombination med rökning, leder till starkt ökad risk för lungcancer och ett antal andra allvarliga sjukdomar i andningsvägarna[39]. De studier som är gjorda

gäller personer som har hanterat asbest i sitt arbete och därmed utsatts för mycket höga halter fibrer. Enligt Godish[39] har man genom att extrapolera resultat från epidemiologiska undersökningar av asbestarbetare kommit fram till att asbestfibrer i inomhusmiljö kan vara en hälsorisk eftersom man inte har sett någon undre koncentration under vilken dessa fibrer ej skulle vara skadliga. Brown et al.[20] menar dock att det inte finns några bevis för att de normala bakgrunds nivåer av mineralfibrer skulle vara skadliga. Kroppen skulle med andra ord kunna ta hand om en viss mängd fibrer utan att skadas. Hicks[46] menar att asbest inte orsakar problem i byggnader i sig, men att det finns en stark psykologisk laddning kring asbest så att de som vistas i en byggnad där man vet att det finns asbest blir mer uppmärksamma på andra problem.

En annan typ av fibrer är industriellt framställda mineralfibrer som glasull, stenull och glasfiber. Dessa fibrer är inte kristallina utan ca. 5 µm grova fibrer som framställs direkt ur en smälta (de kan dock delvis kristallisera med tiden, s.k. devitrifikation). De kan vara irriterande för hud och andningsvägar om man arbetar med dem. Det finns dock inga bevis för att de skulle utgöra någon risk av den typ som asbest utgör, inte ens för personer som arbetar dagligen med dem[20].

Frågan varför just asbestfibrer är farligare än andra fibrer har ännu ej kunnat besvaras fullständigt. Det finns några egenskaper som skiljer olika fibertyperna åt. För det första kan asbestfibrer dela sig på längden i mindre och mindre fibrer som får större och större yta samtidigt som de blir mer och mer respirabla[20]. Konstgjorda fibrer bryts däremot sönder in kortare bitar som inte får ökad tendens till att deponeras. För det andra har det visat sig att vissa typer av asbestfibrer har längre uppehållstid i lungvävnaden[20]. Dessa asbesttyper har ansetts vara de mest farliga eftersom de återfinns i störst mängd i lungvävnad från personer som avlidit av sjukdomar orsakade av asbest, fastän det kan vara andra asbestfibrer som är vanligare i luften. Mekanismerna bakom att de kvarstannar i är dock inte klarlagda.

Fibrer av kalciumsilikat och kalciumsulfat används för att förstärka gipsprodukter. Kanske är dessa de vanligaste konstgjorda fibrerna i inomhusmiljön[20]. I inomhusmiljön finns det även en stor mängd fibrer av biologiskt ursprung från textilier och djur.

### *Biologiska föroreningar*

En stor del av de föroreningar som man hittar inomhus har sitt ursprung i människor, djur och mikroorganismer. Flera av dessa föroreningar är potenta allergener och det finns även ämnen som har hög toxicitet i denna gruppen.

*Mögelsvampar* och *missfärgande svampar* kan växa på ytor där den relativa fuktigheten är högre än ca. 75%. Eftersom detta värde ofta överskrids i t.ex. dusch- och badrum, på dåligt isolerade väggar, och i kryprum, är det inte ovanligt med svag mögeltillväxt i byggnader. Mögelsvamparnas behov av syre och näring uppfylls på de flesta ytor, i varje fall om man ser till de långa tidsperspektiv som gäller för byggnader[78]. De typer av svampar man hittar inomhus är ungefär desamma som de man finner i lantbruksbyggnader; de är dock inte desamma som de man finner i naturen[72].

Mögelsporer anses vara orsaken till mögelallergi[39], men mögel avger även irriterande flyktiga ämnen[15] som t.ex. kan påverka luftvägarnas skyddsmekanismer[52]. Halterna i byggnader är dock normalt mycket lägre än de som anses vara utan risk i arbetslivet[72] så kopplingen mellan mögel och sjukdom i byggnader är oklar. Det har visat sig att personer som i pricktester reagerat för en viss typ av mögel också har högre halt av sporer av dessa svampar i sina bostäder[31].

*Stachybotrys atra* har nämnts som en särskilt farlig mögelsvamp eftersom den kan producera starka toxiner[51, 72]. Den har främst hittats i monokulturer på gipsskivor. Toxinproduktion hos svampar är ett mycket svårundersökt eftersom olika svampsorter

producerar olika ämnen på samma substrat, samma svampsort producerar olika ämnen på olika substrat, och de producerade ämnena är olika vid olika temperatur och fuktighet[48]

*Rötsvampar* kräver högre fuktighet än mögelsvampar; substratet bör innehålla något fritt vatten för snabb tillväxt. Detta betyder att rötsvampar främst är ett problem vid felkonstruerade byggnader som ger hög fukthalt i material eller inomhus vid vattenläckage. Rötsvampar anses normalt inte vara ett sjuka-hus problem. Om den äkta hussvampen *Serpula lacrymans* får bilda fruktkroppar så kan dessa dock avge mycket stora mängder sporer som lätt sprider sig i en byggnad.

*Bakterier* anses normalt inte vara ett inomhusproblem utom i speciella fall som legionärsjukan. Möjligtvis kommer denna uppfattning att revideras i framtiden då man idag diskuterar frågan om förekomsten av endotoxiner i inomhusmiljön kan medföra hälsofara. Endotoxiner är gifter som finns inne i bakterier och kommer ut i miljön först när bakterierna dör. Det finns finska forskare som anser att bakterien *Bacillus cereus* kan producera toxin på byggnadsmaterial vilket påstås kunna förklara stora delar av sjuka-hus-problematiken[6].

*Virus* kan inte fortplanta sig på egen hand utan behöver invadera celler och ta över deras reproduktionsmekanism. De är mycket ömtåliga utanför sina värdorganismer och anses inte vara något större inomhusproblem eftersom de inte kan reproducera sig i t.ex. luftfuktare[14]. Smittspridning av t.ex. influensa och förkylning sker visserligen med hjälp av virus i luftburna vattendroppar, men det finns inga bevis på att man kan påverka denna smittspridning genom byggnadsutformningen.

*Kvalster* har alltmer uppmärksammats som ett allvarligt inomhusproblem eftersom en stor andel av befolkningen i t.ex. Danmark och USA har antikroppar i blodet mot allergener i kvalsteravföring. Kvalster är små spindeldjur som är ca. 0,25 mm långa. Eftersom de är genomskinliga så kan man ej se dem men blotta ögat[39]. I inomhusmiljöer hittar man oftast *Dermatophagoides pteronyssinus* i Europa och *D. farinae* i Nordamerika. En skillnad mellan olika sidor av Atlanten är att kvalstren huvudsakligen hittas i sängar i Europa och i heltäckningsmattor i USA. Om denna skillnad beror på skillnader i kvalstren, inredningen eller undersökningsmetodiken är okänt. Halten kvalsterallergen påstås ha ökat de senare åren, men detta påstående är inte väldokumenterat[68].

Precis som för mögel är det fuktillgången som är den huvudsakliga begränsande faktorn för kvalster. Undersökningar har visat att vid fuktnivåer under ca. 70% RF dör kvalstren[10] (en effektiv kontroll av kvalster kräver dock att rumsfuktigheten hålls på ca. 50%[39, 90]). De kan alltså enbart leva i miljöer med konstant hög fuktighet, och man mäter också högst koncentrationer av kvalster under sommarmånaderna då det är fuktigast inomhus.

En annan begränsande faktor är att kvalstren lever av skinnflagor från människor. Enligt vissa uppgifter kräver kvalstren att skinnflagorna först "avfettas" genom mögelsvampars aktivitet[39]. Kvalster har framgångsrikt bekämpats med acaricider (spindelgifter, t.ex. bensoesyrestrar), men även fungicider (svampgifter); de senare verkar förhindra den avfettning av skinnflagorna som är nödvändig för att kvalstren skall trivas[39]. Man kan även hålla nere kvalsterpopulationen genom att behandla möbler[94] och annan textil inredning med flytande kväve.

Pälsdjur, framförallt katt och hund, har uppmärksammats som en riskfaktor vad gäller astma, och idag rekommenderas familjer med atopiska barn att inte ha pälsdjur. De dos-respons-samband som finns för överkänslighet mot pälsdjur kommer huvudsakligen från undersökningar av människor som arbetar med försöksdjur[29]. Olika undersökningar har kommit till olika slutsatser vad gäller vilka djur som man lättast utvecklar allergi mot. Katt har nämnts i en skandinavisk undersökning, medan en amerikansk undersökning fann att flest personer var känsliga för råttor[29]. I Sverige anses kattallergen vara en huvudorsak till allergier och vissa forskare verkar anse att man ej bör ha katter inomhus om man har barn[66].

En ökande exponeringen för pälsdjursallergen sägs vara en orsak till den observerade ökningen av astma under de senaste årtiondena. Det är dock svårt att dokumentera en ökning av antalet husdjur under denna tid[68].

Hållandet av burfåglar har visat sig öka risken för överkänslighetsreaktioner[39] och även cancer[29, 70]. Bland försöksdjurspersonal har man även funnit överkänslighet mot insekter, t.ex. kackerlackor[29].

### *Radon*

Normalt anses inte radon ha någon koppling till SBS (se dock nedan), men liksom för asbest så har radon kommit att bli en symbol för farorna i inomhusmiljön. Radon diskuteras därför i många böcker om SBS[10, 39, 46, 67].

Radon är två isotoper av ett radioaktivt gasformigt ämne som är en del av sönderfallskedjorna som börjar med naturligt uran-238 eller thorium-232 och slutar med de stabila blyisotoperna 206 och 208. I sönderfallskedjorna finns många olika radioaktiva ämnen men de två isotoperna av ädelgasen radon är de enda som är gasformiga och som därmed kan spridas genom både diffusion och konvektion[67]. Det betyder att radonisotoperna och de radioaktiva ämnen som de sönderfaller till (s.k. radondöttrar) kan vara en hälsorisk i byggnader; särskilt i Sverige och andra länder med stor andel uranhaltig mark.

*Radon-220* i sönderfallskedjan som börjar med thorium har en halveringstid på endast 55 sekunder, så den hinner knappast komma ut i rumsluften innan den sönderfaller. *Radon-222* i uran-238:s sönderfallskedja har däremot en halveringstid på 3,8 dagar och den har då tid på sig att diffundera ut i inomhusluften och sönderfalla till polonium-218 och vidare till andra radondöttrar. Radondöttrarna är huvudsakligen absorberade på partiklar och kan därmed föras ner i luftvägarna[67].

Radon bildas i marken som i t.ex. Sverige ofta har mycket hög radonhalt. Transporten in i byggnader sker genom konvektion och (till en mindre del) diffusion genom golv och väggar under mark. Särskilt i byggnader med undertryck kan radonhalterna bli höga. Även vatten och vissa typer av byggnadsmaterial (i Sverige framförallt en typ av lättbetong, blåbetong) kan vara radonkällor. I marken är det uranhaltiga mineral, i Sverige huvudsakligen alunskifferar, som innehåller uran.

Radondöttrarna är elektriskt laddade när de bildas och kan då attrahera partiklar från t.ex. tobaksrök[67]. På så sätt kan de påverka partikelfördelningen i luften. Det är dock oklart hur detta påverkar riskerna i inomhusmiljön.

Riskuppskattningar för radon i byggnader bygger huvudsakligen på studier av gruvarbetare som utsätts för mycket höga radonhalter. En huvudslutsats från dessa undersökningar är att rökare löper mycket större risk än icke-rökare att drabbas av lungcancer vid radonexponering[96]. Vissa epidemiologiska undersökningar av radon i bostäder är också gjorda och indikerar ett samband mellan hög radonhalt och lungcancer.

Följande åtgärdsgränsvärden har föreslagits i Sverige[67]:

- $<150 \text{ Bq/m}^3$ . Inga eller endast enkla åtgärder (t.ex. tätning av sprickor i bottenplatta).
- $150\text{-}500 \text{ Bq/m}^3$ . Åtgärder rekommenderas.
- $>500 \text{ Bq/m}^3$ . Snabba inledande åtgärder krävs. Upprepade mätningar för att bestämma långsiktiga åtgärder.

Dessa gränsvärden och åtgärdsnivåer bygger både på en riskbedömning och vad som är ekonomiskt möjligt. I Sverige är radonhalterna höga jämfört med många andra länder och kostnaden för åtgärder som får ner radonhalten i samtliga byggnader under t.ex.  $150 \text{ Bq/m}^3$  är troligen mycket höga.

Det är intressant att notera att radonproblematiken i mycket liknar sjuka-hus-problematiken: man misstänker att något i våra bostäder och arbetsplatser som man inte kan uppfatta med sinnena är hälsofarligt. I båda fallen rör det sig om långa exponeringstider och relativt låga risker och det är därför mycket svårt att hitta lämpliga gränsvärden. I radonfallet verkar man ha kommit något längre, troligtvis för att problemet är enklare eftersom det är en begränsad grupp av ämnen som man utsätts för. En skillnad kan också vara att staten känner ett starkare engagemang vad gäller radon eftersom radonet kommer från marken som staten känner ett visst ansvar för. De andra SBS-problemen tros ofta härröra från byggnaden och byggnadsmaterialen som till stor del är byggtreprenörers och byggmaterialtillverkares ansvar.

### Föroreningarnas ursprung

Föroreningarna i inomhusluften har sina ursprung i de mest skilda miljöer. Så kan t.ex. en sotpartikel komma från ett kolkraftverk i Tyskland eller från en vedeldad kamin i det egna huset; aceton kan avdunsta från ett nagellacksborttagningsmedel eller bildas naturligt i kroppen hos små barn; ozon kan bildas vid fotokemiska reaktioner utomhus eller genereras av elektrisk utrustning inomhus.

Det finns idag en del modeller för simulering av hur föroreningar sprids i byggnader[41]. Data för varifrån emissionerna kommer saknas dock ofta. Nedan följer en kort genomgång av föroreningskällor.

#### *Emissioner utifrån*

Inomhusluften påverkas i hög grad av utomhusluften[32] som ju framförallt i storstäder och industrialiserade områden kan vara dålig[70].

#### *Byggnadsmaterial*

Flyktiga ämnen kan emitteras från byggnadsmaterial på huvudsakligen två olika sätt[41]:

- Direkt avdunstning av fria ämnen i materialet.
- Avdunstning av ämnen bildade vid kemiska reaktioner i material

De byggnadsmaterial som orsakar störst problem är oftast de som har en stor yta exponerad mot inomhusmiljön, dvs. golv-, vägg- och takmaterial. Färger och skiktmaterial (golvbeläggningar och skivor) bör därför ägnas särskilt uppmärksamhet. För utvecklandet av renrum har man noga undersökt ytmaterial vad gäller VOC-emissioner, partikelavgång och mikrobiologisk tillväxt[28].

Följande amerikanska sammanställning ger en översikt över var ifrån några av de ämnen man finner i högst halter i inomhusluften kommer (notera att vilka ämnen man finner beror på när och var man gör en undersökning; så finns det t.ex. knappast bensen i nya fogmassor i Sverige)[39]:

fogmassa av latex	metyletylketon, butylpropionat, 2-butoxyetanol, butanol, bensen, toluen
golvlim	nonan, dekan, undekan, dimetyloktan, 2-metylnonan, dimetylbensen
spånskiva	formaldehyd, aceton, hexanal, propanol, butanon, benzaldehyd, bensen
malmedel	p-diklorbensen
golvvax	nonan, dekan, undekan, dimetyloktan, trimetylcycklohexan, etylmetylbensen
trälasyr(woodstain)	nonan, decan, undekan, metyloktan, dimetylnonan, trimetylbensen
latexfärg	2-propanol, butanon, etylbensen, propylbensen, 1,1'-oxybisbutan, butylpropionat, toluen

möbelpolish	trimetylpentan, dimetylhexan, trimetylhexan, trimetylheptan, etylbensen, limonen
polyuretan"golvfinish"	nonan, dekan, undekan, butanon, etylbensen, dimetylhexan
room freshener	nonan, dekan, undekan, etylheptan, limonen, syntetiska doftämnen

Nya produkter ger nya emissioner. Så t.ex. har lösningsmedelsbaserade färger ersatts av sådana som kan spädas med vatten. För det mänskliga luktsinnet känns det som om den vattenbaserade färgen inte innehåller flyktiga ämnen, men detta är främst för att vi inte kan upptäcka dem med våra sinnen[39]. Emissionerna från ett material minskar nästan undantagslöst med tiden. Åldring av material är därför nästan alltid bra för att minska emissioner[39].

### *Inredning*

En ofta bortglömd källa till emissioner är inredning. Särskilt vid frekventa byten av möbler, textilier och fast inredning kommer t.ex. formaldehydmissionerna att öka då många föroreningar från inredningar inte bildas kontinuerligt i materialen utan har en relativt kort emitteringstid.

### *Återemission av absorberade ämnen*

En mycket viktig faktor i emissionsbalanser är de ämnen som absorberas och desorberas av inredning, textilier och byggnadsmaterial. Tyvärr är mycket litet känt om hur andra ämnen än vattenånga uppför sig i detta avseende.

### *Aktiviteter*

I arbetsmiljöer är det ju väl känt att det kan finnas farliga ämnen i luften som har sitt ursprung i de aktiviteter som utförs, t.ex. lösningsmedel eller iso-cyanater. Detsamma gäller dock även bostäder och kontor. Det finns en mängd olika aktiviteter som kan ge höga emissioner utan att de som vistas i lokalerna är medvetna om riskerna med detta eller använder skyddsutrustning. Målning och modellplansbygge kan t.ex. generera höga lösningsmedelshalter[122].

### *Biogena emissioner*

Människor, djur, mikroorganismer och även växter avger en mängd olika gaser och partiklar. Oftast är dessa ofarliga och bidrar enbart till att luften känns unken i en dåligt ventilerad byggnad. Mikroorganismer kan dock producera kraftiga toxiner och de flesta allergen har ett biologiskt ursprung.

### *Kemiska reaktioner i inomhusluften*

Vissa typer av kemiska reaktioner kan ske mellan föroreningar i inomhusluft[120]. Framförallt gäller det reaktioner där ozon medverkar, så kan t.ex. ozon och terpenener reagera och bilda aldehyder. Detta är dock troligen en ovanlig föroreningskälla.

## **Andra möjliga orsaker till SBS**

Det anses att det finns en koppling mellan byggnaden och hälsotillståndet hos dem som vistas i byggnaden. För att kunna förbättra hälsotillståndet måste man känna vad det är som orsakar problemen. Man kan då undersöka t.ex. luftföroreningar emitterade av byggnadsmaterial. Det finns dock en stor mängd andra exponeringar som inte är kopplade till byggnaden, t.ex. den mat vi äter. Detta är en genomgång av sådana faktorer som man inte automatiskt kan bortse ifrån. Vissa av dem skulle t.ex. kunna förstärka effekten av andra mera uppenbara faktorer.

Det har skett en mängd olika förändring av livsstil och miljö sedan andra världskriget i industriländer med marknadsekonomi (huvudsakligen enligt Björkstén [17]):

- Urbanisering: ändrade levnadsvanor, exponering för luftföroreningar.
- Kostvanor: "nya" livsmedel, bredare sortiment, många tillsatser i maten, industriellt tillverkade livsmedel.
- Byggnadsmetoder: nya byggnadsmaterial (t.ex. polymera material), tätare hus och bättre värmeisolering, ändrad byggteknik.
- Hemmiljö: större bostäder, många olika hushållskemikalier, ökad hygien.
- Levnadsvanor: mera inomhusvistelse, många miljöbyten, högre tempo.

### *Psykologiska faktorer*

Särskilt innan SBS var ett allmänt erkänt problem förklarades ofta massiva hälsoproblem i en byggnad på psykologiska faktorer. Man pekade bl.a. på att det fanns beskrivet fall av masshysteri ("Mass Psychogenic Illness", MPI) då olika symptom spridit sig snabbt på arbetsplatser för att sedan lika snabbt försvinna utan att man kunde finna någon medicinsk förklaring. Det har dock visat sig att även om det finns vissa likheter mellan SBS och MPI (t.ex. att det ofta inträffade på arbetsplatser där man ej kan påverka sin arbetssituation) går det inte att förklara SBS som en typ av MPI[104, 109]. Det går dock ej att komma ifrån att det finns psykologiska faktorer som påverkar vår upplevelse av inomhusmiljö och hälsa

Stress är möjligtvis den viktigaste psykologiska kopplingen till SBS. Man anser idag att stress är ett av de större arbetsmiljöproblemen. Visserligen pratar man ofta om att viss stress kan vara positiv, men den stress som ger problem är den långvariga känslan av att ens kapacitet inte räcker för att uppfylla arbetsplatsens krav[104]. Organisationsfaktorer har i vissa fall uppgetts vara den enda rimliga förklaringen till sjuka-hus-klagomål på en arbetsplats[26]; i många undersökningar markerar författarna att psykosociala förhållanden troligen spelar en stor roll för upplevelsen av inomhusmiljön[37]. Det är därför mycket oklokt att inte ta klagomål på osynliga hot som ämnen i inomhusmiljön på allvar[104]. Chefer, fastighetsförvaltare och konsulter bör ha inställningen att de som rapporterar symptom eller misstänker att de utsätts för någon typ av farlig exponering gör det på allvar och med goda avsikter

Det går inte att bortse från att mediernas stora intresse för SBS kan ha ökat antalet människor som upplever att de bor i sjuka hus. Kanske diskuterar vi riskerna i inomhusmiljön mer än vad som är nyttigt för oss[70]. Detta är troligtvis en kombinerad effekt av att många människor är intresserade av risker i sin omgivning, och att vetenskapliga resultat i media ofta misstolkas eller tillmäts större betydelse än vad de förtjänar.

Eriksson[36] beskriver i följande punkter hur SBS framställs i medierna:

- Besvären ökar.
- Omfattande konsekvenser för de drabbade.
- Besvären specifika medan orsakerna är oklara.
- Myndigheter, sjukvård och forskare ej tar de drabbade på allvar.

Detta senaste är självklart olyckligt och en grogrund för misstänksamhet hos befolkningen, kanske särskilt i Sverige som under en lång tid har haft ett mycket reglerat byggande.

Från studier av hur människor upplever inomhusklimat (temperatur, luftfuktighet etc.) har man kommit fram till att det är omöjligt att hitta ett optimalt klimat som alla är nöjda med[69]. Fanger har visat att en liten andel av människorna i en byggnad (upp till 10%) alltid är missnöjda med den termiska komforten. Liknande siffror gäller troligtvis även för de faktorer som kopplas ihop med sjuka-hus problem[53]. Det går inte att bygga hus så att folk



aldrig får huvudvärk eller blir irriterade i luftvägarna. Detta beror både på att människor är olika och att människors hälsa huvudsakligen bestäms av en stor mängd faktorer som inte är byggnadsrelaterade.

Det finns idag ingen som säger att SBS är ett rent psykologiskt fenomen, men den stora uppmärksamhet som SBS har fått i media kan innebära en svårighet när det gäller att studera problemet. Särskilt vid användandet av olika typer av enkäter måste man vara beredd på att dessa ej fylls i på ett fullständigt objektivet sätt utan ger en bild av människors subjektiva upplevelse av inomhusmiljön. Epidemiologiska undersökningar är därför svårtolkade om inte både dos och respons (exponering och symptom) kan mätas objektivet.

Man kan inte heller utesluta att objektiva mätmetoder av symptom kan påverkas av psykologiska faktorer, så att t.ex. astmatiska personer oftare uppvisar astmatiska symptom när de tror att de utsätts för allergener, eller då de t.ex. genom TV får veta att ett visst allergen är vanligt förekommande i byggnader.

Förkortningen SBS står för "Sick Building Syndrome", "sjuka-hus-syndromet". Ett syndrom är "en grupp symptom som tillsammans karakteriserar ett tillstånd eller en sjukdom"[106]. Det finns ett flertal syndrom som diskuteras idag, förutom de klassiska medicinska syndromen som t.ex. Downs syndrom. Ett av de mera uppmärksammade är det s.k. gulfkrigs-syndromet som har drabbat ca 10% av de amerikanska soldater som var med vid stridigheterna i Kuwait[35]. Symptomen är trötthet, smärta i lederna, huvudvärk, hudklåda, minnesförluster och sömnsvärigheter. Orsakerna är inte klarlagda, men precis som för SBS diskuteras man både psykologiska och kroppsliga förklaringar samt kombinationer av dessa. Bland de psykologiska faktorerna nämns att människor som utsätts för mycket stark stress kan få direkta psykologiska skador av detta. Detta är känt sedan tidigare krig, bl.a. andra världskriget. Bland de icke-psykologiska förklaringarna nämns Iraks giftgaser, de amerikanska motgifterna mot giftgaser, den starka hettan och det torra klimatet. Utredningar pågår fortfarande. Intressant är att notera de möjliga kopplingarna mellan extrem stress och kroppsliga (fysikaliska och kemiska) faktorer.

### *Fysiska och kemiska faktorer*

Allergier grundläggs ofta tidigt i livet; kanske under de allra första månaderna eller åren då vårt immunförsvar utvecklas. Man skulle kunna tänka sig att det finns t.ex. ett kemiskt ämne som små barn utsätts för som skulle kunna störa denna utvecklingsprocess. Ett exempel är tillsatserna i polymerer som barn kommer i kontakt med. Idag pågår en diskussion inom EU om huruvida man skall förbjuda ftalater (mjukgörare) i plastprodukter avsedda för barn. Vissa polymera material i leksaker har relativt kraftig lukt och även ganska stora barn suger och tuggar på leksaker. Andra ämnen som barn kommer i kontakt med är hudvårdsmedel (t.ex. zinksalva) och tvättmedelsrester på kläder och lakan.

Bristande städning nämns ofta som en möjlig delorsak till SBS[94]. Tyvärr minskar städningen av offentliga lokaler idag ofta p.g.a. besparingsskäl. Även städningen av våra hem har troligen minskar jämfört med när de flesta kvinnor var hemmafruar.

Vid dammsugning med äldre typer av dammsugare kan det spridas stora mängder luftburna partiklar. Idag har de flesta dammsugare dock så effektiva filter att den totala partikelhalten i ett rum normalt sjunker vid dammsugning[117]. Dock kan halterna av mycket små partiklar öka kraftigt. Det finns de som hävdar att det finns starka samband mellan dammsugning och framförallt luftvägssjukdomar[112, 113]. Tillgängliga undersökningar av dammsugning och inomhusmiljö lider ofta av stora brister, så t.ex. nämns inte vilka filter dammsugarna var utrustade med[117]. Matlagning, särskilt stekning, är en annan aktivitet i hemmet som kan generera höga aerosolhalter.

En stor, men omärklig förändring av vår livsmiljö de senaste tiotal åren är den enorma ökningen av elektromagnetiska och magnetiska fält av olika frekvenser. Idag utnyttjas de flesta möjliga våglängdsområden för radio och TV, lysrör, mobiltelefoni, mikrovågsugnar, TV- och dataskärmar och radiostyrning. Framförallt sitter de flesta barn och vuxna i i-länderna flera timmar dagligen framför dator- och TV-skärmar. Effekten på människan av alla dessa fält är svår att undersöka, vilket visas av att man har haft svårt att komma till någon slutsats av om de (i alla fall på äldre datorer) starka fälten kring bildskärmar är farliga.

En intressant teori har lanserats av en grupp forskare i Göteborg[81]. Den går ut på att elöverkänslighet inte främst orsakas av elektriska eller magnetiska fält utan av de kemikalier, framförallt epoxi och flamskyddsmedel, som avges från kretskort. Om detta skulle visa sig stämna skulle det ju vara möjligt att "elöverkänslighet" skulle vara besläktat med SBS. Elöverkänslighet och sjuka-hus-sjukan har vissa likheter[36], t.ex. subjektiva inslag, likartade symptom, kvinnor mer drabbade än män och den stora massmediala uppmärksamheten.

En annan sak som har ökat och fortfarande ökar kraftigt är icke-naturliga ljud från bilar, musikapparater, maskiner, ventilation etc. Dessa ljud skiljer sig märkbart från naturljud eftersom de ofta är regelbundna på ett eller annat sätt. Kanske kan de påverka oss även om de har en mycket låg intensitet.

En del av de organiska ämnen som finns i inomhusluften kommer från hushållsprodukter som invånarna själva använder[50]. Framförallt har rengöringsmedel innehållit starkt irriterande ämnen. Situationen ändras dock snabbt i och med att de flesta miljövänliga produkter framtagna för att förbättra den yttre miljön även är vänliga för den inre miljön. Några exempel på produkter som man bör undvika om man vill minska mängden potentiellt skadliga VOC i inomhusluften:

- Rengöringsmedel med ammoniak.
- Kemiska "luftrenare", "doftblock" etc. ofta innehållande *p*-diklorbensen.
- Fläckborttagningsmedel.
- Starka bilvårdsprodukter (motortvätt, lackvård, vinylglans) och bensin avger flyktiga ämnen både vid lagring och vid användning. I boningshus sammanbyggda med garage har man uppmätt höga halter av t.ex. bensen.
- Levande ljus som genererar mycket stora mängder partiklar.

De nya ämnen som finns i olika typer av produkter genomgår vanligtvis tester för att se om de är giftiga eller starkt allergiska. Dock är det tveksamt om vi idag kan upptäcka alla möjliga sätt på vilka nya produkter kan skada vår hälsa. Detta inte sagt för att vi inte skall använda nya ämnen, utan för att det nog är klokt att försöka minska antalet ämnen som vi använder. Ett exempel på en möjligtvis skadlig produkt är de konstgjorda zeoliter har under de senaste åren fått ökad användning i fosfatfria tvättmedel. Eftersom en naturlig fiberformig zeolit, erionit, har visat sig ha liknande negativa hälsoeffekter som asbestmineral[20], bör man kanske visa dessa tvättmedelstillsatser viss försiktighet även om de zeoliter som finns i tvättmedel inte är i form av fibrer. Tvättmedel dammar rejält, framförallt när man håller över från storförpackningar till mindre förpackningar.

Många hobby- och hantverksmaterial avger farliga ämnen[122]. Ett av de mera uppmärksammade är modellplanslim som till stor del består av starka lösningsmedel som avges till inomhusluften när limmet härdar. Även andra sysselsättningar kan generera ämnen i halter som överstiger vad som är tillåtet vid yrkesmässig. Några exempel[122]:

- fotoarbete: fenoler och aminer (framkallare), syror (stoppbad), formaldehyd (härdare), natriumtiosulfat (fixbad), cyanider (framkallare)
- oljemålning: lösningsmedel, oljor.

- snickeri: trädam, limmer, lacker.
- elektronikarbete: ångor från lödning (syror, floursalter)
- svetsning: metallpartiklar (t.ex. zink, nickel), floursalter.

Ett särskilt kapitel vad gäller vår hälsa är naturligtvis de kemiska produkter vi använder på vår egen kropp. Det är inte omöjligt att många av de "kroppsvårdsprodukter" vi använder i själva verket belastar våra kroppar. Exempel är[50]:

- Toluen i nagellack och aceton i nagellacksborttagningsmedel.
- Komplexa organiska föreningar i parfymer.
- Etanol (avfettande) i parfymer, rakkräm, deodoranter.
- Aluminium- och zirkoniumsalter i deodoranter.

Vår förbättrade hygien har nämnts som en möjlig orsak till ökningen av allergier och astma. Kanske är det så att kroppen behöver en mängd småinfektioner för att immunförsvaret skall aktiveras på rätt sätt. Kanske är det de större infektionerna som vi idag botar med antibiotika som förr i tiden fick igång människors immunförsvaret så att de inte drabbades av astma (å andra sidan avled de betydligt oftare i de sjukdomar vi idag botar med antibiotika). En annan möjlighet är att vi tvättar oss för mycket så att vi skadar huden som är en av våra viktigaste barriärer mot omgivningen. Ytterligare en möjlighet är att vår förbättrade hygien har medfört en ändring eller minskning av en god mikrobiologisk aktivitet på vår hud eller i vår matsmältningsapparat.

Vi är nu väl medvetna om att DDT och PCB är ämnen som ställer till stor skada i naturen genom att de anrikas i toppen på näringskedjor där de t.ex. stör fortplantningen hos rovfåglar. Mindre lätt att utreda är om de låga halter av dessa mycket stabila ämnen som man numera kan mäta överallt på jordklotet har haft någon effekt på människor. Sammanfattningsvis är det nog en vettig strategi att försöka minska mängden syntetiska kemiska ämnen i vår omgivning.

### **Metoder att studera inommiljö**

Eftersom man vid sjuka-hus-utredningar ofta inte vet vad man letar efter har man i många fall gjort en stor mängd olika typer av mätningar för att i efterhand se om man kan koppla ihop exponering och symptom med hjälp av den typ av storskalig statistisk databehandling som har blivit allmänt tillgänglig de senaste åren. Tyvärr leder ofta inte dessa storskaliga mätningar till några klara resultat, så t.ex. fick man inte fram någon enskild faktor som kunde förklara de problem som fanns i det "sjuka" bostadsområdet Dalen trots omfattande tekniska undersökningar[97]. Med multifaktoriell analys kan man möjligtvis komma längre eftersom SBS tros vara ett multifaktoriellt problem. Den danska rådhusstudien verkar t.ex. ha gett en mängd påvisade kopplingar mellan exponering och symptom[39]. Kanske är det lättare att genomföra denna typ av studier på en arbetsplats än i bostäder.

Kemiska metoder för inomhusmiljöstudier är detaljerat beskrivna av Winberry et al.[124] Översikter av metoder ges av Beachler et al.[10]

#### *Mätning av klimat*

Det första och viktigaste att mäta i en misstänkt sjuk byggnad är

- Temperatur.
- Relativ Fuktighet.
- Ventilation/Luftomsättning/CO<sub>2</sub>-halt.

De flesta problem med inomhusmiljön är relaterade till temperatur, luftfuktighet eller bristen på frisk luft[69]. Det är dock mycket vanligt att de som vistas i sjuka hus klagat på att luften är torr oavsett bakomliggande orsaker[4]. Människor har mycket svårt att bedöma luftens relativa fuktighet, än mindre den absoluta fukthalten.

Koldioxid mäts ofta som ett mått på om ventilationen är tillräcklig. Ofta har man då bärbara mätare. Utenivåerna av CO<sub>2</sub> ligger på ca. 325 ppm. Inomhusnivåerna är ofta betydligt högre p.g.a. den CO<sub>2</sub> som vi andas ut. Normalt brukar 1000 ppm anges som en övre nivå för vad som är acceptabelt.

### *VOC i luft*

Det är vanligt att man mäter VOC-innehållet i luften vid byggnadsundersökningar. Ofta leder detta inte till att några säkra slutsatser kan dras eftersom man idag inte har några gränsvärden för enskilda VOC eller TVOC[3]. Även om man mäter låga värden kan det vara svårt att förklara för dem som vistas i byggnaden att de värden man mätt inte innebär någon fara. Man bör därför ha anledning att misstänka att en viss typ av flyktigt ämne finns i inomhusluften för att mäta VOC [53]. Exempelvis är det vanligt med förhöjda halter av formaldehyd i nya byggnader eller byggnader med ny inredning; fasadbehandling med hydrofoberande ämnen kan leda till emissioner av lacknaftakomponenter till inomhusluften; och 2-etylhexanol kan avges vid alkalisk nedbrytning av fuktiga golvmaterial.

VOC-prover analyseras normalt med gaskromatografi (GC), ofta i kombination med masspektrometri (MS). Det finns idag två huvudmetoder att samla in VOC i en byggnad [124]: dels uppsamling i ett absorptionsrör, dels insamling av luften i en evakuerad burk. Absorptionsrören är vanligast och det finns olika typer av absorbenter som har olika fördelar och nackdelar. Inget absorbentmaterial kan ensamt användas för att samla in alla typer av emissioner[41]. Insamlingen av ämnen på absorbenter kan ske antingen genom att man leder luft genom absorbenten[93] eller genom att ämnena får diffundera in i absorbenten[116]. En viktig del av en mätning med absorptionsrör är den s.k. desorptionssteget där man får ut ämnena som man skall detektera ur absorbenten[44, 124]. Även här är det viktigt att ha en metod som är anpassad till det man letar efter. Ett visst ämne kan t.ex. brytas ned om man värmer absorbenten alltför kraftigt.

Det kommer fler och fler direktregistrerande gasanalyser på marknaden[19, 102]. Med dessa blir mätningar snabbare, men ofta är det en fördel att mäta under en längre tidsperiod vilket man gör med ett absorptionsrör.

Vid mätning av VOC är det viktigt att inte bara mäta och analysera ett prov. För att ha något att jämföra med och för att vara säker på att man mäter rätt bör man mäta flera prov utom- och inomhus. Ytterligare information ger mätningar vid olika tider på dygnet. Man bör även analysera blankprov (aldrig exponerade rör), referensprov etc.[101]

### *VOC-emission från material*

Vid materialutveckling och för att finna källan till en emission behöver man kunna mäta på ett material. Detta gör man antingen genom att göra en VOC-mätning i luften i en mätkammare där man har placerat materialet man vill studera, eller genom att placera en insamlingsutrustning över ytan på materialet. I båda fallen är det mycket viktigt att man genom mätningar utan material (blankprov) mäter egenemissionerna från mätkammaren respektive insamlingsutrustningen. Den vanligaste insamlingsutrustningen använd i Norden är den s.k. FLEC[41].

När man mäter emissioner från ett material i en kammare är det viktigt att man väntar tills man har nått stabila emissionsnivåer. Man kan tänka sig att man får antingen för höga eller för låga värden den första tiden; för låga om man inte har hunnit få (dynamisk) jämvikt i

kammaren och för höga om materialet har förvarats så att det har absorberat sina egna emissioner.

### *Mikroorganismer*

Främst är det mögel, bakterier och kvalster som är av intresse för inomhusmiljön. Av dessa kan man finna levande och döda organismer, samt deras utsöndringsprodukter.

Förekomsten av *mögel* mäts oftast[14] genom att man tar ett ytprov (maltextraktplatta) eller samlar sporer på ett filter i en partikelsamlare. Man kan även ta ut bitar av byggnadsmaterial, men man odlar inte direkt på materialet utan man överför det till en odlingsplatta. Normalt odlas sedan proven fram på agarplattor för räkning och/eller artbestämning. Luftprov kvantifieras oftast genom att man räknar ut antal "ColonyForming Units" per volymnsenhet (CFU/m<sup>3</sup>). Det har föreslagits[14] att 750 CFU/m<sup>3</sup> av icke-patogena organismer skulle kunna anses vara en säker nivå inomhus; i välventilerade byggnader finner man normalt[65] mindre än 500 CFU/m<sup>3</sup>.

Artbestämning av mögelsvampar är kostsamt. En anledning att utföra artbestämning är att vissa svampar är kända för att de producerar toxiner[78] eller allergener. Artbestämning av mögel har även föreslagits som en metod att bedöma fuktnivån vid skadeplatser eftersom koncentrationsskillnader i mikrobiologiska prov är svåra att tolka[78]; detta verkar dock svårt.

I USA och Storbritannien har det varit stort intresse för mätning av *bakterier* i inomhusluften. Främst är det då tillväxt i luftfuktare och andra luftbehandlingsaggregat som man har studerat eftersom den farliga legionärsjukan bevisligen kan spridas från sådana anläggningar. Bakterier samlas in och odlas enligt samma principer som mögel[14]. Ofta är det t.o.m. så att man inte skiljer på bakterier och mögel utan bara anger ett mått (CFU/m<sup>3</sup>) på den totala förekomsten av båda typer av organismer.

Eftersom allergi mot *kvalster* är mycket vanligt och har en stark koppling till inomhusmiljö är det intressant att mäta kvalsterförekomsten eller halten kvalsterallergen.

Olika typer av organismer innehåller delvis olika typer av kemiska ämnen. Därför kan man mäta t.ex. halten ergosterol som enbart finns i vissa typer av svampar och ta den som ett mått på förekomsten av svamp. Motsvarande kemiska markörer finns även för vissa typer av bakterier[100]. En stor fördel med denna typ av mätning är att man får ett mått på mängden av levande *och* döda organismer; vid odling är det endast ett fåtal av de organismer som man samlar in som kan växa och bilda kolonier som kan studeras. Dessutom kan t.ex. endotoxinmängden vara proportionell mot mängden av en viss given kemisk markör.

### *Partiklar*

Partiklar i luften (aerosoler) mäts dels genom att de samlas in för att sedan vägas eller genom att man med t.ex. laser mäter partiklar och deras storleksfördelning direkt i luften. Eftersom det endast är vissa mindre partikelfraktioner som deponeras i andningsvägarna är det normalt mest intressant att kunna fånga in dessa fraktioner. Dessutom dominerar totalmassan (som mäts med enklare insamlare) av de största partiklarna, som har minst biologisk effekt.

På och i partiklar finns kemiska ämnen av olika slag. Vissa av dessa har så låg flyktighet att de knappast finns i luften annat än på aerosoler. Det finns olika metoder att extrahera organiska ämnen från partiklar[76]. Detta kan vara av stort intresse eftersom farliga icke-flyktiga ämnen kan ta sig in i kroppen på partiklar via andningsvägarna. Vanliga luftflödesabsorbenttror som används för att mäta VOC samlar även in partiklar från vilka även mindre flyktiga föreningar sedan kan frigöras och detekteras med GC/MS. Detta förklarar troligen varför man kan mäta relativt höga halter av ftalater och andra ickeflyktiga ämnen i luften[41]. Diffusiva absorbenter bör ej absorbera partiklar i lika hög grad.

Om man har möjlighet att mäta halten av ett absorberat ämne på partiklar av olika storlek utomhus och inomhus kan man, i varje fall i teorin, även bestämma[76] om en förorening finns på ytan eller inuti partiklarna. Detta säger något om föroreningens ursprung och tiden sedan den absorberades.

### *Radon*

Radioaktiv strålning i luft mäts i Bq/m<sup>3</sup>. Vid radonstudier var tidigare detta mått baserat på antalet radonsönderfall, men nu har man i Sverige gått över till att ange totala antalet sönderfall (inklusive radondöttrarnas sönderfall). Omräkningen bygger inte bara på antalet sönderfall, utan även på deras energi.

Det finns ett flertal metoder att mäta halt av radon och/eller radondöttrar i inomhusluft. Det mest använda i Sverige är att under en längre tid (veckor) hänga upp en film på vilken man sedan kan räkna svärtningar som härrör från radioaktiva sönderfall. Det är viktigt att denna typ av integrerande mätning görs under en tid då byggnaden används normalt. Till exempel ger en mätning i en sommarstuga under en tid där ingen är där och ventilationen är låg inget bra mått på radonhalten i det bebodda huset. En integrerande mätning kan lämpligen upprepas under olika årstider.

Det finns även direktmätande instrument för radon. För dessa gäller det i ännu högre grad än för ovanstående metod att det är nödvändigt att mäta vid mer än ett tillfälle, då radonhalten kan variera betydligt framförallt beroende på vind och ventilation.

### *Allergi och överkänslighet*

Det finns ett antal testmetoder för att upptäcka allergier och IgE-antikroppar[40]. Man kan tillföra misstänkta ämnen till ett blodprov och kvantifiera de antikroppar som bildas (RAST); detta kräver dock att man vet vad man letar efter om man inte samtidigt tillför en blandning av ämnen (panel RAST). Det är också möjligt att bestämma totalmängden antikroppar i blodet (total IgE). Detta är dock en ospecifik metod. En del antikroppar fastnar på celler i huden och kan då påvisas genom att extrakt av misstänkta allergener droppas på huden som prickas med en lansett (pricktest). Samtliga ovan beskrivna metoder kräver att antikroppar bildas.

En positiv allergitest är en signal om att det finns en ökad risk för senare allergiutveckling[40]. Oftast bildar dock personer som bor i sjuka hus ej antikroppar trots att de har överkänslighetssymptom som trötthet och luftvägsirritation[40]. Även om antikropps bildning sker är det omöjligt att utifrån testresultaten dra slutsatser om samband mellan inomhusmiljön och symptomen.

Vid icke-allergiska överkänslighetsreaktioner finns inga enkla test utan då kan man enbart använda elimination och provokation, dvs. att helt ta bort eller medvetet utsätta en person för misstänkta ämnen[40]. Denna typ av undersökningar är svåra och osäkra vid t.ex. födoämnesallergi och troligen ännu svårare vid sjuka-hus-symptom.

### *Objektiva mätmetoder för upplevelser och symptom*

Det har varit ett stort problem att man har saknat objektiva mätmetoder för de förhållandevis lindriga symptom som upplevs av de som säger sig vara drabbade av SBS[3]. Det är därför glädjande att ett antal sådana metoder har utvecklats under senare tid.

Eftersom problemet med föroreningar inomhus är så komplicerat är det inte troligt att man genom teknisk mätning av en enda variabel, t.ex. TVOC, kan bedöma kvaliteten på innemiljön. En intressant ansats är att istället använda responsen från människor eller från biologiska system vars respons liknar den hos människor. Normalt används människor som försökspersoner, men djurförsök har också utnyttjats. Möjligheten att använda cellodlingar eller prover uttagna från djur eller människor (*in vitro*) är ännu relativt utnyttjad[115]. Ett

exempel på en sådan metod är att kvantifiera giftigheten hos mykotoxin genom att se hur många celler i en cellkultur som dör efter en viss tid efter det att de har utsatts för en provlösning med misstänkta ämnen[86].

Följande är en lista på metoder ”bioresponsmetoder”:

- Det finns ett antal metoder att studera andningsvägarna som används för att testa astmatikers reaktioner[63].
- Det finns ett antal metoder att studera hur irriterande olika ämnen är för luftvägarna[25]. En metod är att registrera de svaga elektriska signalerna från luktorganen i näsan på djur eller människor som utsätts för olika ämnen. Andra metoder mäter andra signaler eller kemiska ämnen. Man kan även mäta hur andningsfunktionen förändras i möss som utsätts för olika ämnen[25]. Cain et al.[25] ger en översikt över möjliga metoder som kan ge information om hur irriterande olika ämnen är och kanske också ökad förståelse för hur de verkar på kroppen.
- Fotografering av ögon vid olika tidpunkter används för att bedöma t.ex. hur röda ögonen är[57, 58], skumbildning i tårvätskan[58], och tårfilmsstabilitet (mäts som tiden från en blinkning till tårvätskan separerar över ögat)[57, 58].
- Hudens grad av släthet kan mätas, vilket kan vara intressant eftersom skrovlig hud (”torr hud”) anses vara ett förstadium till atopiskt eksem[33]
- Det finns även ett antal metoder att mäta påverkan på näslemhinnan som rhinostereometri där man optiskt mäter nashålans storlek och laser-doppler flödesmetri där man kan kvantifiera blodgenomströmningen i de ytliga blodkärlen[54].

Dessutom kan datorbaserade test av hur väl människor kan klara av vissa uppgifter, t.ex. reagera snabbt eller para ihop saker som hör ihop[82, 85], användas för att studera effekten av olika emissioner.

Elektroniska näsor, dvs. grupper av olika sensorer vars utsignalsmönster tolkas av datorprogram, har visat sig vara användbara för att skilja på dofter. Så kan man t.ex. skilja på olika kaffesorter och olivolja som har lagrats på olika sätt. Deras användning för att studera inomhusmiljö är dock än så länge mycket begränsad.

Fanger[25] har utvecklat en metod med doftpaneler, dvs. ca. tio människor som är tränade till att objektivt kunna bedöma hur starka lukter är. Metoden kallas decipolmetoden eftersom enheten man mäter i är decipol. Den bygger på att det är möjligt att träna upp sig till att kvantifiera även sådana normalt diffusa egenskaper som lukt, smak och ljud. Luktpaneler lär upp (kalibrerar) sig genom att inandas luft med olika väl bestämda halter av aceton[25] [87]. De kan sedan gå ut i byggnader och kvantifiera den totala belastningen på luktsinnet. Liknande metoder har utnyttjat att det finns ett fåtal människor som helt saknar luktsinne. Med en panel av sådana individer och en panel av normala individer kan man särskilja doftupplevelser från irritationsförmåga[25]. En liknande metod, den s.k. ”thresholdmetoden”, bygger på att man spär ut ett luftprov mer och mer tills hälften av en panel på åtta personer inte längre kan skilja det utspädda luftprovet från ren luft[18]. Decipolmetoden fungerar bäst vid de låga koncentrationer som det är frågan om i byggnader[18].

### *Risikanalyser och gränsvärden*

Den kunskap som idag finns om luftkvalitet i byggnader bygger till stor del på tidigare kunskap om arbetsmiljö och yttre miljö. Så har man t.ex. försökt flytta över gränsvärdesbegrepp från arbetsmiljölagstiftning till inomhusmiljö. Det finns dock flera problem med detta vilket beror på att föroreningshalterna inomhus är så mycket lägre än de man har inom t.ex. industrin. Dessutom finns fortfarande flera osäkerheter än vad man kan tro

om hur även så välkända farliga ämnen som dioxin och radon påverkar människors hälsa och vilka gränsvärden som skall användas[77].

Det normala sättet att arbeta inom riskanalysen är att ta fram *dos-respons-samband*. Om man undersöker hur höga halter av ett visst ämne som människor har blivit utsatta för (dosen) och samtidigt ser hur ofta de drabbas av ett visst sjukdomstillstånd (responsen) kan dessa data översättas till en dos-respons-funktion. Problemet inom SBS-området är att de studier från vilka man kan få fram dos-respons-samband är gjorda vid betydligt högre exponeringar än vad man utsätts för i inomhusmiljön. En extrapolation från högdosområdet där man har data till ett lågdosområde kan ge fel i den framräknade risken på flera tiopotenser[43]. Ofta visar det sig att olika modeller (linjära, logaritmiska etc.) ger lika god passning till experimentella data men ger vitt skilda resultat vid extrapolering.

Det finns några typer av exponeringar där man anser att man har säkra kopplingar mellan exponering och respons[96]: radon (lungcancer), passiv rökning (lungcancer, luftvägssjukdomar hos småbarn), bensen (leukemi), asbest (lungcancer mm) och formaldehyd (näscancer). Man kan dock knappast göra riskuppskattningar för hela populationer för samtliga dessa ämnen.

Man skiljer inom riskanalysen på ämnen som inte är farliga under ett visst tröskelvärde ("nonzero threshold toxicity") och ämnen som inte anses ha ett sådant tröskelvärde ("zero threshold toxicity")[43]. Det förra är ämnen som människokroppen klarar av att ta hand om upp till en viss nivå. Det senare är ämnen där man inte anser att det finns någon undre gräns för när de börjar skada (lägre doser bör dock vara mindre skadlig). Inom arbetsmiljötoxikologi har man idéer om vilka ämnen som tillhör dessa två grupper, men för inomhusområdet finns ingen sådan kunskap. Eftersom man tror att man har respons även från mycket låga koncentrationer av vissa ämnen ligger det nära till hands att tror att man inom inomhusmiljöforskningen bör arbeta med "zero threshold toxicity". Det är dock ytterst få ämnen vars skadlighet är undersökt i de låga koncentrationer det är frågan om i byggnader[74].

Vid normal riskanalys har man svårt att ta hänsyn till synergieffekter, dvs. att två var för sig ofarliga exponeringar kan samverka och ge skada. Antalet möjliga interaktioner mellan olika ämnen i inomhus är dock så stort att det är omöjligt att undersöka alla möjligheter. Innan data finns på detta område bör man enligt Møhlhave[74] använda additivitet som man gör i arbetsmiljön. Enligt Cain[25] finns det en del stöd för detta, i alla fall vad gäller irritation och luktupplevelse.

### *Epidemiologiska undersökningar*

Vid en epidemiologisk undersökning studerar man ett stort antal människor, vad de har blivit exponerade för och vilka sjukdomar de har. Den mest omskrivna epidemiologiska undersökningen inom SBS-området är troligtvis en stor studie gjord på 4369 anställda vid 14 danska rådhus och 14 andra byggnader ("the Danish town hall study"). Vid denna undersökning fann man vissa faktorer (exponeringar) som korrelerade väl till SBS-symptom[39]: lufttemperatur, lufthastighet, statisk elektricitet, mängden golvdamm, mängden luftburna bakterier och ljudnivå. Man fann även att hög andel ytor täckta med mjuka material ("fleece factor") samt många hyllor ("shelf factor") gav högre andel SBS-symptom. Dessutom hade t.ex. kvinnor, samt de som var missnöjda med sina chefer, mer symptom. De flesta av de fakta som står att läsa i t.ex. dagstidningar och böcker om SBS kommer från denna och liknande studier.

En större svensk undersökning genomfördes av Lundin[71] i ett bibliotek där man varierade återluften i ventilationen, mätte VOC och klimatvariabler samt frågade de som arbetade i biblioteket om deras hälsotillstånd vid ett flertal tillfällen. Ett resultat från denna undersökning är att symptom som trötthet och "tungt huvud" kunde relateras till halten VOC



och andelen återluft. Analysen av data gjordes med hjälp av multivariat dataanalys så att man kunde spåra kopplingar mellan (grupper av) exponeringar och symptom.

Det finns tre sorters epidemiologiska undersökningar [88]:

- Från en *deskriptiv* undersökning får man svar på frågor av följande typ: Var finns en sjukdom? Vem har dem?
- Den *analytiska* undersökningen skall ge dos-responssamband som resultat.
- Vid den *interventiva* typer av undersökningar studerar man skillnad i respons mellan personer som har blivit fått en viss åtgärd utförd (behandling, medicinering, åtgärd i bostad etc.) och de som inte har fått denna.

En annan vanlig uppdelning är i:

- *Tvärsnittundersökningar* där man vid en tidpunkt studerar något. Från en sådan undersökning får man *prevalensen* (andelen sjuka)
- *Longitudinella undersökningar* där man undersöker något vid minst två tillfällen. Resultatet är både prevalensen (se punkten ovan) och *incidensen* (andelen nyinsjuknade).

Ytterligare en uppdelning används:

- Vid *kohortstudier* följs många individer och man ser hur många som insjuknar.
- Ett mer ekonomiskt undersökningssätt är *fall-kontroll studier*, där man jämför insjuknade ("fall") med en kontrollgrupp.

Ett mycket vanligt uttryck i diskussionerna kring astma och allergi är *etiologisk*. Detta är den del av en sjukdom som kan förklaras av en viss faktor.

Epidemiologiska undersökningar är nödvändiga; framförallt som bakgrundsmaterial för att man skall kunna genomföra rätt åtgärder för att minska befolkningens ohälsa, men även för att hitta områden att genomföra t.ex. medicinska eller kemiska studier. Det stora mängd epidemiologiska undersökningar som har genomförts inom SBS-området har dock gett en stor mängd olika enskilda samband som är svåra att få en helhetssyn på och som i många fall (särskilt för enfrågestudier) kan leda till suboptimala åtgärder. Vad gör man t.ex. när halten av 2-etyl-hexanol, ett typisk sjuka-hus-ämne, visar sig vara korrelerat till "god luftkvalitet" i en undersökning[80] eller när folk rapporterar mindre SBS-symptom ju högre TVOC-halterna är[110]?

Det finns flera felkällor vid epidemiologiska undersökningar. De slumpmässiga felen är enkla att minska genom att undersöka en större population, men de systematiska felen är svårare att komma åt. Man kan dela in de systematiska felen i[88] *selektionsfel* (felaktigt urval av undersökningsindivider), *felklassificering* (av exponering eller sjukdomstillstånd), och *confounding* (faktorer som både samverkar med exponering och sjukdom).

Vid den typ av epidemiologiska undersökningar som har gjorts inom inomhusmiljöområdet vill jag peka på tre källor till osäkerhet:

1. För det första lider många mindre undersökningar (en exponering, ett sjukdomstillstånd) av att det kan finnas *bakomliggande faktorer* som styr både exponering och sjukdomstillstånd (confounding). Ett exempel på detta är en mindre undersökning av om för tidigt födda bäbisar som sov på lammfällar fick ökad risk för astma[1]. Genom att fråga föräldrarna till ett antal för tidigt födda barn om deras barn hade astma och om de hade legat på lammfällar visade man att barn som hade gjort detta hade en statistiskt signifikant ökad risk att få astma. En sådant undersökningsresultat fångas lätt upp av

dagspressen och får en stor mängd föräldrar att lägga undan lammfällarna eller få dåligt samvete för att deras barn hade legat på lammfäll när de var små. Tyvärr är undersökningsresultatet av litet värde då det är mycket troligt att det är en särskild kategori människor som köper lammfällar till sina barn och denna kategori människors handlingar skiljer sig på en mängd olika punkter från de människor som aldrig skulle köpa en lammfäll. För att minska problemen med confounding måste man kontrollera andra variabler (t.ex. rökning), men man kan aldrig vara helt säker på att man inte har glömt någon viktig faktor. Generellt gäller det att även om man tycker sig se ett samband mellan en sjukdom och en viss livsstilsrelaterad faktor så innebär inte detta att denna faktor är av direkt betydelse för sjukdomen. Båda kan vara en följd av en tredje komponent[17].

2. För det andra är begreppet "sjuka hus" välkänt och dagspressen har informerat befolkningen om de olika hypoteser om orsakerna som har lagts fram. Detta gör det svårt att fråga folk om exponeringar och sjukdomstillstånd eftersom säkerligen även mediareporteringen omedvetet kommer att vägas in i deras svar. Det har gjorts ett flertal undersökningar som visar att de som bor i fuktiga hus löper större risk att bli sjuka. Ser man närmare på dessa undersökningar finner man att i de flesta fallen har man inte använt objektiva mätmetoder för att bedöma exponering och sjukdom. Man har helt enkelt frågat folk om hur de känner sig (har du täppt näsa mer än en gång i veckan?) och om fuktillståndet i deras hus (tycker du att luften i din lägenhet känns fuktig?). Risken är mycket stor att de som svarar gör *felaktiga associationer*; så t.ex. ökar sannolikheten att man skriver att man mår dåligt om man tror att man bor i ett fuktigt hus eftersom man har läst i tidningen att de som bor i fuktiga hus blir sjuka. Ytterligare ett exempel är en Finländsk sexveckorsstudie[92] av hur lufttemperaturen påverkade upplevelsen av luftkvalitet. Man lät 109 kontorsarbetare dagligen avläsa temperaturen på sitt kontor och samtidigt skriva dagbok över symptom och upplevelse av inomhusmiljön. Resultatet var en statistisk signifikant ökning av flera typer av symptom när temperaturen ökade. Detta låter i och för sig rimligt, men problemet med denna typ av studie är att den kan vara närmast självuppfyllande om de som undersöks känner till att det finns eller kan finnas en koppling mellan temperatur och symptom. Subjektiva mätmetoder (ex.vis. formulär) kan därför troligen inte lösa problemen med att klargöra begreppet sjuka hus[72].
3. För det tredje är det stora *svårigheter att bedöma långtidsexponering*. Detta visar sig t.ex. i olika undersökningar där man har velat ha ett mått på i vilken utsträckning folk har bott i fuktiga hus. En mängd olika frågeställningar har då använts[72]: Kondensation på fönstren? Instängd lukt? Mögel på möblerna? Tidigare vattenskador? Mögel i badrummet? Var och en av dessa frågeställningar kan undersökas genom att man gör en teknisk undersökning eller genom att man frågar de som bor i huset. En mängd olika varianter existerar och det blir därmed svårt att jämföra olika undersökningar.

### *Djurförsök*

Fördelarna och möjligheterna med djurförsök är stora, och en del av den kunskap som vi har idag om t.ex. miljöfaktorer av betydelse för astma och allergi är framtagen genom djurförsök[16]. Idag används huvudsakligen hårt inavlade möss och råttor så att alla djuren i en försöksgrupp är i stort sett lika. Ett exempel på en djurförsöksmetod som har använts inom sjuka-hus-området är ASTM E 981 i vilken man mäter andningsfrekvensen hos möss som utsätts för olika luftprover[2].

Det finns idag möjlighet att med genmanipulation ta fram nya kloner av framförallt möss som har sådana genetiska defekter att vissa biokemiska processer hämmas eller "överuttrycks". Om man tror att en viss sjukdom beror på brist av ett visst protein kan man

framställa en mus som inte kan producera detta protein för att lättare kunna göra studier av sjukdomens förlopp. Med hjälp av försök på sådana djur kan man utföra specifika mekanistiska studier (orsak-verkan) på ett helt annat sätt än vad som är möjligt med normala djurförsök eller epidemiologiska studier. För att kunna göra ett transgent djur måste man dock ha detaljerad biokemisk och genetisk kunskap om vad man skall ändra och metoden kan huvudsakligen användas för att detaljerade studier av vissa mekanismer. Möjligheterna att använda transgena djur inom astmaforskningen undersöks dock[114].

### **Byggnadsteknik och SBS**

De två huvudsakliga beröringspunkterna mellan luftkvalitet och byggnadsteknik är fukt och ventilation. I litteraturen framställs ofta dessa som två aspekter av samma problem; dålig ventilation ger hög fukthalt. Internationellt sett är fuktproblem ofta lika med kondensation och mögel på fönster och insidan av ytterväggar. För svenska förhållanden bör nog fukt diskuteras separat från ventilation eftersom många fuktskador vi finner i våra byggnader inte hade kunnat undvikas med högre luftomsättning.

Fuktiga byggnader tas ofta upp som en huvudorsak till SBS eftersom flera studier har visat att fuktiga bostäder ökar risken för allergi och luftvägssymptom[49, 105]. Ökningen av astma förklaras då med att våra byggnader har blivit fuktigare än vad de var förr[16, 90, 119]. Det är dock mycket tveksamt om vi har det fuktigare i våra byggnader idag än förr i tiden. Tvärtom har vi oftare varmt och torrt. Även om bevisen i många fall verkar magra är det dock klart att det rent allmänt är viktigt att vi håller våra byggnader torra eftersom de skadas annars.

I icke-vetenskaplig litteratur och i dagspress framställs ofta SBS som ett problem orsakat av moderna täta hus med dålig ventilation. Man framställer det då ofta som om en tät byggnad automatiskt måste ha en låg luftomsättning. När SBS började dyka upp i USA kallades det först TBS: "Tight Building Syndrome" även om problemen då ofta inte berodde på att byggnaderna var täta utan på att man hade dragit ner intaget av friskluft kraftigt för att spara energi[55]. Just tätheten i klimatskalet är dock nödvändigt för att hushålla med uppvärmningsenergin eftersom ventilationsförlusterna annars kan bli de största värmeförlusterna. Det går helt enkelt inte att spara energi i ett otätt hus. Lufttätheten kan åstadkommas på många olika sätt; en plastfolie på insidan av tak och väggar är vanligast i Sverige eftersom man då, i alla fall i teorin, relativt lätt kan täta hela klimatskalet. Andra lösningar med t.ex. träbaserade skivor är möjliga, men tätheten kan försämrans om huset sätter sig så att det bildas springor mellan skivorna.

Det är förvirrande att man i diskussionen ibland sätter likhetstecken mellan ett tätt klimatskal och dålig ventilationen. Självklart går det att ha god ventilation i ett tätt hus. Det kräver dock någon form av mekanisk ventilationsanläggning då självdrag inte kan ge en jämn och god lufttillförsel. Tyvärr har det visat sig att dåligt skötta ventilationsanläggningar kan ge problem med ineluftkvalitet, men lösningen ligger i att utveckla bättre ventilationssystem snarare än att göra husen otäta.

En helt annan typ av täthet är fukttätheten. I moderna byggnader används plastfolien ofta även som fuktspärr, men den önskade funktionen kan uppnås även på andra sätt, t.ex. med olika skivmaterial. Fuktspärren på insidan av en yttervägg skall stoppa fukttransport ut i väggen. Särskilt under vintern är både temperaturen och fuktinnehållet högre inne än ute och om inomhusfukten vandrar ut i väggen genom diffusion eller konvektion kommer vatten att kondensera i väggen. Fuktkonvektion genom otätheter är ett betydligt större problem än diffusion[99] och därför löser lufttätheten som diskuterades ovan till stor del även fuktproblemen.

Byggnadsmaterial med förmågan att ta upp mycket fukt nämns ibland som ett alternativ till täta väggar. Tyvärr fungerar inte detta vare sig i teorin eller praktiken utan även sådana material som cellulosisolering kommer att drabbas av fuktskador om de används utan en hög täthet på insidan[98].

En annan vanligt förekommande missuppfattning är att äldre tiders färger var diffusionsöppna. Sanningen är att vissa sådana färger som t.ex. limfärg och Falu rödfärg är diffusionsöppna, medan t.ex. linoljefärg är betydligt tätare än en modern latexfärg. Inom parentes kan nämnas att färg och tapeter ofta har ett så högt diffusionsmotstånd att de ensamma kan ge ett gott skydd mot diffusion ut i den kalla väggen.

Tyvärr finns det inga bevis för att äldre tiders byggteknik och byggmaterial skulle lösa de problem vi ser idag, och "ekologiska byggmetoder" och "ekologiska material" leder inte automatiskt till bättre inomhusklimat. Visserligen finns vissa säkra material som tegel och sten bland de lågemitterande, men vissa av de förr använda materialen är potentiella föroreningskällor. Till exempel så kan betong innehålla organiska ämnen som t.ex. flyttillsatser. Trä avger mer flyktiga ämnen än många plaster och man får inte glömma att en stor del av mögelproblemen vi har i våra byggnader är kopplade till materialet trä. Linoleummattor är betydligt känsligare för felaktiga städmetoder än plastmattor[41]. Tyvärr är det inte så enkelt som att välja "ekologiska material" när man vill bygga ett sunt hus. Varje material och varje konstruktion måste vara väl genomtänkt.

### **Åtgärder för att få sunda hus**

Detta kapitel innehåller blandade tankar om åtgärder i befintliga hus med problem och saker att tänka på vid nybyggnation.

#### *Befintliga byggnader*

Man kan ibland få intrycket av att SBS är ett oerhört stort och komplicerat problem som ingen kan lösa. Dock är det så att många klagomål på dålig inomhusmiljö kan åtgärdas. Jones[53] skriver: "Until recently, most industrial hygienists, safety engineers, building engineers, and facility managers would have crawled under their desks when an indoor air quality complaint was received. Indoor air quality (IAQ) surveys tended to mean frustration for both building occupants and investigators. Today we have enough knowledge that most such cases can be resolved".

Många IAQ-problem kan lösas genom "traditionella" åtgärder som att[53]:

- Sänka temperaturen om den är för hög.
- Öka ventilationen om den är låg.
- Rengöra ventilationsanläggningar (OBS: dessa kan innehålla asbest).
- Se till att ej bilavgaser och liknande kommer in genom friskluftsintag.
- Ta hand om lokala föroreningskällor i lokalerna (kopiatorer, laserskrivare).
- Förbjuda rökning inomhus eller nära luftintag.
- Öka städning med lämpliga metoder.

Befuktning av luften för att avhjälpa klagomål på torr luft har gett mycket divergerande resultat[4]; ökning av luftfuktigheten anses vara en mycket tveksam åtgärd i de flesta fall. Detsamma gäller luftjonapparater som visserligen minskar mängden partiklar i luften, men gör det genom att öka depositionshastigheten vilket möjligtvis skulle kunna vara ohälsosamt för människor som vistas i lokalen.

Ett huvudproblem framförallt i de nordiska länderna är mögel inne i konstruktioner. Problemet är här huvudsakligen att hitta möglet. Åtgärden är byte av material, eventuell fungicidbehandling, samt säkerställande av att konstruktionen ej blir fuktig i fortsättningen.

Om man misstänker att man har höga koncentrationer av något särskilt ämne i luften bör man verifiera detta genom en mätning. Om mätresultaten visar höga halter får man leta efter källan eller källorna, vilket dock kan vara svårt i vissa fall. Om man har störande emissioner från ett material finns det i de flesta fall ingen annan åtgärd än att ta bort emissionskällan. Om det t.ex. är en möbel är detta en lätt åtgärd, men är det t.ex. isoleringen eller flytspackel på betong kan operationen bli mycket kostsam. I vissa fall, t.ex. flytspackel, har man även provat att försegla emissionskällan eller leda bort emissionerna med t.ex. ett ventilerat golv.

Ventilation är främst ett sätt att förse människor med en viss mängd frisk luft per tidsenhet (och föra bort koldioxiden). Det är knappast meningsfullt att generellt öka ventilationen för att få ner halterna av t.ex. VOC i luften[41]. Däremot kan vissa delar av en byggnad, t.ex. ett sovrum, vara så dåligt ventilerade att man bör öka ventilationen just där.

Återluft är ett speciellt problem som framförallt diskuteras mycket i amerikansk litteratur. Man har vid undersökningar av sjuka hus ibland funnit att endast en mycket liten mängd friskluft togs in i ventilationssystemet; i extrema fall användes 100% återluft[39]. Det är självklart att man normalt inte kan tillgodoräkna sig mer ventilation än den som sker med friskluft.

Luftrenare för partiklar respektive gasformiga ämnen kan också användas för att få ner föroreningskoncentrationerna inomhus. När man talar om filter och luftrening är det normalt partikelfilter man menar. Så kallade HEPA-filter ("High Efficiency Particulate Air") används idag regelbundet i dammsugare och luftreningsaggregat[24, 123].

Luftrenare för gasformiga ämnen innehåller normalt billigt aktivt kol som binder föroreningar i den passerande luften, men de skulle också kunna innehålla zeoliter eller ämnen som mer specifikt binder vissa föroreningar. Det råder delade meningar om hur effektiva kolfilter är vid de mycket låga halter av föroreningar som man har inomhus. Viner et al.[125] menar att ett sådant filter inte skulle ha en livstid på mer än några minuter. Det är dock troligt att enkla kolfilter knappast kan fungera någon längre tid eftersom det är stora mängder luft (av i storleksordningen husets tilluftsflöde) som måste passera igenom filtret. Mer komplicerade anläggningar med dubbla filter, där det ena regenereras när det andra används, är troligtvis en bättre fungerande, men mycket kostsam, åtgärd[125]. Det finns flera beskrivna fall där kolfilter inte har avhjälpt emissionsproblem[41].

Man har även gjort försök med lågtemperaturkatalysatorer som har visat sig kunna ta bort vissa ämnen från inomhusluften, men inte andra[39]. I något fall genererade dock dessa luftrenare andra störande ämnen.

Har man problem med biologisk växt i t.ex. ett sjukhus kan man försöka minska den genom behandling av byggnaden med fungicider och/eller baktericider[11]. Metoden är knappast lämplig i bostäder.

Det har föreslagits att krukväxter skulle kunna minska mängden föroreningar inomhus. Så t.ex. har man i vissa försök visat att växten *Chlorophytum elatum* var. *vittatum* minskade mängden formaldehyd i luften. Dessa resultat har dock kritiserats och varit svåra att reproducera[39]. I något fall verkar det snarast ha varit den mikrobiologiska aktiviteten i jorden som hade effekt, inte själva växten[39].

### *Nybyggnation*

Många har försökt bygga hälsosamma hus de senaste åren. Hur detta har lyckats får framtiden utvisa, men det finns många intressanta idéer att pröva. Eftersom det finns många osäkerheter kring sjuka hus är det viktigt att man inte gör förändringar i byggteknik och byggmaterial som

det i framtiden visar sig ge andra problem. Så t.ex. bör man inte bygga otäta hus, placera organiska material i fuktutsatta lägen, eller använda organiska fungicider inomhus.

Situationen idag är osäker vad gäller byggnadsmaterial och emissioner. Det finns få säkra bevis för att de byggnadsmaterial vi har idag är hälsoskadliga, men samtidigt en mängd indikationer på att så kan vara fallet för många material. En utgångspunkt vid materialval är att det aldrig kan vara fel att använda lågemitterande material. Ett antal olika metoder att bedöma material har presenterats[27, 62, 84, 89, 95], men de måste troligtvis förfinas betydligt för att vara användbara i framtiden.

Testning av material är problematiskt eftersom det inte finns några gränsvärden att bedöma resultaten efter. Det går inte heller att jämföra två olika emitterade ämnens farlighet. En möjlighet är dock att använda särskilt känsliga personer som får bedöma om emissionerna från ett material ger problem[Catanini, 1993 #166].

Ett problem med materialtester är att varje material testas för sig när det är relativt nytt, medan det finns flera exempel på att det är materialkombinationer (och fukt) som ger problem efter en tids användning. Nya metoder bör utvecklas för att studera emissioner från materialkombinationer under olika förhållanden.

En väg att gå när det gäller att bygga sunda hus är att utnyttja den senaste tekniken vad gäller sensorer, datorer och luftbehandlingsteknik. Så kan man t.ex. [64] ha teknik att rena tilluften och återluften från olika föroreningar, använda sensorer som mäter CO<sub>2</sub> eller TVOC, och utnyttja en datormjukvara som optimerar driften av byggnaden så att de som vistas i den får god luftkvalitet och gott klimat till lägsta möjliga pris. Sensorer skulle t.ex. även kunna registrera om någon öppnade ett fönster så att ventilationen anpassades efter detta. Sådana s.k. smarta eller intelligenta hus sägs ibland vara framtidens byggnader, men de höga byggkostnaderna och de många möjligheterna till problem under driften gör att detta är tveksamt.

Det är mycket viktigt att ventilationen fungerar väl så att alla rum blir ventilerade. Även underhåll av ventilationsanläggningar bör ha högsta prioritet.

En något tveksam metod att minska mikrobiologisk aktivitet i en byggnad är att belägga potentiellt fuktiga ytor med ett bundet ämne som är giftigt för mikroorganismer[55]. Ett sådant system har lanserats av Dow Chemicals under namnet Sylgard. Den aktiva substansen absorberas på ytor och sitter sedan fast. Vid kontakt med ytorna dör mikroorganismer. Medlet påstås ha bidragit till lägre koncentrationer av luftburna mikroorganismer vid en test i USA där man sprutade ämnet på heltäckningsmattor[55].

Den skandinaviska metoden att under en byggnads första år köra maximal ventilationen anses av många vara föredömlig, främst för att VOC-halterna skulle minska snabbare[10]. Om så verkligen är fallet är nog ej utrett. En annan udda metod att minska emissionerna av VOC är att öka luftomsättningen och samtidigt höja temperaturen 10-20 grader under en tid efter färdigställandet av en byggnad (eller installation av ny inredning). Detta kallas för "building bake-out" i USA och har undersökts med varierat resultat[41]. Girman et al.[10] fann att det var ett effektivt sätt att minska emissionerna, medan Bayer[9] fann att metoden gav ökade emissioner under temperaturhöjningen, medan nivåerna var oförändrade efteråt. För spånskivor verkade den förhöjda temperaturen ge emission av ämnen med högre molekylvikt än vad som avges vid rumstemperatur. Höga temperaturhöjningar kan även ge skador på temperaturkänsliga material. Metoden är dock sund för enskilda produkter som vid sina första användningar avger kraftiga emissioner; så t.ex. kan man provköra hushållsspisar på fabrik för att bränna bort isocyanater.

## Forskningsbehov

Nedan beskrivs kortfattat ett antal områden där jag anser att forskningsinsatser skulle vara nyttiga. Jag har till viss del prioriterat områden där kompetens finns vid Lunds Universitet.

### Övergripande projekt

- SBS och vår förändrade totalmiljö. Det framkommer ofta att SBS inte orsakas av *en* faktor utan av många olika faktorer, varav några säkerligen är psykologiska och sociala. För att lösa sjuka-hus-problematiken krävs studier på detaljnivå av t.ex. medicinska mekanismer, men också övergripande och sammanställande forskning. I detta projekt skulle omfattande kunskap samlas om hur vår miljö har ändrats de senaste decennierna. Det gäller såväl kemiska ämnen som ändrad livsstil och vår uppfattning av problemen med sjuka hus, massmedias rapportering och internationella jämförelser. Dessutom kan jämförelser göras med bildskärmsallergi och andra "syndrom" som verkar drabba människor idag. Självklart bör även byggteknik och byggnadsmaterial studeras.
- Emissionskällor i bostäder. Det mäts mycket inom SBS-området, framförallt i sjuka hus. Sällan diskuterar man dock varifrån mer än ett fåtal ämnen kommer. I detta projekt skulle man mäta gasformiga ämnen och ämnen bundna på olika partikelfraktioner i några normala bostäder för att sedan söka efter källorna till ämnena, även de som är i låga halter. Lämpligt är även att man gör punktmätningar på material, hushållsprodukter, möbler, kläder etc. Målet är emissionsbeskrivningar av ett antal bostäder med tyngdpunkt på beskrivning av källtermerna.
- Utveckling av metoder för bedömning av materials effekter på den inre miljön. Vid flera svenska byggföretag pågår redan arbeten för att gradera material ur olika aspekter. De metoder som används för att bedöma materials påverkan på innemiljön är dock mycket grova eftersom t.ex. toxikologiska data fattas. I detta projekt skall publicerade metoder gås igenom och bedömas. En djupare studie skall sedan göras kring urvalskriterier inom en materialgrupp, t.ex. färger.
- Kritisk granskning av säkerheten i epidemiologiska undersökningar inom SBS-området. En stor del av den "säkra kunskap" som i omlopp inom detta område bygger på olika typer av epidemiologiska undersökningar. Ofta baseras insatser och regelverk på indikationer från denna typ av undersökningar. Eftersom man kan ifrågasätta de resultat som vissa epidemiologiska undersökningar har kommit fram till bör det vara en intressant uppgift att bedöma ett stort antal av dessa undersökningar för att se vilka som är mest trovärdiga.

### Specifika projekt: material

- Emissioner från material och byggnader under flera år. En stor mängd mätningar av VOC har gjorts i byggnader med problem. I vissa fall har man även tagit hem materialprover till laboratoriet för att hitta en föroreningskälla. Nyare mätmetoder (FLEC) har också gett möjlighet att mäta emissioner från ytor i fält. Dock har enbart ett fåtal långtidsundersökningar under kontrollerade former gjorts av emissioner från byggnadsmaterial och andra material.
- Kritiska fuktnivåer för emissioner från kombinationer av fuktiga material. Man vet sedan länge att fukt är en viktig komponent vid sjuka hus bl.a. för att många oönskade reaktioner kräver fukt. En angelägen forskningsuppgift är att närmare undersöka hur fukthalt, temperatur, pH etc. påverkar nedbrytning av limmer, färger, trä och andra produkter som kan hamna i en fuktig miljö.

- Utveckling av metoder för att direkt studera nedbrytning av fasta material. Det finns ett behov av metoder för att kunna mäta reaktionshastigheter under korttidsförsök (icke-accelererat). Mikrokalorimetri är en sådan mycket känslig metod som används bl.a. inom explosivämnesindustrin för att studera stabilitet. Inom SBS-området skulle en sådan generell metod kunna användas för att mäta t.ex. mögeltillväxt och förtvålning av limmer, båda som funktion av fuktighet, temperatur, pH och andra parametrar. Metoden skulle kunna användas för att t.ex. "screena" olika produktformuleringar vid en utvecklingsavdelning.
- Utveckling av framtida lågemitterande polymera material. En stor del av de VOC som finns i luften i varje svensk byggnad kommer från polymera byggnads- och inredningsmaterial. Det vore intressant att i samarbete med industrin formulera krav och finns tekniska lösningar som gör att de material som installeras i våra byggnader om 10-20 år är lågemitterande. Uppgiften är inte att något förbättra t.ex. dagens PVC-mattor, utan att delta i utvecklingsarbetet kring *helt nya* polymera material, t.ex. dendrimerer, som kan skraddarsys för olika uppgifter utan tillsatser av t.ex. mjukgörare.
- Utveckling av miljövänliga och lågemitterande färgsystem för inomhusbruk. Färger tillhör de ämnen som emitterar störst mängd ämnen, i varje fall under den första tiden från de har applicerats. De moderna vattenbaserade färgerna är i detta avseende inte självklart bättre än de lösningsmedelsbaserade. I detta projekt studeras dels olika metoder att minska emissionerna, dels möjligheter att bedöma vilka emissioner som kan tillåtas.

#### *Specifika projekt: partiklar/aerosoler*

- Föroreningar i gasfas samt bundna till olika partikelfraktionier. Flyktiga organiska ämnen mäts ofta vid sjuka-hus-undersökningar (p.g.a. metodernas utformning får man vid insamlingen ibland även med ämnen bundna till partiklar). Sällan mäts *enbart* föroreningar bundna till partiklar även om dessa potentiellt skulle kunna vara en större risk än gasformiga ämnen eftersom partiklar av vissa storlekar deponeras i andningsvägarna. Partiklar kan även vara bärare av farliga ämnen som har för lågt ångtryck för att själva kunna diffundera i luften.
- Partikeldeposition i ögon, ansikte och andningsvägar. Slemhinnorna och huden är de organ som är mest exponerade för föroreningar i inomhusluften. Det är också oftast de som signalerar att det är något fel med innemiljön. Trots detta är kunskapen dålig om hur ämnen och partiklar deponeras i t.ex. ögon och ansikte och de provtagningsutrustningar som används liknar inte de mänskliga slemhinnorna. Här finns mycket att göra både vad gäller deponering, mätteknik och dos-respons-studier.
- Studier av absorption av föroreningar på aerosoler. Flyktiga ämnen som kondenserar på partiklar kan, om partiklarna har "rätt" egenskaper, anrikas där och på så sätt föra in farliga ämnen in i kroppen. I detta projekt studeras hur ett antal typiska föroreningar som ofta förekommer i byggnader absorberas på en aerosol. Av intresse är förhöjda temperaturer som kan få lågflyktiga ämnen att förångas för senare deposition på en aerosol.
- Inverkan av laddning på partikeldeponering. När en aerosol (partikelfördelning) bildas kan den ha olika laddning beroende på hur den bildats. Efter ett tid inställer sig dock en viss laddningsfördelning, oberoende av ursprungsladdningen. Det finns olika metoder att ändra partiklars laddning, en del av dessa saluförs som luftrenare. Dock finns det mycket lite kunskap om hur laddning påverkar aerosolens egenskaper. Laddade partiklar bör t.ex. deponeras snabbare, men frågan är om de deponeras på människor eller på materialytor? I detta projekt bör detta problem studeras både ur teoretisk och praktisk synvinkel.



*Specifika projekt: biologiska föroreningar*

- Biotoxiner i inomhusmiljö. Bakterier och svampar kan producera mycket starka gifter, men även allergena ämnen. Det vore intressant att studera när och var dessa ämnen bildas och hur människor kan komma att exponeras för dem. Av särskilt intresse är mätmetoder för mikrobiologisk aktivitet, t.ex. användandet av kemiska markörer för att bedöma en förorenings ursprung och styrka.
- Mekanistiska studier av påverkan av långtidsexponering för låga halter av biologiska föroreningar. Detta är ett mycket svårt och mycket stort ämne där man bör inrikta sig på en liten del av den stora problemställningen. Möjliga angreppssätt är utveckling/användning av objektiva mätmetoder av respons för exponering, djurförsök/transgena djur, sensibiliseringsmekanismer etc. En mycket viktig frågeställning är om det finns synergieffekter mellan olika typer av ämnen, t.ex. mellan VOC och en allergen.

*Specifika projekt: medicin*

- Studier av dos-respons-samband för VOC hos försökspersoner. Denna typ av kontrollerade exponeringsstudier har använts bl.a. av Fanger och Mölhave i Danmark, men här finns mer att göra; framförallt genom att använda objektiva mätmetoder för försökspersonernas symptom för att därmed klargöra synergieffekter mellan olika ämnen.
- Sensibiliseringsmekanismer. Denna korta titel kan rymma mycket. Det är oklart för mig viken typ av projekt som är mest värdefullt inom detta för SBS-ämnets centrala område. En väsentlig fråga att klargöra är varför vissa människor är känsliga för ämnen i så låga halter att de flesta människor inte reagerar på dem?.

*Specifika projekt: mätteknik*

- Utveckling av *in vitro* bioresponsensorer för inomhusmiljö. Det är naturligt att använda människors respons vid innemiljöstudier. I laboratorieförsök har man även använt djurförsök. Ett nytt och ännu outvecklat område är att utveckla sensorer som bygger på att man detekterar responsen från en cellodling eller ett vävnadsprov när det utsätts för en luftförorening. Ett problem här är att emissionerna finns i gasfas, medan celler och vävnader normalt finns i vätskefas, så föroreningarna måste föras över från det ena till det andra (på ett liknande sätt som sker i kroppen).
- Användningen av "elektroniska näsor" för att bedöma inomhusmiljö. Elektroniska näsor bygger på att man genom att datorbehandla signalerna från ett antal sensorer som reagerar på gasformiga ämnen (t.ex. vissa halvledare) kan få fram signaturer för flyktiga ämnen från olika produkter. Användningen inom inomhusområdet har varit begränsad, vilket delvis kan bero på att sensorerna inte är optimala för de låga halter av föroreningar som man har i byggnader. Detta projekt skall använda befintlig svensk och utländsk teknik och bedöma teknikens möjligheter.

**Tack**

Tack till Göran Fagerlund för kritisk genomläsning av manuskriptet.

### Förkortningsordlista

Sjuka-hus-området kryllar av engelskspråkiga förkortningar, som ibland inte förklaras. Jag har därför samlat en del av dessa här.

**ACBM** (Asbestos Containing Building Material)

**ACGIH** (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)

**ACH** (Air changes per hour) unit: 1/h

**ACM** (Asbestos Containing Material)

**ALARA** (As Low As Reasonably Achievable)

**ASHRE** (American Society of Heating, Refrigeration and air conditioning Engineers)

**BAMSE** A large-scale study of children in Stockholm

**BEI** (Biological Exposure Indexes) Procedure to determine the amount of material absorbed into the human body by measuring it (or its metabolic products) in tissue, fluid, or exhaled air.

**BOHS** (British Occupational Hygiene Society)

**BP** (Boiling Point)

**BRD** (Building Related Disease) cf. SBS.

**Btu** (British thermal unit)

**C** (Ceiling/Continuous) Type of exposures: PEL-C (=ceiling); LD50>10 g/g 24 H-C (continuous).

**CAS** (Chemical Abstracts Service) Every chemical has a CAS-number.

**CEA** (Critical Equilibrium Activity) E.g. the lowest water activity (relative humidity) at which dust mites can survive.

**cfm, CFM** (Cubic Feet per Minute)

**CFU** (Colony-Forming Units) Unit for number of viable mold units; usually CFU/m<sup>3</sup>.

**CNS** (Central Nervous System)

**DDVP** =Dichlorvos, insecticide.

**DOP** (DiOctyl Phtalate) Chemical substance used to generate aerosols for filter testing.

**DR** (Dose-Response) DR-relation.

**EAA** (Extrinsic Allergic Alveolitis) Hypersensitivity pneumonitis, e.g. farmers lung.

**ECM** (Energy Conservation Measures)

**EHS** (Extremely Hazardous Substance).

**ELIB** Swedish study of energy consumption and indoor climate in buildings.

**ELISA** (?? Immuno ? Assay) Analytical method for detecting IgE antibodies (and other).

**EPA** (Environmental Protection Agency) USA

**ETS** (Environmental Tobacco Smoke) The smoke from cigarettes etc. that is not "absorbed" by the smoker.

**f/cc** (fibers per cubic centimeter of air) Asbestos etc.

**GC** (Gas Chromatography)

**GRAS** (Generally Recognized As Safe)

**HDM** (House Dust Mite)

**HEPA** (High Efficiency Particulate Filter)

**HP** (Hypersensitivity Pneumonitis)

**HPLC** (High Pressure Liquid Chromatography)

**HSDB** (Hazardous Substance Data Bank) Chemical database maintained by National Library of Medicine (USA).

**HVAC** (Heating, Ventilation, Air-Conditioning) A name for all air-handling systems in buildings.

**IA** (Indoor Air)

**IAP** (Indoor Air Pollution)

**IAQ** (Indoor Air Quality)

**IgE** (Innoglobulin type E) Human antibody that has elevated levels in persons with allergy.

**Ihl** (Inhalation)

**IRIS** (Integrated Risk Information System) Chemical database maintained by EPA.

**IRR** (IRRitant effects)

**ISIAQ** (International Society of Indoor Air Quality and Climate)

**LC** (Liquid Chromatography)

**LCI** (Lowest Concentration of Interest)

**LDF** (Laser-Doppler Flow) Non-invasive technique to measure blood circulation.

**LOD** (Limit Of Detection)

**MCF** (Multiple Chemical Sensitivity) The concept that some (or all) individuals are sensitive to a number of chemicals at very, very low concentrations.

**MDF** (Medium Density Fiberboard) Board product that can have high formaldehyde emissions.

**MDI** (Methyl Diisocyanate) Type of adhesive used for wood.

**MLD** (MiLD irritation effects)

**MME** (Mucous Membrane Effects)

**MOD** (MODerate irritation effects)

**MPI** (Mass Psychogenic Illness) Synonyms: mass hysteria and epidemics of psychiatric symptoms.

**MS** (Mass Spectroscopy)

**MSDS** (Material Safety Data Sheet)

**MVOC** (Metabolic/Microbial Volatile Organic Compounds) A volatile biogenic compounds.

**NA** (Not Available)

**ND** (Not Determined)

**NOEL** (NO Effect Level)

**NIOSH** (National Institute of Occupational Safety and Health) USA

**NIR** (Non-Ionizing Radiation) Electromagnetic radiation with wavelengths longer than 100 nm (UV (Ultra-Violet), IR (InfraRed), RF (RadioFrequency) (including microwaves (MW)) and ELF (Extremely Low Frequency) (**NIR** is also and abbreviation for Near Infrared Radiation)

**NOEL** (No Observable Effect Limit)

**OA** (Outside Air) For example: cfm OA

**OEL** (Occupational Exposure Limit)

**OSHA** (Occupational Safety and Health Administration) USA

**PAH** (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) Organic compounds whose molecules are built from more than one aromatic ring.

**PCB** (PolyChlorinated Biphenyls) Used in transformers, flourescent light ballasts and electrical cables (only in old buildings; PCB was banned 1977 in USA).

**PCP** (PentaChloroPhenol) Wood preservative (not used in Sweden for many years, but still widely used abroad).

**PEL** (Permissible Exposure Limits) Limits used in industrial settings (OSHA).

**PF** (Phenol-Formaldehyde) Type of wood adhesive.

**PM<sub>10</sub>** particulates less than 10  $\mu\text{m}$  (cf. RSP)

**PNS** (Periferal Nervous system Effects)

**POM** (Particulate Organic Compounds?) Organic compounds with very low volatility?

**ppb** (parts per billion) 1 ppb = 0,001 ppm (USA)

**ppm** (parts per million) Parts per million by volume. For an airborne substance:  $\text{ppm} * \text{Mw} = 24.45 * \text{mg/m}^3$ . (Mw is molecular mass).

**ppt** (parts per trillion) 1 ppt = 0.000001 ppm.

**RAST** Test of if a person has antibodies towards a specific allergen. More common is "panel RAST" to test against a set of allergens (e.g. different pollens etc.).

**REL** (Recommended Exposure Limit) An occupational exposure limit recommended by NIOSH (USA) as being protective of worker health and safety over a working lifetime.

**RSM** (RhinoStereoMetri) Technique to measure swelling of nose slemhinna?

**RSP** (Respirable Suspended Particulates) Particles or fibers (aerosols) small enough (<10 µm) to follow the inhaled air deep into the lungs where they can deliver harmful substances to the surrounding tissue.

**RTECS** (Registry of Toxic Effect of Chemicals) Chemical database maintained by NIOSH (USA)

**SBS** (Sick Building Syndrome) cf. BRD.

**SVOC** (Semi-Volatile Organic Compounds) e.g. most pesticides.

**TBS** (Tight Building Syndrome) =SBS

**TILT** (Toxicant-Induced Loss of Tolerance) Long-term exposure to (often low levels of) chemical agents causes (susceptible) people to lose their natural tolerance to these agents.

**TLV** (Threshold Limit Values) Highest exposure values recommended by ACGIH.

**TMVOC** (Total Metabolic/Microbial Volatile Organic Compounds) All volatile biogenic compounds.

**TPAN** (Total PAN?)

**TSP** (Total Suspended Particulate) All particles in air that does not sediment readily.

**TVOC** (Total Volatile Organic Compounds)

**UF** (Urea-Formaldehyde) Type of resin (adhesive).

**UFFI** (Urea Formaldehyde Foam Insulation)

**VDT** (Video Display Terminal)

**VOC** (Volatile Organic Compounds)

**VP** (Vapor Pressure)

**VVOC** (Very Volatile Organic Compounds)

## Referenser

1. Anari, R., *et al.* *Is sleeping on sheepskin rugs hazardous to prematurely born infants?* i *Allergistämman '96*. 1996. Stockholm: Folkhälsoinstitutet, Stockholm.
2. Anderson, R.C. *Toxic emissions from carpets*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
3. Andersson, K. *Inomhusklimat och ohälsa - vet vi mer nu än 1994?* i *Inomhusklimat Örebro 1997*. 1997. Örebro, Sweden.
4. Andersson, K. *Vad betyder upplevelsen "torr luft"*. i *Inomhusklimat Örebro 1997*. 1997. Örebro, Sweden.
5. Andersson, K., *et al.*, *TVOC and health-effects in non-industrial indoor environments*. *Indoor Air*, 1997. 7: p. 78-91.
6. Atterstam, I., *Omöjligt bota "sjuka hus"*, i *Svenska Dagbladet*. 1998: Stockholm.
7. Bakke, J.V., *et al.* *NKB-report on chemicals and hypersensitivity in the airways. I: Classification of chemicals*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
8. Bakke, J.V., *et al.* *NKB-report on chemicals and hypersensitivity in the airways. II: known and suspected initiators of asthma and potential harmful exposures*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
9. Bayer, C.W. *The effect of "building bake-out" conditions on volatile organic compound emissions*. i *Indoor air pollution; its causes, its measurement and possible solutions*. 1989. Miami Beach: Lewis Publisher, Boca Raton.
10. Beachler, M.C., *et al.*, *Sick Building Syndrome: sources, health effects, mitigation*. 1991, Park Ridge, NJ, USA: Noyes Data Corporation.
11. Bencko, V., B. Tichacek, and V. Melichercikova. *Indoor air disinfection; its history and present significance for health care facilities*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
12. Berglund, B. and H.S. Esfandabad. *A bisensory testing procedure suitable for odorous irritants and emissions from building materials*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
13. Betton, G.R., *Formaldehyde*, i *Indoor air pollution: problems and priorities*, G.B. Leslie and F.W. Lunau, Editors. 1992, Cambridge University Press: Cambridge.
14. Binnie, P.W.H. *Biological pollutants in the indoor environment*. i *Indoor air pollution; its causes, its measurement and possible solutions*. 1989. Miami Beach: Lewis Publisher, Boca Raton.
15. Bjurman, J. *Thermal insulation materials, microorganisms and the sick building syndrome*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
16. Björkstén, B. *The role of the indoor environment in childhood allergy*. i *Allergistämman '96*. 1996. Stockholm: Folkhälsoinstitutet, Stockholm.
17. Björkstén, B. *Allergier i en föränderlig värld*. i *Inomhusklimat Örebro 1997*. 1997. Örebro, Sweden.
18. Bluysen, P.M. and J.I. Walpot. *Sensory evaluation of perceived air quality; a comparison of the threshold and the decipol method*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
19. Brandon, R.W. and J. Trautwein. *Application of Fourier transform infrared remote sensing to air quality monitoring in the workplace*. i *Clean Air at Work*. 1991. Luxembourg: Royal Society of Chemistry, Cambridge UK.
20. Brown, R.C., J.A. Hoskins, and A. Poole, *Mineral fibers*, i *Indoor air pollution: problems and priorities*, G.B. Leslie and F.W. Lunau, Editors. 1992, Cambridge University Press: Cambridge. p. 77-98.
21. Bråbäck, L. *Skyddar trångboddhet mot astma?* i *Allergistämman '96*. 1996. Stockholm: Folkhälsoinstitutet, Stockholm.
22. Burge, H.A. *What causes health effects in damp buildings?* i *Allergistämman '96*. 1996. Stockholm?: Folkhälsoinstitutet, Stockholm.
23. Burge, P.S., *Bacteria, fungi and other micro-organisms*, i *Indoor air pollution: problems and priorities*, G.B. Leslie and F.W. Lunau, Editors. 1992, Cambridge University Press: Cambridge. p. 29-61.
24. Cadwell, G.H. and W. Whyte, *High efficiency air filtration*, i *Cleanroom design*, W. Whyte, Editor. 1991, John Wiley & Sons Ltd.: Chichester, UK. p. 181-204.
25. Cain, W.S. and J.E. Cometto-Muniz. *Irritation and odor: symptoms of indoor air pollution*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
26. Camp, J.E., *et al.* *Interaction between low level contaminants and organizational factor in indoor air quality complaints*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
27. Catanini, C., *et al.* *Selecting building materials for healthy environments*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
28. Clough, G., *Surface finishes in cleanrooms*, i *Cleanroom design*, W. Whyte, Editor. 1991, John Wiley & Sons Ltd.: Chichester, UK. p. 205-230.

29. Clough, G., *Danders, etc from domestic and laboratory animals*, i *Indoor air pollution: problems and priorities*, G.B. Leslie and F.W. Lunau, Editors. 1992, Cambridge University Press: Cambridge. p. 183-192.
30. Cometto-Muniz, J.E. and W.S. Cain. *Nasal irritation and odor from homologous series of chemicals*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
31. Cosentino, S., M.A. Fadda, and F. Palmas. *Indoor airborne fungal spores in the homes of allergic and non allergic subjects*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
32. Crockford, G.W., *Contributions from outdoor pollutants*, i *Indoor air pollution: problems and priorities*, G.B. Leslie and F.W. Lunau, Editors. 1992, Cambridge University Press: Cambridge. p. 275-285.
33. Eberlein-König, B., *et al. Influence of low air humidity (AH) on skin roughness (SR) assessed in a climatic chamber*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
34. Ekberg, L.E. *Volatile organic compounds in office buildings*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
35. Ember, L.R., *Surviving stress*. Chem. Eng. News, 1998. 76(21): p. 12-24.
36. Eriksson, N. *Nya former av ohälsa i arbetslivet. "Sjuka hus-sjuka" och "elöverkänslighet"*. i *Allergistämman '96*. 1996. Stockholm?: Folkhälsoinstitutet, Stockholm.
37. Eriksson, N. and J. Höög. *The office illness project in northern Sweden. The significance of psychosocial factors for the prevalence of the "sick building syndrome". A case referent study*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
38. Forsberg, B., *et al.*, *Childhood asthma in four regions in Scandinavia: risk factors and avoidance effects*. Int. J. Epidemiology, 1997. 26(3): p. 610-619.
39. Godish, T., *Indoor air pollution control*. 1989, Chelsea MI, USA: Lewis Publishers.
40. Gustafsson, D. *Vad säger oss allergitesterna? i Inomhusklimat Örebro 1997*. 1997. Örebro, Sweden.
41. Gustafsson, H., *Building materials identified as major sources for indoor air pollutants*, . 1992, Swedish Council for Building Research: Stockholm.
42. Gustafsson, L.E. and S.G.O. Johansson, *Allergi och annan överkänslighet - några definitioner*, i *Expertbilaga. Beskrivningar av allergi/överkänslighet (SOU 1989:77)*. 1989, Socialdepartementet: Stockholm. p. 83-87.
43. Hallenbeck, W.H., *Quantitative risk assessment for environmental and occupational health*. 1993, Boca Raton: Lewis Publishers.
44. Harper, M. and L.V. Guild. *Desorption efficiency - a critical factor affecting the accuracy of air sampling methods*. i *Clean Air at Work*. 1991. Luxembourg: Royal Society of Chemistry, Cambridge UK.
45. Hicks, J.B., *Indoor air quality and health complaints*, i *The work environment. Volume three: indoor health hazards*, D.J. Hansen, Editor. 1994, Lewis Publishers: Boca Raton FL, USA. p. 3-14.
46. Hicks, J.B., *Pollutants in the indoor environment*, i *The work environment. Volume three: indoor health hazards*, D.J. Hansen, Editor. 1994, Lewis Publishers: Boca Raton FL, USA. p. 15-32.
47. Hicks, J.B., *Residential Indoor Air Quality*, i *The work environment. Volume three: indoor health hazards*, D.J. Hansen, Editor. 1994, Lewis Publishers: Boca Raton FL, USA. p. 33-44.
48. Hilling, R. and U. Palmgren, *Fukt, svamp och bakterier i byggnader. En handledning vid skadentredningar.*, . 1993, Swedish National Testing and Research Institute: Borås, Sweden.
49. Husman, T., *et al. Respiratory symptoms and infections among residents in dwellings with moisture problems or mold growth*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
50. Huttie, R., *Potential hazards from consumer products*, i *The work environment. Volume three: indoor health hazards*, D.J. Hansen, Editor. 1994, Lewis Publishers: Boca Raton FL, USA. p. 45-63.
51. Johanning, E., P.R. Morey, and B.B. Jarvis. *Clinical-epidemiological investigation of health effects caused by Stachybotrys atra buliding contamination*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
52. Joki, S., *et al. Effect of indoor microbial metabolites on ciliary function in respiratory airways*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
53. Jones, J.R., *Solving indoor air quality problems*, i *The work environment. Volume three: indoor health hazards*, D.J. Hansen, Editor. 1994, Lewis Publishers: Boca Raton FL, USA. p. 115-129.
54. Juto, J.E. *Nya möjligheter att studera miljöpåverkan på slemhinnor i övre luftvägar*. i *Inomhusklimat Örebro 1997*. 1997. Örebro, Sweden.
55. Kemper, R.A. and W.C. White. *Sustained reduction of aerobiological densities in buildings by modification of interior surfaces with silane modified quarternary amines*. i *Indoor air pollution; its causes, its measurement and possible solutions*. 1989. Miami Beach: Lewis Publisher, Boca Raton.
56. Kirsch, L.S. *Liability for indoor air pollution*. i *Indoor air pollution; its causes, its measurement and possible solutions*. 1989. Miami Beach: Lewis Publisher, Boca Raton.
57. Kjaergaard, S., B. Berglund, and L. Lundin. *Objective eye effects and their relation to sensory irritation in a "sick building"*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
58. Kjaergaard, S. and J. Brandt. *Objective human conjunctival reactions to dust exposure, VDT-work and temperature in sick buildings*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.

59. Kolmodin-Hedman, B., S. Flato, and M. Åkerblom. *Irritative symptoms in museum personnel - a complex environmental exposure*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
60. Kurtz, J.B., *Legionella*, i *Indoor air pollution: problems and priorities*, G.B. Leslie and F.W. Lunau, Editors. 1992, Cambridge University Press: Cambridge.
61. Lambert, W.E., *et al. Residential exposures to nitrogen dioxide and respiratory illnesses in infants*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
62. Larsen, A. and A. Abildgaard. *Paints favourable to indoor air quality selection criteria and evaluation*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
63. Lehrer, S.B., *et al. Specificity of asthmatic responses to side-stream cigarette smoke challenge in a dynamic test chamber*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
64. Levin, H. *Pre-design study of a model IAQ headquarters facility for the United States Environmental Protection Agency*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
65. Light, E.N., *et al. Project design for the abatement of microbial contamination*. i *Indoor air pollution; its causes, its measurement and possible solutions*. 1989. Miami Beach: Lewis Publisher, Boca Raton.
66. Lindfors, L., *et al. The cat - an indoor hazard for allergy in young asthmatics*. i *Allergistämman '96*. 1996. Stockholm: Folkhälsoinstitutet, Stockholm.
67. Lindvall, T., *Radon*, i *Indoor air pollution: problems and priorities*, G.B. Leslie and F.W. Lunau, Editors. 1992, Cambridge University Press: Cambridge. p. 99-116.
68. Luczynska, C., D. Jarvis, and P. Burney. *Effect of exposure to indoor allergens*. i *Allergistämman '96*. 1996. Stockholm: Folkhälsoinstitutet, Stockholm.
69. Lunau, F.W., *The perception of indoor air quality*, i *Indoor air pollution: problems and priorities*, G.B. Leslie and F.W. Lunau, Editors. 1992, Cambridge University Press: Cambridge. p. 9-18.
70. Lunau, F.W. and G.B. Leslie, *Introduction*, i *Indoor air pollution: problems and priorities*, G.B. Leslie and F.W. Lunau, Editors. 1992, Cambridge University Press: Cambridge. p. 1-8.
71. Lundin, L. *Symptom patterns and air quality in a sick library*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
72. Malmberg, P. *Damp buildings (summary of session)*. i *Allergistämman '96*. 1996. Stockholm?: Folkhälsoinstitutet, Stockholm.
73. Miller, C.S. and N.A. Ashford. *The hypersusceptible individual*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
74. Mölhave, L. *Sundhetspåverkningar fra luftforureninger i lave koncentrationer*. i *Inomhusklimat Örebro 1997*. 1997. Örebro, Sweden.
75. Nagorka, R., U. Detlef, and R. Matissek. *Determination of 2-methylisothiazolones in air-conditioned indoor air*. i *Clean Air at Work*. 1991. Luxembourg: Royal Society of Chemistry, Cambridge UK.
76. Naik, D.V., C.J. Weschler, and H.C. Shields. *Indoor and outdoor concentrations of organic compounds associated with airborne particles: results using a novel solvent system*. i *Indoor air pollution; its causes, its measurement and possible solutions*. 1989. Miami Beach: Lewis Publisher, Boca Raton.
77. Neely, W.B., *Introduction to chemical exposure and risk assessment*. 1994: Lewis Publishers, Boca Raton.
78. Nevalainen, A. *Påverkan av mikroorganismer på material och hälsa*. i *Inomhusklimat Örebro 1997*. 1997. Örebro, Sweden.
79. Nicholls, P.J., *Vegetable dusts and lung disease*, i *Indoor air pollution: problems and priorities*, G.B. Leslie and F.W. Lunau, Editors. 1992, Cambridge University Press: Cambridge. p. 161-182.
80. Norbäck, D., *et al. Exposure to volatile organic compounds (VOC) in the general Swedish population and its relation to perceived air quality and sick building syndrome (SBS)*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
81. Nordström, G., *Forskarkvartett tror på kemikaliespåret*, i *TCO-tidningen*. 1997.
82. Nunes, F., *et al. The effect of varying level of outdoor air supply on neurobehavioral performance function during a study of sick building syndrome (SBS)*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
83. Ogden, T.L. *Legal background and standards: particulate matters*. i *Clean Air at Work*. 1991. Luxembourg: Royal Society of Chemistry, Cambridge UK.
84. Oie, L., *et al. Selection of building materials for good indoor air quality*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
85. Otto, D., *et al. Neurobehavioral and subjective reactions of young men and women to a complex mixture of volatile organic compounds*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
86. Pasanen, A.L., *et al. Membrane filter sampling - a new method for collection of airborne mycotoxins*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
87. Pejtersen, J. and E. Mayer. *Performance of a panel trained to assess perceived air quality*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
88. Pershagen, G., *Epidemiologiska undersökningsmetoder - en kunskapssammanställning*, i *Expertbilaga. Beskrivningar av allergi/överkänslighet (SOU 1989:77)*. 1989, Socialdepartementet: Stockholm. p. 119-130.



89. Piardi, S., A. Ratti, and P. Carena. *Choice of building products and indoor air pollution*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
90. Pickering, C.A.C. *Allergy and environmental hypersensitivity related to the indoor environment*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
91. Ray, D.E., *Hazards from solvents, pesticides and PCB*, i *Indoor air pollution: problems and priorities*, G.B. Leslie and F.W. Lunau, Editors. 1992, Cambridge University Press: Cambridge. p. 131-159.
92. Reinikainen, L.M. and J.J.K. Jaakola. *The effect of room temperature on symptoms and perceived indoor air quality in office workers; a six week longitudinal study*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
93. Rotweiler, H. *Active sampling of VOC in non-industrial buildings*. i *Clean Air at Work*. 1991. Luxembourg: Royal Society of Chemistry, Cambridge UK.
94. Roys, M.S., G.J. Raw, and C. Whitehead. *Sick building syndrome: cleanliness is next to healthiness*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
95. Salares, V. and P. Rusell. *Selecting building materials for healthy environments*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
96. Samet, J.M. *Indoor air pollution: a public health perspective*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
97. Samuelson, I., *Erfarenheter från saneringen av Dalen*, . 1996, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut: Borås, Sweden.
98. Samuelsson, I. *Fukt i byggnader*. i *Inomhusklimat Örebro 1997*. 1997. Örebro, Sweden.
99. Sandin, K., *Introduktion till fuktmekaniken*, . 1997, Byggeforskningsrådet: Stockholm.
100. Seraf, A. and L. Larsson, *Use of gas chromatography/ion-trap tandem mass spectrometry for the determination of chemical markers of microorganisms in organic dust*. *J. Mass Spectrometry*, 1996. **31**: p. 389-396.
101. Sheldon, L.S., *et al. Methods for chemical characterization of air samples - PTEAM prepilot study*. i *Indoor air pollution; its causes, its measurement and possible solutions*. 1989. Miami Beach: Lewis Publisher, Boca Raton.
102. Siekmann, H. and H. Kleine. *Direct-reading instruments*. i *Clean Air at Work*. 1991. Luxembourg: Royal Society of Chemistry, Cambridge UK.
103. Sneddon, J.M., *The oxides of nitrogen*, i *Indoor air pollution: problems and priorities*, G.B. Leslie and F.W. Lunau, Editors. 1992, Cambridge University Press: Cambridge. p. 63-76.
104. Soine, L., *The psychology of sick building syndrome*, i *The work environment. Volume three: indoor health hazards*, D.J. Hansen, Editor. 1994, Lewis Publishers: Boca Raton FL, USA. p. 131-148.
105. Spengler, J., *et al. Respiratory symptoms and housing characteristics*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
106. Stein, J., *The random house dictionary*. 1978, New York: Ballantine Books.
107. Stenberg, B. and S. Wall. *Why do females report "sick building symptoms" more often than males?* i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
108. Stridh, G. *Hur tolkar vi kemiska och biologiska mätdata i praktikfall?* i *Inomhusklimat Örebro 1997*. 1997. Örebro, Sweden.
109. Sundell, J., *Inomhusmiljöers betydelse för uppkomst av allergi och annan överkänslighet*, i *Expertbilaga. Beskrivningar av allergi/överkänslighet (SOU 1989:77)*. 1989, Socialdepartementet: Stockholm. p. 131-158.
110. Sundell, J., *et al. TVOC and formaldehyde, as risk indicators of SBS*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
111. Sundell, J. and T. Lindvall. *Indoor air humidity and the sensation of dryness as risk indicator of SBS*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
112. Svensson, G.I., *Den hälsofarliga städningen*, i *Energi&Miljö*. 1990.
113. Svensson, G.I., *Virus, bakterier och infektioner*, i *Energi&Miljö*. 1990.
114. Sydbom, A. and S.E. Dahlén. *Development of animal models for mechanistic studies of the process of sensitization and development of bronchial hyperresponsiveness*. i *Allergistämman '96*. 1996. Stockholm: Folkhälsoinstitutet, Stockholm.
115. Tucker, W.G. *Bioresponse testning of sources of indoor air contaminants*. i *Indoor Air '93*. 1993. Helsinki, Finland.
116. Ullrich, D. *Diffusive sampling of volatile organic compounds*. i *Clean Air at Work*. 1991. Luxembourg: Royal Society of Chemistry, Cambridge UK.
117. Wadsö, L., *Är dammsugning farligt?*, . 1991.
118. Weetman, D.F., *Environmental tobacco smoke*, i *Indoor air pollution: problems and priorities*, G.B. Leslie and F.W. Lunau, Editors. 1992, Cambridge University Press: Cambridge. p. 193-237.
119. Verhoeff, A.P. *Damp homes and adverse health effects: what are the causative agents?* i *Allergistämman '96*. 1996. Stockholm: Folkhälsoinstitutet, Stockholm.

120. Weschler, C.J. *Chemical reactions among indoor air pollutants as potential sources of irritants*. i *Allergistämman '96*. 1996. Stockholm?: Folkhälsoinstitutet, Stockholm.
121. Weschler, C.J., D.V. Naik, and H.C. Shields. *Indoor air exposure resulting from the infiltration of outdoor ozone*. i *Indoor air pollution; its causes, its measurement and possible solutions*. 1989. Miami Beach: Lewis Publisher, Boca Raton.
122. Whitehead, L.W., *Health hazards in arts and crafts*, i *The work environment. Volume three: indoor health hazards*, D.J. Hansen, Editor. 1994, Lewis Publishers: Boca Raton FL, USA. p. 65-95.
123. Whyte, W., *An introduction to the design of clean and containment areas*, i *Cleanroom design*, W. Whyte, Editor. 1991, John Wiley & Sons Ltd.: Chichester, UK. p. 1-22.
124. Winberry, W.T., *et al.*, *Methods for determination of indoor air pollutants*. 1993, Park Ridge NJ, USA: Noyes Data Corporation.
125. Viner, A.S., *et al.* *Air cleaners for indoor air pollution control*. i *Indoor air pollution; its causes, its measurement and possible solutions*. 1989. Miami Beach: Lewis Publisher, Boca Raton.