

# Status og perspektiver på indeklimaområdet

Lars Gunnarsen  
Statens Byggeforskningsinstitut

Torben Sigsgaard og Nils Testrup Andersen  
Institut for Folkesundhed, Aarhus Universitet

Allan Linneberg  
Forskningscenter for Forebyggelse og Sundhed,  
Amtssygehuset i Glostrup

Henrik N. Knudsen, Alireza Afshari og Carsten M. Pedersen  
Statens Byggeforskningsinstitut

John Christian Larsen og Elsa Nielsen  
Danmarks Fødevareforskning

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

# Indhold

INDHOLD	3
FORORD	7
RESUME OG ANBEFALINGER	9
SYGDOMME RELATERET TIL INDEKLIMAET	10
SÅRBARHED	11
INDEKLIMAFAKTORER DER KAN GIVE GENER OG SYGDOMME	11
<i>Allergener fra husstøvmider, pelsdyr og pollen</i>	11
<i>Skimmelsvampe</i>	12
<i>Bakterier og virus</i>	12
<i>Tobaksrøg</i>	12
<i>Partikler</i>	12
<i>Kemiske forbindelser</i>	13
<i>Asbest</i>	13
<i>Radon</i>	13
<i>Lugte og støj</i>	13
BYGGETEKNISKE FORHOLD	14
<i>Fugt</i>	14
<i>Ventilation</i>	14
<i>Konstruktioner og bygningsdele</i>	15
ADFÆRD	15
ANBEFALEDE TVÆRGÅENDE ANALYSER	16
SUMMARY IN ENGLISH	17
INSUFFICIENT KNOWLEDGE ABOUT INDOOR CLIMATE	17
<i>Background and purpose</i>	17
<i>The investigation</i>	17
<i>Main conclusions</i>	18
PROJECT RESULTS	19
<i>Diseases related to the indoor climate</i>	19
<i>Indoor climate factors that can cause annoyance and illness</i>	20
<i>Building conditions</i>	20
<i>Behavior</i>	20
<i>Other sources</i>	21
1 INDLEDNING	23
1.1 INDEKLIMAET ER VIGTIGT OG RESSOURCEKRÆVENDE	23
1.2 RISIKOHÅNDBLING	24
1.3 KRAV TIL INDEKLIMAET	25
2 EKSPONERINGER	29
2.1 BAGGRUND	29
2.2 FUGT	30
2.3 ALLERGENER	31
2.3.1 <i>Husstøvmider</i>	31
2.3.2 <i>Pelsdyr</i>	32
2.3.3 <i>Pollen</i>	33
2.3.4 <i>Skimmelsvampe</i>	33

2.3.5	<i>Andre allergener</i>	34
2.4	KEMISKE FORBINDELSER	34
2.4.1	<i>Forureningskilder</i>	35
2.4.2	<i>Problematiske stoffer</i>	38
2.4.3	<i>Oplevet luftkvalitet</i>	39
2.5	PARTIKLER	40
2.5.1	<i>Partikler i kroppen</i>	43
2.5.2	<i>Partiklers fysik og kemi</i>	43
2.6	STØJ	45
2.7	STRÅLING	46
2.8	LYS	48
2.9	SAMMENFATNING VEDRØRENDE EKSPONERINGER	48
2.10	LITTERATUR	48
<b>3</b>	<b>GENER OG SYGDOMME</b>	<b>54</b>
3.1	BAGGRUND	54
3.2	GENER	54
3.2.1	<i>Gener fra temperaturer, støj, luftens kvalitet mm</i>	54
3.2.2	<i>Lugtgener</i>	56
3.3	IRRITATION OG ALMENSYMTOMER	56
3.4	INFEKTIONSSYGDOMME	57
3.5	ALLERGI OG ANDEN OVERFØLSOMHED	58
3.5.1	<i>Allergener</i>	61
3.5.2	<i>Skimmelsvampe</i>	61
3.5.3	<i>Endotoxiner</i>	62
3.5.4	<i>Partikler</i>	63
3.5.5	<i>Kemiske forbindelser</i>	63
3.5.6	<i>Lugte</i>	63
3.5.7	<i>Sammenfatning</i>	63
3.6	HJERTEKARSYGDOMME	64
3.7	KRÆFT	65
3.8	SÅRBARHED	67
3.9	SAMMENFATNING	70
3.10	LITTERATUR	70
<b>4</b>	<b>ADFÆRD</b>	<b>74</b>
4.1	BAGGRUND	74
4.2	ADFÆRD I PRAKSIS	74
4.3	SAMMENFATNING	76
4.4	LITTERATUR	77
<b>5</b>	<b>BYGGETEKNISKE FORHOLD</b>	<b>78</b>
5.1	BAGGRUND	78
5.2	GENERELT	78
5.2.1	<i>Drift og vedligehold</i>	78
5.2.2	<i>Fugt</i>	80
5.2.3	<i>Temperatur</i>	81
5.2.4	<i>Radon</i>	81
5.2.5	<i>Lugtgener fra naboelighed</i>	82
5.3	BYGNINGSDELE	82
5.3.1	<i>Tag</i>	83
5.3.2	<i>Kælder og terrændæk</i>	83
5.3.3	<i>Ydervægge</i>	84
5.3.4	<i>Vinduer</i>	85
5.3.5	<i>Ventilationsanlæg</i>	85
5.4	BELYSNING	87

5.4.1	<i>Myndighedskrav</i>	87
5.4.2	<i>Dagslys</i>	87
5.4.3	<i>Kunstlys</i>	88
5.4.4	<i>Udsyn</i>	88
5.4.5	<i>Arbejdspladsen</i>	88
5.5	SAMMENFATNING	89
5.6	LITTERATUR	89
<b>6</b>	<b>FARLIGHEDSVURDERING</b>	<b>92</b>
6.1	BAGGRUND	92
6.2	VIDENGRUNDLAGET FOR FARLIGHEDSVURDERINGER	93
6.3	GENNEMGANG AF NOGLE KOMPLEKSE EKSPONERINGER	94
6.3.1	<i>Samtidig eksponering for flere kemikalier i kombination</i>	94
6.3.2	<i>Fugt</i>	94
6.3.3	<i>Partikler</i>	95
6.3.4	<i>Allergener</i>	95
6.3.5	<i>Allergeneksposering og udvikling af allergi og allergisk sygdom</i>	96
6.3.6	<i>Allergeneksposering og forværring af allergisk sygdom</i>	97
6.3.7	<i>Sammenfatning vedrørende allergener</i>	98
6.3.8	<i>Passiv rygning</i>	98
6.4	LITTERATUR	99
<b>7</b>	<b>FORSLAG TIL TVÆRGÅENDE ANALYSER</b>	<b>101</b>
7.1	BAGGRUND	101
7.2	BOLIGFORHOLD	101
7.3	VENTILATION	102
7.4	PARTIKLER	104
7.5	ASTMA OG ALLERGI	105
7.6	FUGT	105
7.7	ARBEJDSMILJØ	106
7.7.1	<i>Storrumskontorer</i>	106
7.7.2	<i>Skoler</i>	107
7.7.3	<i>Daginstitutioner</i>	107
7.8	LITTERATUR	108
<b>8</b>	<b>KONKLUSION</b>	<b>109</b>
8.1	RISIKOHÅNDTERING	109
8.2	FOREKOMSTEN AF BYGNINGSRELATEREDE SYGDOMME	110
8.3	EKSPONERINGER I BOLIGER, INSTITUTIONER, SKOLER OG KONTORER	111
8.4	BYGGETEKNIK	112



# Forord

I regeringens strategi for miljø og sundhed er indeklimate identificeret som et indsatsområde.

Indeklimate har stor betydning for folkesundheden, herunder komfort, produktivitet og sygdomme. Det kan påvirkes af mange forskellige faktorer, spændende helt fra omgivelsernes beskaffenhed, bygningens konstruktion og normer for indretning og adfærd, herunder rygevaner, radon fra undergrunden, kemisk afgangning fra forbrugerprodukter og til organismer som husstøvmider og skimmelsvampe samt partikler fra indre og ydre kilder.

De mange fagområder, der hver især bidrager med væsentlig viden, kan gøre det svært at danne sig et samlet billede af den eksisterende viden om indeklimate. Initiativer på dette brede område tages i mange regi, og der er et stort behov for en samlet fremstilling for at kunne prioritere den fremtidige myndighedsindsats på indeklimateområdet.

Dette projekt har haft som formål at give en sammenhængende beskrivelse af indeklimateområdet til støtte for:

- udarbejdelse af anbefalinger om, hvordan befolkningen generelt skal forholde sig for at få det bedst mulige indeklimate, både ved forebyggende og afhjælpende indsats.
- prioritering af indsatsen fra myndighedernes side på tværs af områder, særligt i forhold til reguleringsbehov.
- rådgivning om, hvor der særligt mangler viden.

Rapporten er udarbejdet af forfatterne og redigeret af Lars Gunnarsen, der har været projektleder. Derudover har seniorforsker Jens Christoffersen, Statens Byggeforskningsinstitut, bidraget om lys og overlæge Christoffer Johansen, Kræftens Bekæmpelse, har bidraget om stråling. Rapporten er løbende diskuteret i styregruppen bestående af Christina Ihlemann, Ove Nielsen, Finn Gyntelberg, Finn Gamél Christensen, Annlize Troest, Pia Juul Nielsen, Poul Bo Larsen, Christian Lange Fogh og Lea Frimann Hansen, og endelig fremlagt og diskuteret på en workshop med ca. 40 deltagere, der var inviteret blandt eksperter på området og projektets brede gruppe af interessenter.





# Resume og anbefalinger

Danskerne opholder sig 80-90 % af tiden i indemiljøet. Af den tid tilbringer vi ca. 16 timer i døgnet i vores bolig. De påvirkninger, vi udsættes for i indeklimaet, er derfor af stor betydning for vores sundhed og velbefindende. Myndighedernes risikohåndtering besværliggøres af, at der kun for enkelte faktorer (fx radon, passiv rygning, asbest) findes tilstrækkelig viden til at gennemføre en egentlig risikovurdering. Denne rapport tager udgangspunkt i boligen, hvor de fleste og alvorligste indeklimaproblemer findes. Anbefalingerne kan i forlængelse af projektets formål opsummeres således:

Befolkningen har generelt et stort ansvar for indeklimaet. Bygningsbrugernes adfærd og samarbejdet med bygningsejer og driftspersonale kan være afgørende for opretholdelsen af et godt indeklima. Følgende forhold kræver særlig opmærksomhed

- Dårligt indeklima kan give forøget risiko for infektionssygdomme, kræft, hjertekarsygdomme og muligvis også allergi
- Langvarig opfugtning af byggevarer og vækst af skimmelsvampe i bygninger skal undgås
- Rygning skal undgås inden døre
- Sikre at byggevarer med bekæmpelsesmidler til udendørs brug ikke anvendes inden døre
- Allergikere har i særlig grad gener i et dårligt indeklima
- Det er vigtigt ved valg af byggevarer at reducere emissionen af både lugtende og andre kemiske forbindelser med uønskede effekter
- Der er behov for forbedret pasning og vedligeholdelse af mange ventilationsanlæg

Myndighederne anbefales at prioritere følgende forhold

- Målrettet information om god bolighygiejnisk adfærd
- Bedre vejledning om og overvågning af indeklimaets kvalitet særligt for boliger
- At identificere boliger med særligt høje radonkoncentrationer og iværksætte foranstaltninger til at sænke eksponeringen
- Undersøge behovet for at reducere eksponeringen for formaldehyd, benzen og kvælstofdioxid i indeklimaet

Der mangler i høj grad viden om betydningen af indeklimaets påvirkninger. Dette gælder særligt følgende områder

- Der er stort behov for en større undersøgelse af indeklimaet i boligens betydning for folkesundheden
- Der er behov for skabelse af ny viden om mulighederne for at reducere forureningen fra ventilationsanlæg
- Der er behov for undersøgelser af sundhedseffekter af partikeleksponering inden døre og mulighederne for at reducere denne eksponering

- Betydningen af eksponering for phthalater, PCB, bromerede flammehæmmere og både ældre og nyere bekæmpelsesmidler via støvet i boliger bør undersøges
- Der er brug for en udvidet forståelse af betydningen af fugt og deraf følgende biologiske og kemiske processer i indeklimaet for forekomsten af astma, allergi samt gener og symptomer
- Vedrørende arbejdsmiljø og indeklima er der særligt brug for mere viden om
  - Gener og produktivitet i storrumskontorer
  - Trivsel og læring i relation til udeluftskifte, støj, lysforhold, areal og fleksibilitet i skoler
  - Sygdomme og trivsel i relation til smittetryk, støj, areal og ventilationsbehov i børneinstitutioner

## Sygdomme relateret til indeklimaet

Indeklimaet i boliger, institutioner, skoler og kontorer har betydning for forekomsten af flere sygdomme. Det drejer sig bl.a. om infektionssygdomme, hjertekarsygdomme og kræft samt forværring af symptomerne blandt personer med astma og allergi.

Derudover lider mange danskere af gener og almene symptomer, som kan relatere sig til bygningers indeklima, bl.a., hovedpine, træthed og slimhindeirritation. Reduceret velvære og komfort som følge af dårligt indeklima er dokumenteret i talrige bygninger. Spørgeskemaundersøgelser anvendes ofte som led i dokumentationen af indeklimaets kvalitet i kontorbygninger. Herved er det vist at gener fra støj, luftkvalitet og temperaturforhold typisk ligger på 15-30 % i kontorer og på 5-10 % i boliger.

Forekomsten af allergi og astma har været stigende over de seneste årtier. Forekomsten i befolkningen er ca. 20 %, og de er dermed de hyppigste kroniske sygdomme blandt den yngre del af den voksne befolkning. De medfører store udgifter til medicin, samt øget sygefravær og nedsat arbejdsevne. Allergikere er desuden en gruppe, der er særligt sårbar over for påvirkninger i indeklimaet. Der er betydelig usikkerhed om årsagerne til den stigende forekomst, men mange anser at forhold i indeklimaet kan være en medvirkende årsag.

24.000 danskere dør hvert år af hjertekarsygdomme, og det er dermed den største enkeltfaktor til dødsfald i Danmark. De vigtige eksponeringer i indemiljøet der kan føre til hjertekarsygdomme er passiv rygning, partikelforurening og måske støj. Passiv rygning menes at være årsag til 100-430 dødsfald årligt, mens partikeleksponering relateret til udeluften menes at være årsag til 3.400 dødsfald, hvor de fleste er forårsaget af hjertekarsygdomme.

Kræft kan også forårsages af påvirkninger i indeklimaet. De tre vigtige eksponeringer i indemiljøet er: radon, tobaksrøg og andre forbrændingsprodukter og formaldehyd. Radon menes at være årsag til ca. 250 dødsfald pr. år ved den samtidige udsættelse for tobaksrøg, der er i Danmark.

## Sårbarhed

Nogle mennesker er mere sårbare over for påvirkninger i indeklimaet end andre. De reagerer kraftigere på eksponering for bestemte påvirkninger eller reagerer ved lavere doser.

Forskellige faktorer har betydning for sårbarheden, fx. alder, køn, genetisk disposition og allergi. Børn er mere udsatte, fordi de kravler på gulvet, hvor støvet hvirvles op, og fordi deres lunger og immunsystem ikke er færdigudviklet, mens ældre er mere udsatte, fordi cellernes regenerationshastighed og metabolismen er nedsat. Kvinder er øjensynlig mere følsomme over for kemiske irriteranter end mænd. Øget følsomhed kan også være genetisk bestemt, fx. pga. den anatomiske udformning af luftvejene eller mangel på et bestemt enzym. Mennesker, der lider af allergi og astma, har desuden en øget sårbarhed over for forurening i indemiljøet.

## Indeklimatefaktorer der kan give gener og sygdomme

Der findes en lang række indeklimatefaktorer, der kan give gener og sygdomme. Det drejer sig om:

- Allergener fra husstøvmider, pelsdyr og pollen
- Skimmelsvampe
- Bakterier og endotoxiner
- Partikler og tobaksrøg
- Kemiske forbindelser
- Asbest og radon
- Lugte
- Støj
- Temperaturer og træk

### Allergener fra husstøvmider, pelsdyr og pollen

Eksponering for allergener i indeklimaet er udbredt, og der foreligger god dokumentation for, at allergikere får symptomer og forværring af deres sygdom, når de eksponeres for de allergener, som de er sensibiliserede overfor. Allergikere bør så vidt muligt undgå at blive udsat for allergener.

Det er et åbent spørgsmål, om øget eksponering for allergener også øger risikoen for at udvikle allergi eller astma. Dette ser ud til at være tilfældet for sensibilisering over for husstøvmider, men ikke for pelsdyrallergener. Flere studier viser tilsyneladende, at personer, der har været eksponeret for hund eller kat i hjemmet har en lavere forekomst af allergi. Men disse undersøgelser er uvægerligt præget af en "healthy pet-owner effect", hvor folk der føler sig i risiko for allergi ikke anskaffer sig kæledyr.

Effekten af eksponering for allergener afhænger af det enkelte individs modtagelighed, som til dels er genetisk bestemt. Børn, hvor en eller begge forældre har allergisk sygdom har en øget risiko for at udvikle allergi ligesom personer, der allerede har allergi, har øget risiko for at udvikle nye allergier. Disse grupper kan være særligt sårbare over for eksponering for allergener.

Allergiske sygdomme menes at opstå på baggrund af et komplekst samspil mellem risikofaktorer, livsstil og genetisk disponering. Således er eksponering for allergen formentlig en nødvendig, men ikke tilstrækkelig, faktor for udvikling af allergi.

## Skimmelsvampe

Forekomst af skimmelsvampe i indeklimaet har været kædet sammen med en række luftvejsrelaterede helbredsgener, som spænder fra astma og åndedrætsproblemer over allergi og høfeber til forskellige almene former for utilpashed som hovedpine, træthed og svimmelhed. Men den eksakte sammenhæng mellem eksponering og helbredsgener er uafklaret.

Man ved imidlertid, at nogle få procent af befolkningen er allergiske over for skimmelsvampe. Skimmelsvampeallergi er dog ofte vanskelig at diagnosticere, dels fordi den kan skyldes et meget stort antal forskellige arter af skimmelsvampe, og dels fordi skimmelsvampeallergi ofte optræder sammen med allergi over for andre typer af allergener.

## Bakterier og virus

Forkølelse er den mest udbredte infektionssygdom. I gennemsnit rammes voksne 2-4 gange om året og børn 5-8 gange. Spredningen i indeklimaet beror bl.a. på hygiejnestandard, persontæthed og ventilation.

Endotoxiner er komponenter af gram-negative bakteriers cellevægge, som er til stede i væsentlige koncentrationer i indeklimaet som støv og som luftbårne partikler. Endotoxiners helbredseffekt er kompliceret, da de dels ser ud til at kunne forværre allerede opstået astma, men muligvis samtidig kan have en beskyttende effekt mod udvikling af allergi.

## Tobaksrøg

Passiv rygning giver anledning til betydelige lugtgener og fører til en øget forekomst af hjertekarsygdomme, øget luftvejssygelighed blandt småbørn og til en øget risiko for lungekræft samt forværring af astmasymptomer. I arbejdsmiljøet findes stadig en del påtvungen eksponering, mens det i højere grad er en frivillig sag om man vil acceptere tobaksrygning hjemme.

Den vigtigste indeklimafaktor forbundet med hjertekarsygdomme er tobaksrøg, og børnelæger skønner, at den altovervejende andel af indlæggelser for luftvejslidelser blandt småbørn skyldes udsættelse for tobaksrøg i hjemmet. Tobaksrøg indeholder mere end 50 kræftfremkaldende stoffer. Rygning kan give flere kræftformer, mens passiv rygning kan give lungekræft.

## Partikler

Der findes partikler i luften overalt, hvor mennesker opholder sig. De stammer hovedsagelig fra trafik og afbrænding af fossilt brændsel. Det antages, at disse partikler forårsager betydelig sygelighed i luftvejene specielt blandt småbørn, og en betydelig overdødelighed af lungekræft, luftvejslidelser og hjertekarsygdomme. Partikelforureningen er en af de største erkendte miljørelaterede sundhedsfarer for befolkningen.

For de fleste danskere er partikelindtaget i boligen afgørende for den samlede eksponering for partikler. Partikelforureningen i indeluften skyldes dels indtrængning af partikler udefra, men også kilder i indemiljøet, fx partikler fra madlavning, tobaksrygning, stearinlys, brændeovne mv. Effekten af partikler i indemiljøet er ikke særlig velbelyst. Eksponeringen for partikler kan reduceres ved at reducere de indre partikelkilder, forøge ventilationen, rense indeluften og placere luftindtag hensigtsmæssigt.

Partiklernes størrelse er afgørende for deres effekter på helbredet. Til trods for de mindre partiklers begrænsede vægt, giver de anledning til store helbredseffekter, formentlig som følge af, at de små partikler føres længere ned i lungerne.

Lokaler med mekanisk ventilation vil ofte have betydeligt lavere partikelkoncentrationer som følge af filtreringen af luften sammenlignet med naturligt ventilerede lokaler.

### **Kemiske forbindelser**

Indeluften kan være forurenet med hundredvis af kemiske stoffer i varierende koncentrationer. Disse stoffer kan have en toksisk eller inflammatorisk virkning på mennesker, eller de kan give gener i form af irriterede øjne og luftveje eller uønsket lugt. Nogle typer af kemiske forbindelser i indeklimaet er også mistænkt for at have virkning der øger betydningen af allegenerne (adjuvans). Det gælder fx phthalater, som er en meget udbredt gruppe af blødgørere i plast. Andre stoffer som fx formaldehyd menes at være kræftfremkaldende ved indånding.

Byggematerialer og inventar bidrager til forureningen med kemiske stoffer inden døre. Kilderne er fx maling, lakker, tæpper og anden gulvbelægning samt møbler. Der har i mange år været arbejdet på at udvikle sundhedsrigtige byggevarer bl.a. via den danske Indeklimamærkningsordning. Byggevarer og beskyttelsesmidler til udendørs brug bør ikke anvendes inden døre, da de kan forurene indeluften med problematiske stoffer.

Bygningsbrugernes aktiviteter bidrager også til at forurene indemiljøet med kemiske stoffer. Det gælder fx tobaksrygning, madlavning, afbrænding af gas, petroleum og stearinlys, brug af elektrisk udstyr som computere samt brug af diverse rengørings- og plejemidler.

### **Asbest**

Asbest, der er stærkt kræftfremkaldende, findes stadig i ældre bygninger. Som regel vil bygningsbrugerne dog kun komme i kontakt med asbest i forbindelse med renovering og nedbrydning. Brug og genbrug af asbestholdige produkter er forbudt.

### **Radon**

Radon trænger ind gennem revner og sprækker i gulvkonstruktionen, og er derved årsag til omkring 250 dødsfald årligt i Danmark ved den samtidige udsættelse for tobaksrøg der forekommer.

. Radon har dermed en af de højeste livstidsrisici blandt de erkendte sundhedsfarlige eksponeringer. Siden 1995 har der i Bygningsreglementet været krav om, at nye bygninger skal opføres radonsikret.

### **Lugte og støj**

Undersøgelse af 16.700 danskere over 15 år har vist, at ca. 16 % er generet af støj i boligen (fra naboer, trafik, installationer mm.), og at næsten lige så mange er generet af lugte fra rygning, naboer eller trafik.

Støj i boligen er generende og kan desuden føre til reduceret søvnkvalitet og muligvis til mere alvorlige sygdomme relateret til langvarig stress. Der er begrænset viden om omfanget af disse skader og dermed et delvis utilstrækkeligt videngrundlag for at gennemføre støjbegrænsende foranstaltninger i og ved boligområder.

Lugtgener i boligen skyldes ofte utætheder i vægge mellem boliger samt luftoverføring via ventilationsanlæg eller vinduer og udeluftventiler. Byggevarer kan også være væsentlige kilder til forurening af indeluften. Lugtgenerne fra nye gulvbelægninger og malerverer er dog blevet mindre gennem de sidste 10 år pga. producenternes øgede opmærksomhed på problemet.

### Byggetekniske forhold

Bygninger har ofte en holdbarhed over 100 år, men dele af bygningerne holder kortere og skal udskiftes når behovet opstår. U hensigtsmæssig eller utilstrækkelig drift og vedligeholdelse af bygninger kan føre til accelererende bygningsskader og utilfredsstillende indeklimaforhold.

### Fugt

Der er en markant sammenhæng mellem fugtskader i bygninger og risiko for helbredseffekter, såsom hivende/hvæsende vejrtrækning, hoste og astma. Årsagerne til fugtrelaterede helbredsproblemer i boligen er dog komplekse. En del af helbredsproblemerne kan hænge sammen med at husstøvmider, skimmelsvampe og andre mikroorganismer trives bedst i fugtige omgivelser.

Fugt kan desuden føre til en øget nedbrydning af byggevarer som fx. vinylbelægninger på vægge eller gulve med deraf følgende øget udsættelse for kemiske komponenter, der frigøres under nedbrydningen af disse belægninger.

Massive fugtproblemer skyldes ofte manglende eller forkert vedligeholdelse. Fugtskader i ældre ejendomme kan skyldes skader og nedslidte konstruktioner, opstigende grundfugt og dårlig isolering, som kan medføre kondens på indvendige overflader. Fugtproblemer kan også skyldes utætheder i vand- og varmeanlæg. Mange fugtproblemer i ældre boliger skyldes endvidere forkert udført efterisolering eller utilstrækkelig ventilering, bl.a. efter tætningsarbejder eller vinduesudskiftninger. Lave indendørstemperaturer kan desuden forøge risikoen for kondens på overfladerne.

Fugtskader kan ikke helt undgås. Derfor er det vigtigt at styrke beredskabet for hurtig afhjælpning af de skader, der opstår. Desuden bør tilstrækkelige isoleringslag findes og kuldebroer i konstruktionerne bør undgås. Samtidig må man forsøge at begrænse risikoadfærd, fx reduceret udluftning, manglende brug af emhætte ved madlavning og tørring af tøj i opholdsrum.

### Ventilation

Udluftning og ventilation beskytter mod fugt, lugt, kemiske forbindelser, partikler, allergener og mikroorganismer ved at fortynde de uheldige komponenter. Ventilationsanlægget kræver dog særlig opmærksomhed under projektering og drift, hvis de skal fungere hensigtsmæssigt. Manglende rengøring af filtre og dårlig vedligeholdelse kan nemlig medføre gener og symptomer hos bygningsbrugerne.

Smitte med infektionssygdomme kan i nogen grad forebygges ved effektiv ventilation og gode pladsforhold.

### Konstruktioner og bygningsdele

Bygningens klimaskærm (tag, kælder og ydervægge) skal varmeisolere og sikre, at der ikke trænger fugt ind udefra. Loftkonstruktionen skal også være tæt, så der ikke trænger varm, fugtig luft op, som kan give kondensproblemer i en uopvarmet tagkonstruktion. Ofte ses uheldigt udført varmeisolering uden dampspærre på den varme side af isoleringen. Det kan give problemer med fugt og skimmelsvampe.

I ældre bygninger kan man reducere opstigende grundfugt ved at forbedre ventilationen i kælderen, etablere fugtspærre i kældermure og -gulve og evt. ved at øge opvarmningen af kælderen. Det er også vigtigt at sikre mod radonindtrængning ved at tætnes gulvet. Man kan evt. også etablere sug under gulvet og sørge for god ventilation inden døre.

Ældre vinduesruder er ofte kolde og kan dermed give anledning til kondens på ruderne, hvis indeluften er fugtig. Nyere energiruder får kun kondens ved meget høj luftfugtighed. Kondens på traditionelle tolagsruder er et tegn på, at man bør lufte ud. Ved renovering og udskiftning af vinduer bør man sikre sig, at der er tilstrækkelig ventilation, fx ved at etablere spalteventiler i de nye vinduesrammer.

Mange nye materialer bliver taget i brug på et utilstrækkeligt viden- og erfaringsgrundlag, fx med hensyn til deres holdbarhed og levetid. Forskellige bygningsdele og materialer har forskellig levetid. En vedligeholdelsesplan for en bygning kan bidrage til at sikre sundheden og sikkerheden af bygningen.

### Adfærd

Bygningsbrugerne har gennem deres adfærd et meget stort ansvar for kvaliteten af indeklimaet. Gode gamle dyder som udluftning med gennemtræk, hovedrengøring og tøjtørring udendørs (eller i moderne tørretumblere) er stadig nødvendige forudsætninger for et godt indeklima i de fleste bygninger.

Bygningsbrugernes aktiviteter introducerer en lang række forureningskilder i indemiljøer, fx brug af rengøringsmidler, tryksager, elektriske apparater, hobbyvirksomhed og lignende, samt via madlavning, brug af brændeovne og afbrænding af stearinlys. Tobaksrygning er desuden en meget alvorlig forureningskilde, som påfører mennesker unødvendige gener og sundhedsfarer.

Mange uheldige påvirkninger kan mindskes betydeligt ved rettidige indgreb og justeringer, der foretages af bygningsbrugerne. Det er vigtigt, at brugerne har kendskab til hvilke justeringsmuligheder, de har i et givet rum. Driftspersonale og projekterende bør vide, at personer med direkte indflydelse på eget indeklima oftest er langt mere tilfredse med kvaliteten af deres indeklima.

## Anbefalede tværgående analyser

Reelle kvalitetsforbedringer på indeklimaområdet kan prioriteres på baggrund af udbygget viden om indeklima og sundhed på nedennævnte områder. Områderne er valgt, fordi de i særlig grad byder på muligheder for at nå reelle forbedringer, fordi der ikke er dækkende viden på området, og fordi de repræsenterer områder, der er under udvikling.

- Boligforhold
- Ventilation
- Partikler
- Astma og allergi
- Fugt
- Storrumskontorer
- Skoler
- Daginstitutioner



# Summary

Insufficient knowledge about impacts of indoor climate

Danes spend 80-90 per cent of their time indoors and about 16 hours every day in their dwelling. The impacts that we are exposed to in the indoor climate are consequently of great importance for our health and well-being. The risk management by the public authorities is difficult, because sufficient knowledge to make a proper risk assessment is only available for a few factors (radon, environmental tobacco smoke and asbestos).

## Background and purpose

In the Danish Government's strategy for environment and health, the indoor climate has been identified as a focus area.

Indoor climate has great importance for public health, including comfort, productivity and diseases. Health may be influenced by many different factors, ranging from the surroundings, the construction of the building, its furnishing, lay-out and interior decoration, as well as behaviour, including smoke patterns, radon from the soil, and chemical emissions from consumer products to organisms, like house dust mites and moulds, and also particles from internal as well as exterior sources.

It can be difficult to get a picture of the existing knowledge about the indoor climate due to the many fields of expertise that each contributes with significant knowledge. Initiatives in this wide-ranging area are taken on many fronts, and there is a great need for an overall presentation in order to prioritize future public decision-making in the indoor climate area.

The purpose of this project is to provide an overview of indoor climate, in support of:

- The elaboration of recommendations on how the public in general should act in order to achieve the best possible indoor climate.
- Prioritizing by the public authorities across responsibilities, especially in relation to the need for regulation
- Advice regarding areas where knowledge is specifically needed.

## The investigation

The report was prepared by Lars Gunnarsen, the Danish Building Research Institute, Torben Sigsgaard and Nils Testrup Andersen, Department of Environmental and Occupational Medicine, University of Aarhus, Allan Linneberg, Research Center for Prevention and Health, Glostrup Hospital, Henrik N. Knudsen, Alireza Afshari and Carsten M. Pedersen, Danish Building Research Institute, John Christian Larsen and Elsa Nielsen, Danish Institute for Food and Veterinary Research. The report was edited by Lars Gunnarsen, who was also the project leader.

Moreover, senior researcher Jens Christoffersen at the Danish Building Research Institute has contributed with data on light, and chief medical doctor Christoffer Johansen, the Danish Cancer Society, has contributed with data on radiation.

The report was repeatedly discussed in a steering group consisting of Christina Ihlemann, Ove Nielsen, Finn Gyntelberg, Finn Gamél Christensen, Annlize Troest, Pia Juul Nielsen, Poul Bo Larsen, Christian Lange Fogh and Lea Frimann Hansen. Moreover, a draft report was presented and discussed at a workshop with about 40 Danish experts and interested parties.

### **Main conclusions**

Unless otherwise stated, this report mainly concerns private homes where most and the most serious indoor climate problems are found. In response to the aim of the project, the recommendations can be summarized as follows.

- Poor indoor climate may increase the risk of attracting infectious diseases, cancer, cardiovascular diseases and maybe allergy
- Avoid moisturizing construction products for a prolonged time and mould growth in buildings
- Smoking should not take place indoors
- Ensure that outdoor construction products containing insecticides are not used indoors
- Especially persons suffering from allergies suffer from a poor indoor climate
- When selecting construction products, it is important to select products with low emissions of odorous compounds as well as other adverse chemical compounds
- Many ventilation systems should be better operated and maintained.

Authorities are recommended to prioritize the following:

- Targeted information about how to behave to obtain good hygiene at home
- Improved guidelines for and monitoring of the indoor climate quality, especially in homes
- To identify homes with especially high radon concentrations, and to reduce the exposure.
- To investigate the need for reduction of the exposure to formaldehyde, benzene and carbon dioxide in the indoor climate.

Knowledge is needed about how we are affected by the indoor climate, especially in the following fields

- We need a comprehensive investigation of the importance for public health of the indoor climate in dwellings
- We need to develop new knowledge about the possibilities for reducing annoyance caused by ventilation systems
- We need to examine the health effects of exposure to particles indoors from ventilation and the possibilities for reduction of exposure

- We need to investigate the importance of exposure through house dust to phthalates, PBC, brominated flame retardants and both old and new insecticides
- We need a wider understanding of the significance of moisture and the resulting biological and chemical processes in the indoor climate for the prevalence of annoyance, symptoms, asthma and allergy
- Concerning occupational health and the indoor climate we need to know more about:

Annoyance and productivity in open plan offices

Well-being and learning in relation to outdoor air exchange, noise, lighting, area and flexibility in schools

Disease and well-being in relation to the intensity of the exposure to pathogenic germs, noise, area and ventilation in child-care centers

## Project results

### Diseases related to the indoor climate

The indoor climate in homes, day-care centers, schools and offices affects the prevalence of several types of disease, for instance infectious disease, cardiovascular disease and cancer, as well as a worsening of symptoms among persons suffering from asthma and allergy. Add to this, many Danes suffer from annoyance and general symptoms that are related to the indoor climate of buildings, including headaches, tiredness and irritated mucous membranes. Reduced well-being and comfort as a result of poor indoor climate is documented in numerous buildings. It has been demonstrated that prevalence of annoyance from noise, air quality and temperature conditions typically range between 15 and 30 per cent in offices and between 5 and 10 per cent in homes.

The prevalence of asthma and allergy has been increasing over the past decades. The prevalence in the population is about 20 per cent, and these diseases are therefore the most frequent chronic diseases among the youngest part of the adult population. There is great uncertainty about the causes of the rising prevalence, but many people consider indoor climate conditions to be a contributing factor.

Every year, 24,000 Danes die from cardiovascular diseases, and it is therefore the single most important reason for deaths in Denmark. The most significant exposures in the indoor climate which could lead to cardiovascular disease are passive smoking, particulate pollution and, perhaps, noise.

Passive smoking is believed to cause 100-430 deaths annually, while exposure to particles related to the outdoor air is believed to cause 3400 deaths, and most of these are caused by cardiovascular diseases.

Cancer can also be caused by indoor climate impacts. The three most important indoor climate exposures are: radon, tobacco smoke and other combustion products and formaldehyde. Radon is believed to cause about 250 deaths annually at simultaneous exposure to environmental tobacco smoke.

## Indoor climate factors that can cause annoyance and illness

There are numerous indoor climate factors that can cause annoyance and illness:

- Allergens from house dust mites, furry animals and pollen
- Moulds
- Bacteria and endotoxins
- Particles and environmental tobacco smoke
- Chemical compounds
- Asbestos and radon
- Odours
- Noise
- Temperature and draft

## Building conditions

Buildings often have a durability of over one hundred years, but parts of the buildings last a shorter period and have to be changed when the need arises. Inappropriate or insufficient operation and maintenance of the building can lead to accelerating building defects and unsatisfactory indoor climate conditions.

There is a significant relation between water damage to a building and the risk of health symptoms such as wheezing, coughing and asthma. The reasons for the moisture-related health problems in the home are very complex. Part of the health problems could also be caused by the deteriorating effect of moisture on certain construction products and the fact that house dust mites and other micro-organisms thrive in moist surroundings. Water damage cannot be entirely avoided. Therefore it is important to reinforce alertness for quick alleviation of damages.

Massive moisture problems are often due to lack of or improper maintenance. Water damage in old buildings can be caused by defective or worn-down installations. Furthermore, many moisture problems in old homes can be caused by rising damp, poor insulation, incorrect post-insulating procedures and insufficient ventilation after for instance sealing tasks or change of windows. Moreover, low indoor temperatures can increase the risk of condensation on surfaces.

Airing and ventilating provide the best protection against moisture, odours, chemical compounds, particles, allergens, microorganisms, in that airing dilutes the unfortunate components. However, the ventilation system requires special attention during design and operation, if it is to work properly. Lack of cleaning of filters and poor maintenance can cause annoyance and symptoms for the occupants of the building.

Many new products are introduced based on inadequate knowledge and experience, for instance regarding their durability and service life. Different building parts have different service lives. A maintenance plan for a building can contribute to assuring the health and safety of a building.

## Behavior

Through their behavior, the occupants of a building have a very great responsibility for the indoor climate quality. Old virtues, like airing by means

of a draft, spring cleanings and drying clothes outdoors (or in modern tumble driers) are ever more necessary preconditions for a good indoor climate in most buildings. It is important that the occupants are aware of what means of adjustments they have in a given room. Operating staff and building designers should know that persons with direct influence on their own indoor climate are often far more content with the indoor climate quality.

### **Other sources**

Ministry of Housing (1995). Danish Building Regulations 1995. Ministry of Housing (now the National Agency for Enterprise and Construction, Copenhagen).

ECA (European Concerted Action (1992). "Indoor Air Quality and its Impact on Man"), COST Project 613. "Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings", Report No 11, EUR 14449 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Community.

Keiding L., Gunnarsen L., Rosdahl N., Machon M., Møller R., Valbjørn O. (2003). Environmental factors in everyday life in Denmark – with special focus on the housing environments. The National Institute of Public Health in cooperation with the Danish Building Research Institute. Copenhagen. (In Danish with an English summary.)

WHO (World Health Organization). (2000). Air Quality Guidelines for Europe, European Series, No. 91, Second Edition, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen.



# 1 Indledning

Formålet med denne rapport er at give læseren en bedre forståelse af indeklimaområdet ved en sammenstilling af viden om eksponeringsforhold, sygdomme, adfærd, byggeteknik og farlighedsvurderinger. Den er opbygget af separate kapitler om disse forhold efterfulgt af et kapitel med forslag til tværgående analyser af forhold, der er under udvikling, og som tilsyneladende byder på muligheder for at nå reelle forbedringer af indeklimaet. Rapporten tager udgangspunkt i boligen, hvor de fleste og alvorligste problemer findes. Hvor andet ikke specifikt er nævnt er problemerne i arbejdsrum mindre og sjældnere. Der har længe været regler for området i arbejdsmiljøloven og Arbejdstilsynet fører tilsyn med området.

Rækkefølgen af kapitlerne er valgt som ovenfor. Man kunne have valgt en anden rækkefølge. Her er valgt at gennemgå indeklimaets eksponeringer først efterfulgt af de gener, symptomer og sygdomme som et utilstrækkeligt indeklima kan føre til. Efterfølgende kapitler om, adfærd, byggeteknik og farlighedsvurderinger præsenterer viden om de forhold i bygningerne, som kan føre til gener og forøget sygelighed.

Virkeligheden anviser ikke grænser mellem kapitlernes temaer. Indeklimaområdet gør krav på helhedsvurdering. Men ekspertisen er fagspecifik, og rapporten er skrevet af eksperter med dyb specifik viden og en del generel viden om indeklimaområdet. Gener og sygdomme kan ikke gennemgås uden viden om hvilke eksponeringer, de kan relateres til. Tilsvarende kan eksponeringsforholdene ikke prioriteres uden hensyn til deres betydning for sundheden. Grænserne mellem rapportens kapitler kan ikke trækkes skarpt. De har fungeret som ledetråde og et skelet for analysen under udarbejdelsen af rapporten. Det skal dog understreges at rækkefølgen ikke afspejler en prioritering af området.

## 1.1 Indeklimaet er vigtigt og ressourcekrævende

Langt den største del af livet tilbringes inden døre. Danskere tilbringer i gennemsnit mere end 16 timer i egen bolig i løbet af et hverdagsdøgn (Keiding et al., 2003). Derudover tilbringes megen tid i kontorer, skoler, institutioner og lignende. Samlet set regner man med, at danskere tilbringer mellem 80 og 90 % af deres samlede tid i indeklimaet. Her er for det meste passende varmt, tørt, stille og sikkert.

Op mod halvdelen af investeringerne i de fleste udviklede lande bliver brugt til huse. I Europa anvendes ca. 40 % af det samlede energiforbrug til klimatisering af bygninger. Prisen for indeklimaet har således uhyre stor betydning for velstanden i samfundet og for den enkelte borger.

Samtidig har påvirkningerne i indeklimaet betydning for menneskers sundhedsforhold. Det gælder både forekomsten af alvorlig sygelighed som hjertekarsygdomme, kræft og allergi, infektionssygdomme samt komfort og velvære.

Allerede i 1946 blev sundhed i forordet til WHO's vedtægter defineret som vist i figur 1.1. Denne brede definition medfører, at forhold som hovedpine, ubehagelig lugt, trækgener og øjenirritation alle med rette kan siges at være en del af sundhedsbegrebet.

Health is a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity.

Figur 1.1. WHO's definition af sundhed.

Potentielt sundhedsskadelige påvirkninger i indeklimaet ligger oftest under det niveau, man fx kender som grænseværdier for luftkvalitet, støv, temperatur, lyd og lys i arbejdsmiljøet. Dette er vigtigt fordi opholdstiden indendørs ofte er tæt på 24 timer i døgnet og fordi selv særligt følsomme grupper, herunder børn og ældre, skal kunne tåle eksponeringerne. Det kan antages, at det ofte er flere faktorer, der tilsammen giver de uheldige påvirkninger af mennesker, som forekommer i de dårlige bygninger. Det er sandsynligt, at der særligt i grænseområderne mellem forskellige fagområder kan gemme sig væsentlig ny viden, og det formodes, at det er den tværfaglige forskning uden for de etablerede specialer, der kan bidrage med væsentlig ny viden om indeklimaets påvirkninger.

Forøget viden om indeklimaets påvirkninger vil have stor betydning for mulighederne for at holde befolkningen rask og dermed sikre lange og aktive arbejdsliv. Indeklimaets kvalitet påvirker således både velbefindende og økonomiske parametre som produktiviteten. Under projekteringen af de fleste bygninger fastlægges venbtilationsbehovet ud fra menneskers behov for en umiddelbart oplevet god luftkvalitet. Dermed har kravene til indeklimaets kvalitet også direkte betydning for bygningers energiforbrug.

Kvaliteten af bygningerne er en afgørende del af landets infrastruktur. Reelle kvalitetsforbedringer kan prioriteres af myndigheder og bygherrer på baggrund af udbygget viden om indeklima og sundhed. I det omfang denne viden på nuværende tidspunkt eksisterer, vil den blive sammenstillet og fremlagt gennem nærværende projekt.

## 1.2 Risikohåndtering

Mennesker indtager mere boligluft end det samlede øvrige indtag af væske, fødevarer samt luft på arbejdspladsen og udendørs både målt på volumen og måske overraskende også på vægt. Opholdstiden i boligen er betydelig, og de fleste opholder sig mere end 2/3 af livet her. Det er derfor afgørende for folkesundheden, at boligluften er ren og fri for sundhedsskadelige komponenter. Nogle mennesker vil blive psykisk påvirkede blot af en mistanke om, at deres bolig ikke er et sundt sted at opholde sig. Indeklimaet i skoler, kontorer og andre erhvervsbygninger påvirker også sundheden blandt ansatte og elever. Derfor kan produktiviteten og læringen også påvirkes af indeklimaet på arbejdspladsen eller skolen.

Lydhørheden i befolkningen og hos myndighederne er naturligt nok betydelig over for eventuelle risikofaktorer i indeklimaet. For at tilfredsstille behovet for at boliger, skoler, institutioner og kontorer er sikre og opleves som sådan kan



det derfor i overensstemmelse med forsigtighedsprincippet være nødvendigt at handle på et utilstrækkeligt videngrundlag.

Der mangler viden på området både for en række enkeltpåvirkninger og i særdeleshed for den næsten uendelige række af vekselvirkninger og forstærkning af effekterne, som kan tænkes inden for et område med særdeles komplekse eksponeringsforhold.

På indeklimateområdet skal forsigtighedsprincippet til stadighed afvejes med proportionalitetsprincippet. Der kan således være behov for tidlige myndighedsindgreb ved mistanke om, at visse scenarier kan få alvorlige og uoverskuelige konsekvenser. Men borgerne skal samtidig kunne forvente, at indgreb er relevante og ikke rækker længere end nødvendigt. I arbejdsmiljøloven udtrykkes det, at indgreb altid skal være baseret på en begrundet formodning om en risiko.

Ved risikohåndteringen vil der alt efter problemets art og ikke mindst ud fra lovgivningen på området være en række forskellige virkemidler. Myndighederne kan for eksempel stille konkrete krav i forbindelse med godkendelse og anmeldelse, og de kan indføre regler om anvendelsesbegrænsninger eller forbud. Andre virkemidler er funktions- og kvalitetskrav (for eksempel grænseværdier og klassificeringer) og tekniske og organisatoriske foranstaltninger (for eksempel ventilation, rensning, substitution, anvendelse af renere teknologi og produkter, frivillige aftaler, afgifter). Endvidere kan der iværksættes information, kampagner, motivation, vejledning og instruktion (for eksempel efteruddannelse og grønne vejledninger). Det er ønskeligt at myndighederne vælger virkemidler ud fra hensyntagen til effektivitet, til graden af acceptabel risiko og ud fra "cost-benefit" eller "risk-benefit" betragtninger. På grund af mangel på viden kan dette på indeklimateområdet kun udføres i meget begrænset omfang.

### 1.3 Krav til indeklimate

Lovgivningen om indeklimate er i det væsentligste opbygget ud fra kvalitative bestemmelser, der skal medvirke til, at der skabes sundheds- og sikkerhedsmæssigt tilfredsstillende forhold i bygninger, hvor ordet sundhed også dækker over komfort og velvære for såvel normalbefolkningen som for særlige risikogrupper i befolkningen, for eksempel allergikere.

Kommunerne har det direkte ansvar for, at love og regler vedrørende boliger og konkrete byggeprojekter overholdes. Når det gælder arbejdsmiljø håndhæver Arbejdstilsynet reglerne i overensstemmelse med bekendtgørelsen om indretning af faste arbejdssteder. Bekendtgørelsen er dog kun gældende hvor der er ansatte. En række statslige myndigheder administrerer lovene og reglerne på indeklimateområdet.

Erhvervs- og Byggestyrelsen under Økonomi og Erhvervsministeriet har ansvaret for byggelovgivningen, hvor det præciseres at bygninger skal holdes i forsvarlig stand, således at de ikke frembyder fare. Det hedder dog også, at ejeren er pligtig til at udbedre forhold, der er i strid hermed, og at brugeren er pligtig til at bruge bygningen så sådanne forhold ikke opstår. Såvel ejer som bruger har således et lovfæstet ansvar for at undgå og udbedre usunde forhold.

I Byggeloven og Bygningsreglementet er formuleret en lang række krav til opførelse af ny bebyggelse, væsentlige ombygninger, ændret benyttelse og

nedrivning af bebyggelse. Det står heri, at byggematerialer ikke må afgive gasser, dampe, partikler eller ioniserende stråling, der kan give anledning til utilfredsstillende sundhedsmæssige indeklimaforhold.

Øvrige krav med relevans for indeklimaet vedrører ventilation, reduktion af forurening med kvælstofilter fra afbrænding af gas i komfurer, ioniserende stråling fra radon fra undergrunden, organiske opløsningsmidler m.m., for eksempel fra forureninger i undergrunden fra tidligere lossepladser og industrigrunde. Der er også fastsat specifikke krav til ildsteder og skorstene, så forgiftningsfare, røggener og andre ulemper reduceres.

Bygningsreglementet indeholder kun detaljerede krav til emissionen fra byggevarer vedrørende formaldehyd, mineraluld samt flyveaske og slagger fra kulfyring. Endvidere er brugen af asbestholdige materialer forbudt. Dette er dog slet ikke en udtømmende liste over mulige problematiske indholdsstoffer. Miljøstyrelsens regler regulerer også brugen af kemikalier i byggevarer. Der kan være brug for at tydeliggøre og udbygge regelgrundlaget for problematiske indholdsstoffer i byggevarer i Bygningsreglementet.

Det vurderes, at der kan være tilfælde med kemiske stoffer og radon, hvor det især i forbindelse med eksisterende byggeri vil være forbundet med betydelige økonomiske omkostninger at skabe et beskyttelsesniveau i indeklimaet svarende til beskyttelsesniveauet for det ydre miljø gennem bygningsmæssige ændringer.

Socialministeriet har ansvaret for Byfornyelsesloven, der indeholder reglerne for kondemnering samt regulerer sanering og reovering af utidssvarende udlejningsejendomme. Forhold, der særligt tages hensyn til, ved vurdering om brugen af boliger er forbundet med sundhedsfare, er i loven udtrykt som vist i figur 1.2. Desuden anvendes bestemmelserne i Almenboligloven til tider som kommunernes grundlag for at påbyde udbedringer. Lejelovens bestemmelser om beboerklagenævn og huslejenævn giver endvidere en vis beskyttelse af beboere i lejeboliger.

<p>Alle beboelsesrum skal</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Yde tilfredsstillende beskyttelse mod fugtighed, kulde, varme og støj</li><li>• Have fyldestgørende adgang for dagslys</li><li>• Have forsvarlig adgang for luftfornyelse i almindelighed gennem et eller flere oplukkelige vinduer direkte til det fri</li><li>• Have mulighed for tilstrækkelig opvarmning</li></ul> <p>Enhver lejlighed skal</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Have adgang til godt og tilstrækkeligt drikkevand</li><li>• Have behørigt afløb for spildevand</li><li>• Have tilfredsstillende adgang til wc eller hvor wc-indlæg ikke er påbudt til forsvarligt indrettet klosetrum</li></ul>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figur 1.2. Loven om byfornyelse og boligforbedrings vurderingskriterier for om brugen af en bolig er forbundet med sundhedsfare.

Arbejdstilsynet er ansvarlig for kravene til arbejdsmiljøet, herunder de fysiske, kemiske og mikrobielle påvirkninger. Det fastsætter regler for arbejdsstedets indretning, herunder om forhold af betydning for indeklimaet i

erhvervsbyggeri. Arbejdstilsynets regler svarer i stort omfang til Erhvervs- og Boligstyrelsens, men gælder som hovedregel også for alt eksisterende byggeri. Arbejdstilsynet har et omfattende tilsyn med, om reglerne overholdes. Dermed er der generelt større sikkerhed for at et vist sikkerhedsniveau overholdes på arbejdspladser end i boliger, hvor der ikke er samme grad af tilsyn.

Miljøstyrelsen har ansvaret for regler om miljøbeskyttelse. Herunder reguleres luftforurening og støj i bygningernes omgivelser og eventuelle sundhedsfarlige kemikalier i forbrugerprodukter. Sammen med Arbejdstilsynet opdateres Produktregistret over farlige kemiske stoffer og produkter, der anvendes erhvervsmæssigt. Ministeriet fastsætter regler om vurdering og anvendelsesbegrænsning af kemikalier. Det regulerer dermed overordnet set kemikalieindholdet i byggevarer.

Skoleelever er ikke omfattet af Arbejds miljøloven. Kravene til skolers indeklima er udtrykt i Bygningsreglementet og i Lov om elevers og studerendes undervisningsmiljø, der blandt andet udtrykker, at de enkelte skoler mindst hvert tredje år skal gennemføre en vurdering af undervisningsmiljøet. Arbejds miljøloven gælder for lærere, og den vil dermed ofte også få betydning for eleverne. Kommunerne er ansvarlig for de hygiejniske forhold i skoler og institutioner. og med baggrund i Sundhedloven vejleder kommunens sundhedstjeneste om hygiejne.

Myndighedernes risikohåndtering, dvs. regulering med hensyn til begrænsning af befolkningens udsættelse for skadelige miljøfaktorer adskiller sig i nogen grad fra hinanden.

Som udgangspunkt er det de samme internationalt anerkendte og fagligt videnskabelige principper, der ligger til grund for tilblivelsen af Arbejdstilsynets grænseværdiliste og Miljøstyrelsens B-værdier. Mens Miljøstyrelsen tager højde for usikkerheder i datagrundlaget og særlige gruppers følsomhed (f.eks. børn, ældre og syge) ved vurdering af de usikkerhedsfaktorer, der anvendes ved fastsættelse af B-værdierne, arbejder Arbejdstilsynet oftere med andre (sær)reguleringer og foranstaltninger til reduktion og eliminering af arbejdsmiljøudsættelsen. Derfor kan Arbejdstilsynets grænseværdier ofte være 100-1000 gange højere end den accepterede værdi inden for miljøområdet. Arbejdstilsynet har ikke egentlige indeklimaværdier. Til vurdering af målinger i indeklimaet anvender Arbejdstilsynet efter anbefaling fra Arbejds miljøinstituttet værdier på 1/40 af grænseværdierne for visse stoffer og for klorerede kulbrinter anvendes 1/200 af grænseværdien. For øvrige stoffer må der foretages en toksikologisk vurdering for det aktuelle stof. Værdierne gælder i arbejdsrummene.

Man skal være varsom med at sammenligne de forskellige myndigheders beskyttelsesniveau ved at sammenligne deres talværdier. Det skyldes, at der er store forskelle med hensyn til, hvordan myndighederne anvender værdierne i praksis. For kræftfremkaldende stoffer går bestræbelserne i højere grad på – med andre virkemidler end grænseværdier – at få stofferne ud af arbejdsmiljøet (substitutionskrav).

Ved siden af lovgivningsarbejdet findes der også et løbende behov for at påvirke bygningsbrugernes adfærd gennem oplysning om god adfærd og sundhedsfarlig adfærd i forbindelse med brugen af bygninger.

I EU arbejdes der i stigende grad med indeklima i relation til handlingsplan om miljø og sundhed. WHO har gennem mange år arbejdet med indeklima. Arbejdet har bl.a. resulteret i en serie af små vejledninger om indeklimaets påvirkninger, der henvender sig til de lokale myndigheder på området.

## 2 Eksponeringer

### 2.1 Baggrund

Indeluften i mange bygninger forurenes med en række stoffer og partikler med kendt eller mulig toksisk eller inflammatorisk virkning på mennesker. Kilderne kan være grunden under bygningerne, udeluften, byggematerialerne, rengørings- og plejemidler. Forureningen kan også skyldes aktiviteter som madlavning, brugen af udstyr og maskiner eller fugtrelaterede forhold som forøget nedbrydning af byggevarer, vækst af skimmelsvampe og forøget forekomst af husstøvmider. Endvidere tilføres indeluften forurening fra mennesker og kæledyr, og endelig tilføres materialer, der bæres ind via sko.

Indeklimaet har eksponeringsforhold, der adskiller sig fra arbejdsmiljøet ved en betydeligt længere opholdstid, og det forhold, at særligt følsomme personer også skal kunne føle sig trygge inden døre. Ved fastsættelse af forureningsgrænser for det ydre miljø får opretholdelsen af naturgrundlaget og beskyttelsen flora og fauna særlig betydning. Endelig adskiller en sundhedsmæssig vurdering af indeluften sig fra vurdering af fødevarer ved at mangelsygdomme forårsaget af fravær af komponenter i indeluften ikke forekommer, og ved at optaget i lungerne ofte er afgørende. Der er mange eksempler på at forurening, der optages via luftvejene skader sundheden mere, end når den spises. Det gælder bl.a. for allergener og mange irriteranter.

Til indeklimaområdet regnes ud over indeklimaet i boliger de bygningsrelaterede påvirkninger under arbejde eller studier i kontorer, skoler, institutioner og hospitaler. Psykosociale påvirkninger kan have stor betydning for forekomsten af hovedpine, slimhindeirritation og andre symptomer, men disse eksponeringer medregnes normalt ikke til indeklimaets påvirkninger.

Den indtagne fraktion er ofte meget afgørende ved vurderingen af sundhedseffekter af kilder som forurening i maden, passiv rygning inden døre og forurening fra biler og industri i omgivelserne. Fraktionen er forholdet mellem det samlede indtag af en forureningskomponent og den emitterede mængde i miljøet.

I bygninger kan den indtagne fraktion af luftforureningen fra indvendige kilder være i størrelsesordenen 0,01 (baseret på 125 m<sup>3</sup> bolig per person, luftskifte på 0,5 gange i timen og indånding af 12 m<sup>3</sup> luft i døgnet, der er lidt lavere end estimatet på 20 m<sup>3</sup> i døgnet der ofte anvendes ved risikovurdering). Den fraktion der indtages ved fortæring af forurenede madvarer kan være op til 1, ved aktiv rygning omkring 0,3 og ved passiv rygning 0,01. Den fraktion der indtages af luftforureningskilder i udeluften, er typisk betydeligt lavere. Fraktionen af forureningen fra biler, der kører gennem tætbefolkede områder, kan være 10<sup>-10</sup> baseret på optaget hos en enkelt beboer og helt op til 0,005 baseret på befolkningens samlede optag (Marshall et al., 2003). Fra forureningskilder i omgivelserne som kraftværker og lignende indtages fraktioner, som heldigvis er flere størrelsesordener lavere. Fraktionen herfra sættes ofte til 10<sup>-7</sup> baseret på indtaget hos hele befolkningen omkring et kraftværk.

Der er p.t. øget interesse for betydningen af mindre partikler (såkaldt fine eller ultrafine partikler med størrelse mindre end  $1\ \mu\text{m}$  respektive mindre end  $0,1\ \mu\text{m}$ ) i ikke-industrielle miljøer som boliger, institutioner, kontorer og undervisningsbygninger. En betydelig del af de partikler, som befolkningen udsættes for, tilføres indemiljøet med ventilationsluften fra kilder i udemiljøet, fx fra trafik og specielt fra køretøjer med dieselmotorer (Palmgren m.fl., 2003; Schneider et al., 2002).

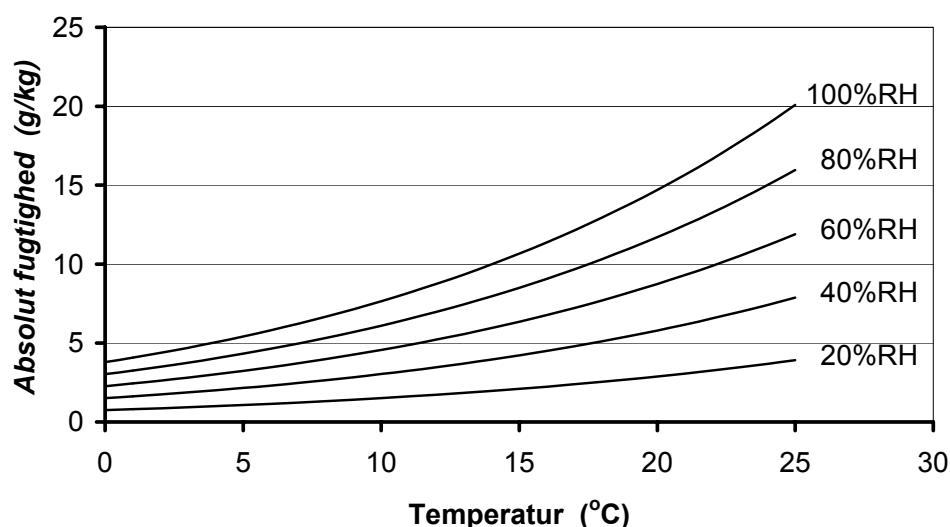
## 2.2 Fugt

Fugt i indeluften kan opfugte byggematerialer og medføre nedbrydning af materialerne, vækst af skimmelsvampe og kolonialisering med husstøvmider.

Nogle af de parametre, der kan være afgørende for, om der opstår fugtrelaterede problemer, er:

Absolut fugt i luften (g/kg)  
Relativ fugtighed i luften (%RH)  
Luftens temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Hertil kommer, at indvendige overfladers temperatur er af stor betydning, da luftens temperatur vil være tæt på overfladernes temperatur nær ved overfladerne. I forbindelse med vurdering af om byggevarer opfugtes, vil det således være deres overfladetemperatur snarere end rumluftens temperatur, der er afgørende. Som det fremgår af figur 2.1 vil den relative fugtighed stige i luft der afkøles med fastholdt vandindhold.



Figur 2.1. Sammenhængen mellem absolut fugtighed, relativ fugtighed og temperatur i luft.

Kilderne til fugt inden døre omfatter mennesker, der i sig selv afgiver 50-100 g vand/time, og deres aktiviteter. Særligt fugtafgivende aktiviteter omfatter tøjtørring, badning og madlavning.

Mulighederne for, at husstøvmider formerer sig, og skimmelsvampe vokser, stiger med stigende relativ fugtighed i det mikroklima, hvor de findes. Den absolutte fugtighed betyder ikke noget i sig selv, og temperaturen er mest afgørende for formerings/vokse-hastighederne.

I senge kan der være et godt miljø for husstøvmider, men når mennesker sover der, kan der blive varmt og lav relativ fugtighed, forudsat at absolut fugt i den omgivende luft er lav. Så kan miderne få det svært. Derfor afhænger midforekomsten i senge af den absolutte fugt i luften – og ikke som man måske skulle forvente af den relative fugtighed.

På et koldt gulv kan der ligge et tæppe, der varmeisolerer, men ikke fugtisolerer. Temperaturen nede i tæppet kan derfor være lav, mens den absolutte fugt ikke er påvirket, den relative fugtighed nede i tæppet vil være høj, og derfor kan der være mange mider i væg til væg tæpper.

En kold væg vil være i ligevægt med luft med en højere relativ fugtighed end en varm væg. Derfor bliver vandindholdet større i den kolde væg, og sandsynligheden for skimmelsvampevækst stiger.

Indvendige døre kan isolere mod temperaturforskelle, men kun i begrænset omfang mod forskelle i absolut fugt. Derfor bliver den relative fugtighed i kolde rum ofte højere end i varme rum.

### 2.3 Allergener

I arbejdsmiljøet er fugtrelaterede eksponeringer normalt af mindre betydning, og brugen af materialer, der i sig selv kan virke som allergener, er begrænset i kontorer, institutioner og skoler med videre. Det følgende er skrevet generelt om bygninger, men det skal understreges at allergeneksponeringen sjældent er kraftig i det ikke-industrielle arbejdsmiljø.

#### 2.3.1 Husstøvmider

I Danmark er husstøvmidearterne *Dermatophagoides pteronyssinus* og *Dermatophagoides farinae* de klinisk vigtigste. Krydsreaktivitet mellem allergener fra disse arter er hyppig. Husstøvmiders føde er skæl og hår fra mennesker og dyr. De vigtigste allergener forekommer i husstøvmidernes, ekskrementer og for hver art kendes flere allergener. Fæcespartiklerne er 10-40  $\mu\text{m}$  i diameter, men en del af luftens indhold af allergener bæres af partikler, som er mindre end 10  $\mu\text{m}$ . Husstøvmideallergener holder sig luftbårne i kortere tid end fx katteallergener. Denne forskel skyldes, at katteallergener er knyttet til mindre partikler. Når støvet hvirvles op i forbindelse med fx personers aktivitet i boligen, vil koncentrationen af luftbårne partikler med støvmideallergener allerede igen være lav efter ca. 15 minutter. Allergenerne er relativt stabile og bevarer allergen-reaktiviteten i årevis under normale forhold (Mosbech, 1999a). Husstøvmiderne forekommer især i madrasser, tæpper og polstrede møbler.

Husstøvmider kan spredes fra bolig til bolig i tøj fra mennesker. Flere indeklimatekotorer har betydning for, om husstøvmiderne kan kolonisere en bolig. Luftfugtigheden antages dog at være den afgørende faktor, idet husstøvmiderne vanskeligt kan overleve, hvis man i vintermånederne kan holde en relativ luftfugtighed under 45 % i deres levesteder. Den absolutte fugt i udeluften er afgørende for, hvor lav den relative luftfugtighed indendørs kan blive. I det danske klima kommer den absolutte fugt i udeluften om vinteren så langt ned, at det er muligt at forebygge husstøvmidernes kolonisation gennem ventilation. Husstøvmideallergener i indeklimatekotorer kan nedbringes/forebygges med enkle midler som forøget udluftning om vinteren og god rengøring.

Forekomsten af husstøvmider antages at være steget gennem 1970-1980'erne (Korsgaard, 1998), hvor tætheden af mange boliger som følge af oliekrisen blev øget med højere luftfugtighed til følge.

En undersøgelse fra 1999 viste, at 62 % af støvprøver fra madrasser fra 68 personer i en generel befolkningsstikprøve i København havde en koncentration af husstøvmider på mindst 2  $\mu$ mider/g støv (total af 3 *Dermatophagoides* arter, median = 3,77  $\mu$ mider/g støv) (Sidenius, 2002), hvilket var konsistent med tidligere undersøgelser (Mosbech, 1991), (Mosbech, 1999b).

Husstøvmider synes ikke at være et by-fænomen, idet en undersøgelse blandt danske landmænd påviste væsentlige koncentrationer af husstøvmider i støvprøver fra næsten alle deltageres madrasser (Iversen, 1990).

Koncentrationen af støvmideallergener i støv kan anvendes som mål for eksponering for støvmideallergener i indeklimaet. Støvprøven tages fra sengemiljøet, dvs. madras og rullemadras, hvor den vigtigste eksponering antages at finde sted, men analyse af prøver fra tæpper og møbler kan også være relevante.

Immunkemiske metoder er i dag de mest anvendte metoder til påvisning og kvantitativ bestemmelse af støvmideallergener i støvprøver. Alternativt kan anvendes midetælling ved mikroskopi, hvor også artsbestemmelse kan foretages.

### 2.3.2 Pelsdyr

Katte- og hundeallergener er de vigtigste pelsdyrsallergener, hvor katteallergenerne er de klinisk vigtigste, formodentligt fordi de er knyttet til mindre partikler på 2-15  $\mu$ m, der kan forblive luftbårne i lang tid. Allergenerne findes i spyt, skæl, urin m.m. Katteallergener spredes via tøjet fra personer, der har kat i boligen. Adskillige studier har også påvist væsentlige koncentrationer af katteallergener på offentlige steder som i daginstitutioner, skoler og kontorer. Selv i private boliger, hvor der ikke er oplysninger om tidligere tilstedeværelse af kat, kan der ofte måles væsentlige koncentrationer af katteallergener. Vores viden om niveauer af pelsdyrsallergener i danske boliger er begrænset. På landsplan angiver ca. 16 % at have kat i boligen (Keiding et al., 2003). En international multicenter undersøgelse i 1992 fandt varierende hyppighed af kat i hjemmet fra 8-29 %, i Tyskland 15 %, Sverige 19 % og i Norge 15 % (Svanes, 2003). På baggrund af resultater fra andre lande må det antages, at væsentlige koncentrationer af katteallergener er hyppigt forekommende også i danske hjem (se tabel 2.1).



Tabel 2.1. Koncentrationen af katteallergen (Fel d 1) i støvprøver fra hjemmet i udvalgte populationer.

Population	Land	Detektérbar allergen	>= 8 $\mu\text{m/g}$ støv	Gennemsnit eller median ( $\mu\text{m/g}$ støv)	Reference
Generel	Tyskland	98%	21%	0,5	Fahlbusch, 2002
Generel	USA	100%	35%	4,7	Arbes, 2004
Astmabørn	Sverige	100%	?	0,6	Warner, 1996
Landmænd	Sverige	99%	62%	13,2	Parvaneh, 1999
Generel	England	97%	30%	3,1	Atkinson, 1999

På landsplan angiver ca. 23 %, at have hund i boligen (Keiding, 2003). Dette tal varierer internationalt og var fx i Tyskland, Norge og Sverige henholdsvis 8, 13 og 15 % i 1992 (Svanes, 2003). Det kan derfor antages, at væsentlige koncentrationer af hundeallergener er hyppigt forekommende i danske hjem.

Den vigtigste faktor for niveauet af allergener fra kat og hund i hjemmet er, at henholdsvis kat og hund opholder sig i hjemmet. Niveauerne er endvidere højere, hvis dyrene holdes indendørs sammenlignet med udendørs. Som et mål for eksponeringen for katte- og hundeallergen i indeklimaet kan der anvendes måling af koncentrationen af katte- og hundeallergen i støvprøver med immunkemiske metoder. Flere undersøgelser har vist, at støvprøver fra gulvtæpper og polstrede møbler i opholdsrum kan indeholde højere koncentrationer af pelsdyrsallergen end støvprøver fra madras i soverum.

Området omfatter også eksponering for allergener fra andre pelsdyr som f.eks. kanin, marsvin og ørkenrotter, der hyppigt holdes som kæledyr i hjemmet.

### 2.3.3 Pollen

Pollen trænger ind i bygninger og er dermed en del af indeklimaet. Vores viden om niveauer af eksponering for pollen i indeklimaet, faktorer af betydning herfor og de mulige helbredseffekter heraf, er overraskende begrænset. Dette skyldes formentlig dels, at der først for nylig er udviklet standardiserede metoder til måling af pollenallergener i indeklimaet, dels at pollen primært har været betragtet som en del af udendørsmiljøet. Enkelte undersøgelser har påvist væsentlige koncentrationer af pollenallergener i indeklimaet og antydte, at eksponeringen også kan være til stede uden for pollensæsonen (Holmquist, 1999).

### 2.3.4 Skimmelsvampe

Skimmelsvampe er hyppigt forekommende i naturen og i indeklimaet. Der er utallige arter, men i indeklimaet er *Penicillium*, *Cladosporium* og *Aspergillus* de hyppigst forekommende (Gravesen et al. 2002). De er naturligt forekommende overalt, men under normale betingelser vil antallet være højere udendørs end indendørs. Under nordlige himmelstrøg er der en årlig variation i udeklimaet, således at der er færrest om vinteren og flest i sensommeren. Udendørs er sporer fra *Cladosporium* og *Alternaria* almindelige. Skimmelsvampe er kolonivoksende mikroorganismer, der mangler klorofyl, og som lever af at dekomponere organisk materiale. Typerne varierer i størrelse,

men de fleste stængler eller hyfer er omkring 10 µm i diameter. De fleste trives ved en luftfugtighed over 75 % RF ved normal rumtemperatur, og deres forekomst er således knyttet til miljøets fugtighedsgrad og tilgængeligheden af organisk materiale. Skimmelsvampene reproducerer sig ved hjælp af sporer, som spredes i luften. Sporerne kan forekomme i massivt omfang, og de udgør en form for hviletilstand, som ophører, når sporen lander et sted, hvor der er passende mængder fugt og næring. Voksende svampe kan via stofskiftet producere stoffer (mykotoksiner), som beskytter deres vækstmedie mod andre svampe og bakterier. Svampene indeholder bl.a. antigener, og deres cellevægge består af β-(1,3)-D-glucan, som er et stabilt kulhydrat, der nedbrydes til partikler, når svampene dør. Fra vækstmediet frigøres således svampemateriale, som efter en svævefase falder til gulvet. Herfra kan det genophvirvles og blandes med støv og andre forekommende mikroorganismer som alger, bakterier og husstøvmider. Findes skimmelsvampene i ventilationsanlæg med luftbefugtere kan sporer og andet materiale også cirkuleres svævende i dråbebåret form.

De forskellige dele af skimmelsvampen – det være sig sporer, mykotoksiner, allergener eller β-(1,3)-D-glucan – kan medføre negative helbredseffekter, hvis de indtages, indåndes eller på anden måde absorberes. Partiklernes størrelse og form er afgørende for, hvor længe de kan holde sig svævende, og hvor langt de har mulighed for at trænge ned i åndedrætssystemet. Skimmelsvampene vokser ofte forskellige arter sammen, og opblandet med andre mikroorganismer udgør eksponeringen derfor en sammensat størrelse, hvilket gør det til et omfattende arbejde at udrede dens præcise bestanddele.

Der kendes ofte flere allergener for hver skimmelsvampeart og flere hundrede allergener er identificeret. Der kan anvendes flere mål for eksponeringen for skimmelsvampeallergener i indeklimaet. Skimmelsvampe kan bestemmes og kvantificeres ved at dyrke støv- og luftprøver på vækstmedium eller ved tælling af sporer i mikroskop. Mere indirekte mål kan være måling af skimmelsvampekomponeanter, f.eks. glukaner (β-1,3-D-glucan) i støvprøver.

### 2.3.5 Andre allergener

Allergener fra insekter, fx Kakkerlak-allergener, og allergener fra fugleleekskremitter antages at være af mindre betydning i Danmark.

## 2.4 Kemiske forbindelser

Indeluften er typisk forurennet med hundredvis af kemiske stoffer i varierende koncentrationer, som brugerne af bygningerne eksponeres for.

Der har specielt været fokus på flygtige organiske forbindelser (på engelsk VOC'er af Volatile Organic Compounds). (WHO, 1989) har klassificeret organiske luftforureninger i fire grupper ud fra deres kogepunkt (kp):

VVOC (Very Volatile Organic Compounds)	kp < 0 til 50-100 °C
VOC (Volatile Organic Compounds)	kp 50-100 til 240-260 °C
SVOC (Semivolatile Organic Compounds)	kp 240-260 til 380-400 °C
POM (Organic compounds associated with particulate matter or particulate organic matter), kp > 380 °C	kp > 380 °C

De letfordampelige VOC'er, dvs. dem med lavt kogepunkt, optræder som gasser og dampe under normale indeklimaforhold, mens VOC'er med højere kogepunkter forekommer både i damp- og partikelform.

Af organiske gasser og dampe er formaldehyd en af de mest kendte genevoldere. Det er en farveløs luftart med en karakteristisk lugt. Formaldehyd forekommer naturligt i økosystemet, men det findes kun kortvarigt i fri form. Enten nedbrydes det hurtigt, eller også reagerer det med organisk materiale. Det findes nærmest i alle livsformer, men uden at der sker en egentlig bioakkumulation. Bl.a. indeholder frugt og grønsager små mængder formaldehyd (typisk 3-60 mg/kg; æbler fx 17 mg/kg), og det indgår i den almindelige menneskelige metabolisme (ca. 50-60 mg forbrændes i døgn). Kilder til formaldehyd i indeluften omfatter en række lime og limede trævarer som spånplader, forbrændingsprocesser og tobaksrygning med mere. Formaldehyd optages gennem luftveje, mave-tarmkanal og hud, og det udskilles via udånding, urin og fæces. De højeste koncentrationer findes i forbindelse med industriel fremstilling og den efterfølgende produktanvendelse og eksponering sker både inden for særlige erhverv og i indeklimaet.

Brugen af formaldehyd er stærkt reduceret igennem de senere år, og dermed er også indholdet i indeluften faldet. Det skyldes indførelsen af bestemmelser for maksimal formaldehydafgivelse fra eller formaldehydindhold i træbaserede plader og varmeisoleringsmaterialer. Indimellem støder man dog stadig på problemer med formaldehydafgivelse for visse møbelplader og ulovligt importerede byggeplader. Ifølge Bygningsreglementerne (BR 95, BR 98) må formaldehydkoncentrationen i rumluft ved realistisk brug af de pågældende materialer med formaldehydafgivende lim og fastlagte ventilations-, temperatur- og fugtforhold ikke overstige  $0,15 \text{ mg/m}^3$ .

En væsentlig eksponering for kemikalier i indeklimaet sker ved indånding af støv. Støvet på gulve og svævende i indeluften indeholder betydelige koncentrationer af mange problematiske grundstoffer, og tungtflygtige kemikalier som phthalater og pesticider (Friedrich et al. 2001).

#### 2.4.1 Forureningskilder

Koncentrationen (eksponeringen) af forurening i luften afhænger hovedsageligt af balancen mellem forureningskilderne og hvor meget uforurennet luft, der tilføres bygningen (ventilation) for at fortynde forureningen. Koncentrationen afhænger desuden af hvor meget forurening, der sætter sig på overflader (adsorption) eller afgives fra overflader (desorption). Herudover afhænger koncentrationen og den kemiske sammensætning af hvilke kemiske reaktioner, der sker i materialeoverflader og i luften, fx ved reaktion med ilt og ozon.

Forureningen med kemikalier i luften inden døre kan stamme fra den *udeluft*, der tilføres gennem ventilation, fx fra trafik og brændeovne (både mættede kulbrinter (alkaner), umættede kulbrinter (aromater, herunder benzen), flerumættede kulbrinter (butadien), PAH'er, aldehyder og alifatiske syrer), industri, energiproduktion og landbrug. Også ozon tilføres indeluften med udeluften.

Herudover er der en lang række indendørs kilder til forurening med kemikalier:

*Mennesker* afgiver såkaldte bioeffluenter, der ud over vanddamp og kuldioxid (CO<sub>2</sub>) også består af en lang række VOC'er som fx ethanol, isopren, acetone, toluen og smørsyre. Afgivelsen af CO<sub>2</sub> afhænger af menneskets aktivitetsniveau. En afslappet og siddende voksen person afgiver fx ca. 17 l/h CO<sub>2</sub>. De lave koncentrationer af CO<sub>2</sub> der normalt forekommer inden døre er uskadelige og kan ikke fornemmes af mennesker. Indeluftens indhold af CO<sub>2</sub> (over niveauet udendørs på ca. 350 ppm) er imidlertid en god indikator for koncentrationen af andre menneskelige bioeffluenter, der kan opleves generende. Der er gennemført studier af menneskers umiddelbare subjektive vurdering af kropslugt når de går ind i rum med varierende koncentrationer af CO<sub>2</sub> i luften (Fanger et al., 1983 og Berg-Munch, 1986). Ved en CO<sub>2</sub> koncentration på 660 ppm over udeniveauet er ca. 20 % af de besøgende utilfredse med luftkvaliteten. I ventilationsstandarder foreskrives ofte 20 % utilfredse som et mål for den ønskede luftkvalitet. Det svarer til Arbejdstilsynets anbefaling af at luftens absolutte indhold af CO<sub>2</sub> ikke bør være større end 1000 ppm. Hvis luftens indhold overstiger 2000 ppm CO<sub>2</sub> i mere end korte perioder af en dag, anser Arbejdstilsynet ventilationen for at være utilstrækkelig i forhold til personbelastningen. Arbejdstilsynets grænseværdi for CO<sub>2</sub> alene er 5000 ppm.

*Menneskers aktiviteter omfatter* fx forskellige former for forbrænding som tobaksrygning (flere hundrede VOC'er, foruden partikler, kulmonoxid, kuldioxid, svovlkulstof, ammoniak og cyanbrinte), madlavning (ved gas kvælstofilter) og stearinlys, brug af elektrisk udstyr som computere og kopimaskiner (mange VOC'er, nitrogenoxider, radikaler og ozon), div. hobbyaktiviteter. Herudover kan anvendelsen af visse produkter til overfladebehandling (vask, rengøring og pleje), som fx voks og olie have stor betydning for eksponeringen, da de ofte anvendes på store overflader (opløsningsmidler, terpener, formaldehyd, glykolethere og parfumestoffer).

Forurening med kemiske stoffer kan også stamme fra *andre kilder* som husholdningsaffald, toiletter, brændeovne (partikler, CO og VOC, herunder PAH'er), husdyr, installationer, herunder ventilationsanlæg, fx fra brugte filtre. Flytbare opvarmningsapparater uden afkast til skorsten baseret på forbrænding af gas eller petroleum vil være meget betydelige kilder til kemiske forbindelser, partikler og fugt i de boliger, hvor de anvendes. Det vurderes at omkring 2 % af befolkningen anvender sådanne apparater.

*Potteplanter* har længe været diskuteret, fordi de kan optræde som forureningskilder, og samtidig er der en teoretisk mulighed for at de renser luften via deres stofskifte. Potteplanter inden døre har dog typisk et meget lavt stofskifte bl.a. på grund af den lave belysning og deres begrænsede areal. Det er derfor kun muligt at påvise positive egenskaber, der er langt under luftrensningen i forbindelse med ventilation (Larsson, 2004).

*Grunden under en bygning* kan være forurennet, fx pga. eksisterende eller nedlagte renserier, lækager fra kemikalielagre eller anden kemisk virksomhed. Denne forurening kan via revner og sprækker i dæk og fundament eller diffusion gennem bygningsdele trænge ind i bygninger.

Forurening kan også stamme fra *fugtrelaterede forhold*. Fx kan fugt forøge nedbrydning af byggevarer og dermed øge afgangningen af kemiske stoffer til luften. Fugt kan være årsag til vækst af skimmelsvampe, som kan forurene luften med fx MVOC'er fra mikrobielle processer. Disse stoffer forekommer i

meget lave koncentrationer, men da de har meget lave lugttærskler, kan de give anledning til lugtgener.

De indendørs kilder til forurening med kemiske stoffer, der nok har fået størst opmærksomhed, er *byggematerialer og inventar*, herunder maling, lakker, tæpper og andre gulvbelægninger, møbler, etc. Disse kilder afgasser VOC'er til luften, som kan påvirke bygningsbrugernes sundhed og komfort (ECA-IAQ Report No. 18; Wargocki et al., 2002). De såkaldte primære VOC'er, der hovedsagelig afgasser kort tid efter, at materialerne er produceret, stammer fra kemikalier, som blev anvendt under fremstillingen af det pågældende materiale, fx i form af acceleratorer, antioxidanter (stabilisatorer), blødgøringsmidler, opløsningsmidler (sammenflydningsmidler), reaktanter (i overskud), urenheder, dannede forbindelser under proces (fx hærdning) (Wolkoff, Clausen og Nielsen, 1998). Langt de fleste af disse stoffer forekommer i koncentrationer, der er betydeligt lavere end grænseværdier baseret på traditionel toksikologi. Alligevel påvirker de den oplevede luftkvalitet og dermed bygningsbrugernes komfort.

Der har i de sidste 30 år været arbejdet på at udvikle sundhedsrigtige byggevarer. Et værktøj hertil er den frivillige Indeklimamærkningsordning, der har til formål at mindske afgangningen fra byggematerialer. Ordningen vurderer hovedsagelig den førnævnte primære afgangning ved kemiske målinger og sensoriske bedømmelser af materialernes lugtafgivelse (Boligministeriet, Bygge- og Boligstyrelsen, 1995; Nielsen og Wolkoff, 1993). For at et materiale kan opnå mærket, skal koncentrationen af relevante stoffer samt bedømmelser af oplevet luftkvalitet opfylde fastlagte godkendelsesniveauer. Tidspunktet, hvor disse krav er opfyldt kaldes for produktets indeklimarelevante tidsværdi. Der stilles i mærkningsordningen krav til, hvor høj denne værdi må være.

For nogle materialer, hvor der forekommer mere komplicerede afgangningsmekanismer giver dette imidlertid ikke et dækkende billede af, hvordan materialet påvirker luftkvaliteten i virkeligheden. Nyere forskning har vist, at materialeoverflader og materialers afgangningsprodukter kan reagere med reaktive gasser, fx ozon, og danne nye afgangningsprodukter, såkaldt sekundær afgangning, der i særlig grad kan forringe indeluftkvaliteten (Knudsen et al., 2003). For nogle materialer kan denne type afgangning tilsyneladende fortsætte i hele materialets levetid (Knudsen et al., 2004). Hvor der tidligere alene var fokus på den såkaldte primære afgangning fra materialer, er fokus derfor nu også rettet mod den sekundære afgangning.

Erfaringer fra mærkningsordningen har vist, at nogle naturlige, organisk baserede materialer har svært ved at opnå Indeklimamærket, da deres indeklimarelevante tidsværdi er uacceptabelt lang. Det gælder fx for gulvbelægning af træ og linoleum. Desuden har det vist sig, at den oplevede luftkvalitet påvirkes af afgassede stoffer i meget lave koncentrationer, som er vanskelige at måle med eksisterende målemetoder. Dette er et problem i forbindelse med produktudvikling. Der er behov for en styrkelse af Dansk Indeklima Mærkningsordning, så den i højere grad afspejler forholdene i bygninger. Det bør afklares, hvad reaktiv kemi betyder for indeluftens kvalitet, og hvordan afgangning fra visse naturlige materialer skal håndteres i mærkningsordningen.

På trods af bestræbelser for europæisk harmonisering findes der ikke en fælles europæisk mærkningsordning for afgangning fra byggematerialer og inventar.

Der er behov for at udvikle et sådant fælles grundlag og at arbejde frem mod konsensus om de anvendte testmetoder.

Generelt er byggevareproducenterne blevet langt mere opmærksomme på behovet for byggevarer, der ikke forurener indeluften. Mange typer varer, der tidligere var kendt for at udsende ubehagelige lugte, bidrager nu kun i ubetydelig grad til forureningen inden døre.

#### 2.4.2 Problematiske stoffer

Man har gennem flere år været bevidst om at indeklimaet kan skade helbredet. (Berglund et al., 1991) gennemgik den eksisterende viden og konkluderede for mere end 20 år siden bl.a. at der var en betydelig mangel på specifik viden om indeklimaets betydning for alvorlige sundhedseffekter. I den forløbne periode er der skabt en del men langt fra dækkende specifik viden. Problematiske stoffer med forekomst i indeluften omfatter bl.a. radon, ozon, tjærestoffer fra jordforurening, benzen, klorerede opløsningsmidler fra rensesier, bekæmpelsesmidler i byggevarer, bly, visse blødgørere og andre tilsætningsstoffer til byggevarer samt luftforurening fra trafikken, brændeovne og tobaksrøg. Herudover kan der være tale om alle mulige produkter med indhold af flygtige kemikalier, der kan være brugt forkert. De problematiske stoffer omfatter også stærkt giftige stoffer som PCB, hvorom man tidligere havde utilstrækkelig toksikologisk viden, og som derfor fandt udbredt anvendelse i visse byggevarer. Endvidere er det muligt, at listen over problematiske stoffer kan forlænges betydeligt, efterhånden som videngrundlaget udbygges, fx med bromerede flammehæmmere i elektroniske komponenter.

EU Kommissionens "Joint Research Centre" har angivet 1. prioritet til reduktion af eksponeringen for 5 stoffer i indeklimaet, 2. prioritet til reduktion af yderligere 4 stoffer og om 3 stoffer mangler der i særlig grad yderligere viden (Kotzias et al., 2004). Stofferne er vist i tabel 2.2.

Tabel 2.2. Særligt problematiske stoffer i indeluften (Kotzias et al., 2004).

1. prioritet	2. prioritet	Yderligere forskning
Formaldehyd	Acetaldehyd	Amoniak
Kulmonooksid	Toluen	Limonen
Kvælstofdioksid	Xylen	Alfa-pinen
Benzen	Styren	
Naftalen		

Formaldehydkoncentrationer i indeluften i den bagvedliggende undersøgelse var i middel ca. 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Lignende niveauer forventes under danske forhold. Kulmonooksid blev målt til en middelværdi på 1-2  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Dette er under de niveauer, der anses for sundhedsskadelige. Ikke desto mindre sker der et betydeligt antal ulykker med kulmonooksidforgiftning. Derfor er stoffet med på listen.

Kvælstofdioksid i indeklimaet stammer hovedsageligt fra madlavning over gas. Middelkoncentrationerne i undersøgelsen ligger i området 20-60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mens madlavning over gas menes at resultere i koncentrationer på 180-2500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , der er på eller over WHO's anbefalede øvre grænse på 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (WHO, 2000).

Benzenkoncentrationerne var i middel 4-10 µg/m<sup>3</sup>. Benzen er genotoksisk, og en nedre grænse for sundhedseffekter kan derfor ikke angives, men de forekommende koncentrationer kan teoretisk give anledning til ca. 7-8 tilfælde af leukemi per 1 mio. udsatte mennesker.

Naftalen, der bliver brugt i mølkugler og andre bekæmpelsesmidler, blev stort set kun målt i problematiske koncentrationer i Athen. Der forventes ikke at være høje koncentrationer i danske boliger.

De øvrige kemikalier i tabel 2.2 har middelkoncentrationer inden døre der er mere end 10-100 gange under de udledte grænseværdier for effekter.

Der er endnu usikkerhed blandt andet om betydningen af phthalater i blød pvc, som kan have en adjuverende virkning sammen med de forekommende allergener ved inhalation (Øie et al., 1997). (Clausen et al., 1999) har målt koncentrationer af phthalaterne DBP og DEHP i indeluften i nogle få kontorer, klasserum og børneinstitutioner. Koncentrationerne lå i området 570-1350 ng/m<sup>3</sup> for DBP og 160-1050 ng/m<sup>3</sup> for DEHP.

PFOS-forbindelser er en række af forbindelser som alle potentielt kan nedbrydes til perfluorooktansulfonat, som har vist sig at være svært nedbrydeligt i naturen. Fluorforbindelser med lange kulstofkæder inklusive PFOS er både vand- og fedtafvisende. Man har kunnet finde PFOS i imprægneringsmidler til tekstiler, læder og papir, voks og anden polish, maling, lak og trykfarver samt rengøringsmidler. Forbindelserne kan være giftige for pattedyr i doser ned til ca. 0,1 mg/kg kropsvægt/dag (Swedish Chemicals Inspectorate, 2004). Koncentrationen i støv og luft inden døre giver dog langt fra anledning til indtag i den størrelsesorden. Siden 3M i maj 2000 annoncerede at de ville standse brugen heraf ved fremstillingen af "Scotchgard" med udgangen af år 2002 er eksponeringen faldet betydeligt. Et forbud mod anvendelse af PFOS-forbindelser diskuteres i EU.

Der er behov både for risikoanalyser som baggrund for handlingsplaner for de mere veldokumenterede problematiske stoffer og for grundlæggende indsamling og sammenstilling af viden for flere af stofferne med mere usikre virkninger på mennesker.

### 2.4.3 Oplevet luftkvalitet

Hovedparten af de organiske stoffer, der bliver målt indendørs, forekommer i meget lave koncentrationer og vil ikke have en direkte toksisk effekt på mennesker. En række af stofferne vil imidlertid lugte og derigennem påvirke hvordan kvaliteten af luften opfattes, dvs. hvor stærk lugtintensiteten er, og om den er acceptabel eller uacceptabel. Et mål for luftens kvalitet, som den opleves af mennesker, er traditionelt blevet kaldt for "oplevet luftkvalitet". Oplevet luftkvalitet er en kombination af lugt og irritation. Den oplevede luftkvalitet måles med et såkaldt sensorisk panel, der typisk består af 20 til 40 personer med en normal lugtesans. På en skala for accept bedømmer de, hvor acceptabel de oplever luftkvaliteten umiddelbart ved indtræden i et rum.. Det kan også ske ved laboratorieforsøg, hvor de sætter næsen til en tragt, hvor den luft, der skal bedømmes, kommer fra. Der er altså tale om det umiddelbare første indtryk.

En acceptabel oplevet luftkvalitet er et mål i sig selv. Luften skal have en vis kvalitet, når man går ind i en bygning eller går mellem forskellige rum i en bygning.

Nyere forskning har vist, at der er en sammenhæng mellem oplevet luftkvalitet og menneskers produktivitet (Wargocki 2002). Oplevet luftkvalitet bør derfor håndteres som en selvstændig indeklimaparameter. I praksis er den oplevede luftkvalitet ofte bestemmende for ventilationsbehovet, dvs. mængden af tilført udeluft i en bygning og dermed for energiforbruget til ventilation (ECA Report No. 11, 1992).

Ved samtidige målinger af kemisk afgang og sensorisk bestemmelse af oplevet luftkvalitet har der ofte kun været en svag korrelation mellem den målte kemi og den oplevede luftkvalitet. Den gængse måleteknik kan ofte ikke detektere de lave koncentrationer af lugtaktive kemiske stoffer, som kan opfattes af den menneskelige næse. Der er et ønske om at kunne bestemme de vigtigste lugtaktive stoffer, da det vil støtte en produktudvikling af mere indeklimavenlige produkter.

Det har vist sig, at forureningen fra byggematerialer som al anden luftforurening har forskellige sammenhænge mellem koncentration af forurening og oplevet luftkvalitet (Knudsen, 1998). Det har betydning, når det skal vurderes, hvordan et materiale påvirker den oplevede luftkvalitet i et rum ved en given ventilationsrate og mængde. Sammenhængen er også vigtig for at kunne vurdere betydningen af at ændre på ventilationsraten.

Den komplekse blanding af luftforurening, der opstår, når flere forureningskilder er til stede samtidig, som de er i en bygning, har i flere tilfælde givet anledning til relativt små ændringer i den oplevede luftkvalitet ved ændringer i ventilationsraterne. Det betyder i praksis, at forbedring af luftkvaliteten ved øget ventilation ofte ikke er praktisk mulig, fordi den store forøgelse, det kræver, giver trækgener og højt energiforbrug. Derimod er det oplagt at forsøge at begrænse eller fjerne emissionskilderne. I forbindelse med denne kildekontrol er det en udfordring at fremstille materialer, der kun forringer luftkvaliteten ubetydeligt. Her er samspillet mellem forskning og producenter af byggevarer vigtigt, så den nye viden kan øge materialeproducenters mulighed for at udvikle sundhedsrigtige byggematerialer til gavn for bygningsbrugerne.

I praksis er et virksomt middel til at reducere et lugtproblem lokal udsugning ved forureningskilden. Lugt fra toiletter og madlugt kan således ofte i rimelig grad fjernes ved lokal udsugning/ventilation. Dette er ikke muligt ved tobaksrygning, hvor forurening tilføres forskellige steder i rummet, men afgrænsning af rygningen til specielle rygerum med effektiv udsugning kan mindske påvirkningen af ikke rygere.

## 2.5 Partikler

Siden 1952, hvor en voldsom smog-episode i London forårsagede ca. 12.000 ekstra dødsfald, har partikelforurening været anerkendt som et meget alvorligt problem for folkesundheden, og man har med lovgivning – baseret på miljømedicinske argumenter – søgt at begrænse partikelforureningen udendørs i byerne. Der er etableret omfattende monitoringsprogrammer, og forureningen med de større partikler er reduceret betydeligt i byerne siden 50'erne.



Helbredseffekter af partikulær luftforurening er primært belyst for udendørseksponering, som især er forårsaget af emission fra trafik og boligopvarmning. Vores viden om betydningen af partiklernes kemiske sammensætning er begrænset.

Vores viden om partikulær forurening i indeklimaet er endnu mere begrænset. Partikulær luftforurening fra udendørsmiljøet trænger ind i boliger og udgør dermed en del af eksponeringen for partikler i indeklimaet. I boliger med brændeovne vil disse afhængigt af konstruktion, brug og brændselstype kunne øge den partikulære luftforurening i indeklimaet.

I hjem med tobaksrygning udgør de tobaksrelaterede partikler en væsentlig del af den partikulære forurening.

Der har været stigende opmærksomhed på de fine partikler (diameter mellem 0,1  $\mu\text{m}$  og 2,5  $\mu\text{m}$ ), fordi den vægtbaserede koncentration i luften korrelerer bedre med dødelighed end de større partikler, og fordi man ved, at partikelstørrelsen er afgørende for, hvor dybt i luftvejene partiklerne kan deponeres. Antallet af ultrafine partikler – med en diameter under 0,1  $\mu\text{m}$  – er meget stort sammenlignet med de større partikler, der er dominerende for massen af luftbårne partikler. De ultrafine partikler har betydning for sundheden på grund af deres store antal, dybe nedtrængning i lungerne og lille størrelse, der besværliggør transporten væk fra lungevævet, efter partiklerne er afsat der.

Partikler kan i denne forbindelse bestå både af væske og af fast stof. Blandingen af partikler og luft kaldes ofte en aerosol. Partikler med et forhold mellem længde og bredde på over 3, en længde over 5  $\mu\text{m}$  og en diameter under 3  $\mu\text{m}$  kaldes for fibre. De vigtigste egenskaber for luftbårne partikler er koncentration baseret på enten antal eller masse, størrelsesfordeling baseret på antal eller masse, overfladeareal, form, kemisk sammensætning og elektrisk ladning.

Luftbårne partikler kan have en størrelse fra nogle få molekyler til tykkelsen af et menneskeligt hår. Udtrykt i meter kan partikler have en diameter fra 0,001  $\mu\text{m}$  til 100  $\mu\text{m}$ . Partikler under 0,1  $\mu\text{m}$  kaldes ultrafine partikler, partikler mellem 0,1 og 2,5  $\mu\text{m}$  kaldes fine partikler og partiklerne over 2,5  $\mu\text{m}$  kaldes grove partikler. Langt det største antal af partiklerne i indeluften er ultrafine, mens de ultrafines masse er ubetydelig sammenlignet med de større partikler. TSP, PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub> er massebaserede mål for partikkelkoncentrationen for henholdsvis totalmassen, massen af partikler under 10  $\mu\text{m}$  eller massen af partikler under 2,5  $\mu\text{m}$ . En betydelig del af partiklerne i udeluften i Danmark kommer med vinden fra sydlige dele af Europa.

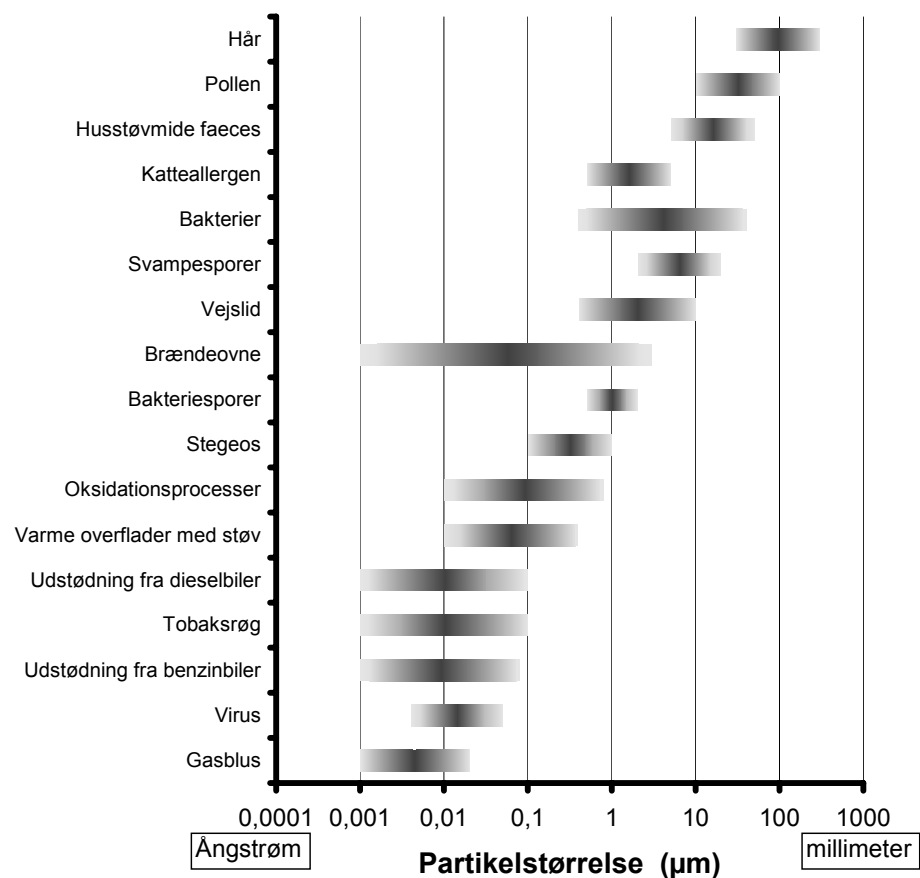
Mange af de ultrafine partikler i indeluften stammer fra udeluften, hvor de dannes ved forbrændingsprocesser og andre forureningers indbyrdes reaktioner under påvirkning af sollyset. De kan også dannes inden døre ved afbrænding bl.a. af stearinlys og forbrændingsprocesser på overflader med høje temperaturer. De kan endvidere dannes gennem reaktioner mellem ozon, nitrogenoxid og terpener. Ozon og nitrogenoxid kan tilføres indeluften udefra. Ved brug af gaskomfurer dannes også en del nitrogenoxid. Terpenerne kommer først og fremmest fra møbler og indvendige overflader, men også rengøringsmidler kan indeholde sådanne oxiderbare forbindelser.

I modsætning til de ultrafine partikler, der har de højeste middelkoncentrationer i udeluften, findes de højeste koncentrationer af større partikler indendørs. I tabel 2.1 er vist nogle udenlandske målinger af partikelindholdet i indeluften. Målingerne viser ikke systematiske forskelle, og der er ikke forventninger om at niveauerne i dansk indeluft adskiller sig herfra.

Tabel 2.1. Partikel indholdet i indeluften fra nogle undersøgelser. Indtaget per døgn er baseret på en antagelse om et luftindtag på 20 m<sup>3</sup>/døgn.

	PM <sub>10</sub> µgm <sup>-3</sup>	PM <sub>2,5</sub> µgm <sup>-3</sup>	PM <sub>10</sub> indtag per døgn, µg	PM <sub>2,5</sub> indtag per døgn, µg	Reference
17 bygninger i schweizisk undersøgelse	10,8-32,8	18,3-20,0	216-656	366-400	Monn et al., 1997
9 bygninger i Boston USA		11,8		236	Long et al., 2000
14 boliger i Brisbane Australien		11,1-15,5		222-310	Morawska et al., 2003

I figur 2.1 vises intervaller for størrelsen af partikler fra en række kilder af særlig betydning for partikelforureningen i indeluften.



Figur 2.1. Intervaller for størrelsen af partikler fra en række kilder vist fra Ångström (10<sup>-10</sup>m) til millimeter (10<sup>3</sup> µm). (Morawska og Salthammaer, 2003; Hinds, 1982).

WHO angiver, at man ikke kan finde tærskelværdier for partikelindholdet i luften der giver fuldstændig beskyttelse mod alvorlige sundhedseffekter. Der er således sundhedseffekter af stort set alle forekommende koncentrationer. Følgende værdier er dog nyligt foreslået i en rapport fra WHO (WHO 2005).

PM<sub>2,5</sub>: 10 µg/m<sup>3</sup> årsmiddel, 25 µg/m<sup>3</sup>, døgnmiddel  
PM<sub>10</sub>: 20 µg/m<sup>3</sup> årsmiddel, 50 µg/m<sup>3</sup>, døgnmiddel

Arbejdstilsynets grænseværdi for mineraluldsfibre er 1 fiber/cm<sup>3</sup>, og den er 10 mg/m<sup>3</sup> for inert mineralsk støv eller 5 mg/m<sup>3</sup> for den respirable del. Grænseværdierne for øvrige former for fibre og støv er lavere. Disse grænseværdier er ikke direkte relevante for indeklimaet, da de gælder for arbejdspladser, hvor brugen af stoffet indgår i en produktion, og hvor eksponeringen dermed kan være svær at begrænse.

EU har i et direktiv fra 1999 angivet følgende grænseværdier for PM<sub>10</sub> i udeluften gældende fra 2005: 90 % af døgnmiddelværdierne skal være under 50 µg/m<sup>3</sup>. Årsmiddelværdien skal være under 40 µg/m<sup>3</sup>.

Endvidere skal følgende vejledende kriterier være opfyldt i år 2010: 98 % af døgnmiddelværdierne skal være under 50 µg/m<sup>3</sup>. Årsmiddelværdien skal være under 20 µg/m<sup>3</sup>.

Med hensyn til PM<sub>2,5</sub> i udeluften har EU fastsat en årsmiddelværdi på 25 µg/m<sup>3</sup> som et loft. Samtidigt skal det eksisterende gennemsnitsniveau for PM<sub>2,5</sub> reduceres med 20 % frem til år 2020.

USA har siden 1987 haft grænseværdier for PM<sub>10</sub>: Døgnmiddelværdierne skal være under 150 µg/m<sup>3</sup>. Årsmiddelværdien skal være under 50 µg/m<sup>3</sup>.

Der er foreslået følgende grænseværdi for PM<sub>2,5</sub> i USA: Døgnmiddelværdierne skal være under 65 µg/m<sup>3</sup>. Årsmiddelværdien skal være under 15 µg/m<sup>3</sup>.

### 2.5.1 Partikler i kroppen

Partikler i luften deponeres forskellige steder i luftvejene. De større partikler med diameter over 10 µm deponeres hovedsagelig i næse og svælg. Mindre partikler deponeres længere nede i luftvejene. De fine og især de ultrafine partikler kan nå helt ud i alveolerne, før de deponeres. Fraktionen af partikler, der deponeres i lungerne, øges med mindsket partikelstørrelse og i forbindelse med dybe, langsomme vejrtrækninger. Hvis partiklerne når så langt, kan de kun fjernes gennem optagelse i de hvide blodlegemer. Fibre kan nå langt ud i luftvejene og kan vanskeligt fjernes på grund af deres form. Partikler i bronkier og øvre luftveje fjernes med slimen på grund af fimrehårenes bevægelser og synkes. De ender derfor i fordøjelsessystemet.

Mindre partikler har større opholdstid i kroppen, og deres store antal og store overfladeareal bevirker, at de kan være bærere af en række kemikalier.

### 2.5.2 Partiklers fysik og kemi

De vigtigste forhold, der påvirker koncentration og sammensætning af partikler i indeluften, er

- Indtrængning af partikler fra udeluften med ventilations- og infiltrationsluft
- Deponering af partikler på indvendige overflader
- Ophvirvlen af deponerede partikler
- Fjernelse af partikler med luftudskiftningen
- Kemiske reaktioner der fører til partikeldannelse
- Indendørs kilder
- Rengøring.

### *Indtrængning*

Udeluften kan tilføres gennem store åbninger som vinduer og udeluftventiler, gennem revner og sprækker og endelig via ventilationsanlæg, der oftest er forsynet med partikelfiltre. Ved passage af de store åbninger fjernes kun ubetydelige mængder af partikler; men i revner deponeres en del partikler og i filtrene afsættes størsteparten af partikelindholdet. Partikelfiltre i ventilationssystemer fjerner typisk mellem 70 og 95 % af partiklerne. Den største indtrængning ses for partikler med en diameter omkring 0,1-0,3  $\mu\text{m}$ .

Forholdet mellem koncentrationen af partikler i inde- og udeluften varierer en del. Det afhænger særligt af ventilationsforhold og størrelsen af de indre kilder. For vægtbaserede målinger vil indeluftens partikelkoncentration typisk være fra 40 til 70 % af udeluftens koncentration, når der ikke forekommer særlige kilder inden døre. (Matson, 2004) viser i sin afhandling, at koncentrationsforholdet typisk er 0,5-0,8 ved antalbaserede målinger i svenske kontorbygninger. Indendørs-/udendørsforhold i boliger har et større variationsområde, og når der er tændte stearinlys eller forekomst af andre væsentlige partikelkilder, kan der forventes betydeligt højere koncentrationer indendørs end udendørs.

Jensen et al. (2005) Har i en enkelt ikke beboet lejlighed ved en trafikeret gade i København målt følgende middelværdier for PM<sub>2,5</sub>: Bybaggrund: 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Indeluft: 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  og gadeluft 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### *Deponering, ophvirvlen og fjernelse af partikler*

Deponeringshastigheden for partikler afhænger af deres størrelse og elektriske ladning. De større partikler (1-10  $\mu\text{m}$ ) daler nedad og deponeres i høj grad på vandrette overflader, mens de mindre partikler i højere grad holder sig svævende og bevæger sig ved diffusion. De tiltrækkes af alle overflader, når de kommer tæt på, og deponeres således både på vandrette og lodrette overflader.

Ophvirvlen af partikler efter deponering sker kun vanskeligt for de mindre partikler, mens de større kan ophvirvles ved aktiviteter i rummene. I forbindelse med risikovurdering antages det at voksne beboere indtager omkring 50 mg overfladestøv.

### *Kemiske reaktioner*

Reaktioner mellem kemiske forureninger af indeluften kan lede til dannelse af partikler. Det gælder særligt for oksidative processer med ozon og visse terpenener. Det er vist, at limonen, der findes i visse rengøringsmidler, også kan oksideres med partikeldannelse til følge af mindre kraftige oksidanter som kvælstofoksider og måske også almindelig ilt.

Partiklerne i indeluften har et meget stort overfladeareal. Det kan være så stort som arealet af rummets afgrænsende flader. Dermed kan partikler optræde

som adsorbenter af en række mere tungtflygtige kemikalier. En væsentlig del af optaget af phthalater via luftvejene foregår således ved, at phthalaterne adsorberes til partikler, der indåndes.

Partiklerne bærer en del kemikalier der kan frigøres til luften. Derfor er adsorbere kemikalier formodentlig en væsentlig del af forklaringen på, at partikelfiltre i ventilationsanlæg ofte giver anledning til lugtgener, på trods af at deres fjernelse af partikler er upåklagelig.

#### *Indendørs kilder*

Partikler, der stammer fra kilder i udemiljøet, findes også inden døre, først og fremmest fordi de tilføres indemiljøet med ventilationsluften. Foruden de partikler, der tilføres fra udemiljøet, tilføres indeluften også en del partikler fra madlavning, tobaksrygning, stearinlys, brændeovne, mennesker og aktiviteter inden døre. På overflader, der er varmere end 70-90 °C, nedbrydes støv og smuds, således at der dannes partikler.

En laboratorieundersøgelse gennemført i et testrum på SBI (Afshari m fl. 2003) viste, at flere helt almindelige gøremål i hjemmet kan give anledning til høje koncentrationer af ultrafine partikler i indeluft. Den højeste koncentration, cirka 240.000 partikler per cm<sup>3</sup>, blev genereret af tændte stearinlys, og den laveste koncentration, 400 partikler per cm<sup>3</sup>, blev genereret ved strygning af lagener. Forfatterne konkluderede, at radiatorer, elektriske luftvarmere, elektriske varmeplader og strygejern (uden damp) ikke er primære partikelkilder, men at de ofte fungerer som sekundære kilder, hvis der er smuds på deres overflade, som kan danne partikler ved delvis afbrænding under opvarmning.

I boliger med ældre/utætte brændeovne vil disse afhængigt af brug, konstruktion og brændselstype kunne øge den partikulære luftforurening inden døre. Indeluftkvaliteten kan også påvirkes af brændeovne ved at partiklerne via skorstenen og udeluften spredes til indeluften i de omgivende bygninger.

Mennesker genererer selv forholdsvis store partikler (typisk større end nogle mikrometer). Andre studier har vist, at madlavning, rygning og rengøring genererer et betydeligt antal mindre partikler under 1µm. Vores viden om indendørseksposeringens størrelse og de faktorer, som indvirker på denne er endnu begrænset.

#### *Rengøring*

Større partikler kan genophvirvles og rengøring vil mindske ophvirvlingen og dermed også indtaget af partikler. Endvidere vil rengøring mindske det betydelige depot af adsorbere kemikalier der er knyttet til de større partikler.

## 2.6 Støj

Lyd er svingninger i luften. Lyde opfattes af ørerne, der kan opfatte lyde i frekvensspektret fra 20 til 20.000 Hz. Lavere frekvenser omtales som infralyd og højere frekvenser kaldes ultralyd. Uønsket lyd er støj. Støj måles normalt på den A-vægtede dB-skala. På skalaen er den sagte raslen af blade i en ellers stille skov cirka 10 dB(A), almindelig samtale er 50-60 dB(A), og den til tider smertefulde lyd på forreste række ved en rockkoncert er omkring 110 dB(A).

Den generelle støjgrænse for trafikstøj ved boliger, som bruges ved planlægning, er 55 dB(A), men støjen er omkring 80 dB(A) på meget trafikerede gader.

Også infralyd kan give anledning til gener. Generne optræder kun lidt over høretærsklen, der på den G-vægtede dB-skala angives til at ligge omkring 95 dB(G). Dette er i modsætning til almindelig støj, hvor der er en mere glidende overgang fra "hørbar støj" til "generende støj". Miljøstyrelsen anbefaler en grænseværdi på 85 dB(G) for infralyd i boliger.

Vibrationer forekommer især, når hele bygningsdele bevæger sig – ofte tæt ved deres egenfrekvens. Årsagen til vibrationerne kan være såvel byggetekniske som relateret til trafikens eller industrielle belastninger af omgivelserne. Det anføres, at sådanne vibrationer kan give anledning til svimmelhed.

Miljøstyrelsens vejledende grænseværdier for helkropsvibrationer er anført i tabel 2.2.

Tabel 2.2. Vejledende grænseværdier for helkropsvibrationer fra Miljøstyrelsen.

Boliger i rene boligområder	75 dB re $10^{-6}$ m/s <sup>2</sup>
Boliger i områder med blandet bolig og erhverv	80 dB re $10^{-6}$ m/s <sup>2</sup>
Erhvervsbebyggelse	85 dB re $10^{-6}$ m/s <sup>2</sup>

## 2.7 Stråling

Ioniserende stråling omfatter røntgenstråling og stråling fra radioaktive kilder med så stort energiindhold, at der dannes ioner ved strålingens absorption i et materiale.

Radon i indeklimaet er en meget væsentlig kilde til ioniserende stråling inden døre. I afsnit 3.7 om kræft er de alvorlige sundhedseffekter beskrevet. Radon er en radioaktiv luftart, der findes i undergrunden.

Flyveaske der anvendes som tilsætning til beton og opfyldningsmateriale kan afgive ioniserende stråling. Ved anvendelse som opfyldning under bygninger er det for at beskytte mod strålingen krævet i Bygningsreglementet at flyveasken dækkes med mindst 20 cm grus. Der findes ikke andre væsentlige kilder til ioniserende stråling i indeklimaet.

Ikke ioniserende stråling omfatter elektromagnetisk stråling i spektret fra ultraviolet lys over synligt lys, infrarødt lys (varmestråling), radarstråling, elektromagnetisk stråling fra mikrobølgeovne og sendemaster til stråling fra elnettet.

Ultraviolet stråling har også alvorlige sundhedseffekter for den danske befolkning i form af forøget risiko for hudkræft. Den dominerende eksponering foregår dog udendørs ved solbadning. Der har i de senere år været et tiltagende fokus på, om eksponering i solarier kan øge forekomsten af hudkræft, og sundhedsmyndighederne har derfor anbefalet at børn og unge

undgår denne eksponering, samtidig med at den voksne befolkning er rådgivet om begrænset anvendelse af denne UV kilde.

Kilder til øvrige former for ikke ioniserende stråling kan også give hud eller øjenskader ved meget kraftige påvirkninger. Sådanne kilder forekommer dog ikke i boliger, skoler, institutioner eller kontorer uden at være tilstrækkeligt afskærmede. Laserlyslamper og mikrobølgeovne kan indeholde kraftige strålingskilder, der kan give skader, hvis deres afskærmning er defekt eller sat ud af funktion.

Der er fremsat ønsker, om nye undersøgelser af om strålingen fra elnettet, elektriske apparater, sendemaster og mobiltelefoner kan give sundhedsskader ved normal udsættelse uden døre og i indeklimaet. Hittidige og ofte veldokumenterede undersøgelser har dog ikke kunne påvise sådanne sammenhænge. Staten har i 2004 og 2005 afsat i alt 30 millioner kroner til et særligt forskningsprogram under det strategiske forskningsråd, der skal belyse sundhedseffekter efter eksponering for elektromagnetiske felter i det radiofrekvente område, som dækker mobiltelefoner og den tilhørende teknologi. Programmet har særligt fokus på børn og unge.

Alle er udsat for ikke ioniserende stråling, og der er betydelige forskelle mellem forskellige befolkningsgruppers udsættelse. Dette taler for at eventuelle sundhedseffekter allerede skulle være blevet påvist i tidligere undersøgelser. Men på den anden side er befolkningens eksponering for elektromagnetisk stråling fra elforbrugende apparater og mobiltelefoner stærkt stigende, og visse sjældne effekter kan være overset i tidligere undersøgelser. Man må i den forbindelse skelne mellem kilder, der er ekstremt lavfrekvente (50 Hz), der omfatter lysnettet og tilsluttede maskiner, og kilder, der er højfrekvente som mobiltelefoner, der opererer i megahertz området. Den påvirkning der sker, er væsensforskellig i de to frekvensområder.

I forbindelse med elektriske felter fra overflader med høj spænding kan der forekomme forøget udfældning af partikler og støv, på grund af at mange støvpartikler har små elektriske ladninger, der tiltrækkes eller frastødes i feltet. For eksempel kan ældre computer- og fjernsynsskærme have høje spændingsniveauer. Det medfører forøget tilsmudsning af skærmene, og ved langvarigt arbejde eller ophold tæt på dem kan den tilsvarende tilsmudsning af hud og særlig øjne give gener.

Statisk elektricitet opstår ved gnidning af gode isolatorer mod hinanden. Dette fænomen kan give gener i forbindelse med at menneskers fodtøj gnider mod gulvbelægningen. De elektriske stød, som derved opladede mennesker får ved berøring af ledende overflader med et andet spændingspotentiale, kan virke forskrækkende og smertefuldt. Fænomenet er særligt udbredt ved lav luftfugtighed. Det kan mest hensigtsmæssigt undgås ved antistatisk behandling af gulvene. Befugtning af inderluften kan give anledning til en række mere alvorlige problemer, og denne praksis må derfor frarådes.

Arbejdstilsynet tager udgangspunkt i retningslinierne fra "International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection" i forbindelse med bedømmelse af sundhedfarer ved elektriske, magnetiske og elektromagnetiske felter (ICNIRP 1998).

## 2.8 Lys

For at opnå et godt belysningsmiljø er der en række faktorer, der kræver særlig opmærksomhed:

- Luminansfordeling
- Belysningsstyrke
- Blænding og reflekser
- Lysretning
- Lysfarve og farvegengivelse
- Dagslys
- Flimmer og stroboskoeffekt.

Se i øvrigt under afsnit 5.4 Belysning.

## 2.9 Sammenfatning vedrørende eksponeringer

Fugt i indeluften kan opfugte byggematerialer og medføre nedbrydning af materialerne, vækst af skimmelsvampe og kolonialisering med husstøvmider.

Påvirkningerne med allergener fra pelsdyr og husstøvmider foregår i væsentlig grad inden døre i hjemmet, hvor også allergener fra pollen og skimmelsvampe kan være til stede.

Potentialet for at reducere ventilationsbehov og energiforbrug til ventilation i bygninger, når der anvendes lav-forurenende materialer bør undersøges..

For at kunne foretage en mere målrettet produktudvikling af mere indeklimavenlige, herunder mindre lugtende materialer, er der behov for en bedre forståelse af, hvad det er for lugt-aktive kemiske stoffer, der er ansvarlige for belastningen af indeluften.

I Danmark er der nok et særligt behov for at reducere eller at undersøge behovet for at reducere eksponeringen for partikler, radon, formaldehyd, kvælstofdioxid og benzen inden døre. Derudover er der utilstrækkelig viden særligt om eksponeringen af en række kemiske forbindelser herunder phthalater og PCB'er.

Den daglige eksponering for partikler i indeklimaet overgår med stor sandsynlighed den dosis, vi får gennem udeluften. Der er betydelig usikkerhed om størrelsen og effekterne af partikelkilderne inden døre.

Der er behov for mere viden om helbredseffekter af lave støjniveauer under grænsen for høreskader i hjemmet og på arbejde. På linie hermed er der behov for undersøgelser af om lyskvalitet både om dagen og om natten har betydning for stressrelaterede sundhedseffekter.

## 2.10 Litteratur

Afshari A., Gunnarsen L., Clausen P.A. and Hansen V. (2004) Emission of phthalates from PVC and other materials. *Indoor Air*. 14, 120-128.



Afshari A. og Ekberg L. E. (2003). Fina och Ultrafina partiklar i inomhusluft: Betydelsen av föroreningskällor inomhus., Miljø og sundhed. ISMF (Indenrigs- og Sundhedsministeriets Miljømedicinske Forskningscenter). 23., 3-8.

Arbejdsministeriet. (2001). Bekendtgørelse nr. 96 af 13. februar 2001: Bekendtgørelse om faste arbejdssteders indretning. København.

Arbejdstilsynet. (1999). Dispensationer og fortolkning af regler inden for faste arbejdssteders indretning ved projekteret byggeri (At-cirkulæreskrivelse nr. 3/1999).

Arbes S.J., Jr., Cohn R.D., Yin M., Muilenberg M.L., Friedman W., Zeldin D.C. (2004). Dog allergen (Can f 1) and cat allergen (Fel d 1) in US homes: results from the National Survey of Lead and Allergens in Housing. *J Allergy Clin Immunol*; 114(1):111-117.

Atkinson W., Harris J., Mills P., Moffat S., White C., Lynch O. (1999). Domestic aeroallergen exposures among infants in an English town. *Eur Respir J*. 13(3):583-589.

Berglund B., Brunekreef B., Knöppel H., Lindvall T., Maroni M., Møhlave L., and Skov P. (1991). Effects of Indoor Air Pollution on Human Health. ECA (European Concerted Action "Indoor Air Quality and its Impact on Man"), COST Project 613. Report 10, EU14086 EN ed. Luxembourg: The Commission of the European Communities.

Berg-Munch B., Clausen G. og Fanger P. O. (1986). Ventilation requirements for the control of body odor in spaces occupied by women. *Environment International*, 12, pp. 195-199.

Boligministeriet. (1995). Bygningsreglement 1995. Boligministeriet, Bygge- og Boligstyrelsen, København.

Clausen P.A., Hansen V., Gunnarsen L., Afshari A. and Wolkoff P. (2004) Emission of di(2-ethylhexyl)phthalate from PVC into air and dust. Emission and sorption experiments. *Environ Sci Technol*. 38, 2531-2537.

Dockery D.W., Pope A.C. III, Xu X. (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N Engl J Med*. 329:1753-9.

ECA (European Concerted Action. (1992). "Indoor Air Quality and its Impact on Man"), COST Project 613. "Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings", Report No 11, EUR 14449 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Community.

ECA-IAQ (European Collaborative Action "Indoor Air Quality and Its Impact on Man"), (1997). "Evaluation of VOC emissions from building products - solid flooring materials". Report 18. EUR 17334 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Community.

Fahlbusch B., Gehring U., Richter K., Wichmann H.E., Heinrich J. (2002). Predictors of cat allergen (Fel d 1) in house dust of German homes with/without cats. *J Investig Allergol Clin Immunol*. 12(1):12-20.

Fanger P. O. og Berg-Munch B. (1983). Ventilation and body odour. Proc. Of An Engineering Foundation Conference on Management of Atmospheres in Tightly Enclosed Spaces. ASHRAE, Atlanta, pp. 45-50.

Flannigan B. og Miller J. D. (1994). Health implications of fungi in indoor environments - an overview, pp 3-28 In: Air quality monographs, Volume 2, Health implications of fungi in indoor environments, Elsevier.

Friedrich C., Helm D., Becker K., Hoffmann K., Krause C., Nöllke P., Seiwert M. og Seifert B. (2001).

Umwelt-Survey 1990/92, Band VI: Hausstaub - Deskription der Spurenelement- und Biozidgehalte im Hausstaub in der Bundesrepublik Deutschland. WaBoLu-Hefte Nr. 01/2001. Umweltbundesamt, Tyskland. <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/dateien/1998.htm>

Glass, D.C. & J.E. Singer. (1972). Urban stress: Experiments on noise and social stressors. Academic Press.

Gravesen S., Nielsen P. A., Valbjørn O. (2002). Skimmelsvampe i bygninger. By og Byg Resultater 020, Statens Byggeforskningsinstitut.

Gunnarsen L. (2001). Fugt, ventilation, skimmelsvampe og husstøvmider - En tværsnitsundersøgelse i lejligheder, By og Byg Resultater 009, Statens Byggeforskningsinstitut.

Hedge, A. (1989). Environmental Conditions and Health in Offices. International Reviews of Ergonomics, Vol. 2, pp. 87-110.

Holland W., S. Hajat, and A. Haines (2002). Cold temperature and consultations for respiratory and cardiovascular disease Int. J. Epidemiol. 31(6): 1272 – 1274.

Holmquist L., Vesterberg O. (1999). Quantification of birch and grass pollen allergens in indoor air. Indoor Air. 9(2):85-91.

ICNIRP (1998). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 ghz), Volume 74, Number 4, Health Physics

Iversen M., Korsgaard J., Hallas T., Dahl R. (1990). Mite allergy and exposure to storage mites and house dust mites in farmers. Clin Exp Allergy. 20(2):211-219.

Jensen K. A., Kofoed-Sørensen V. og Clausen P. A. (2005). The indoor and outdoor concentrations of particulate airpollution and PAHs in different size fractions and assessment of exposure and health impacts in the Copenhagen population, Environmental Project No. 1003, Miljøstyrelsen.

Keiding L., Gunnarsen L., Rosdahl N., Machon M., Møller R., Valbjørn O. (2003). Miljøfaktorer i danskernes hverdag – med særligt fokus på boligmiljø. Statens Institut for Folkesundhed i samarbejde med Statens Byggeforskningsinstitut. København.

Knudsen, H.N., Nielsen, P.A., Clausen, P.A., Wilkins, C.K. and Wolkoff, P. (2003) "Sensory evaluation of emissions from selected building products exposed to ozone", Indoor Air, 13, 223-231.

- Knudsen, H. N., Valbjørn, O., and Nielsen, P. A. (1998). Determination of exposure-response relationships for emissions from building products. *Indoor Air*. Vol. 8(4), pp 264-275.
- Knudsen, H. N., Clausen, P. A., Shibuya, H., Wilkins, K., & Wolkoff, P. (2004). *Indeklimavurdering af linolieholdige byggematerialer (By og Byg Dokumentation 054)*. Hørsholm: Statens Bygge-forskningsinstitut.
- Korsgaard J. (1998). Epidemiology of house-dust mites. *Allergy*. 53(48 Suppl):36-40.
- Kotzias D., Koistinen K., Kephelopoulos S., Schlitt C., Carrer P, Maroni M., Jantunen M., Cochet C., Kirchner S., Lindvall T., McLaughlin J., Mølhave L., Fernandes E.O., Seifert B. (2004) The INDEX project, Final report, Critical appraisal of the setting and implementation of indoor exposure limits in the EU. Joint Research Centre, Ispra, Italy.
- Larson T. (2004). *Nogra inomhusväxters förmåga att påverka luftkvaliteten*. Afhandling. Chalmers Tekniska Högskola.
- Linneberg A., Nielsen N. H., Madsen F., Frølund L., Dirksen A. og Jørgensen T. (2000). Increasing prevalence of specific IgE to aeroallergens in an adult population: Two cross-sectional surveys 8 years apart. The Copenhagen allergy study, *J Allergy Clin Immunol*, V106 (2) pp 247-252.
- Loft S., Raaschou-Nielsen O., Hertel O. og Palmgren F. (2003). Sundhedsmæssige effekter af partikulær luftforurening. miljø og sundhed supplement nr. 2: Helbredseffekter af luftforurening. ISMF (Indenrigs- og Sundhedsministeriets Miljø-medicinske Forskningscenter). s. 13-19.
- Long C. M. ; Suh H. H.; Koutrakis P. (2000). Characterization of indoor particle sources using continuously mass and size monitors. *Journal of the Air & Waste Management Association* 50, 1236-1250.
- Marshall, J.D., Riley, W.J., McKone, T.E., Nazaroff, W.W. (2003). Intake fraction of primary pollutants: Motor vehicle emissions in the South Coast air basin. *Atmospheric Environment* 37, 3455-3468.
- Monn C.; Fuchs A.; Hoegger D.; Junker M.; Kogelschatz D.; Roth N.; Wanner H. U. (1997). Particulate matter less than 10 µm (PM<sub>10</sub>) and fine Particles less than 2.5 µm (PM<sub>2.5</sub>): Relationships between indoor, outdoor and personal concentrations. *Science of the Total Environment* 208, 15-21.
- Morawska L.; He C.; Hitchins J.; Gilbert D.; Parappukaran S.; Mangelsen K. (2003) Characterization of particle number and mass concentration in residential houses in Brisbane, Australia, *Atmospheric Environment* in press.
- Mosbech H. (1999a). Allergy to dust mites. *Ugeskr Laeger*. 161(4):414-418.
- Mosbech H., Veggerby C., Steensen M., Poulsen L.K., Johnsen C.R., Heinig J.H. (1999b). House dust mite allergens and mite allergy in Copenhagen dwellings. A cross-sectional study. *Ugeskr Laeger*. 161(4):419-423.
- Mosbech H., Jensen A., Heinig J.H., Schou C. (1991). House dust mite allergens on different types of mattresses. *Clin Exp Allergy*. 21(3):351-355.

- Nielsen P. A., Wolkoff P. (1993). Indeklimamærkning af byggevarer. SBI-rapport 232. Statens Byggeforskningsinstitut.
- Palmgren, F., Wählin, P. & Loft, S. (2003): Luftforurening med partikler i København. Danmarks Miljøundersøgelser. - Faglig rapport fra DMU 433: 77 s.
- Parvaneh S., Kronqvist M., Johansson E., Hage-Hamsten M. (1999). Exposure to an abundance of cat (Fel d 1) and dog (Can f 1) allergens in Swedish farming households. *Allergy*. 54(3):229-234.
- Pope C.A. III, Thun M.J., Namboodiri M.M. (1995) Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *Am J Respir Crit Care Med*. 151:669-74.
- Pope C.A. III, Burnette R.T., Thun M.J., Calle E.E., Krewski D., Ito K., Thurston G.D. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*. 287: 1132:41.
- Raaschou-Nielsen O., Palmgren F., Solvang Jensen S., Wählin P., Berkowicz R., Hertel O., Vrang M-L., Loft S. (2002). Helbredseffekter af partikulær luftforurening i Danmark – et forsøg på kvantificering. *Ugeskr Laeger*. 34:3959-63.
- Schneider, T., Sundell, J., Bischof, W., Bohgard, M., Cherrie, J.W., Clausen, P.A., Dreborg, S., Kildesøl, J., Kjærgaard, S.K., Løvik, M., Pasanen, P., Skyberg, K., (2002). "Europart", airborne particles in the indoor environment. A European interdisciplinary review of scientific evidence on associations between exposure to particles in buildings and health effects. *Proc. of Indoor Air 2002, Monterey, Vol. 5, pp. 52-57.*
- Skov P., Valbjørn O., Gyntelberg F. og DISG. (1989). Rådhusundersøgelsen - Indeklima i kontorer. Arbejds miljøfondet.
- Sidenius K. House dust mites and their allergens – cross-reactivity and relation to selected environmental variables. Ph.d.-afhandling ved Kbh Universitet 2002.
- Svanes C., Heinrich J., Jarvis D., Chinn S., Omenaas E., Gulsvik A. (2003). Pet-keeping in childhood and adult asthma and hay fever: European community respiratory health survey. *J Allergy Clin Immunol*. 112(2):289-300.
- Swedish Chemicals Inspectorate (KemI) and the Swedish EPA. (2004). Perfluorooctane sulfonate (PFOS), Dossier prepared in support for a nomination of PFOS to the UN-ECE LRTAP Protocol and the Stockholm Convention. [http://www.unece.org/env/popsxg/docs/2004/Sweden\\_PFOS\\_dossier\\_Aug\\_2004.pdf](http://www.unece.org/env/popsxg/docs/2004/Sweden_PFOS_dossier_Aug_2004.pdf)
- Wargocki, P., Sundell, J., Bischof, W., Brundrett, G., Fanger, P.O., Gyntelberg, F., Hanssen, S.O., Harrison, P., Pickering, A., Seppänen, O., Wouters, P. (2002). "Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN). *Indoor Air*, 12, 113-128.

Wargocki, P., Lagercrantz, L., Witterseh, T., Sundell, J., Wyon, D.P., Fanger, P.O. (2002). Subjective perceptions, symptom intensity and performance: a comparison of two independent studies, both changing similarly the pollution load in an office. *Indoor Air*, 12, 74-80.

Warner A.M., Bjorksten B., Munir A.K., Moller C., Schou C., Kjellman N.I. (1996). Childhood asthma and exposure to indoor allergens: low mite levels are associated with sensitivity. *Pediatr Allergy Immunol.* 7(2):61-67.

WHO (World Health Organization). (1988). *Indoor Air Quality: biological contaminants. Report on a WHO meeting, Rautavaara.* WHO Regional Publications, European Series No. 31

WHO (World Health Organization). (1985). *Environmental Health No. 4: Reference Method for Measuring Airborne Man-Made Mineral Fibres.* WHO's Regional Office for Europe, Copenhagen.

WHO (World Health Organization). (1989). *Indoor Air Quality: Organic Pollutants. EURO Reports and Studies No. 111,* Copenhagen: World Health Organization.

WHO (World Health Organization). (2000). *Air Quality Guidelines for Europe, European Series, No. 91, Second Edition,* World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen

WHO (World Health Organization). (2005). *Air Quality Guidelines, global update – Report on a working group meeting, Bonn, Germany October 2005,* World Health Organization

Wolkoff, P., Clausen, P.A. and Nielsen, G.D. (1998). *Flygtige organiske forbindelser - VOC'er i indeklimaet (Dokumentation 2).*

Øie L., Lars-Georg Hersoug og J.Ø. Madsen. (1997). Residential exposure to plasticizers and its possible role in the pathogenesis of asthma, *Environ Health Perspective*, V 105 pp 972-978.

## 3 Gener og sygdomme

### 3.1 Baggrund

Indeklimaets påvirkninger kan genere ved ubehagelige sensoriske påvirkninger, det kan give anledning til mere uspecifikke symptomer som slimhindeirritation og hovedpine, og endelig kan påvirkningerne inden døre forøge risikoen for sygdomme som infektioner, allergi, hjertekarlidelser og kræft.

### 3.2 Gener

Gener er i denne forbindelse ubehagelige sanseindtryk som høje eller lave temperaturer, støj, træk, blænding og ubehagelige lugte. Ofte men ikke altid kender personer med sensoriske gener årsagen på baggrund af deres egen erfaring og analyse af sanseindtrykkene.

Der er store individuelle forskelle på, om sanseindtryk opleves som generende. Når de generer, kan de give stress og afledte problemer som dårlig søvnkvalitet, nedsat produktivitet og stressrelaterede symptomer som hovedpine.

#### 3.2.1 Gener fra temperaturer, støj, luftens kvalitet mm

Støj kan give høreskader, den kan virke generende, og den kan give andre gener som dårlig søvnkvalitet og generel følelse af stress der kan være en medvirkende årsag til udvikling af hjertekarsygdomme. Undersøgelser har endvidere vist at støj kan reducere indlæringen blandt børn.

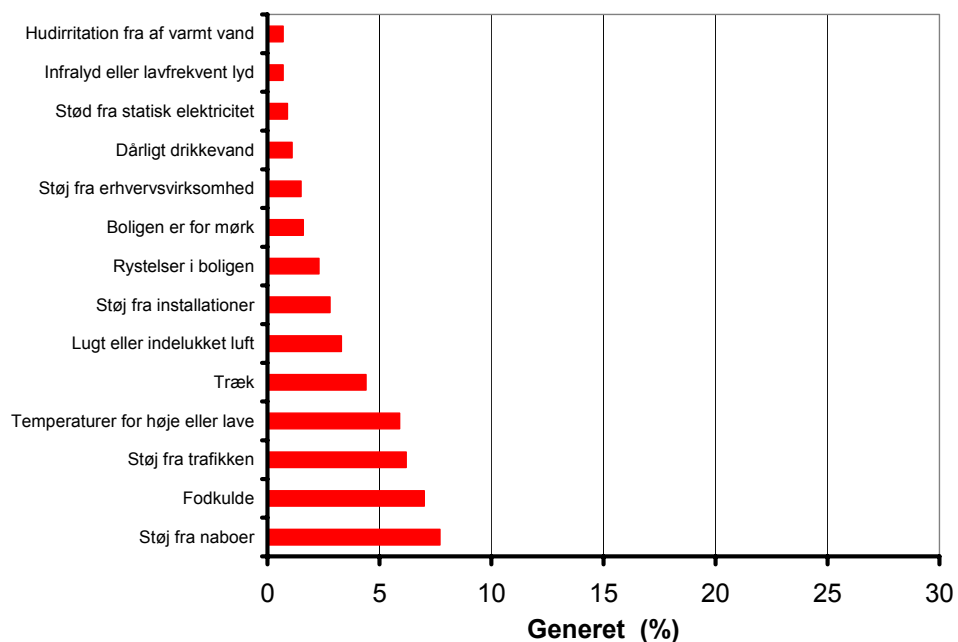
Længerevarende udsættelse for støjniveauer over 80 dB(A) kan give høreskader. Jo højere støjniveauet er, desto kortere tids udsættelse fører til høreskader. Støj på lavere niveauer kan øge stressbelastningen og dermed risikoen for at udvikle hjertekarsygdomme.

De følgende resultater er fundet i en spørgeskemabaseret undersøgelse (Keiding et al. 2003). Cirka 16.700 danskere over 15 år har svaret på spørgsmålet "Har De inden for de sidste 14 dage været generet af nogen af følgende forhold i deres bolig?". De mulige svarkategorier var "Nej", "Ja, lidt generet." og "Ja, meget generet." Undersøgelsen blev gennemført over et år fordelt på alle årstider.

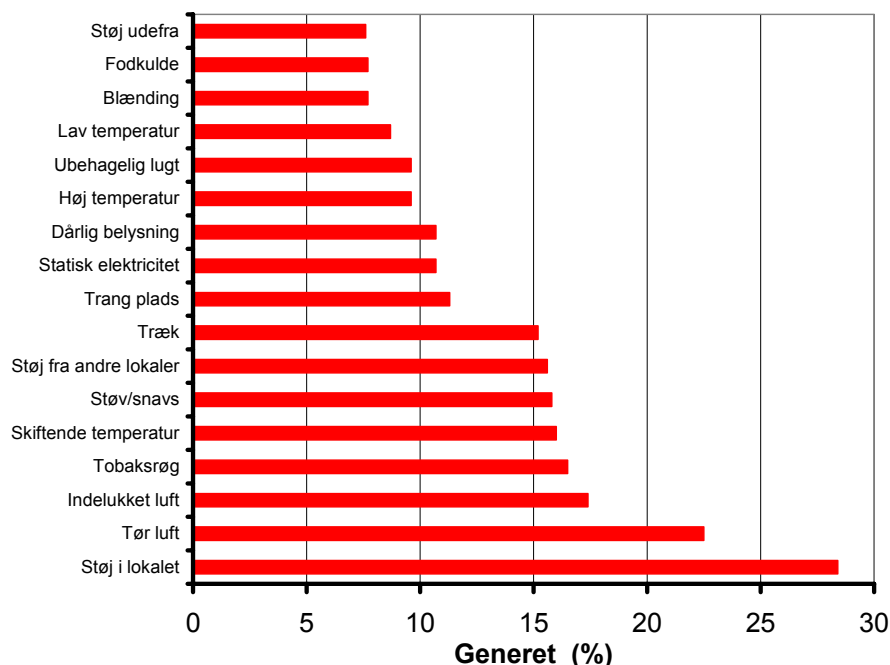
Undersøgelsen viste at 5,9 % var generet af for høje eller for lave temperaturer, 7,0 % var generet af fodkulde og 4,4 % af træk i den seneste 14-dages periode i boligen.

Undersøgelsen har også vist, at 15,7 % var generet af en eller flere former for støj i boligen, fordelt på 7,7 % der var generet af nabostøj, 6,2 % af trafikstøj, 2,5 % af støj fra installationer og 1,5 % af støj fra nærliggende virksomheder. I alt 2,3 % var generet af rystelser i boligen, og kun 0,8 % angav, at de var generet af infralyd eller lavfrekvent støj.

Genebilledet i boliger er vist i figur 2.1. og nedenfor er vist forekomsten af gener på arbejde. Det ses at folk generelt rapporterer flere gener, når de er på arbejde sammenlignet med, når de er hjemme. Det ses, at støjgener hører til de hyppigste gener både på arbejde og hjemme, men at gener relateret til luftens kvalitet rangerer højere på arbejde end hjemme, hvor temperaturrelaterede gener relativt set er mere hyppige. Generne fra tobaksrøg er betydelige i arbejdsmiljøet.



Figur 3.1. Gener hjemme rapporteret som lidt eller meget generet i spørgeskemaundersøgelse (Keiding et al., 2003).



Figur 3.2. Gener på arbejde rapporteret som flere gange om ugen eller dagligt (Brauer og Mikkelsen, 2002).

Det er oplagt, at passiv rygning udover veldokumenterede sundhedseffekter (se nedenfor) giver anledning til massive gener blandt de arbejdsmæssigt eksponerede.

### 3.2.2 Lugtgener

I vores omgivelser optræder der mange forskellige lugte. Flere af disse er ukendte og uønskede, og de opfattes derfor ofte som en gene. Mennesker har gennem hele evolutionshistorien brugt lugtindtryk som advarsel om en mulig fare i omgivelserne. Lugtopplevelser med ukendte eller uønskede lugte, som man ikke kan gøre noget ved, har betydning for velbefindendet. Lugte kan medføre utryghed, fx om hvorvidt luften kan skade vores helbred.

Lugtesansen spiller således en vigtig rolle for, hvordan mennesker oplever kvaliteten af den luft, der omgiver dem, og den er dermed af betydning for den samlede oplevelse af indeklimaforhold. Der klages ofte over dårlig lugt i forbindelse med indeklimaproblemer.

I boliger oplever den voksne danske befolkning lugtgener fra rygning (15,5 %), fra trafik (11,4 %, dog 17,8 % i etageboliger) og fra naboers aktiviteter (10,7 %, dog 20,5 % i etageboliger) inden for en 14-dages periode (Keiding et al., 2003). Personer, der bor i etageboliger, har højere forekomst af lugtgener fra trafik og naboers aktiviteter. Brændeovne i kvarteret gav i gennemsnit anledning til lugtgener hos 6 % af svarpersonerne. Blandt beboere i fritliggende enfamiliehuse var tallet så højt som 9,1 %.

Lugtgener kan således være et irritationsmoment, og de kan resultere i nabostridigheder. Det kan fx være tilfældet på landet ved gyllelugt eller i havneområder, hvor fisk håndteres og bearbejdes. Hvad der for nogen er en naturlig følge af deres aktiviteter, kan indebære bristede forventninger for andre.

Lugtindtryk opstår ved, at lugtstoffer i luften ved inhalering bringes op i næsehulen, hvor de aktiverer lugtreceptorer øverst i næsehulen. Der er flere hundrede forskellige receptorer. Lugtesansen har en direkte linie til hjernen. Der er indikationer i litteraturen på, at lugtopplevelser kan trigge fysiologiske reaktioner som fx hovedpine og kvalme. Vi er i stand til at skelne mellem omkring 10.000 forskellige lugte (Buck og Axel, 1991). Lugte opleves ikke på samme måde af forskellige personer, da individuelle forhold som fysiologi, hukommelse og minder spiller ind.

Nogle lugte i vores omgivelser kan virke som en tidlig advarsel om, at der kan være fare på færde, da lugten allerede registreres ved koncentrationer, der er lavere end det niveau der giver anledning til en toksisk virkning. Det gælder imidlertid ikke alle stoffer, idet nogle først lugter, når der er toksisk virkning, og andre igen slet ikke lugter på trods af en toksisk virkning.

Når vi udsættes for lugtende stoffer, sker der en relativt hurtig tilvænning, så vi efter et stykke tid ikke kan opfatte lugten mere. Graden af tilvænning afhænger af de lugtende kemikaliers sammensætning, fx kan vi efter kort tid kun i ringe grad opfatte egen og andres kropslugt.

### 3.3 Irritation og almentsymptomer

Hvis man spørger befolkningen, som det er gjort med indeklimaspørgeskemaet (Brauer og Mikkelsen, 2002), om en række symptomer med følgende formulering: "Har du inden for de sidste 4 uger været generet af...", får man prævalenser, der ligger et sted mellem 1,4 % for åndenød blandt mænd til 41,2 % af kvinder der klager over tør hud, se tabel



3.1. I nogle undersøgelser ser man en øget forekomst af disse symptomer i særlige bygninger. Symptomerne kan udløses af en lang række tilstande, hvoraf nogle, men ikke alle kan have relation til indeklimaet. Da symptomerne ikke er specifikke kan de ikke benyttes til at udsige noget om de kausale sammenhænge, men en høj forekomst af symptomer i en bygning kan med god grund føre til, at man undersøger dens indeklima.

4-ugers prævalensen af symptomer i virksomhedsgruppen og befolkningsgruppen opdelt på køn, antal (n) og procent (%). Symptomerne var tilstede flere gange om ugen eller dagligt.

	Virksomhedsgruppen						Befolkningsgruppen					
	Kvinder N=2324		Mænd N=1168		I alt* N=3492		Kvinder N=1114		Mænd N=1050		I alt N=2164	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Øjenirritation	264	11,4	95	8,1	361	10,3	135	12,1	76	7,3	211	9,8
Næseirritation	290	12,5	103	8,8	396	11,3	142	12,8	97	9,3	239	11,1
Tæt/Løbende Næse	325	14,0	124	10,6	453	12,9	201	18,1	144	13,8	345	16,0
Svælgirritation	236	10,2	59	5,1	297	8,5	107	9,6	67	6,4	174	8,1
Hæshed	104	4,5	33	2,8	138	3,9	37	3,3	25	2,4	62	2,9
Hoste	208	9,0	91	7,8	299	8,5	131	11,8	102	9,8	233	10,8
Pibende Vejtrækning	47	2,0	23	2,0	70	2,0	37	3,3	27	2,6	64	3,0
Åndenød	39	1,7	17	1,5	56	1,6	23	2,1	15	1,4	38	1,8
Tør Hud	744	32,1	174	14,9	922	26,3	458	41,2	215	20,5	673	31,1
Blussende Ansigt	175	7,6	71	6,1	247	7,1	124	11,2	68	6,5	192	8,9
Træthed	321	13,9	116	9,9	438	12,5	218	19,6	109	10,4	327	15,1
Hovedpine	309	13,4	83	7,1	396	11,3	183	16,5	77	7,4	260	12,1
Koncentrationsbesvær	116	5,0	54	4,6	171	4,9	78	7,0	48	4,6	126	5,9

\*24 missing values

Tabel 3.1. Forekomsten af uspecifikke symptomer i de foregående 4 uger blandt personer på arbejde (virksomhedsgruppen) og personer i hjemmet (befolkningsgruppen). Fra "Indeklima, psykisk arbejdsmiljø og symptomer i Danmark – Et normalmateriale til glostrupskemaet" (Brauer og Mikkelsen, 2002).

Af tabellen fremgår det, at hudsymptomer er de hyppigste både for mænd og kvinder. Specielt tør hud er et meget hyppigt symptom, efterfulgt af slimhindeirritation i øjne, næse og svælg, som forekommer i 10-20 % af befolkningen, og cerebrale symptomer, nemlig træthed, hovedpine og koncentrationsbesvær, som forekommer i 10-20 % af befolkningen. Der er således tale om meget almindelige symptomer i befolkningen.

Sammenlignes "Befolkningsgruppen" med "Virksomhedsgruppen" ses en tendens til øget forekomst af symptomer hjemme. Dette er særligt tydeligt for tør hud, hoste, tæt/løbende næse og træthed. Dette står i klar modsætning til den kraftigt øgede forekomst af gener på arbejdspladsen. Symptomerne er formentlig mere knyttet til egentlig sygdom og påvirkes sikkert af, at mange med forkølelse og anden sygdom er hjemme, mens man hjemme har bedre kontrol over indeklimaets påvirkninger, hvorfor generne her ikke opleves så kraftigt.

### 3.4 Infektionssygdomme

Forkølelse er den mest udbredte af alle infektionssygdomme hos mennesker. I løbet af et år bliver børn gennemsnitlig forkølet 5-8 gange og voksne 2-4 gange. Særligt udsatte er familier med børn i daginstitution. De bliver forkølet dobbelt så mange gange som andre familier, og det gælder både børn og voksne.

Infektionssygdomme kan hidrøre fra bakterier, vira og svampesporer, som spredes gennem direkte eller indirekte kontakt mellem personer, eller mellem

en person og andre smittekilder. Der findes mange luftbårne infektionssygdomme. Blandt de almindelige og normalt ufarlige sygdomme kan nævnes forkølelse, halsbetændelse, influenza og skoldkopper. Af mere alvorlige og til tider fatale sygdomme kan fremhæves kighoste, lungebetændelse, tuberkulose, legionærsyge, mæslinger, meningitis og SARS (Severe Acute Respiratory Syndrome). I indeklimaet beror sygdommenes spredning bl.a. på hygiejnstandard, persontæthed i lokaler og ventilation. På grund af de almindeligste infektionssygdommes store udbredelse, hvor forkølelse og lignende rammer store dele af befolkningen én til flere gange årligt, er de, trods sygdommene sjældent fører til alvorlig eller længerevarende sygdom, forbundet med store samfundsøkonomiske omkostninger.

Der er en potentiel fare for smittespredning gennem ventilationsanlæg, og enkelte eksempler på at mæslinge- og influenzavirus samt tuberkulose- og legionellabakterier er blevet spredt via ventilationssystemer.

Bakterier og vira har generelt længere overlevelse i luften når fugtigheden er høj (Hersoug, 2005). Derfor kan erfaringer med smittespredning i varme fugtige egne ikke direkte overføres til danske forhold. Forøget forebyggelse kan opnås ved at undgå recirkulation og sikre tilstrækkelig ventilation, så smitten fortyndes og indeluften holdes tør. I særlige tilfælde kan desinfektion af ventilationskanaler med UV-bestråling overvejes. Ved bestråling bør der tages forholdsregler mod dannelse af ozon og bestråling af betjeningspersonale.

### 3.5 Allergi og anden overfølsomhed

Forekomsten af allergi og anden overfølsomhed, herunder astma og eksem, er steget over de seneste årtier i Danmark. Disse sygdomme påvirker livskvalitet og erhvervsevne og medfører på grund af deres høje forekomst væsentlige samfundsøkonomiske omkostninger. Der er usikkerhed om årsagen til stigningen. Årsagerne skal formodentlig findes i ændringer i miljø- og livsstilsfaktorer, som virker i et kompliceret samspil med genetiske faktorer. Dette afsnits relativt store detaljeringsgrad skyldes at mange lider af disse sygdomme, og at sygdommene bl.a. relateres til forhold i indeklimaet.

Overfølsomhedssygdomme omfatter en bred gruppe af sygdomme, hvoraf de bedst kendte er astma, snue (rinit), eksem, fødevareroverfølsomhed m.fl. Overfølsomhed kan defineres som reproducerbare reaktioner, som udløses af specifikke påvirkninger, der normalt ikke giver anledning til symptomer hos hovedparten af befolkningen. Ved allergi forstås overfølsomhedsreaktioner, som udløses af specifikke immunologiske mekanismer. Allergi kan være antistof-medieret, som det ses ved allergisk rinit og allergisk astma, eller celle-medieret, som det ses ved allergisk kontakteksem. Den hyppigste type allergi er den antistof-medierede, hvor antistoffer af IgE-typen reagerer imod stoffer (allergener), oftest proteiner, i miljøet. En gruppe af overfølsomhedssygdomme er relateret til en øget tilbøjelighed til at producere IgE-antistoffer og dermed udvikling af allergi imod proteiner i miljøet. Denne gruppe sygdomme, ofte kaldet de atopiske (eller allergiske) sygdomme, omfatter allergisk rinit, allergisk astma og atopisk eksem. Disse er kort beskrevet i figur 3.3.

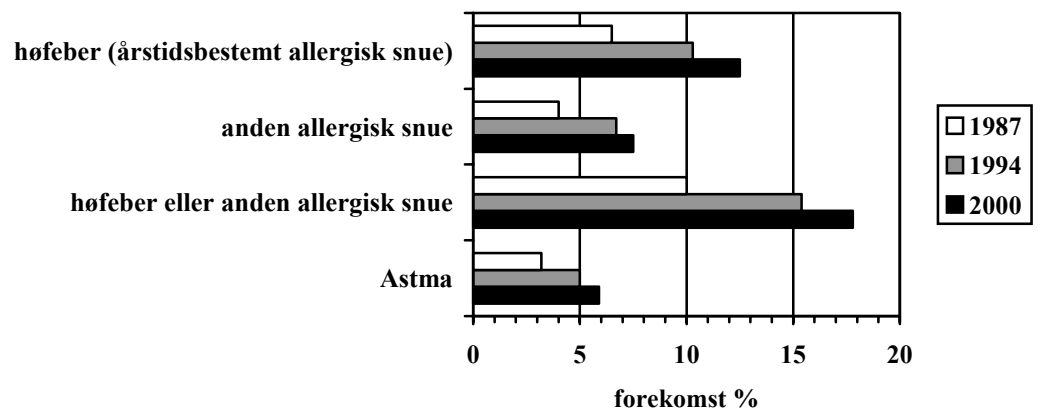
Figur 3.3. De hyppigste atopiske sygdomme.

**Astma** er en kronisk sygdom, som er karakteriseret af inflammation (kronisk betændelsestilstand) i de nedre luftveje, hvilket medfører tendens til luftvejsobstruktion og hyperreaktivitet af luftvejene. Symptomerne ved astma omfatter anfaldsvis pibende og hvæsende vejrtrækning, åndenød og hoste. Astmatikere kan være sensibiliseret over for luftbårne allergener i miljøet, og udsættelse for disse allergener vil udløse astmaanfald og inducere/vedligeholde inflammationen. Astma opdeles derved i 2 hovedtyper: Allergisk og Ikke-allergisk astma. Ved begge typer af astma kan den øgede overfølsomhed i luftvejene medføre symptomer ved udsættelse for miljøpåvirkninger gennem ikke-allergiske mekanismer.

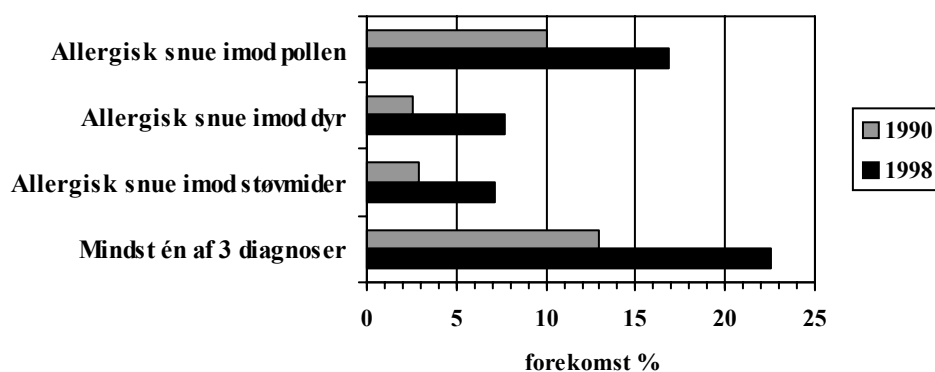
**Allergisk rinit** er en kronisk sygdom karakteriseret af inflammation i næseslimhinde og bihuler. Symptomerne omfatter kløe i næsen, nyseture, løbende næse (vandig snue) og tilstoppet næse. Som ved astma ses også en ikke-allergisk form.

**Atopisk eksem** viser sig som tilbagevendende, kløende hududslæt med en karakteristisk lokalisering. Debut ses oftest allerede i spædbarnslivet. IgE-sensibilisering imod allergener i miljøet ses, men den kliniske betydning af dette for eksemsygdommen diskuteres.

Forekomsten af allergiske sygdomme har været stigende i vestlige, industrialiserede lande over de seneste årtier. Landsdækkende interviewundersøgelser har vist markante stigninger i selvrapporeret allergisk rinit og astma (se figur 3.4) (Kjøller, 2002). Denne stigning synes ikke alene at kunne forklares af en øget erkendelse af sygdom (Linneberg, 2004). Bestemmes forekomsten af allergisk rinit på baggrund af tilstedeværelsen af både relevante symptomer og objektive allergitest findes tilsvarende høje forekomster og markante stigninger over tid i den generelle befolkning i København (se figur 3.5). Allergiske sygdomme udgør dermed et væsentligt folkesundhedsproblem. Således udgør allergisk rinit den hyppigste kroniske sygdom blandt den yngre del af den voksne befolkning med en forekomst på cirka 20 %. Disse sygdomme medfører væsentlige omkostninger for samfundet i form af udgifter til øget forbrug af sundhedsydelser og medicin, øget sygefravær og nedsat erhvervsevne.



Figur 3.4. Forekomst af selvrapporeret allergisk snue (rinit) og astma inden for det seneste år blandt danskere over 16 år. (Kjøller, 2002).



Figur 3.5. Forekomst af allergisk snue (rinit) med allergi imod forskellige grupper af allergener bedømt ved tilstedeværelsen af relevante symptomer og objektive allergitests (pricktests) i en befolkningsundersøgelse af 15-41-årige i København i henholdsvis 1990 og 1998. (Linneberg, 2000).

Personer med allergisk sygdom er særligt sårbare over for påvirkninger i indeklimaet. Indeklimafaktorer kan således inducere symptomer hos personer med allergisk sygdom. I figur 3.6 angives en række indeklimafaktorer, som øger risikoen for forekomst af luftvejssymptomer. Indeklimafaktorer kan således øge forekomsten af allergiske sygdomme ved at øge varigheden af symptomgivende sygdom. Da eksponeringen for sådanne indeklimafaktorer er meget hyppig, kan de potentielt have stor betydning for forekomsten af disse sygdomme på befolkningsniveau. Det skal understreges, at nogle af disse faktorer kan være intermediære i forhold til hinanden og dermed ikke nødvendigvis uafhængige risikofaktorer. Det er vigtigt for folk med allergiske reaktioner overfor forhold i indeklimaet, at de tidligt identificerer de udløsende årsager og søger at iværksætte forebyggende foranstaltninger for at begrænse sygdommens fremadskriden.

Figur 3.6. Indeklimafaktorer, som er sat i forbindelse med øget forekomst af luftvejssymptomer (rinit- eller astmasymptomer).

- Allergener (fx fra støvmider, pelsdyr, pollen og skimmelsvampe)
- Skimmelsvampe
- Fugt (ikke behandlet selvstændigt)
- Endotoxiner
- Mikroorganismer, som giver infektioner (ikke behandlet selvstændigt)
- Anden partikulær luftforurening
- Kemiske forbindelser
- Lugte

Dokumentationen for indeklimafaktorerens betydning som risikofaktorer for udvikling af sygdom, dvs. faktorer som øger risikoen for at raske personer udvikler sygdom, er derimod begrænset. De tilgrundliggende årsager til stigningen i de allergiske sygdomme anses i det hele taget som værende uafklarede. Identifikationen af disse risikofaktorer har høj prioritet, eftersom dette er en forudsætning for iværksættelse af effektiv forebyggelse. Identifikationen af risikofaktorerne er vanskeliggjort af, at allergisk sygdom opstår på baggrund af et kompliceret samspil imellem mange forskellige

risikofaktorer i miljø og livsstil, som interagerer med hinanden og en individuel genetisk disposition.

### 3.5.1 Allergener

De luftbårne allergener, der hyppigst giver anledning til IgE-sensibilisering i den generelle befolkning, er proteiner fra pollen, husstøvmider, pelsdyr og skimmelsvampe. Disse allergener findes ofte i indeklimaet i koncentrationer, som kan give anledning til sensibilisering og allergisk sygdom. Allergenerne er dog generelt forekommende, og det er sjældent muligt at identificere eksponeringsforhold i en enkelt bygning som årsag til sensibilisering. I tabel 3.2 angives forekomsten af sensibilisering imod forskellige grupper af allergener i befolkningen.

Personer, som IgE-sensibiliseres imod et luftbåret allergen, er i høj risiko for at udvikle en efterfølgende allergisk reaktion (inflammation) i luftvejene og dermed allergisk rinit og/eller astma ved fortsat eksponering for allergenet. Størrelsen af de partikler, som allergenet er en del af, kan være af betydning. Små partikler vil have længere svævetid i indeluften og større sandsynlighed for at nå de nedre luftveje og dermed inducere astma (fx katteallergener), mens større partikler (fx pollensporer) har relativt mindre sandsynlighed herfor. Det er karakteristisk for patienter med allergisk rinit og allergisk astma, at sygdommen forværres ved eksponering for det udløsende allergen i tilstrækkelige doser. Denne forværring kan foregå som en straksreaktion (inden for minutter) eller/og som en senreaktion (inden for timer).

Tabel 3.2. Forekomst (%) af IgE-sensibilisering (priktest reaktivitet) imod pollen (birk, græs og bynke), husstøvmider (*D. pteronyssinus* og *farinae*), pelsdyr (hest, kat og hund) og skimmel svampe (*Cladosporium* og *Alternaria*) i en generel befolkningsundersøgelse af 15-41-årige i København i 1998 (n=481). (Linneberg, 2000).

	Birk	Græs	Bynke	<i>D. pteronyssinus</i>	<i>D. farinae</i>	Hest	Kat	Hund	<i>Cladosporium</i>	<i>Alternaria</i>
Forekomst af sensibilisering	12,9	16,8	7,3	11,9	11,0	2,3	11,0	8,5	1,2	1,5

### 3.5.2 Skimmelsvampe

Allergener fra skimmelsvampe kan give anledning til IgE-medieret allergi, som kan resultere i allergisk rinit og allergisk astma. Diagnostik af skimmelsvampeallergi er ofte vanskelig. Dette kan skyldes det meget store antal forskellige arter og et endnu større antal allergener. Allergenekstrakter til brug for allergitestning har endvidere vist sig vanskelige at standardisere. *Cladosporium* og *Alternaria* indgår i standard allergitestning. Forekomsten af IgE-sensibilisering imod skimmelsvampe målt med priktestning imod disse to skimmelsvampe er omkring 3 % i den generelle befolkning (Nielsen, 1993). Den kliniske betydning af IgE-sensibilisering imod skimmelsvampe kan være vanskelig at vurdere, bl.a. fordi sensibilisering imod skimmelsvampe oftest forekommer med samtidig sensibilisering imod andre allergener.

”Rådhusundersøgelsen” (Skov et al. 1989), som inkluderede en lang række offentlige kontorbygninger på Sjælland, viste, at der ud over den kvantitative belastning med støv var en kvalitativ dimension, idet støv med et højere organisk indhold var associeret til en øget symptomforekomst. Ligeledes blev det i den Københavnske skoleundersøgelse (Meyer et al. 2004) vist, at disse symptomer er ganske hyppige og også relateret til helt andre faktorer som stress og nylig overstået sygdom. I en mere omfattende analyse var der dog også et bidrag til forekomsten af symptomer fra mængden af skimmelsvamperester i støvet, dog ikke så stærk som den effekt man ser for de øvrige variable.

Selvrapporterede tegn på skimmelsvampevækst eller fugt i boligen var associeret med en øget forekomst af rinit- og astmasymptomer i en systematisk gennemgang af litteraturen (Kolstad, 2002). Fortolkningen af dette resultat er vanskelig, eftersom man ikke fandt en signifikant association imellem disse symptomer og objektive mål for skimmelsvampeforekomst i boligen. Et senere studie fandt, at forekomst af skimmelsvampe i støv fra skoler var associeret med en øget forekomst af irriterende symptomer fra slimhinder i øjne og øvre luftveje. Denne association var primært til stede blandt sårbare personer som f.eks. personer med allergisk rinit og astma (Meyer, 2004). Nylige undersøgelser blandt spædbørn, som var arveligt disponerede for luftvejssygdom, har fundet en sammenhæng imellem objektive mål for skimmelsvampe i indeklimaet og nedre luftvejssymptomer (Stark, 2003), (Belanger, 2003), (Gent, 2002). De underliggende mekanismer for udvikling af disse symptomer er ikke kendte. En IgE-medieret allergisk mekanisme er mindre sandsynlig. Betydningen af komponenter fra skimmelsvampe eller mykotoksiner, som frigøres af skimmelsvampe, undersøges. Skimmelsvampenes cellevæg indeholder glukaner ( $\beta$ -1,3-D-glucan), som kan inducere inflammation i luftvejene. Skimmelsvampe kan frigøre flygtige organiske forbindelser, men den helbredsmæssige betydning af disse er ikke kendt.

Indeluften indeholder større eller mindre mængder af fugt, og vækst af skimmelsvampe og fugtskader forekommer i mange bygninger. Der er stadig usikkerhed om, hvor meget fugt indeluften bør indeholde og om, hvor omfattende en fugtskade skal være, før den kan give forøget risiko for sygdomme og gener (Sundhedsstyrelsen 2005) .

### 3.5.3 Endotoxiner

Endotoxiner er komponenter af gram-negative bakteriers cellevægge. Endotoxiner er ofte til stede i væsentlige koncentrationer i indeklimaet i støv og som luftbårne partikler, der kan inhaleres. Koncentration af endotoxiner er højere:

- i boliger på landet, især i landbrugsområder, sammenlignet med boliger i byområder
- i boliger med hund og kat
- i daginstitutioner og skoler sammenlignet med private hjem

Endotoxiners helbredseffekter er komplicerede (Song, 2003). Det er veldokumenteret, at en øget koncentration af endotoxiner i boligen kan øge forekomsten af astmasymptomer, formentlig gennem endotoxin-induceret inflammation i luftvejene. Endotoxiner kan således forværre astma. I modsætning hertil kan endotoxiner muligvis have en beskyttende effekt imod

IgE sensibilisering og atopiske sygdomme. Vores forståelse af mekanismerne bag endotoxiners helbredseffekter er mangelfuld.

#### 3.5.4 Partikler

Det diskuteres om partikulær luftforurening kan øge risikoen for udvikling af allergi gennem en adjuvanseffekt (andre eksponeringers styrkelse af virkningen af allergener). Denne teori har især fået støtte fra eksperimentelle undersøgelser, mens epidemiologiske undersøgelser har vist divergerende resultater. De fleste epidemiologiske undersøgelser har ikke inddraget måling af de helt små partikler, som fx fremkommer ved dieselforbrænding.

Passiv rygning giver hyperreaktivitet i luftvejene i form af øget risiko for astmasymptomer. En øget modtagelighed for infektioner kan muligvis bidrage til denne effekt (Kabesch, 2004).

#### 3.5.5 Kemiske forbindelser

Flere typer af kemiske forbindelser, som forefindes i indeklimaet, er mistænkt for at kunne have en allergipromoverende effekt (adjuvanseffekt). Dette baseres primært på dyreeksperimentelle modeller med injektion af allergen og adjuvans, fx phthalater (Larsen, 2001) og kvartære ammoniumsforbindelser (Larsen, 2004). Studier i Skandinavien har fundet at phthalater var associeret til en øget forekomst af allergiske symptomer blandt børn, som astma, høfeber og atopisk dermatit (Bornehag, 2004). Der kan være usikkerhed, om det er en mekanisme, hvor phthalaterne forstærker virkningen af andre allergener, eller om det er mere komplekse sammenhænge i relation til valget af overflader af pvc, der let kan rengøres, der er afgørende for fundene. Det anses endnu for usikkert, i hvor høj grad inhalation af phthalater fra blød pvc i indeklimaet har en betydning for udvikling af allergi og allergisk sygdom, men det ser ud til at stofferne kan øge inflammationen i luftvejene, og derved føre til en øget symptomatologi. Nye kohorte-studier af børn er nødvendige for at kaste lys over om der også er tale om en indflydelse på opståen af allergi.

Flygtige organiske forbindelser (Volatile Organic Compounds, VOCs) kan virke irriterende på slimhinder i øjne og luftveje. VOCs kan dermed potentielt inducere symptomer hos astmatikere og andre overfølsomme personer. VOCs i indeklimaet er også sat i forbindelse med øget forekomst af astma (Rumchev et al., 2004). Der er dog kun få undersøgelser, som har belyst sammenhængen imellem VOCs i indeklimaet og overfølsomhed.

#### 3.5.6 Lugte

Selvrapporterede øjen- og luftvejssymptomer, som sættes i relation til udsættelse for parfumerede produkter, er hyppige i den almindelige befolkning (Elberling, 2005a). Mekanismerne bag disse symptomer er ukendte og den nuværende viden om niveauer af eksponering i indeklimaet er begrænset. Personer med eksem og kontaktallergi synes at være særligt sårbare overfor lugte og rapporterer oftere symptomer i relation til stærke dufte (Elberling, 2005b).

#### 3.5.7 Sammenfatning

Adskillige faktorer i indeklimaet har dokumenteret sammenhæng med overfølsomhedssygdomme. Disse faktorerers effekter er bedst dokumenterede, hvad angår deres evne til at inducere symptomer hos personer, der allerede er

overfølsomme, mens der mangler dokumentation for indeklimatefaktoreres betydning som risikofaktorer for udvikling af overfølsomhed, herunder allergisk sygdom.

Risikofaktorer i indeklimaet der forværrer allergisygdomme kan potentielt have en væsentlig indflydelse på sygdomsforekomsten, idet allergisk sygdom er hyppigt forekommende.

### 3.6 Hjertekarsygdomme

Med ca. 24.000 årlige fatale tilfælde udgør gruppen af hjertekarsygdomme, som bl.a. omfatter iskæmisk hjertesygdom og karsygdom i hjernen, den største enkeltfaktor til dødsfald i Danmark. Rygningens andel er veldokumenteret, og det estimeres, at den forårsager omkring 3.000 af disse dødsfald. I takt med denne indsigt, er der også kommet mere fokus på effekten for ikke-rygerne, og de 65-70 % af befolkningen som i større eller mindre omfang er udsat for passiv rygning. Passive rygeres eksponering er meget varierende, men det er anslået, at den for hovedpartens vedkommende ligger 100-300 gange lavere end rygernes. Alligevel er eksponeringen ikke ufarlig, bl.a. fordi sidestrømstrøgen, som de overvejende modtager, består af flere giftige stoffer, idet den hidrører fra tobak brændt ved lavere temperatur end hovedstrømstrøgen. Selvom der findes andre kilder, fx partikler fra den generelle luftforurening og PAH'er fra madlavning m.m., udgør aktiv og passiv rygning de vigtigste indeklimatefaktorer.

Hvordan passiv rygning forårsager hjertekarsygdomme, er ikke fuldstændig afdækket, men på grund af røgens kemiske sammensætning er sygdommene næppe forårsaget af en direkte toksisk påvirkning. Forklaringen må nærmere søges i en kombination af kroppens inflammatoriske forsvarsmekanismer over for røgen i lungerne og de ultrafine partikler, som via lungerne kan trænge over i blodbanen.

Undersøgelser viser en sammenhæng mellem passiv rygning og hjertekarsygdom, og der synes ikke at være en nedre grænse for den skadelige effekt, som generelt er større for kvinder end for mænd. Der er således skadelige effekter selv ved lave doser. Flere metaanalyser anslår passive rygeres forøgede risiko for iskæmisk hjertesygdom til 25-35 %, hvilket resulterer i markante konsekvenser på grund af det store antal eksponerede (IARC 2002). Estimerer over antal dødsfald som følge af passiv rygning er usikre, men nyere tentative opgørelser anslår, at den som helhed årligt forårsager 100-370 dødsfald af hjertekarsygdom i Danmark, mens 24-72 dødsfald af hjertekarsygdom alene skyldes erhvervsmæssig udsættelse for passiv rygning. Personer, som i forvejen lider af hjertekarsygdom fx som følge af diabetes, udgør i den forbindelse en særlig udsat gruppe. Hjertekarsygdomme er påvirket af den akkumulerede dosis tobaksrøg, men synes overvejende relateret til den aktuelle udsættelse. Udviklingen af HKS kan i en vis udstrækning vendes og derfor indebærer ophør af eksponering relativt hurtigt reduction af en erhvervet risikoforøgelse. Estimerterne varierer, men det er anslået, at der sker en halvering af risikoen inden for 1-2 år, mens en reduktion til aldrig-ryger-niveauet varer 10-15 år.

Høje koncentrationer af partikler i udeluften giver anledning til en forøgelse af risikoen for hjertekarsygdomme. Partikelforureningen skønnes at bidrage med ca. 3.400 ekstra dødsfald om året i Danmark (Trafikministeriet, 2003 og Raaschou-Nielsen et al., 2002). Heraf skønnes de fleste at være forårsaget af



hjertekarsygdomme. I hvilken udstrækning effekterne knytter sig til eksponering for udepartikler indendørs er uklart.

Støj anses også for at kunne være medvirkende årsag til hjertekarsygdomme, men der er stadig betydelig usikkerhed om sammenhængen.

Da hjertekarsygdomme er en progredierende sygdom, kan den afstedkomme betydelig kontakt med hospitalsvæsnet evt. med adskillige indlæggelser i et sygdomsforløb. I en nyere dansk undersøgelse anslås hjertekarsygdommene som følge af passiv rygning at resultere i 488-1716 årlige hospitalsindlæggelser og 1135-3664 ambulante behandlinger.

### 3.7 Kræft

Kræft forårsaget af påvirkninger i indeklimaet relaterer sig altovervejende til luftvejene. Der er 4 vigtige eksponeringer i indemiljøet der kan føre til kræft, nemlig radon, tobaksrøg og andre forbrændingsprodukter samt formaldehyd.

#### *Radon*

I mange år har radon været en kendt kilde til kræft, og den er vurderet som sikkert kræftfremkaldende (gruppe 1) af IARC (International Agency for Research on Cancer/WHO's kræftforskningscenter). Radon er en lugtfri, smagløs og usynlig radioaktiv gas, som stammer fra uran, der findes naturligt i undergrunden i vekslende mængder. Gennem utætheder i fundamenter trænger radon ind i boliger, hvor den kan opkoncentreres og indåndes i sundhedsskadelige mængder. Radonkoncentrationen varierer betydeligt fra bolig til bolig med et gennemsnit på 53 Bq/m<sup>3</sup> (Becquerel pr. kubikmeter). Radon i boliger udgør halvdelen af den ioniserende stråling, som den danske befolkning udsættes for.

En tidligere risikovurdering foretaget af Statens Institut for Strålehygiejne (SIS) beregner ca. 300 dødsfald om året p.g.a. radon i indeklimaet i Danmark. I disse analyser er der ikke taget højde for rygning, idet estimatet er udregnet for hele befolkningen. En nylig undersøgelse (Darby et al. 2005), som inkluderer data fra hele Europa, inddrager imidlertid interaktionen mellem rygning og radon. Undersøgelsen tyder på, at risikoen blandt rygere er forøget ca. 25 gange. Studiet konkluderer endvidere, at ca. 2 % af alle dødsfald i Europa p.g.a. lunge kræft er forårsaget af radon i indeklimaet. Dette tal kan dog ikke direkte overføres til rent danske forhold blandt andet fordi undergrundens beskaffenhed i Danmark ikke er repræsentativ for resten af Europa. I analysen finder man ingen nedre grænse for effekten, så selv i boliger med under 200 Bq/m<sup>3</sup> (bygningens myndighedernes laveste anbefalede aktionsniveau), er der stadig en forøget risiko for lungekræft blandt beboerne. SIS har nu ud fra den europæiske metaanalyse beregnet, at der dør ca. 250 danskere pr. år p.g.a. radonudsættelse kombineret med rygning.

#### *Passiv rygning*

Passiv rygning er ufrivillig eksponering for tobaksrøg, som består af ekshaleret hovedrøg og sidestrømsrøg fra brændende tobak, hvad enten den kommer fra cigaret, cigar eller pibe. Som sådan er rygere også udsat for passiv rygning, men man har reserveret begrebet for ikke-rygere. Tobaksrøg indeholder over 4.000 stoffer, hvoraf mere end 50 er kendte som kræftfremkaldende - heriblandt forskellige PAH'er, nitrosaminer og aldehyder. Dyreeksperimenter viser, at sidestrømsrøgen potentielt er mere karcinogen end hovedstrømsrøgen, men den inhalerede dosis hos rygere er normalt betydelig større end hos de passive rygere.

Det har været omdiskuteret, hvorvidt passiv rygning kan føre til lungekræft. Aktiv rygning har længe været anerkendt som kræftfremkaldende blandt mennesker, men først i 2002 kom passiv rygning på IARC's liste over kræftfremkaldende stoffer (IARC 2002). Flere studier har påvist en øget risiko for lungekræft blandt aldrig-rygende personer, som livslangt har været udsat for passiv rygning via deres ægtefælle. Metaanalyser viser, at ikke-rygende kvinder har 20 % større risiko for at få lungekræft, hvis ægtefællen ryger, mens mænds tilsvarende risiko er forøget med 30 %. Andre analyser viser en forøget risiko for lungekræft på 16-19 % i forbindelse med erhvervsmæssig udsættelse for passiv rygning (Borg 2004). Disse tal dækker dog over store variationer, og risikoen for lungekræft er først og fremmest forbundet med varigheden af udsættelsen for tobaksrøg og dernæst med udsættelsens størrelse. Som konsekvens tager det lang tid før ophør med udsættelse for tobaksrøg slår igennem i statistikker som reduktion i antal tilfælde af lungekræft. En erhvervet risikoforøgelse vil ligeledes kun blive reduceret langsomt.

Mens aktiv rygning er relateret til en lang række kræftformer, er passiv rygning formodentligt kun relateret til lungekræft. Det er vanskeligt at sætte eksakte tal på helbredseffekten af passiv rygning, men forskellige forskere har inden for de seneste år givet deres tentative vurderinger. De danske estimater svinger fra 3-6 dødsfald som følge af erhvervsmæssig eksponering i det hele taget over 6-14 dødsfald inden for restaurationsbranchen alene op til 30 dødsfald som følge af rygning blandt ægtefæller i indeklimaet.

### *Formaldehyd*

Indtil 2004 var formaldehyd ifølge IARC klassificeret som sandsynligvis kræftfremkaldende for mennesker (gruppe 2A). Adskillige nye humanstudier og opdateringer af gamle foranledigede imidlertid en revurdering. Flere af studierne underbyggede nu sammenhængen mellem kræft i næsesvælget (nasopharyngeal kræft) og formaldehyd. Det største industristudie viste endda en signifikant dosisresponsammenhæng, både hvad peak og kontinuerlig udsættelse angik. Studierne, som ikke kunne bidrage til at bekræfte sammenhængen, havde ringe styrke. At mere end 90 % af den indåndede formaldehyd optages i de øvre luftveje sandsynliggør, at det netop er næsesvælgskræft, som forårsages. På denne baggrund har IARC opgraderet formaldehyd til gruppe 1.

Flere undersøgelser viste desuden forøget hyppighed af myeloid leukæmi og næsekræft (sinonasal kræft), men samlet set giver undersøgelserne ikke tilstrækkeligt belæg for en årsagssammenhæng mellem disse kræftsygdomme og udsættelse for formaldehyd. Hvad angår kræftformer i f.eks. mundhule, lunger, lever og hjerne, vurderer IRAC, at der ikke findes evidens for nogen sammenhæng mellem formaldehyd og disse sygdomme.

Grænseværdien for industrielle arbejdspladser i Danmark er sat til  $0,4 \text{ mg/m}^3$ , og til sammenligning ligger de højeste ældre erhvervsmæssige eksponeringer på op til  $6,25 \text{ mg/m}^3$ . Under normale forhold anslås formaldehydniveauet i boligbebyggelse til omkring  $0,01\text{-}0,20 \text{ mg/m}^3$  indeluft, afhængigt af hvilke kilder der findes. WHO's vejledende grænseværdi ligger på  $0,1 \text{ mg/m}^3$ . En nylig svensk undersøgelse estimerer, at der sker 1-30 dødsfald i Sverige om året som følge af udsættelse for formaldehyd i indeklimaet, afhængigt af om der findes en tærskelværdi for effekten i lavdosisområdet eller ej. Overført til Danmark indebærer det en kræftrisiko på 1-20 dødsfald/år p.g.a. formaldehyd

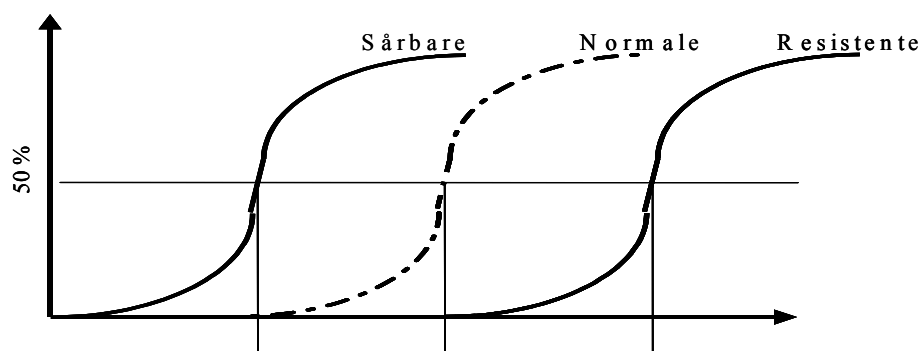
i indeklimaet, hvis der ikke findes en nedre grænse for den kræftfremkaldende effekt.

### Asbest

Det kraftigt kræftfremkaldende asbest er ikke detaljeret medtaget i nærværende arbejde, idet stofgruppens anvendelse via successiv lovgivning siden 1979 er blevet udelukket fra anvendelse ved renovering og opførelse af bygninger. Asbest findes stadig i mange ældre bygninger, hvor kontakt dog især opstår i forbindelse med renovering og nedbrydning. At asbestimporten var størst i årene 1965-79, betyder samtidig med den lange latenstid på 10-40 år mellem eksponering og sygdommens udbrud, at sygdomseffekten må forventes at stige op til omkring 2010-20.

### 3.8 Sårbarhed

Forureninger i indeluften kan bestå af irriteranter, allergener, patogene mikroorganismer og karcinogener, som kan optræde i vekslende sammensætninger, mængder og koncentrationer. Efter eksponering for de forskellige forureningsformer kan personer reagere som enten resistente, normale eller sårbare. Sårbarhed er her defineret som en øget reaktion på eksponering, hvilket indebærer en reaktion ved lavere doser, end tilfældet er hos den øvrige befolkning. Dette er illustreret i figur 3.7.



Figur 3.7. Dosis-respons relation for sårbare, normale og resistente grupper. I befolkningen er der ikke en klar skelnen mellem sårbare, normale og resistente, men en glidende overgang.

Figuren illustrerer, at en person fra den sårbare gruppe i teorien vil udvikle symptomer før, enhver anden person fra resten af populationen vil opleve noget som helst ubehag. Den resistente gruppe vil ikke engang opleve ubehag selv ved relativt høje eksponeringsniveauer. I arbejdsmiljøundersøgelser støder man ofte på den resistente subgruppe, hvor den udgør "overlever populationen" i de specielt belastede industrier.

Principielt bør alle samfundets individer være i stand til at ånde og føle sig veltilpasse i det omgivende miljø. Målet for primær forebyggelse er derfor at beskytte den sårbare gruppe mod sygdomsfremkaldende eksponering, idet resten af befolkningen også vil være dækket ind via en sådan standard. Identificering og forståelse af mekanismerne bag overfølsomhed må have høj prioritet. Klarlægning af relationer mellem eksponering og sygdom samt efterfølgende fastlæggelse af tærskelværdier er af største væsentlighed.

Med stigende følsomhed øges behovet for beskyttelse, hvilket indebærer generelle foranstaltninger og praktiske tiltag, som er forbundet med restriktioner og økonomiske omkostninger. Set fra en økonomisk synsvinkel kan det således være dyrt at implementere mål, som tilgodeser de allermest

sårbare. Sygdomme som astma og allergi kan hos de ramte give anledning til så stor følsomhed, at det ikke er teknisk og økonomisk muligt at reducere deres eksponering for de stoffer, de er overfølsomme overfor, til under det niveau, der giver symptomer uden medicinering. Selv inden for miljømedicinen har man været nødt til at behandle en lille gruppe af befolkningen, bl.a. mennesker der lider af alvorlig astma, som en speciel gruppe.

Sårbarhed over for et stof i miljøet er enten genetisk betinget eller udviklet over tid (f.eks. sensibilisering over for et allergen i miljøet). Tabel 3.3 viser generelle faktorer, der påvirker menneskers sårbarhed over for ikke-infektøse effekter af indeklimaet. I livsforløbet gennemlever mennesket desuden forskellige grader af psykisk balance, hvilket kan føre til vekslende sårbarhed over for eksponering i løbet af livet.

Tabel 3.3. Faktorer der påvirker sårbarheden for indeklimatefaktorer.

Alder	Atopi og allergi
Køn	Astma og andre luftvejssygdomme
Genetiske faktorer	Rygning
Psykiske faktorer	

Personer, der føler sig generet af kemiske stoffer eller elektriske felter, udgør en gruppe af specielt sårbare personer. De er ofte ret medtagne af deres problem og fungerer dårligt socialt. Der findes forskellige betegnelser for disse grupper som duft- og kemikalieoverfølsomme, eloverfølsomme etc. Fælles for alle disse grupper er, at det hidtil ikke er vist at de adskiller sig fysiologisk eller patofysiologisk fra resten af befolkningen, på trods af en relativt invaliderende tilstand af social isolation.

Duft- og kemikalieoverfølsomhed har været genstand for intensiv forskning og debat i USA og Sverige i de sidste 10-15 år, uden at man er kommet frem til en klar afgrænsning af problemstillingen. En nylig undersøgelse påviste, at omkring 40 % af befolkningen af og til oplever ubehag fx ved udsættelse for parfume eller tryksværte i friske aviser. Dette betyder dog ikke til, at de føler sig som duft- og kemikalieoverfølsomme, men det opfattes nærmere som en normal reaktion på udsættelse for et kemisk stof.

Formen for dosis-respons kurvernes udseende kan variere. Ved kræftfremkaldende eksponeringer anvender man traditionelt en lineær sammenhæng uden nogen nedre eksponeringsgrænse for effekterne. Liniernerne går her gennem nul respons for nul eksponering. Ved andre eksponeringer kan der være tydelige nedre grænser for, hvilke eksponeringer der giver effekter som vist i figur 3.7.

Hormesis, som er positive effekter af meget lave eksponeringer for forhold, der er sundhedsskadelige ved højere eksponering, er særligt omdiskuteret indenfor strålehygiejne. Hormesis menes at være påvist for ioniserende stråling, hvor man traditionelt ville forvente en lineær dosis respons sammenhæng, der går gennem 0,0. Lave doser menes dog i praksis at give færre sundhedsskader end forventet eller måske virke forebyggende. På indeklimaområdet med de meget komplekse eksponeringsforhold og det foreliggende vidgrundlag har denne diskussion ingen betydning for

risikohåndteringen. Det kan dog være med til at komplicere den videre afklaring af sammenhænge mellem årsag og virkning.

### *Børn*

Småbørn opholder sig mere i nærheden af gulvet end voksne. Børnene ligger eller kravler ofte på gulvet, hvor de er mere udsat for ophvirvlet støv. Børns åndedrætsmønster er desuden anderledes, og deres lunger er under udvikling, hvilket bidrager til en øget sårbarhed over for luftforurening. Effekterne af eksponering er derfor kraftigere og mere vidtrækkende hos børn end hos voksne.

Børns immunforsvar er under udvikling, og derfor har toksiner større effekt på børn end på voksne. Småbørn er sårbare over for passiv rygning, idet røgparkler deponeres i luftvejene. Her forårsager de inflammation, som reducerer immunforsvaret og efterlader barnet svækket, såfremt det udsættes for andre forureninger. Det skønnes, at passiv rygning er den største enkeltårsag til indlæggelse for luftvejslidelser på børneafdelinger i Danmark.

### *Ældre mennesker*

Gruppen af ældre øges hurtigt verden over, og med alderen nedsættes vævets regenerationshastighed samtidig med, at der sker et fald i metabolismen. Ældre er derfor mere sårbare over for cellulære skader forårsaget af f.eks. tobaksrøg. Effektiviteten af luftvejenes forsvarsmekanismer (fx makrofager og ciliefunktion) falder også med alderen, hvilket fører til nedsat rensning af luftvejene. Herved forlænges skadelige stoffers opholdstid på lungernes overflade. Ældre lider også ofte af forskellige kroniske sygdomme, som kan gøre dem mere sårbare.

### *Køn*

Det er påvist, at kvinder er mere følsomme end mænd over for miljømæssige irriteranter, inklusiv flygtige kemikalier og mikrobielle produkter. Dette kan indikere, at kvinder bedømmer kvaliteten af et bestemt miljø lavere end mænd. Det debatteres fortsat, om der er en kønsbestemt forskel på følsomheden over for allergener.

### *Genetiske faktorer*

Litteraturen er sparsom på dette felt, men utvivlsomt er øget følsomhed over for luftforureningskomponenter i et vist omfang medfødt. Nogle personers luftveje har fx en afvigende anatomisk udformning, idet de er mere lige og anderledes forgrenet end normalt. Følgelig øges deponering af partikler længere nede i luftvejene. Da rensning af luftvejene foregår langsommere i de perifere afsnit, vil denne anatomiske variation føre til, at forureningskomponenter får længere opholdstid i luftvejene hos disse personer.

Flere undersøgelser har også påvist, at folk med  $\alpha$ -1-antitrypsin-defekter er mere sårbare over for luftforurening end resten af befolkningen. Udsættes personer med blot en mild reduktion i dette enzym for et meget støvende arbejdsmiljø, har de en øget følsomhed over for forureningskomponenterne med risiko for med tiden at udvikle lungesygdom.

### *Atopi og allergi*

Folk med allergi er særligt følsomme overfor de allergener de er sensibiliserede overfor. Derudover viste den danske Rådhusundersøgelse, at atopi (Skov et al., 1989) forøger individets sårbarhed over for anden forurening i

indemiljøet. Når de møder andre allergener i miljøet som fx svampesporer, er der desuden forøget risiko for, at de vil reagere ved også at danne antistoffer mod disse.

#### *Astma og andre luftvejssygdomme*

Astma er et voksende problem. Astma er den hyppigste kroniske sygdom hos børn og en af de væsentligste årsager til, at børn indlægges på hospitaler. Også blandt voksne har der været en øget forekomst af astma. Mennesker med moderat til alvorlig astma vil reagere negativt på forurening i indemiljøet p.g.a. en ikke-specifik bronkial hyperreaktivitet. Det er påvist, at graden af astma og behovet for medicin hos mennesker med allergi over for husstøvmider er forbundet med forekomsten af endotoksiner i husstøvet på en dosisafhængig måde. Det nærmere samspil og eventuelt adjuverende potentiale af forskellige forurenende komponenter er dog ikke udredt.

#### *Rygning*

Effekter af passiv rygning er omtalt under børn og ældre, men ved siden af en kræftfremkaldende effekt øger udsættelse for passiv rygning generelt effekten af allergener på allergisk sensibiliserede. Tobaksrøg forårsager kronisk inflammation i luftvejene, og chiliernes bevægelsesfrekvens mindskes p.g.a. effekten af nikotin på epitelcellerne, hvilket resulterer i svækket forsvar mod skadelige stoffer og længere opholdstid i lungevævet. Radoneksponering er langt mere farlig for rygere. Det formodes at den relative risiko for lungekræft forårsaget af radon er 25 gange forøget blandt rygere.

### 3.9 Sammenfatning

Gener og symptomer er generelt meget udbredt i befolkningen med forekomst mellem 0 og ca. 30 % afhængigt af hvilket forhold og hvordan der spørges. I visse bygninger ses en overhyppighed af bestemte gener og symptomer. Dette kan have mange årsager hvoraf indeklimaets påvirkninger er en.

Smitte med infektionssygdomme kan i nogen grad forebygges ved effektiv ventilation og gode pladsforhold.

Det er åbenlyst, at miljøfaktorer, herunder faktorer i indeklimaet, påvirker forløbet af astma og allergi, men dokumentationen for disse faktorerens betydning for nyopståen af sygdom er fortsat mangelfuld.

Kræft forårsaget af påvirkninger i indeklimaet begrænser sig altovervejende til luftvejene. Der er 4 vigtige eksponeringer i indemiljøet der kan føre til kræft, nemlig radon, tobaksrøg og andre forbrændingsprodukter samt formaldehyd.

Passiv rygning og høje partikelniveauer kan være medvirkende til udvikling af hjertekarsygdomme. Støj og måske utilstrækkelige lysforhold menes desuden at kunne give anledning til langvarig stress, der også vil kunne føre til hjertekarsygdomme.

Der er behov for mere viden om helbredseffekter af lave støjniveauer under grænsen for høreskader.

### 3.10 Litteratur

Belanger K., Beckett W., Triche E., Bracken M.B., Holford T., Ren P. (2003). Symptoms of wheeze and persistent cough in the first year of life:

associations with indoor allergens, air contaminants, and maternal history of asthma. *Am J Epidemiol*; 158(3):195-202.

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

Brauer S. og Mikkelsen S. (2002). Indeklima, psykisk arbejdsmiljø og symptomer i Danmark – Et normalmateriale til glostrupskemaet. Arbejdsmedicinsk Klinik Amtssygehuset i Glostrup.

Buck L og Axel R. (1991). A novel multigene family may encode odorant receptors. *Journal of General Physiology*. 98(6):a3-a3.

Darby S., D. Hill, A. Auvinen, J. M. Barros-Dios, H. Baysson, F. Bochicchio, H. Deo, R. Falk, F. Forastiere, M. Hakama, I. Heid, L. Kreienbrock, M. Kreuzer, F. Lagarde, I. Mäkeläinen, C. Muirhead, W. Oberaigner, G. Pershagen, A. Ruano-Ravina, E. Ruosteenoja, A. Schaffrath Rosario, M. Tirmarche, L. Tomásek, E. Whitley, H-E. Wichmann, and R. Doll. (2005). Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ*; 330: 223

Elberling J., Linneberg A., Dirksen A., Johansen J.D., Frolund L., Madsen F. (2005a). Mucosal symptoms elicited by fragrance products in a population-based sample in relation to atopy and bronchial hyper-reactivity. *Clin Exp Allergy*; 35(1):75-81.

Elberling J., Linneberg A., Mosbech H., Dirksen A., Menne T., Nielsen N.H. (2005b). Airborne chemicals cause respiratory symptoms in individuals with contact allergy. *Contact dermatitis*; 52(2):65-72.

Gent J.F., Ren P., Belanger K., Triche E., Bracken M.B., Holford T.R. (2002). Levels of household mold associated with respiratory symptoms in the first year of life in a cohort at risk for asthma. *Environ Health Perspect*; 110(12):A781-A786.

Hersoug L-G. (2005). Viruses as the causative agent related to 'dampness' and the missing link between allergen exposure and onset of allergic disease. *Indoor Air*. 15: 363-366.

IARC. (2002). Involuntary smoking, Summary of Data Reported and Evaluation. Vol. 83. International Agency for Research on Cancer

Kabesch M., Hoefler C., Carr D., Leupold W., Weiland S.K., von Mutius E. (2004). Glutathione S transferase deficiency and passive smoking increase childhood asthma. *Thorax*; 59(7):569-573.

Keiding L., Gunnarsen L., Rosdahl N., Machon M., Møller R., Valbjørn O. (2003). Miljøfaktorer i danskernes hverdag – med særligt fokus på boligmiljø. Statens Institut for Folkesundhed i samarbejde med Statens Byggeforskningsinstitut. København.

Kjøller M. and Rasmussen N.K.. (2002). Sundhed & Sygelighed i Danmark 2000 & udviklingen siden 1987. København: Statens Institut for Folkesundhed.

- Kolstad H.A., Brauer C., Iversen M., Sigsgaard T., Mikkelsen S. (2002). Do indoor molds in nonindustrial environments threaten workers' health? A review of the epidemiologic evidence. *Epidemiol Rev.*; 24(2):203-17.
- Larsen S.T., Hansen J.S., Thygesen P., Begtrup M., Poulsen O.M., Nielsen G.D. (2001). Adjuvant and immuno-suppressive effect of six monophthalates in a subcutaneous injection model with BALB/c mice. *Toxicology*; 169(1):37-51.
- Larsen S.T., Hansen R., Hammer M., Tegner U., Poulsen O.M., Nielsen G.D. (2004). Adjuvant effect of quaternary ammonium compounds in a murine model. *Toxicol Lett*; 151 (2):389-398.
- Linneberg A. (2004). Forekomst af allergisk luftvejssygdom i Danmark. *Ugeskr Laeger*;166:1305-7.
- Linneberg A., Nielsen N.H., Madsen F., Frølund L., Dirksen A., and Jørgensen T. (2000). The prevalence of skin test positive allergic rhinitis in Danish adults: Two cross sectional surveys 8 years apart. The Copenhagen Allergy Study. *Allergy*; 55:767-772.
- Meyer H.W., Wurtz H., Suadicani P., Valbjørn O., Sigsgaard T., Gyntelberg F. (2004). Molds in floor dust and building-related symptoms in adolescent school children. *Indoor Air*; 14(1):65-72.
- Nielsen N.H., Dirksen A., Madsen F. (1993). Can subjects with a positive allergen skin test be selected by a short questionnaire? The Glostrup Allergy Study, Denmark. *Allergy*;48:319-26.
- Raaschou-Nielsen O., Palmgren F., Solvang Jensen S., Wählin P., Berkowicz R., Hertel O., Vrang M-L., Loft S. (2002). Helbredseffekter af partikulær luftforurening i Danmark – et forsøg på kvantificering. *Ugeskr Laeger*;34:3959-63.
- Rumchev K., Spickett J., Bulsara M., Phillips M., Stick S. (2004). Association of domestic exposure to volatile organic compounds with asthma in young children. *Thorax*; 59(9):746-751.
- Song B.J., Liu A.H. (2003). Metropolitan endotoxin exposure, allergy and asthma. *Curr Opin Allergy Clin Immunol*; 3:331-335.
- Skov P., Valbjørn O., Gyntelberg F. og DISG. (1989). Rådhusundersøgelsen - Indeklima i kontorer. Arbejdsmiljøfondet.
- Stark P.C., Burge H.A., Ryan L.M., Milton D.K., Gold D.R. (2003). Fungal levels in the home and lower respiratory tract illnesses in the first year of life. *Am J Respir Crit Care Med*; 168(2):232-237.
- Sundhedsstyrelsen. (2005). Helbredsproblemer ved fugt og skimmelsvampe i bygninger – om udredning og diagnostik hos alment praktiserende læger. Sundhedsstyrelsen. [www.sst.dk/skimmel](http://www.sst.dk/skimmel)
- Vilhelm Borg. (2004). Passiv rygning. Arbejdsmiljøinstituttet
- Rasmussen S. R. (2004). Livstidssundhedsomkostninger – Rygere og aldrig rygere. DSI.



Poescott E. (2004). Tobak. Ugeskrift for læger. pp 1570-1573.

Trafikministeriet. (2003). Partikelredegørelse. Trafikministeriet

# 4 Adfærd

## 4.1 Baggrund

Indeklimaets brugere – beboere, kontoransatte, lærere, pædagoger og skolebørn med videre – har via deres adfærd stor indflydelse på indeklimaets kvalitet. I mange boliger er det afgørende for opretholdelsen af et sundt indeklima, at beboerne reagerer på indeklimaets påvirkninger og indikatorer på uheldige forhold, der kan forekomme. På trods af de mange gode intentioner, som de bygningsprofessionelle projekterende, udførende og driftsansvarlige lægger i de forskellige klimaregulerende foranstaltninger, kan ingen bygninger holde til alle forskellige former for ekstrem adfærd. Gode gamle dyder som fx udluftning med gennemtræk, hovedrengøring og tøjtorring udendørs er stadig nødvendige forudsætninger for et godt indeklima i de fleste bygninger.

En nødvendig forudsætning for et godt indeklima er også, at samarbejdet mellem driftsansvarlige og bygningsbrugere i skoler, kontorer og udlejningsbyggeri fungerer godt. Samarbejdet om deres fælles ansvarsområde, indeklimakvaliteten, besværliggøres af, at driftspersonalet har ansvar for udgifterne til energi, og at brugerne kan opleve gener ved energibesparende drift med lave temperaturer og utilstrækkelig luftfornyelse. Når brugerne betaler prisen i form af gener for driftspersonalets energibesparelser, kan det være ødelæggende for samarbejdet.

I 1970-85 blev der i mange skoler og institutioner lagt tæpper og gulvbelægninger med smudsskjulende farver og mønstre, bl.a. for at mindske udgifterne til rengøring. Dette gav anledning til, at mange fik gener og symptomer i disse bygninger og efterfølgende til udskiftning af disse gulvbelægninger.

For mange familier er udgifterne til bolig dominerende for privatøkonomien. Det er dog usikkert, om overvejelser om sundhedsmæssige konsekvenser af boligforholdene har spillet en væsentlig rolle ved valg af bolig. Der er betydelig usikkerhed om befolkningens bevidsthed om betydningen af bolighygiejne.

Der kan være meget store forskelle i den bolighygiejniske adfærd. Bygningsbrugernes tidsforbrug, aktivitetsmønstre og vaner i relation til bolighygiejne er afgørende for eksponeringen i boligen. Desuden kan ejerforhold, demografiske og socioøkonomiske forhold også have stor betydning for adfærd og eksponeringer i boligen og samtidig for oplevelsen af indeklimaets kvalitet.

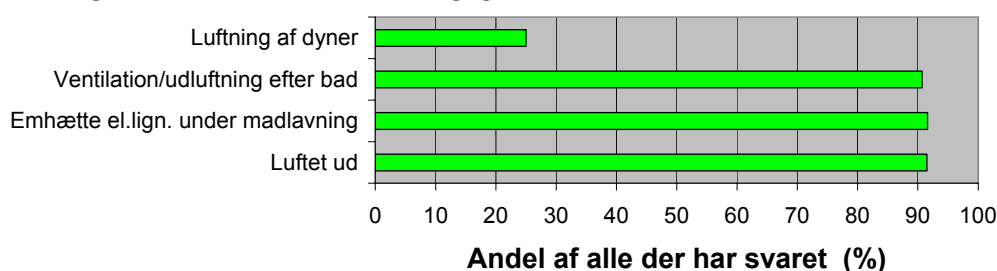
## 4.2 Adfærd i praksis

Viden om bygningsbrugeres adfærd er begrænset. Der er lavet meget få undersøgelser af befolkningens brug af forskellige bolighygiejniske tiltag og betydningen heraf for eksponering og sundhedseffekter. Målinger af adfærd kompliceres af, at der kan være betydeligt rapporteringsbias (systematiske afvigelser fra de faktiske forhold) for handlinger, der tydeligt er forbundet

med noget positivt som en god bolighygiejnisk adfærd. Viden om adfærd og om sammenhængen mellem adfærd og indeklime er imidlertid en nødvendig forudsætning for målretning og gennemførelse af eventuelle adfældsregulerende kampagner.

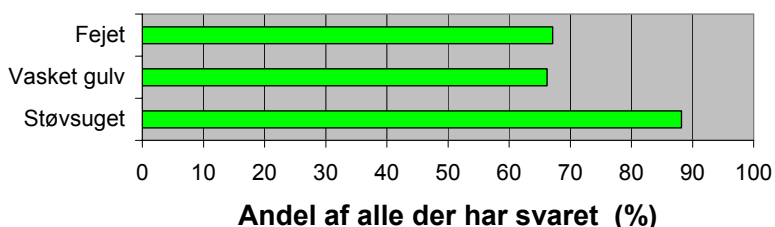
En spørgeskemabaseret undersøgelse (Keiding et al., 2003) blandt danskere over 15 år har vist, at danskere i gennemsnit på et hverdagsdøgn opholder sig hjemme 16,3 timer. I alt 97,6 % angiver, at de er hjemme mindst 12 timer på et hverdagsdøgn. Den gennemsnitlige opholdstid stiger med alderen, og kvinder opholder sig i gennemsnit lidt mere hjemme end mænd.

Samme undersøgelse har vist, at de fleste (91,5 %) udlufter boligen dagligt. I Københavns og Frederiksberg kommuner angiver dog så mange som 17,0 %, at de er forhindret i at lufte tilstrækkeligt ud i boligen på grund af støj eller luftforurening. Figur 4.1 viser andelen af svarpersoner, der angiver, at de nævnte gøremål er en del af deres daglige adfærd.



Figur 4.1. Udbredelsen af nogle bolighygiejniske daglige gøremål.

Undersøgelsen viser også, at næsten alle får gjort rent jævnligt, idet 89,3 % angiver, at der bliver støvsuget eller vasket gulv mindst en gang ugentligt. Figur 4.2 viser andelen af svarpersoner, der angiver, at de nævnte gøremål er en del af deres ugentlige adfærd.



Figur 4.2. Udbredelsen af nogle bolighygiejniske ugentlige gøremål.

Undersøgelsen viser følgende svarfordeling i procent for, om man har kæledyr i sin bolig:

Hund	22,6
Kat	15,6
Andet pelsdyr	2,8
Fugl	4,8
Andre kæledyr	1,7

Endelig viser undersøgelsen, at 11,1 % af svarpersonerne angiver, at de har anvendt kemiske bekæmpelsesmidler i boligen inden for det seneste år.

Brugen af flytbare gas- eller petroleumsovne uden aftræk kan give anledning til fugtproblemer og meget høje forureningsniveauer. Af ovennævnte undersøgelse fremgår det, at så mange som 1,9 % af befolkningen bruger sådanne varmekilder. Til sammenligning kan nævnes, at 26,4 % angiver at de bruger pejs, brændeovn eller kakkelovn med aftræk.

I det omfang adfærden kan måles ved sådan en undersøgelse, viser den, at langt de fleste foretager sig noget både dagligt og ugentligt for at sikre et sundt indeklima. Men undersøgelsen dokumenterer også, at mange oplever barrierer for god adfærd, og at en lille gruppe har en adfærd, der ikke understøtter et godt indeklima.

I forbindelse med fugtskader og fugtrelaterede sundhedsskadelige eksponeringer som skimmelsvampevækst og husstøvmider kan der ofte opstå tvivl om ansvaret og årsagerne til problemerne. Utilstrækkelig udluftning eller for stor afgivelse af fugt til indeluften er bygningsbrugerens ansvar. Utætte tage, vandrør eller andre fejl og skader, opstigende grundfugt eller utilstrækkelig fugt- eller varmeisolering er typisk bygningsejerens ansvar. Problemerne er ofte mere komplicerede og sjældent så sort-hvide som her fremstillet.

Der er mange eksempler på langvarige og opslidende diskussioner om ansvarspåleggelsen i forbindelse med sådanne problemer. En yderligere komplikation er, at husforsikringer sjældent dækker udbedring af skimmelsvampevækst, der ikke er en følgeskade af andre forsikringsdækkede forhold.

Alle undersøgelser, hvor mulighederne for indflydelse på eget indeklima er analyseret, viser, at disse muligheder altid opfattes positivt. Utilfredsheden med indeklimaets kvalitet vil på den anden side ofte være stor i bygninger, hvor brugerne ingen mulighed har for at påvirke forholdene. Det er således vigtigt, at styringen af indeklimaet i en bygning blandt andet kan afspejle brugernes aktuelle behov.

Der er behov for vejledninger og præciseringer både over for bygningsejere og -brugere vedrørende sundhedsskadelige forhold, der både kan skyldes bygningsrelaterede og adfærdsrelaterede forhold.

Det er særligt Erhvervs- og Byggestyrelsen, der varetager behovet for målrettet vejledning om god bolighygiejnisk adfærd i indeklimaet, men det kunne også varetages på kommunalt niveau, fx ved ansættelse af boligmiljøkonsulenter.

Den bolighygiejniske adfærd er i nogen grad en del af kulturen. Der er derfor et særligt behov for at informere og rådgive personer fra andre kulturer om, hvilke særlige krav til adfærd der udspringer af dansk udeklima og byggetradition.

### 4.3 Sammenfatning

I forbindelse med befolkningens store ansvar for eget boligmiljø vil det være væsentligt løbende at undersøge, hvilke handlemuligheder der udnyttes for at kontrollere indeklimaforholdene, og om der fx findes sammenhænge mellem adfærd og gener eller lidelser som allergi eller forøget følsomhed for indeklimaets påvirkninger.

Individuel kontrol over indeklimaet opleves altid positivt af bygningsbrugere.

Der er behov for løbende informationskampagner om god bolighygiejnisk adfærd. I tabel 4.1 er givet eksempler på gode adfærdsregulerende budskaber.

Tabel 4.1 Eksempler på gode adfærdsregulerende budskaber.

Luft effektivt ud morgen og aften – og når der er særlige behov  
Gør rigtigt rent  
Gør hovedrent jævnligt. Det forbedrer indeklimaet  
Anskaf en emhætte med afkast til det fri, brug den og vedligehold den  
Tag bad bag lukket dør, tør op efter dig og luft grundigt ud efter badet  
Tør ikke tøj i opholdsrum  
Få udbedret vandskader omgående  
Hold udeluftventiler åbne  
Husk at nye vinduer bør forsynes med udeluftventiler  
Brug ikke malerverer til udendørs brug på indvendige overflader  
Vælg indeklimamærkede byggevarer, hvor det er muligt  
Brug ikke flytbare ovne og kaminer uden aftræk  
Hold dit soverum varmt, når du ikke er der  
Sæt ikke møbler direkte op ad kolde ydervægge

#### 4.4 Litteratur

Keiding L., Gunnarsen L., Rosdahl N., Machon M., Møller R., Valbjørn O. (2003). Miljøfaktorer i danskernes hverdag – med særligt fokus på boligmiljø. Statens Institut for Folkesundhed i samarbejde med Statens Byggeforskningsinstitut. København.

# 5 Byggetekniske forhold

## 5.1 Baggrund

Vi tilbringer hen ved 90 % af vores tid indendørs i hjemmet eller på arbejdspladsen. Både for det enkelte menneske og samfundet er der stor interesse for, at indeklimaets kvalitet skal være god i vore boliger og øvrige bygninger, og vi bruger tid og penge på at gøre dem sunde og behagelige. For mange er boligen den største investering, de foretager, og den er central for liv og velvære. Efter byggesagsbehandlingen er der dog et meget begrænset tilsyn fra myndighedernes side med, at de byggetekniske forhold understøtter et godt indeklima.

Prisen på byggeri er under pres, og der udvikles i stigende grad fabriksfremstillede komponenter til montering frem for fremstilling på byggepladserne, og nye teknologiske muligheder afprøves. Der introduceres nye eller modificerede byggevarer hele tiden. Byggeteknikken er i særlig hastig udvikling, når det gælder facade- og tagløsninger. Mange løsninger introduceres formodentlig på et begrænset og til tider utilstrækkeligt videngrundlag.

Holdbarheden er sjældent kendt på forhånd. Levetider og vedligeholdelseskrav bygger dermed på et spinkelt erfaringsgrundlag. Vedligeholdelsesplaner må tilpasses det enkelte byggeri, og der har været eksempler på overraskelser som kortere levetid på undertaget end tagbeklædningen og bygningsintegrerede og skjulte installationer med kort levetid.

I de senere år er man blevet opmærksom på, at fugtskader i bygninger kan have særligt alvorlige sundhedsskadelige virkninger. Dårligt isolerede boliger i den ældre boligmasse kan sammen med ringe vedligeholdelse eller uheldig adfærd medføre vækst af skimmelsvampe.

Installationer til opvarmning, brugsvandsforsyning, afløb og udelufttilførsel giver ofte anledning til problemer. Holdbarheden af disse installationer er ofte betydeligt kortere end for andre bygningsdele. Utætheder i vand- og varmeanlæg kan give anledning til fugtskader og vækst af de mest problematiske skimmelsvampe. Ventilationsanlæg, hvis primære formål er at holde temperaturen passende lav og at fortynde luftforureningen fra forureningskilder i bygningerne, kræver særlig opmærksomhed under projektering og drift, hvis de skal virke efter hensigten. Støv og anden forurening kan ophobes i kanaler, filtre skal udskiftes, og eventuelle reguleringssystemer skal efterses og vedligeholdes, ellers risikerer man, at de giver anledning til gener blandt bygningernes brugere.

## 5.2 Generelt

### 5.2.1 Drift og vedligehold

Bygningers levetid anses ofte for at være omkring 100 år eller mere. Forudsigelse af levetider for enkelte bygningsdele er et komplekst problem,

fordi der indgår mange faktorer af betydning for forudsigelsen. Blandt de væsentligste faktorer af betydning for levetiden kan nævnes følgende fire faktorer:

- materialeegenskaberne
- design og udførelse
- påvirkningerne under brug
- vedligehold og rengøring

Til forudsigelse af bygningsdeles levetid er brugen af levetidstabeller den hyppigst anvendte og mest enkle metode. En ofte citeret dansk levetidstabel findes i BUR-rapporten om planlægning af driftsvenligt byggeri (Byggeriets Udviklingsråd, 1985). I bemærkningerne til levetidstabellen understreges det, at tallene er meget usikre i forbindelse med vurdering af konkrete bygninger. Eksempler på levetidstabeller fra BUR-rapporten er vist i tabel 5.1 og tabel 5.2.

Tabel 5.1. Levetid for beklædninger af indvendige overflader m.m. (Efter Byggeriets Udviklingsråd, 1985).

Beklædninger af indvendige overflader	SfB (42)
Kalkpuds	30 år
Vedligehold af overfladebehandling i henhold til MBK	
 PLAST	 15 år
Rengøring (afvaskning) efter behov	
 Plastlaminat	 30 år
Rengøring (afvaskning) efter behov	
 Keramiske fliser	 60 år
Eftersyn med ca. 5 års interval og (om nødvendigt) efterfølgende opretning (særligt vedr. fugerne)	

Tabel 5.2. Levetid for tagdækninger (Efter Byggeriets Udviklingsråd, 1985).

Tagdækninger	SfB (47)
Tegltag uden undertag	60 år
Årligt eftersyn og (om nødvendigt) umiddelbart efterfølgende småreparationer, f.eks. af fastgørelse og understrykning	
 Tegltag med undertag af tagpap på bræddebeklædning	 45 år
Eftersyn med 5 års interval, udskiftning af skadede tagsten	
 Cementtagsten (uden undertag)	 45 år
Årligt eftersyn og (om nødvendigt) umiddelbart efterfølgende vedligehold af fuger m.v.	
 Eternit bølgeplader	 45 år
Årligt eftersyn, vedligehold af fuger efter behov	
 Eternit skifer	 45 år
Årligt eftersyn, vedligehold efter behov	
 Tagpap	 20 år
Årligt eftersyn og (om nødvendigt) umiddelbart efterfølgende småreparationer	

Som det fremgår, er de forventede levetider af bygningsdele og materialer meget forskellige. Dette er vigtigt at bemærke, idet svigt af blot én bygningsdel ofte reducerer hele bygningens sikkerhed og sundhed. En drifts- og vedligeholdelsesplan med et balanceret indhold af vedligehold og rengøring med hensyn til art, omfang og frekvens, er derfor en forudsætning for at sikre bygningers sundhed og sikkerhed. På den baggrund kunne der stilles krav om, at der med alle nybyggede huse skal følge "en bog i kosteskabet" med råd om vedligeholdelse, rengøring og god adfærd.

### 5.2.2 Fugt

Fugtskader i bygninger kan have byggetekniske og sundhedsskadelige konsekvenser, da fugt indendørs kan forårsage øget vækst af husstøvmider og skimmelsvamp. De danske bygningsreglementer (Erhvervs- og Boligstyrelsen, 2005a; Erhvervs- og Boligstyrelsen, 2005b) foreskriver, at bygninger skal konstrueres og udføres på en sådan måde, at fugtskader undgås. I SBI-anvisning 178 (Andersen, Christensen & Nielsen, 1993) om bygningers fugtisolering er nærmere beskrevet, hvorledes en række bygningsdele udføres fugtteknisk korrekt. Der er endvidere givet en udførlig omtale af den grundlæggende viden om fugt og fugtbevægelser.

Fugt kan tilføres en bygning fra forskellige kilder:

- byggefugt, der tilføres under byggeprocessen
- nedbør, der trænger ind i ydervægge og tag
- grundfugt, der trænger ind i fundamenter, kældergulve og kældervægge
- installationer, grundet utætheder i vandforsyningsanlæg, varmeanlæg eller afløbssystem
- luftfugt fra indendørs aktiviteter som fx badning, rengøring og madlavning.

Byggefugt tilføres bygningen i løbet af byggeprocessen. Dette kan skyldes tilsætning af vand til beton og mørtel, at fugtige materialer er leveret til byggepladsen eller at konstruktionen er tilført nedbør under byggeprocessen. Udtørningstiden af byggefugt afhænger af, hvor stor forskel, der er mellem vanddampindholdet inde i materialets porer og i den omgivende luft, men ofte er der tale om en proces der tager mange måneder.

I ældre ejendomme ses fugtproblemer ofte i fx:

- tagkonstruktionen pga. nedslidte tagdækninger
- ydervægge pga. opstigende grundfugt og regn
- opholdsrum pga. skimmelsvampevækst forårsaget af kondens og grundfugt
- kældre pga. opstigende grundfugt og ikke fungerende kloakker
- krybekældre pga. af skimmelsvampevækst forårsaget af ændret varmeisolering
- vådrum pga. forkert udførte konstruktioner
- køkkener pga. utætte installationer.

Ved gennemgang af en bygning kan evt. fugtskader opdages ved systematisk at registrere tegn på råd eller svamp, tegn på tidligere udført udbedring af svampeskader, synlig skimmelvækst, fugtskjolder, saltudblomstringer på murværk eller puds, afskalninger af maling eller puds samt smuldrende teglsten. Konstateres sådanne fugtskader er det ofte nødvendigt at foretage yderligere undersøgelser for at fastlægge en evt. fugtkilde og få en risikovurdering.



Der er behov for at udvikle, beskrive og dokumentere byggetekniske løsninger, der er sikre mod fremkomsten af fugt- og skimmelsvampeproblemer.

Ved renovering efter skimmelsvamp er formålet at fjerne eller rense byggematerialer, der er angrebet af skimmelsvamp. Dette skal ske til et niveau, der ikke giver anledning til sundhedsskadelige påvirkninger af de personer, der opholder sig i bygningen. Der er behov for at opstille krav til en sådan renoveringsindsats under hensyntagen til sundhedsmæssige, økonomiske og byggetekniske forhold.

### 5.2.3 Temperatur

En konstruktionsdel, som varmeisolerer dårligt, kan ligeledes forårsage fugt- og sundhedsmæssige problemer. Hvis en overflade er kold, vil der være risiko for kondens på denne overflade, eller for at luftens relative fugtighed nær denne overflade er så høj, at det kan give anledning til skimmelvækst eller støvansamlinger på overfladen.

Kondens opstår, når fugtig luft afkøles til en temperatur, der er lavere end duggpunktet. Dette kan fx indtræffe, såfremt:

- vanddamp diffunderer gennem konstruktionen
- luft strømmer ud gennem utætheder i konstruktionen
- luft kommer i kontakt med kolde overflader, fx ved kuldebroer.

Kolde overflader kan undgås ved at anvende et sammenhængende og tilstrækkeligt tykt isoleringslag, der støder tæt sammen mod konstruktionerne, og samtidig undgå, at konstruktionen gennembrydes af materialer med høj varmeledningsevne. De danske bygningsreglementer (Erhvervs- og Boligstyrelsen, 2005a; Erhvervs- og Boligstyrelsen, 2005b) stiller krav om, at bygninger varmeisoleres, således at der opnås tilfredsstillende sundhedsmæssige forhold, samtidig med at energiforbruget reduceres. I By og Byg anvisningerne 207 (By og Byg, 2003a) og 208 (By og Byg, 2003b) gennemgås de grundlæggende forhold ved korrekt isolering af bygninger.

På nuværende tidspunkt regner man med at et realistisk scenarie for fremtidens klima kan blive stigende temperaturer og måske også et mere ekstremt vejr med kraftig nedbør i perioder. Jordens middeltemperatur er gennem de sidste 50 år steget med 0,4 °C, og det er muligt at udviklingen kan accelerere. På den baggrund kan det tænkes, at eventuelle overophedningsproblemer i kontorer og lignende vil forværres, og at kloaksystemerne i stigende grad vil blive overbelastede. Det er dog ikke muligt at give konkrete byggetekniske anbefalinger på den baggrund.

### 5.2.4 Radon

Radon er en radioaktiv luftart, der findes i jorden. Radonkoncentrationen afhænger af lokale jordbundsforhold og varierer betydeligt mellem landsdelene. Radon kan trænge ind i bygninger gennem revner og sprækker i gulvkonstruktionen, og hvis der er meget radon i indeluften, stiger risikoen for lungekræft. Se også omtalen af radon i kapitel 2. Radonproblemet er især knyttet til rum med gulve direkte mod jord, dvs. i kælderrum og i stueetagen i huse med terrændæk. Indtrængning af radon kan hindres ved:

- tætning af gulvkonstruktionen
- etablering af aktivt sug under gulvkonstruktionen.

Indholdet af radon i indeluften kan reduceres ved:

- etablering af naturlig eller mekanisk ventilation.

De danske bygningsreglementer (Erhvervs- og Boligstyrelsen, 2005a; Erhvervs- og Boligstyrelsen, 2005b) foreskriver at Bygningskonstruktioner mod undergrunden skal udføres lufttætte. I nybyggeri kan tæthed mod indtrængning af radon uden de store omkostninger sikres ved at indbygge en membran i gulvkonstruktionen. I eksisterende bygninger med utilstrækkelig tæthed i gulvkonstruktionen vil det derimod ofte kræve store indgreb at tætte effektivt.

Kravet om at udføre lufttætte bygningskonstruktioner mod undergrunden optræder første gang i bygningsreglementet (Erhvervs- og Boligstyrelsen, 2005a) i 1995 og i bygningsreglementet for småhuse (Erhvervs- og Boligstyrelsen, 2005b) i 1998. Det er ikke undersøgt om tæthedskravene i bygningsreglementerne følges ved projektering og udførelse af nybyggeri, eller om kravene i praksis har ført til en reduktion af radonkoncentrationen. Derfor bør der foretages sammenhørende registreringer af radonkoncentrationen og de byggetekniske løsninger i et udvalg af huse der er udført efter tæthedskravets ikrafttrædelse. På baggrund heraf kan der, om nødvendigt, udvikles byggetekniske løsninger med dokumenteret effekt.

### 5.2.5 Lugtgener fra naboelighed

I alt 20,5 % af beboerne i etageboliger angiver, at de i en forudgående 14-dages periode har været lidt eller meget generet af lugtgener på grund af naboens aktiviteter. Dette høje tal skyldes formodentlig i høj grad utætheder mellem de enkelte boliger og luftoverføring i ventilationssystemer. En del af generne må dog formodes at opstå ved luftoverføring gennem vinduer og udeluftventiler.

Ved traditionel byggeskik fra første del af sidste århundrede er indervægge, der danner lejlighedsskel, udført som to lag krydsslagne, sammensømmede brædder, som ved beklædning med rør er gjort pudsberende. Her kan utætheder forekomme mellem lejlighedsskel, såfremt bræddevæggen er revnet, og pudsen har løsnet sig. Dette kan især forekomme i køkkener efter mange års fugtpåvirkning.

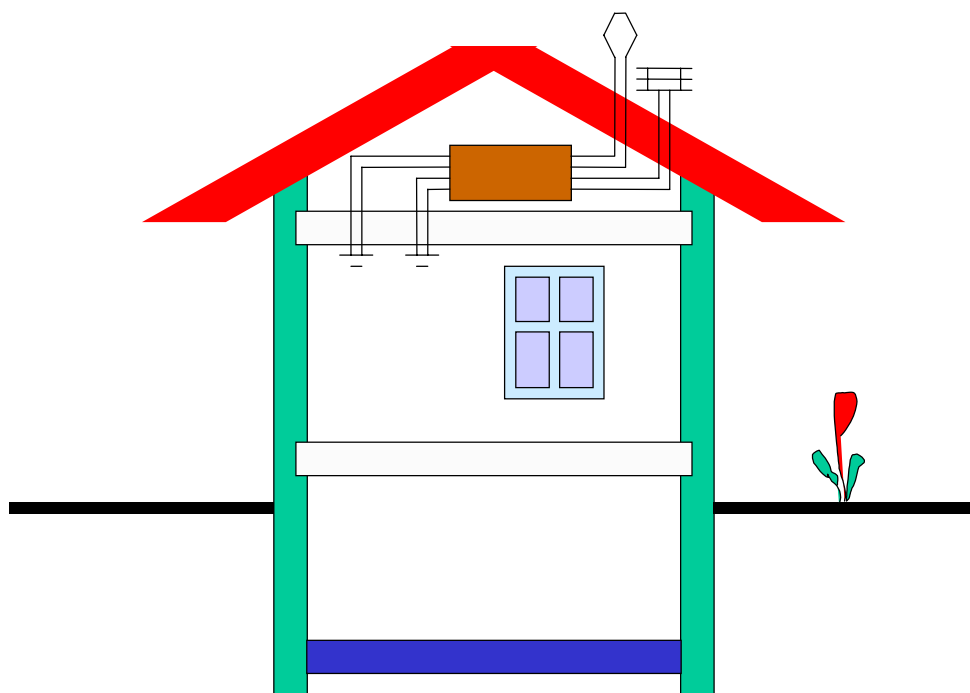
I senere etageboligbyggeri er lejlighedsskel typisk udført af tunge konstruktioner. Her kan utætheder forekomme ved samlinger og udføringer for installationer. Det er vigtigt at sikre, at fuger og samlinger er tætte. Tætning udføres med mørtel, mineraluldsstopning og evt. elastisk fugemasse.

## 5.3 Bygningsdele

Formålet med bygninger er at beskytte mennesker, dyr og materialer mod udeklimaet. Udformningen af bygningers yderste skal – klimaskærmen – har afgørende betydning for, om der skabes et godt indeklima med en passende rumtemperatur, god luftkvalitet og gode lysforhold.

Ved projektering og ved drift- og vedligehold opdeles bygningers klimaskærm ofte i en række bygningsdele. De bygningsdele, der har størst betydning for indeklimaet, og som derfor behandles i dette kapitel, er

- Tag
- Kælder og terrændæk
- Facader
- Vinduer
- Ventilationsanlæg.



Figur 5.1. Hovedopdelingen af et hus i bygningsdele.

### 5.3.1 Tag

Tage skal opfylde bygningsreglementernes krav til varmeisolering og være sikret mod fugtskader.

De skal udføres med en hældning, så regnvand og smeltevand kan ledes bort fra tagfladen på forsvarlig måde og konstrueres således, at de er tætte over for regn, sne og smeltevand.

Loftkonstruktionen skal være diffusionstæt og lufttæt for at forhindre fugt i at trænge op i tagkonstruktionen ved diffusion eller gennem revner og sprækker. Fugttransport forhindres sædvanligvis ved at anbringe en dampspærre på isoleringens varme side. For at undgå beskadigelse af dampspærren kan den anbringes et stykke inde i isoleringslaget, dog højst 1/3 af den samlede isoleringstykkelse for at undgå kondensdannelse. For at forhindre luftopstrømning skal dampspærren monteres lufttæt, dvs. med tætte overlæg, og den skal slutte tæt til ydervæggens dampspærre eller til ydervæggen, hvis denne er udført uden dampspærre. Der skal ligeledes være forbindelse eller overlap mellem varmeisoleringen i tag og ydervægge således, at der ikke opstår kuldebroer. Uopvarmede hulrum i tagkonstruktionen skal udformes således, at evt. fugt kan fjernes på forsvarlig vis. Dette sker sædvanligvis ved ventilation.

### 5.3.2 Kælder og terrændæk

Kældre skal være varme- og fugtisolerede samt være tætte over for indtrængende radon.

Normalt sikres varme- og fugtisoleringen i nybyggeri ved, at kældergulve opbygges af en betonplade, et varmeisolerende lag og et kapillarbrydende lag, alternativt et kombineret varmeisolerende og kapillarbrydende lag. Kælderydervæggene varmeisoleres normalt på ydersiden med mineraluldsplader, løse letklinker eller polystyrenplader.

Beskyttelse mod indtrængning af fugt gennem kældervægge udføres normalt ved udvendig asfaltering eller ved opsætning af grundmursplader. For at hindre, at nedsivende vand trænger ind gennem kældervægge, skal der udføres vægdræn enten ved at bruge drænende fyld, opstilling af drænblokke eller ved anvendelse af isoleringsmaterialer med drænende egenskaber.

I ældre ejendomme med murede kældervægge kan jordfugt ofte suges op i kældervæggene. Opsugningshøjden af jordfugt i ældre ejendomme kan reduceres ved at forbedre ventilationen i kælderen, ved at etablere fugtspærre i kældermure og -gulve og ved at øge opvarmningen af kælderen.

Bygningsreglementet kræver, at nye huse opføres radontætte i forhold til undergrunden. I nybyggeri kan tæthed mod indtrængning af radon uden de store omkostninger sikres ved at indbygge en membran i gulvkonstruktionen. I eksisterende bygninger med utilstrækkelig tæthed i gulvkonstruktionen vil det ofte kræve store indgreb at tætne effektivt. Radon er en radioaktiv luftart, der findes i jorden. Hvis der er meget radon i indeluften, forøges risikoen for lungekræft. En mere omfattende behandling af spørgsmål vedrørende radon kan findes i BYG-ERFA blad (99) 02 09 27 (BYG-ERFA, 2002). Se også omtalen af Radon i kapitel 2.

### 5.3.3 Ydervægge

Ydervægge skal være i stand til at opfylde bygningsreglementets krav til varmeisolering, herunder at de, af hensyn til kondensrisiko, ikke må indeholde kuldebroer af væsentligt omfang. Ydervægge skal desuden udføres sådan, at de ikke beskadiges af fugt, og at eventuelt indtrængende vand kan ledes ud igen. Dette sikres ved at indlægge fugt- eller dampspærre. En fugtspærre er et lag, som forhindrer diffusion og sikrer mod fugttransport ved kapillarsugning. En dampspærre er et lag, som forhindrer diffusion og er lufttæt, dvs. at samlingerne mellem banerne ikke må tillade luftgennemstrømning.

Isolering mod fugt fra fundament sikres ved at placere en fugtspærre et stykke over terræn. Over alle muråbninger skal der desuden indlægges fugtspærre. I ydervægge, som indeholder fugtfølsomme materialer, skal der etableres et ventileret hulrum mellem regnskærmen og varmeisoleringen, og isoleringen skal dækkes med et vindtæt lag. Der skal desuden anbringes en dampspærre på den varme side af isoleringen for at sikre mod kondens. Dampspærren kan anbringes et stykke inde i isoleringslaget, dog højst 1/3 af den samlede isoleringstykkelse.

I den eksisterende bygningsmasse ses ofte eksempler på uheldigt udført indvendig efterisolering, hvor der er udeladt dampspærre på den indvendige "varme" side af isoleringen. Fugtindtrængning i sådanne isolerede hulrum kan give omfattende skjult skimmelsvampevækst.

### 5.3.4 Vinduer

Vinduesruderne i et rum er sædvanligvis det koldeste sted i rummet, hvorfor der er stor risiko for at luften lokalt afkøles til under dugpunktstemperatur med det resultat, at der kondenserer vanddamp på det kolde vinduesglas. Kondenseringen starter normalt ved rudens kanter, hvor der er en kraftig kuldebro. Overfladekondens på glasset kan ødelægge en vinduesramme af træ og medføre skimmelvækst, når vandet løber ned og opsuges i træet.

Risikoen for kondens afhænger særligt af rumluftens fugtighed, vinduets isoleringsevne, udetemperaturen og rumtemperaturen. Da vinduesruderne normalt er det koldeste sted i rummet, er det en god regel, at der skal udluftes i en grad, så vinduer med to glas ikke dugger på siden ind mod rummet.

Håndreglen er dog utilstrækkelig for lavenergiruder, hvor der kun forekommer kondens ved stor luftfugtighed i rummet. En mulighed for at følge problemet er at anskaffe et hygrometer, der kan måle luftens fugtighed. Mange billige hygrometre er dog ikke særligt nøjagtige. Men de kan vise variationer og kan således indikere om eventuelle adfærdsændringer påvirker luftens fugtighed i den rigtige retning.

Vinduer malerbehandles ofte udvendigt med malerverer med tilsætning af stoffer, der skal hindre begroning med alger og skimmelsvampe samt beskytte mod råd og svamp. Mange fristes måske til at anvende samme maling inden døre. Sådanne malerverer bør ikke anvendes indendørs, da der derved opstår risiko for afgivelse af giftstoffet til indeluften.

I forbindelse med reovering og udskiftning af vinduer er der flere eksempler på, at bygningerne efter arbejdet er blevet meget tætte. Det er vigtigt at sikre sig, at bygningerne til stadighed ventileres tilstrækkeligt. Dette kan bl.a. ske ved at installere spalteventiler i de nye vinduesrammer.

### 5.3.5 Ventilationsanlæg

Ventilation er en af de væsentligste foranstaltninger til at beskytte mod høje niveauer af fugt, lugte, kemiske forbindelser, partikler, allergener og mikroorganisme i indeluften.

Langt de fleste bygninger har installationer til udskiftning af indeluften. Udeluften kan i anlæggene eventuelt filtreres, opvarmes, køles eller be- eller affugtes, før den tilføres rummene. Ventilationsanlæg kan også være udført udelukkende som udsugningsanlæg. Udeluften tilføres her gennem revner, sprækker eller særlige udeluftventiler i vinduer eller ydervægge. Der forekommer også recirkulerende ventilationsanlæg, hvor rumluften suges ind i anlæggene, konditioneres og føres tilbage i rummene.

Der findes også mange kombinationer af de nævnte anlæg. Ofte skelnes mellem anlæg for mekanisk eller naturlig ventilation. Den eneste forskel herimellem ligger i princippet for tilvejebringelse af det nødvendige drivtryk til at flytte luften. I mekaniske ventilationsanlæg findes ventilatorer, og i naturlige ventilationsanlæg flyttes luften på grund af de trykforskelle, der opstår når indeluften er varmere end udeluften og indeluften derved har lavere densitet end udeluften. Vindens påvirkninger kan også medvirke til at udskifte luften i bygninger. En stor del af luftudskiftningen i mange bygninger sker gennem vinduerne i forbindelse med udluftning.

De fleste boliger ventileres med naturlig ventilation, der kan være suppleret med mekanisk udsugning fra køkken, toilet og bad. Mange kontorer har mekanisk ventilation, men det er ikke et myndighedskrav. Skoler har typisk mekanisk ventilation, men med særlige tiltag til at forbedre mulighederne for naturlig ventilation er det også tilladt at bygge skoler uden mekanisk ventilation. Det er et krav, at børneinstitutioner skal have mekanisk ventilation når de byggesagsbehandles efter Bygningsreglementet.

Opvarmning af ventilationsluften kan i nogen grad ske i varmevekslere, hvor en del af varmen fra den udsugede luft overføres til den tilførte udeluft. I mange anlæg for naturlig ventilation er drivtrykket ikke særlig stort, og mulighederne for filtrering og konditionering af den tilførte udeluft er dermed begrænset. I praksis ses der derfor næsten aldrig varmevekslere i anlæg for naturlig ventilation.

Formålet med ventilationsanlæg er at fortynde fugt- og forureningsbelastninger, at køle, at varme eller at sikre mod indtrængning af forurening udefra ved filtrering.

Fastsættelse af lovkravene til ventilation i boliger er grundlæggende baseret på normale fugtbelastninger fra mennesker og aktiviteter. I skoler og børneinstitutioner er kravene baseret på varmebelastningen fra de mange personer. I kontorer adskiller kravene sig ikke grundlæggende fra kravene til boliger, men i mange kontorer med mekanisk ventilation er der betydeligt højere ventilationsrater end det krævede. Varmebelastninger og et ønske om, at førstehåndsindtrykket af luftens kvalitet skal være god, bidrager til en argumentation for højere luftskifte i kontorer.

Komponenter for befugtning, køling og filtrering er ofte væsentlige kilder til nedsat luftkvalitet. Endvidere kan støv og smuds i kanaler og øvrige dele af ventilationsanlæg også forurene luften allerede før den tilføres rummene. Visse anlæg kan have meget komplicerede opbygninger og et stort antal spjæld og andre reguleringsorganer. Fejlfinding i sådanne anlæg kan være vanskelig, og der er flere eksempler på, at fejl og mangler i anlæggene ikke udbedres på trods af, at fejlene fører til fejlfunktioner og gener hos bygningsbrugerne.

Flere undersøgelser har vist en overhyppighed af gener og symptomer blandt brugerne af bygninger med mekanisk ventilation (Wargocki, 2002). På den anden side findes mange anlæg for mekanisk ventilation, der fungerer som en forudsætning for tilstrækkelig håndtering af temperatur- og luftforureningsbelastninger i de bygninger, som de betjener.

Luftskiftet har været målt i forskellige boligtyper. Middelværdien for lejeboligers luftskifte i Danmark er målt til  $0,7 \text{ h}^{-1}$  (Gunnarsen, 2001), og ca. 25 % af målingerne var under  $0,5 \text{ h}^{-1}$ . Middelværdien i nyere enfamiliehuse var  $0,35 \text{ h}^{-1}$  (Bergsøe, 1994), og her havde 85 % et luftskifte under  $0,5 \text{ h}^{-1}$ .

Luftskifter omkring  $0,5 \text{ h}^{-1}$  og ca.  $50 \text{ m}^2$  bolig per person giver som tidligere nævnt indtagne fraktioner på omkring 0,01 af de indre mere diffuse kilder. Mindre luftskifter resulterer i, at større andele af forureningsafgivelsen bliver indtaget, mens større luftskifter giver et mindre indtag. I moderne skoler ligger luftskiftet omkring  $3 \text{ h}^{-1}$ . De største luftskifter, man finder i kontorer, ligger omkring  $6-8 \text{ h}^{-1}$ . I praksis kan ventilationen fortynde forureningen fra indre kilder, således at de indtagne fraktioner er fra 0,01 til 0,001. Dette begrænsede

variationsområde understreger, at kildekontrol snarere end forøget luftskifte kan reducere eksponeringen inden døre (Kuenzli et al., 2004).

I Bygningsreglementet kræves, at ventilationsanlæg i boliger er i drift døgnet rundt. Dette krav blev indført i 1995. Der findes dog mange ældre boliger med mekanisk udsugning, hvor udsugningen begrænses ved urstyring om natten. Dette kan resultere i utilstrækkelig udtørring i badeværelser og andre uheldige forhold.

Der er behov for forbedret pasning og tilsyn med anlæg for mekanisk ventilation. I den forbindelse kan det også overvejes, om der skal kræves forbedrede muligheder for kontrol af anlæggenes funktionalitet. Tilsmudsning af filtre og komponenter, der udsættes for vandpåvirkninger, kræver særlig opmærksomhed. Der mangler viden om årsagerne til, at mekanisk ventilation til tider giver gener og om de nødvendige forudsætninger for at forebygge disse gener.

Der er indført nye krav til klimaskærmens tæthed i Bygningsreglementet. Ved 50 Pa trykdifferens må luftskiftet nu højst være  $1,5 \text{ l/(s m}^2\text{)}$  i nybyggeri. Dette svarer til, at infiltrationen gennem utætheder under normale trykforhold kommer til at ligge omkring  $0,1 \text{ h}^{-1}$ . Set i lyset af de store utætheder, der ofte findes mellem lejligheder både vandret og lodret, kan en forøgelse af klimaskærmens tæthed føre til forøgede lugtgener på grund af naboers aktiviteter.

## 5.4 Belysning

Et godt belysningsmiljø skal sikre de rette betingelser for synsopgaven i lokalet og den enkelte persons behov. I øvrigt skal man ubesværet kunne orientere og bevæge sig frit i lokalet.

### 5.4.1 Myndighedskrav

I Bygningsreglementet (Boligministeriet, 1995) er kravene, at arbejdsrum skal have en sådan tilgang af dagslys, at rummene er vel belyste, og at personer har udsigt til omgivelserne (Det man kan se gennem ovenlys kan ikke kaldes omgivelser). Vinduerne skal udføres, placeres og eventuelt afskærmes, så solindfald gennem dem ikke medfører overophedning i arbejdsrum. Dagslystilgangen vil normalt være tilstrækkelig, når vinduesarealet ved sidelys svarer til 10 % af gulvarealet eller ved ovenlys til mindst 7 % af gulvarealet. Arbejdsrum skal forsynes med vindue, der er anbragt således, at personer i rummet kan se ud på omgivelserne (se også Arbejdsministeriet, 2001; Arbejdstilsynet, 1999). Udsynet til omgivelserne må formodes at være temmelig utilfredsstillende fra rum, der udelukkende har ovenlys, og arbejdstilsynet anser da heller ikke at sådanne rum opfylder kravene. DS 700 "Kunstig belysning i arbejdslokaler" indeholder retningslinier for og krav til den kunstige belysning i arbejdslokaler (Dansk Standard, 1997). Standarden fastlægger metoder og krav til en sikker og god udformning af kunstig belysning i arbejdslokaler med eller uden dagslysadgang ud fra arbejdets karakter og vilkår.

### 5.4.2 Dagslys

Christoffersen et al. (1999) viste, at der i smårumskontorer generelt er en høj grad af tilfredshed med dagslyset til arbejdet, men samtidig en stigende utilfredshed jo længere væk fra vinduet den ansatte var placeret. En vigtig

forudsætning for, at dagslys og sollys kan værdsættes, er, at det kan kontrolleres ved hjælp af en solafskærmning, når det er behov for at reducere visuelle gener (fx blænding, kontrastreduktion, store luminansspring). Christoffersen et al (1999) viste, at flere personer ønsker sollys i kontoret om vinteren end om sommeren, hvilket kan skyldes den positive psykologiske virkning, som sollys giver, specielt i et relativt mørkt klima som det danske. Dagslys adskiller sig fra kunstlys ved variationer i styrke, farve og retning både i løbet af dagen og i løbet af året. Netop dagslysets dynamiske variation kædes ofte sammen med en positiv effekt på menneskers oplevelse og stemning. Flere undersøgelser har vist, at mennesker foretrækker dagslys frem for kunstig belysning på arbejdspladsen (Finnegan & Solomon, 1981; Ne'eman, 1984; Heerwagen & Heerwagen, 1986; Christoffersen et al., 1999; Veitch et al., 2003).

#### 5.4.3 Kunstlys

Dagslyset bør i størst mulig udstrækning dække belysningsbehovet, både ud fra kvalitetshensyn og ønsket om energiøkonomisk drift. El-forbruget til belysning svarer til ca. 20-30 % af det samlede el-forbrug i kontor- og erhvervsbygninger. Kunstlyset skal tilrettelægges således at det skaber de rette synsbetingelser i de perioder, hvor dagslyset ikke er tilstrækkeligt til at løse en synsopgave. Lader man den enkelte bruger selv vælge indvendig belysningsniveau, vælger de ofte niveauer, som er væsentligt højere end det niveau, der normalt anvendes i Danmark. Flere undersøgelser viser, at energieffektive belysningsanlæg fuldt ud kan opfylde kravene til belysningskvalitet og produktivitet (Newsham & Veitch, 1997; Veitch & Newsham, 1998). I årenes løb er der udført flere undersøgelser af, hvorvidt lyskildens spektralfordeling har betydning for menneskers perception og kognitive processer. Specielt har forskningen omhandlet lystofrør med en spektralfordeling svarende til dagslyset, men der findes ikke entydigt bevis for, at sådanne lyskilder er bedre eller dårligere end almindelige anvendte lystofrør (Veitch & McColl, 2001; McColl & Veitch, 2001).

#### 5.4.4 Udsyn

Udover at vinduet tilføjer rummet dagslys, skaber det også udsyn, kontakt til det fri og mulighed for at følge vejr- og tidsændringer. Både det at kunne se ud ad vinduet (udsyn) og at have noget rart at se på (en god udsigt) har lige så stor betydning for trivsel og velvære, som dagslys og sollys på arbejdspladsen (Heerwagen, 1990). Naturlandskab, træer og beplantning eller himmel giver større tilfredshed end industri, høje bygninger og parkeringsarealer (Christoffersen et al, 1999).

#### 5.4.5 Arbejdspladsen

Flere arbejdsundersøgelser underbygger teorien om, at personer, der selv har mulighed for at indrette deres arbejdsplads, således at de fysiske rammer imødekommer deres egne behov, sjældnere udtrykker utilfredshed med omgivelserne (BOSTI 1981, Hedge 1989, Sundstrom 1986). Generelt kan man sige, at i jo højere grad den ansatte oplever at have kontrol over arbejdsmiljø og kilder der virker forstyrrende, desto mindre negativ påvirkning har det på trivsel og arbejde (Glass 1972). Christoffersen et al (1999) viste, at jo længere væk fra vinduet arbejdspladsen var placeret, og jo flere personer der var i kontoret, desto større utilfredshed med dagslysforholdene udtrykte den enkelte person. Resultaterne bekræftes af undersøgelser i engelske og amerikanske kontorer, der viser, at de ansatte har et stort ønske om at sidde i



nærheden af vinduet (Collins, 1976; Ne'emann, 1974; Leaman & Bordass, 2000).

## 5.5 Sammenfatning

Bygninger har ofte en holdbarhed over 100 år, men nogle bygningsdele holder ikke så længe og skal udskiftes, når behovet opstår. U hensigtsmæssig eller utilstrækkelig drift og vedligeholdelse af bygninger kan føre til accelererende bygningskader og utilfredsstillende indeklimaforhold.

Der findes viden om, hvordan man undgår fugtproblemer i nye bygninger, men fugtskader kan ikke undgås, og derfor er det vigtigt at styrke beredskabet for hurtig afhjælpning af de skader, der opstår. Fugtskader i ældre ejendomme kan ud over skader og nedslidte konstruktioner ofte skyldes opstigende grundfugt og kondensation på kuldebroer og andre kolde overflader. Mange fugtproblemer skyldes endvidere forkert udført efterisolering eller manglende ventilering, bl.a. efter tætningsarbejder eller vinduesudskiftninger.

Der er behov for forbedret vedligeholdelse af mange ventilationsanlæg, og der er behov for mere viden om årsagerne til, at bygninger med mekanisk ventilation ofte giver anledning til gener blandt bygningsbrugerne.

Etageejendomme er sjældent udført med lufttætte skel mellem lejlighederne. Dette fører ofte til genererende lugt fra nabo lejlighederne. For at reducere lugtgener i boliger pga. nabolugt er der behov for en undersøgelse af ventilationsluftens bevægelser mellem lejligheder og i opgange.

Nye huse udføres formodentlig således, at radon ikke trænger ind. Der er behov for at mindske radoneksponeringen i visse ældre boliger.

## 5.6 Litteratur

Andersen, N.E., Christensen, G., og Nielsen, F. (1993). Bygningers fugtisolering (SBI-anvisning 178). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Bergsøe N. (1994). Ventilationsforhold i nyere naturligt ventilerede enfamiliehuse, SBI rapport 235, Statens Byggeforskningsinstitut.

BOSTI. (1981). The impact of Office Environment on Productivity and Quality of Working Life: Comprehensive Findings. Buffalo Organization for Social and Technological Innovation, jnc., BOSTI, NY.

Byggeriets udviklingsråd. (1985). Planlægning af driftsvenligt byggeri – en anvisning. København.

BYG-ERFA blad (99) 02 09 27. (2002). Radon – forebyggelse og afhjælpning. Ballerup.

By og Byg. (2003a). Anvendelse af alternative isoleringsmaterialer (By og Byg Anvisning 207). Hørsholm.

By og Byg. (2003b). Beregning af bygningers varmebehov (By og Byg Anvisning 208). Hørsholm.

Christoffersen, J., Petersen, E., Johnsen, K., Valbjørn, O. & Hygge, S. (1999). Vinduer og dagslys – en feltundersøgelse i kontorbygninger (SBI-rapport 318). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut

DS 700. (1997). Kunstig belysning i arbejdslokaler, 5. udgave, Dansk Standardiseringsråd

Finnegan, M. C. & Solomon, L. Z. (1981). Work attitudes in windowed vs windowless environments. *Journal of Social Psychology*, 115, 291-292.

Gunnarsen L. (2001). Fugt, ventilation, skimmelsvampe og husstøvmider – En tværseksundersøgelse i lejligheder. By og Byg Resultater 009. Statens Byggeforskningsinstitut.

Heerwagen, J. H. & Heerwagen, D. R. (1986). Lighting and psychological comfort. *Lighting Design + Application*, 16(4), 47-51.

Heerwagen, J. (1990). The psychological aspects of windows and window design. Proc. of the Environmental Design Research Association Conference, Champaign-Urbana, IL.

Kuenzli N., Jantunen M., Bayer-Oglesby L., Gauderman J., Mathys P., Lai H. K. (2004). Expolis-Index – Human exposure patterns for health risk assessment: Indoor determinants of personal exposure in the European EXPOLIS population in Athens, Basel, Grenoble, Milan, Helsinki, Oxford and Prague, European Chemical Industry Council.

Leaman, A. & Bordass, B. (2000). Productivity in buildings: The 'killer' variables, i *Creating the Productive Workplace*, ed: D. Clements-Croome, E. & F.N. Spon: London.

McColl, S. L. & Veitch, J. A. (2001). Full-spectrum fluorescent lighting: a review of its effects on physiology and health; *Psychological Medicine*, v. 31, no. 6. August 2001, pp. 949-964.

Ne'eman, E. (1974). Visual aspects of sunlight in buildings. *Lighting Research and Technology*, Vol. 6, No. 3, pp. 159-164.

Newsham, G.R. & Veitch, J.A. (1997). Energy-Efficient lighting Options: Predicted Savings and Occupants Impression of Lighting Quality. Proc. CLIMA 2000, Belgium.

Sundstrom, E.D. (1986). *Work Places – the Psychology of the Physical Environment in Offices and Factories*. Cambridge University Press.

Veitch, J. A., & Newsham, G. R. (1998). Lighting quality and energy-efficiency effects on task performance, mood, health, satisfaction and comfort. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 27(1), 107-129.

Veitch, J. A. & McColl, S. L. (2001). A Critical examination of perceptual and cognitive effects attributed to full-spectrum fluorescent lighting, *Ergonomics*, v. 44, no. 3, Feb. 2001, pp. 255-279

Veitch, J.A., Charles, K.E., Newsham, G.R., Marquardt, C.J.G. & Geerts, J. (2003). Environmental Satisfaction in Open-Plan Environments: 5. Workstation and Physical Condition Effects. IRC Research Report RR-154. Institute for Research in Construction. National Research Council Canada, Ottawa, ONT, K1A 0R6, Canada

Wargocki, P., Sundell, J., Bischof, W., Brundrett, G., Fanger, P.O., Gyntelberg, F., Hanssen, S.O., Harrison, P., Pickering, A., Seppänen, O., Wouters, P. (2002). "Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN). *Indoor Air*, 12, 113-128.

Økonomi- og Erhvervsministeriet, Erhvervs- og Boligstyrelsen. (2005a). Bygningsreglement 1995 (inkl. Tillæg 1-10). København.

Økonomi- og Erhvervsministeriet, Erhvervs- og Boligstyrelsen. (2005b). Bygningsreglement for småhuse 1998 (inkl. Tillæg 1-7). København.

# 6 Farlighedsvurdering

## 6.1 Baggrund

I det følgende gennemgås den tilgængelige viden for en række problematiske eksponeringer. Det er håbet dermed at give et overblik over den tilgængelige konkrete viden på området og samtidig at understrege det meget store behov for ny solid viden om farlighed og eksponeringsforhold i indeklimaet, der eksisterer for en lang række forhold.

En risikovurdering udgøres generelt af en farlighedsvurdering/-karakterisering, en eksponeringsvurdering samt en risikokarakterisering. For indeklimaets eksponeringer må man af mangel på viden oftest nøjes med en farlighedsvurdering. Den store opholdstid inden døre, det høje beskyttelsesniveau, der kræves, og de resulterende meget lave eksponeringsniveauer bevirker, at traditionel toksikologi ofte kommer til kort i forbindelse med risikovurdering af indeklimaets påvirkninger. I forbindelse med risikohåndtering og vurdering af risici er det vigtigt at vurdere såvel alvoren af effekterne som omfanget af effekterne. På indeklimaområdet arbejder man med slutmål på niveauer, der rækker over død, kronisk sygdom, forbigående sygdom og komfort. Det kan være vanskeligt at prioritere mellem alvorlige effekter, der rammer få som kræftsygdomme, og mindre alvorlige effekter, der rammer mange som infektionssygdomme. Men i første omgang bør mindre alvorlige effekter, der rammer få naturligvis ikke prioriteres.

I dette projekt tager farlighedsvurderingen/-karakteriseringen af en given eksponering udgangspunkt i undersøgelser af effekter i mennesker og i dyr. Farlighedsvurderingen/-karakteriseringen munder ud i en udpegning af den kritiske effekt, det vil sige den effekt, der anses for at være den væsentligste sundhedsskadelige effekt relateret til udsættelse for den givne eksponering. Ved identifikation af den kritiske effekt sammenholdes og vurderes alle de informationer, der er samlet. Det vurderes, hvor alvorlige de pågældende effekter er, ved hvilke koncentrationer de pågældende effekter optræder, samt hvorvidt effekter observeret hos forsøgsdyr er relevante for mennesker. Der fastsættes et nul-effekt niveau (NOAEL) for den kritiske effekt hvis muligt. For pesticider, tilsætningsstoffer og kontaminanter fastsættes acceptabel/tolerabel daglig indtagelse (ADI/TDI) med udgangspunkt i NOAEL under anvendelse af usikkerhedsfaktorer. Kvalitetskriterier for kemiske stoffer i luft, jord og vand fastsættes i langt de fleste tilfælde ud fra TDI eller en tolerabel koncentration i luften.

Eksponeringsvurderingen beskriver kvantitativt de koncentrationer af en given eksponering, som mennesker generelt udsættes for via indeklimaet.

Ved risikokarakteriseringen sammenholdes farlighedsvurderingen/-karakteriseringen og eksponeringsvurderingen. Hvis der ikke er fastsat ADI / TDI, er en meget anvendt metode at beregne forholdet mellem NOAEL og eksponeringskoncentration, den såkaldte 'Margin of Safety (MOS)'. Derefter vurderes, hvorvidt den beregnede MOS yder et tilstrækkeligt beskyttelsesniveau ved at sammenholde den beregnede MOS med en

referenceværdi (refMOS). RefMOS svarer i princippet til den samlede usikkerhedsfaktor, der generelt anvendes ved fastsættelse af TDI for kontaminanter, pesticider, og tilsætningsstoffer og ved fastsættelse af kvalitetskriterier for kemiske stoffer i luft, jord og vand. MOS princippet anvendes generelt i EU's risikovurderingsprogram for nye og eksisterende kemiske stoffer.

## 6.2 Videngrundlaget for farlighedsvurderinger

Beskyttelsesniveauerne er forskellige for de forskellige forhold. Der er en forventning om ca. 3-4.000 årlige dødsfald i Danmark på grund af den samlede eksponering for udeluftens partikler både inde og ude, 250 dødsfald på grund af radon i indeluften, mens eksponering for kemiske stoffer som tetrachlorethylen er så langt under den kritiske grænse, at der ikke forventes dødsfald relateret til indeklimamæssig eksponering for flygtige kemiske stoffer.

I tabel 6.1 er vist en vurdering af videngrundlaget for at kunne foretage en risikovurdering af nogle vigtige indeklimaparametre.

I Bilag er gennemgået toksikologisk baserede farevurderinger for di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP), polycycliske aromatiske hydrocarboner (PAH), polychlorede biphenyler (PCB), polybromerede flammehæmmere (PBDE) samt trichlorethylen og tetrachlorethylen (chlorerede opløsningsmidler).

Tabel 6.1. Videngrundlaget for en egentlig risikovurdering for nogle vigtige indeklimaparametre. Angivelse af viden: 0 = ingen 3 = tilstrækkelige informationer for en risikovurdering.

Komponent		Fare-identifikation	Eksponeringsvurdering	Dosis-responsvurdering
Fugt	Akut	1	2	0
	Kronisk	1	2	0
Radon	Akut	3	3	3
	Kronisk	3	3	3
Trafikpartikler	Akut	2	2	2
	Kronisk	1	2	1
Brændeovnspartikler	Akut	2	1	0
	Kronisk	1	1	0
Allergener *	Akut	3	2	1
	Kronisk	1	1	0
Passiv rygning	Akut	3	2	3
	Kronisk	3	2	2
Formaldehyd	Akut	3	2	3
	Kronisk	3	2	3
Benzen	Akut	3	2	2
	Kronisk	3	2	2
Kvælstofdioxid	Akut	3	3	3
	Kronisk	2	1	1
Asbest	Akut	3	3	3
	Kronisk	3	3	3
LPS	Akut	3	2	3
	Kronisk	3	2	1

Glucan	Akut	2	1	0
	Kronisk	1	1	0
Ozon	Akut	3	3	3
	Kronisk	3	3	3
Ozon reaktionsprodukter	Akut	2	1	1
	Kronisk	2	1	1
Di(2-ethylhexyl)phthalat (Inhalation)	Akut	1	1	0
	Kronisk	1	1	0
Bromerede flammehæmmere	Akut	1	1	0
	Kronisk	1	1	0
Trichlorethylen	Akut	3	1	1
	Kronisk	2	1	2
Tetrachlorethylen	Akut	3	2	1
	Kronisk	2	2	2

\* For allergener svarer videngrundlaget for akut effekt til eksponering af personer, som allerede er sensibiliserede imod relevant allergen og for kronisk effekt til eksponering af personer, som ikke er sensibiliserede. For akutte effekter hos allergikere vil man nok aldrig kunne finde en dosis-respons-sammenhæng på grund af meget store individuelle variationer.

Som det ses er det kun for radon og asbest, hvor det vurderes, at der er tilstrækkelig viden både om sundhedsfarer, eksponeringer og dosis-responsforhold til at gennemføre en risikovurdering. Der er behov for mere viden, men manglende viden skal ikke være en undskyldning for ikke at foretage aktiv risikohåndtering. Formaldehyd, benzen og kvælstofdioxid er på EU-Kommisionens Fælles Forskningscenters liste over forbindelser, hvis eksponering inden døre bør mindskes.

### 6.3 Gennemgang af nogle komplekse eksponeringer

#### 6.3.1 Samtidig eksponering for flere kemikalier i kombination

Kombinationseffekter må formodes at kunne forekomme i indeklimaet. Det er dog et område, hvor der især mangler viden. Der er et begyndende billede af, at visse kemikalier vil kunne forstærke betydningen af de kendte allergener (adjuvans). Men den omfattende dataindsamling, der er nødvendig for undersøgelsen af sådanne effekter, har hidtil været en barriere for skabelse af viden på området.

#### 6.3.2 Fugt

Fugt er som isoleret problem svært at risikovurdere. Adskillige studier har påvist, at der er en sammenhæng mellem fugt i boligen og helbredsproblemer. Fugt er dog sjældent et veldefineret begreb. Det kan omfatte komplekse mål som beboernes opfattelse af luftfugtigheden, forekomsten af dug på ruderne eller fugtpletter på vægge og lofter samt mere veldefinerede mål som relativt eller absolut vandindhold i indeluften, temperaturen af indvendige overflader eller overfladernes vandindhold.

To multidisciplinære ekspertgrupper Nordamp og Euroexpo vurderede den tilgængelige litteratur frem til år 2000 og konkluderede, at der var en klar sammenhæng til fugt, men at der ikke var nogen tydelig sammenhæng til andre fugtrelaterede problemer i indeklimaet som mikroorganismer og husstøvmider (Bornehag et al. 2001 og 2002). Denne sammenhæng var

gældende for både børn og voksne og for både atopikere og ikke-atopikere. De helbredseffekter, man fandt i disse studier, som var relateret til fugt var pibende hvæsende vejrtrækning, hoste, astma og luftvejsinfektioner. Undersøgelserne var foretaget overalt på kloden, fra polare områder til troperne, og overraskende kom de frem til, at der er en ensartet øget risiko med en faktor på 1,4 til 2,2 for luftvejssymptomer og indeklimarelaterede gener, når boligen eller arbejdspladsen er fugtig.

### 6.3.3 Partikler

Partiklernes størrelsesfordeling er afgørende for deres effekter på helbredet. En del studier har vist, at relationen mellem partikelkoncentration og helbredseffekter vokser med aftagende partikeldiameter. Jo mindre partiklerne er, desto længere ned i lungerne føres de.

Menneskenes eksponering for partikler kan have både kortsigtede og langsigtede helbredseffekter. Flere studier har påvist associationer mellem sådanne eksponeringer og akutte helbredseffekter.

Der findes partikler i luften overalt hvor mennesker opholder sig. En række medicinske forskningsresultater tyder på, at den udendørs partikelforurening kan forårsage eller forværre en række sygdomme som lungekræft, kredsløbssygdomme og luftvejssygdomme (Pope m. fl., 2002; Dockery m. fl., 1993). Det er begrænset evidens for at partikelforureningen er årsagen til hjertekar- og luftvejslidelser, hvorimod det er velkendt, at disse lidelser forværres. Effekterne har et sådant omfang, at det antages, at partikelforureningen i udeluften i Danmark forårsager cirka 3.400 dødsfald om året (Raaschou-Nielsen et al. 2002). I København med ca. 1,2 mio. indbyggere har man skønnet, at antallet af dødsfald kan reduceres med ca. 675 personer årligt, hvis koncentrationen af ultrafine partikler reduceres med 60 % (Loft m.fl., 2003). Der er dog stor usikkerhed om, hvor stor en del af sundhedsskaderne, der kan henføres til eksponering henholdsvis udendørs og indendørs. I det hele taget er der endnu begrænset viden om partikeleksponeringen indendørs og de faktorer, som påvirker denne. (Afshari og Ekberg, 2003).

Det er på den baggrund vigtigt at fortsætte forskningen, der kan underbygge mulighederne for at gennemføre en risikovurdering for partikler i indeluften.

### 6.3.4 Allergener

Udvikling af IgE-antistofmedieret allergisk sygdom betragtes traditionelt som værende en to-trins proces, hvor det første trin er udvikling af IgE-sensibilisering og det næste er udvikling af symptomer (f.eks. astmasymptomer) ved fornyet eksponering for allergener. Det er den generelle opfattelse, at personer, som er IgE-sensibiliserede imod et givent allergen, vil udvikle symptomer og forværring i sygdom ved eksponering for tilstrækkelige doser af det pågældende allergen.

Eksponering for et givent allergen er en nødvendig forudsætning for udvikling af IgE-sensibilisering imod dette allergen. I Danmark er allergi imod birkepollen hyppig, mens allergi imod olivenpollen er sjælden. Det omvendte er tilfældet i Grækenland. Typen af allergier afspejler på denne måde de allergener, der er hyppigt forekommende i miljøet. Der er imidlertid ikke konsensus om hvorvidt en øget eksponering for allergener altid giver en øget risiko for IgE-sensibilisering og allergisk sygdom. Det er blevet foreslået, at

risikoen for udvikling af allergi afhænger af typen af allergen, allergendosis og tidspunktet for eksponering (fx spædbarnslivet *versus* voksenlivet). Under visse omstændigheder kan allergeneksponering dermed muligvis beskytte (inducere tolerance) imod IgE-sensibilisering. Effekten af eksponering for allergener afhænger endvidere af det enkelte individs modtagelighed, som til dels er genetisk bestemt. Personer, som allerede har IgE-antistofmedieret allergi, er ydermere i øget risiko for at udvikle flere nye allergier (Linneberg, 2003), og de udgør dermed en gruppe som er særligt sårbar overfor eksponering for allergener. Der er ikke konsensus om dosis-respons forholdene ved eksponering for allergener, hvilket især gælder for pelsdyrsallergener. Endvidere er vores viden om de faktiske niveauer af eksponering i Danmark begrænsede.

Det kan ikke helt udelukkes, at øget eksponering for allergener kan være en medvirkende forklaring på stigningen i allergi over de seneste årtier. Der mangler dog data, der dokumenterer, at eksponeringen for allergener faktisk har været stigende. Det er sandsynligt, at andre miljøfaktorer og livsstilsfaktorer også har betydning og at ændringer i disse faktorer har forårsaget en øget immunologisk reaktivitet imod allergener og dermed modtagelighed for allergi. Af speciel interesse i relation til indeklimaet er de såkaldte adjuvanseffekter af miljøpåvirkninger, dvs. påvirkninger som øger sandsynligheden for, at der induceres et IgE-medieret, allergisk immunrespons. Det er uafklaret, om eksponering for allergener kan have immunologiske effekter, der er kvalitativt eller kvantitativt forskellige afhængigt af om eksponeringen foregår i indeklimaet eller udendørs, fx pga. adjuvanseffekter af indeklimatefaktorer.

### 6.3.5 Allergeneksponering og udvikling af allergi og allergisk sygdom

I det følgende gives en status over viden om effekter af eksponering for to af de vigtigste grupper af inhalerbare allergener i indeklimaet. Disse allergener er primært relateret til allergisk rinit og allergisk astma. Der bør skelnes imellem allergenernes betydning for udvikling af allergi og allergisk sygdom hos raske eller disponerede personer samt allergenernes betydning for forværring af allergisk sygdom.

#### 6.3.5.1 Husstøvmideallergener

Epidemiologiske studier viser med en rimelig konsistens, at en øget eksponering for husstøvmider medfører en øget risiko for udvikling af IgE-sensibilisering imod husstøvmider (Nielsen, 2002). Men man har hidtil ikke kunnet vise, at det øger risikoen for allergisk sygdom. En nedre grænse for eksponering for husstøvmider, der kan give IgE-sensibilisering imod husstøvmider, er blevet estimeret til en koncentration af husstøvmideallergen på 2 µg/g støv (Kuehr, 1994). Flere undersøgelser har dog fundet, at lavere koncentrationer end 2 µg/g kan være associeret med IgE-sensibilisering hos disponerede personer, fx personer, som er arveligt disponerede eller atopiske, dvs. har andre allergier.

Talrige epidemiologiske og kliniske studier har vist, at IgE-sensibilisering imod husstøvmider er kraftigt associeret med atopiske sygdomme som f.eks. astma. Det har dog som nævnt overraskende nok ikke været muligt at dokumentere, at en øget eksponering for husstøvmider faktisk også øger risikoen for udvikling (nyopståen) af astma (Lau, 2000), hvorfor der er blevet stillet spørgsmålstejn ved om en øget eksponering for husstøvmideallergen direkte øger risikoen for allergisk sygdom. Store randomiserede interventionsstudier



med henblik på forebyggelse af udvikling atopiske sygdomme hos raske eller disponerede personer gennem bl.a. reduktion af eksponeringen for husstøvmideallergener (allergensanering) er initieret mange lande. Resultaterne fra disse har indtil videre ikke vist større effekt på sygdomsincidens. Der kan være flere mulige forklaringer på den manglende effekt. Det er fx muligt, at mange andre faktorer end eksponeringen for allergener har væsentlig betydning for, om det enkelte individ udvikler allergi eller tolerans. Med andre ord er eksponering for allergen måske en nødvendig, men ikke tilstrækkelig, faktor for udvikling af allergi. Dette understreges også af studier blandt f.eks. landmænd, der synes at være eksponerede for høje koncentrationer af husstøvmider uden samtidigt at have en høj forekomst af allergi imod husstøvmider (Parvaneh, 1999), (Iversen, 1990). Der er således behov for en øget viden om årsagerne til udvikling af allergi og atopisk sygdom.

Der er tvivlsom evidens for, at en nedsat eksponering for husstøvmider vil kunne forebygge nyopståen af allergi og atopisk sygdom i den generelle befolkning. Opretholdelse af et godt indeklima indebærer forholdsregler om f.eks. rengøring og udluftning. Disse enkle forholdsregler vil samtidigt kunne reducere eksponeringen for husstøvmider i indeklimaet, hvilket kan være ønskeligt for især den stigende andel af befolkningen, som allerede har allergi imod husstøvmider.

#### *6.3.5.2 Pelsdyrsallergener*

For pelsdyrsallergener er der ikke konsensus om, hvorvidt øget eksponering, fx i form af en hund eller kat i hjemmet, medfører øget risiko for IgE-sensibilisering imod pelsdyrsallergener. Resultater af epidemiologiske studier har således ikke været konsistente (Rønmark, 2003), (Linneberg, 2003), (Nielsen, 2002), (Liccardi, 2003). Det er endvidere blevet foreslået, at en høj eksponering for katteallergener, i modsætning til en lav til moderat eksponering, kan medføre udvikling af tolerans overfor katteallergener og dermed beskytte imod IgE-sensibilisering imod kat (Erwin, 2005). Det skal understreges, at de inkonsistente resultater muligvis kan forklares af metodemæssige svagheder og problemer, fx selektion af katte til familier med mindre disposition til allergi. En nedre grænse for eksponering for katteallergener, der kan give IgE-sensibilisering, angives til en koncentration af Fel d 1 i området 1 til 8  $\mu\text{m/g}$  støv (Liccardi, 2003).

Ligesom for husstøvmideallergener har det været svært at dokumentere, at eksponering for øgede koncentrationer af katteallergener i hjemmet faktisk også øger risikoen for udvikling (nyopståen) af astma (Lau, 2000).

Udsættelse for hund i hjemmet og en øget koncentration af hundeallergener synes ikke at være forbundet med en øget forekomst af IgE-sensibilisering imod hund. Flere studier har endda vist, at personer, der har været eksponeret for hund i hjemmet, har en lavere forekomst af IgE-sensibilisering imod allergener og allergisk sygdom (Svanes, 2003). Årsagen til denne mulige sammenhæng er ikke afklaret. En hund i hjemmet er dog blevet associeret med en øget forekomst af luftvejssymptomer.

#### **6.3.6 Allergeneksponering og forværring af allergisk sygdom**

Patienter med allergisk rinit og astma med IgE-sensibilisering imod husstøvmider eller pelsdyr udvikler rinit og astma ved eksponering for disse allergener i tilstrækkelig dosis. Symptomer og andre sygdomsparametre

korrelerer med graden af eksponering og udviser dermed en dosis-respons sammenhæng. Denne dosis-respons sammenhæng udviser betydelig variation fra person til person og over tid for den enkelte person. Dette vanskeliggør fastlæggelse af generelle dosis-respons sammenhænge. Der er konsensus om, at disse patienter bør undgå eller reducere eksponering for udløsende allergener. Metaanalyser af randomiserede interventionsstudier af effekten af husstøvmideallergensanering i hjemmet hos patienter med henholdsvis allergisk rinit og astma har dog ikke vist overbevisende effekt. Metode- og designmæssige problemer kan muligvis forklare dette.

### 6.3.7 Sammenfatning vedrørende allergener

Der foreligger god dokumentation for, at eksponering af allergikere for de allergener, som de er allergiske overfor, udløser symptomer og forværrer deres sygdom. Øget eksponering for husstøvmider synes at øge risikoen for IgE-sensibilisering imod husstøvmider. For pelsdyr er denne sammenhæng mere uafklaret. Om øget eksponering for allergener øger risikoen for udvikling (nyopståen) af allergisk sygdom er på nuværende tidspunkt usikkert. Manglende konsistens imellem resultater fra videnskabelige studier af effekten af eksponering for allergener kan formentlig tilskrives, at mange andre faktorer relateret til livsstil, miljø og arv, hvoraf flere må antages endnu at være ukendte, har væsentlig indflydelse på effekten af allergeneksponering.

### 6.3.8 Passiv rygning

Passiv rygning kan give anledning til forøget risiko for hjertekarsygdomme og kræft samt luftvejslidelser særligt hos børn.

Risikoen for hjerte- karsygdomme øges ved udsættelse for passiv rygning. I en metaanalyse (IARC 2002) fastslås det, at der er en direkte sammenhæng mellem passiv rygning og coronar hjertesygdom. Det fremgår endvidere, at kraftig passiv rygning øger risikoen for en akut hjertesygdom med 25-35 %. I 1999 var der i Danmark 140.000 indlæggelser for hjertekarsygdomme. Hvis man anvender et forsigtigt skøn på den forøgede risiko for hjertekarsygdom ved ikke rygeres udsættelse for passiv rygning på 1,15 i forbindelse med de 140.000 indlæggelser, der årligt forårsages af hjertekarsygdomme, vil dette føre til et usikkert estimat på forebyggelige indlæggelser på 4.300 ekstra indlæggelser forårsaget af passiv rygning pr år. Denne beregning baseres på at ca. 85.000 indlæggelser forekommer blandt ikke-rygere (RR for hjertekarsygdomme for rygere = 1,2 og prevalensen af rygning 0,33) og en forudsætning i overensstemmelse med (Keiding et al 2003), om at 33 % af ikke-rygerne er udsat for passiv rygning i mindst en time om dagen.

Metaanalyser viser, at der er en statistisk signifikant og konsistent sammenhæng mellem risikoen for lungekræft hos ægtefæller til rygere, og den grad af røg de udsættes for fra deres rygende ægtefælle. Jo højere udsættelsesgrad, jo højere risiko. Den forøgede risiko er for kvindernes vedkommende 20 % og for mændenes 30 %. Endvidere viser metaanalysen, at der er en statistisk signifikant forhøjet risiko for lungekræft på 16-19 % blandt aldrig rygere, som er udsat for passiv rygning på deres arbejdsplads (IARC 2002).

Også sammenhængen mellem passiv rygning og skadelig påvirkning af luftvejsystemet er påvist. Hos voksne er denne sammenhæng tydeligst for passiv rygning og kroniske luftvejslidelser. Også helbredstilstanden hos personer med overfølsomheds sygdomme kan forværres.

Sundhedsstyrelsen har estimeret, at passiv rygning samlet set medfører mindst 150 dødsfald årligt, mens en ny rapport (Smokefree Partnership 2006) anfører, at tallet af ekstra dødsfald i Danmark p.g.a. passiv rygning hos ikke rygere kan være så stort som 428 årligt.

#### 6.4 Litteratur

Afshari A. og Ekberg L. E. (2003). Fina och Ultrafina partiklar i inomhusluft: Betydelsen av föroreningskällor inomhus. Miljø og sundhed. ISMF (Indenrigs- og Sundhedsministeriets Miljømedicinske Forskningscenter). 23 s. 3-8

Bornehag, C.-G., Blomquist, G., Gyntelberg, F., Järholm, B., Malmberg, P., Nordvall, L., Nielsen, A., Pershagen, G., Sundell, J. (2001): Dampness in buildings and health. *Indoor Air*, 11, 72-86.

Bornehag, C.-G., Sundell, J. (2002): Dampness in buildings as a risk factor for health effects. European multidisciplinary review of the entire literature (Euroexpo). Proc. of Indoor Air 2002, Monterey, Vol. 5, pp. 13-18.

Dockery D.W., Pope A.C. III, Xu X. (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N Engl J Med*. 329:1753-9.

Erwin E.A., Custis N., Ronmark E., Wickens K., Sporik R., Woodfolk J.A. (2005). Asthma and indoor air: contrasts in the dose response to cat and dust-mite. *Indoor Air*. 15 Suppl 10:33-39.

IARC. (2002). Involuntary smoking, Summary of Data Reported and Evaluation. Vol. 83. International Agency for Research on Cancer

Iversen M., Korsgaard J., Hallas T., Dahl R. (1990). Mite allergy and exposure to storage mites and house dust mites in farmers. *Clin Exp Allergy*. 20(2):211-219.

Keiding L., Gunnarsen L., Rosdahl N., Machon M., Møller R., Valbjørn O. (2003). Miljøfaktorer i danskernes hverdag – med særligt fokus på boligmiljø. Statens Institut for Folkesundhed i samarbejde med Statens Byggeforskningsinstitut. København.

Kuehr J., Frischer T., Meinert R., Barth R., Forster J., Schraub S. (1994). Mite allergen exposure is a risk for the incidence of specific sensitization. *J Allergy Clin Immunol*; 94(1):44-52.

Lau S., Illi S., Sommerfeld C., Niggemann B., Bergmann R., von Mutius E. (2000). Early exposure to house-dust mite and cat allergens and development of childhood asthma: a cohort study. Multicentre Allergy Study Group. *Lancet*. 356(9239):1392-1397.

Liccardi G., D'Amato G., Russo M., Canonica G.W., D'Amato L., De Martino M. (2003). Focus on cat allergen (Fel d 1): immunological and aerodynamic characteristics, modality of airway sensitization and avoidance strategies. *Int Arch Allergy Immunol*. 132(1):1-12.

Linneberg A., Nielsen N.H., Madsen F., Frølund L., Dirksen A., Jørgensen T. (2003). Pets in the home and the development of pet allergy in adulthood. The Copenhagen Allergy Study. *Allergy*. 58:21-26.

Loft S., Raaschou-Nielsen O., Hertel O. og Palmgren F. (2003). Sundhedsmæssige effekter af partikulær luftforurening. miljø og sundhed supplement nr. 2: Helbredseffekter af luftforurening. ISMF (Indenrigs- og Sundhedsministeriets Miljø-medicinske Forskningscenter). s. 13-19.

Nielsen G.D., Hansen J.S., Lund R.M., Bergqvist M., Larsen S.T., Clausen S.K. (2002). IgE-mediated asthma and rhinitis I: a role of allergen exposure? *Pharmacol Toxicol*. 90(5):231-242.

Parvaneh S., Kronqvist M., Johansson E., Hage-Hamsten M. (1999) Exposure to an abundance of cat (Fel d 1) and dog (Can f 1) allergens in Swedish farming households. *Allergy*. 54(3):229-234.

Ronmark E., Perzanowski M., Platts-Mills T., Lundback B. (2003). Four-year incidence of allergic sensitization among schoolchildren in a community where allergy to cat and dog dominates sensitization: report from the Obstructive Lung Disease in Northern Sweden Study Group. *J Allergy Clin Immunol*. 112(4):747-754.

Raaschou-Nielsen O., Palmgren F., Solvang Jensen S., Wählin P., Berkowicz R., Hertel O., Vrang M-L., Loft S. (2002). Helbredseffekter af partikulær luftforurening i Danmark – et forsøg på kvantificering. *Ugeskr Laeger*. 34:3959-63.

Smoke Free Partnership. Lifting the smoke-screen - 10 reasons for a smoke free Europe. European Respiratory Society, Brussels, 2006.  
[http://www.ersnet.org/ers/show/default.aspx?id\\_attach=13509](http://www.ersnet.org/ers/show/default.aspx?id_attach=13509).

Sundhedsstyrelsens hjemmeside:  
[http://www.sst.dk/Nyheder/Seneste\\_nyheder/passiv\\_rygning\\_kampagne\\_04.aspx?lang=da](http://www.sst.dk/Nyheder/Seneste_nyheder/passiv_rygning_kampagne_04.aspx?lang=da)

Svanes C., Heinrich J., Jarvis D., Chinn S., Omenaas E., Gulsvik A. (2003). Pet-keeping in childhood and adult asthma and hay fever: European community respiratory health survey. *J Allergy Clin Immunol*. 112(2):289-300.

Wahn U., Lau S., Bergmann R., Kulig M., Forster J., Bergmann K. (1997). Indoor allergen exposure is a risk factor for sensitization during the first three years of life. *J Allergy Clin Immunol*. 99(6 Pt 1):763-769.

# 7 Forslag til tværgående analyser

## 7.1 Baggrund

Reelle kvalitetsforbedringer på indeklimaområdet kan kun prioriteres på baggrund af udbygget viden om indeklima og sundhed. På følgende områder er særligt behov for en forøget indsats. Områderne er valgt, fordi de i særlig grad byder på muligheder for at nå reelle forbedringer, fordi der ikke er dækkende viden på området, og fordi de repræsenterer områder, der er under udvikling.

## 7.2 Boligforhold

Danskere bor under meget forskellige forhold. Boligerne er opført over mere end 100 år under skiftende regler og tekniske muligheder. Ifølge Byggeloven er det bygherrens eller bygningsejerens ansvar at bygninger holdes i forsvarlig stand og ikke frembyder fare for beboerne. Men der findes dog ikke noget formaliseret tilsyn med overholdelsen af denne regel. Det er generelt op til kommunalbestyrelserne at sikre at reglen er overholdt. Kommunalbestyrelserne har dog ikke til opgave at inspicere boliger uden særlig mistanke om utilfredsstillende forhold. I det omfang at ny viden skabes om sundhedsfarlige forhold i den eksisterende boligmasse kan der blive tale om lovgivning også med direkte betydning for den eksisterende boligmasse. Dette er myndighederne dog generelt meget tilbageholdende med da det kan påføre boligejerne store og uforudseelige udgifter. Markedskræfterne i forbindelse med salg og udlejning påvirker naturligvis også boligstandarden.

Det kan således både forekomme at beboerne ved deres adfærd skader en bolig, at gamle boliger ikke opgraderes i takt med nye muligheder, og at fejl, nedslidning og skader, der ikke udbedres, får boligerne til at forfalde. Sådanne mangler kan bevirke, at boligerne skader beboernes sundhed akut eller efter flere års ophold.

Beboerne har et meget stort ansvar for, at indeklimaet er sundhedsmæssigt tilfredsstillende. Deres adfærd – både når det gælder udluftning, rengøring, brug af stearinlys og brændeovne, tilførsel af fugt ved tøjvask og madlavning og meget mere – kan forårsage sygdomme eller ved hensigtsmæssig adfærd medvirke til at opretholde et godt indeklima. Beboerne kan også introducere en række øvrige forureningskilder. Det kan blandt andet være rengøringsmidler, blade og tryksager, elektriske apparater, computere, playstations, hobbyvirksomhed og lignende. Endvidere vil tobaksrygning være en meget alvorlig forureningskilde overalt, hvor det forekommer indendørs.

Byggevarer kan indeholde kemikalier (f.eks. bekæmpelsesmidler), der enten er en unødvendig risiko for mennesker inden døre, eller som direkte kan være sundhedsskadelige. Mange byggevarer afgiver endvidere lugtende komponenter, som giver unødvendige forværringer af den oplevede luftkvalitet. Indeklimamærkningsordningen for byggevarer der er en frivillig mulighed for byggevarerproducenterne om at kunne få undersøgt og dokumenteret varernes betydning for indeklimaet kan give forbrugerne en vis

vejledning herom. Der er dog behov for at udbrede kendskabet til denne ordning og eventuelt at medtage flere forhold end de nuværende flygtige organiske forbindelser og mineralfibre i vurderingen under denne ordning. Det kunne være forhold som kræft og allergi.

Baseret på danskernes lange opholdstid i egen bolig og den store variation i boligforholdene er det oplagt, at forholdene har stor betydning for folkesundheden. Boligforholdene må formodes at have stor betydning for forekomsten af symptomer som hovedpine og øjenirritation samt sygdomme som kræft, allergi, infektioner og hjertekarsygdomme – også langt større end tidligere fundet i undersøgelser af begrænset omfang. Der er behov for en styrket målrettet informationsindsats for at sikre en god bolighygiejnisk adfærd. Denne styrkelse vil eventuelt kunne nås via ansættelse af boligmiljøkonsulenter i kommunerne.

Boligstørrelse, -beliggenhed og -kvalitet afhænger af beboernes økonomiske muligheder, og der er derfor betydelig samvariation mellem sociale forhold og boligstandard. De sociale forhold har også stor betydning for forekomsten af mange sygdomme. Bl.a. derfor er det vanskeligt at gennemføre mindre undersøgelser af boligforholdenes betydning for folkesundheden. Der er dog ikke desto mindre et stort behov for mere viden, således at indsatsen for at fjerne de mest sundhedsskadelige forhold fra danskernes boligmiljø kan målrettes og baseres på solid viden.

I forbindelse med skabelse og nyttiggørelse af viden på dette område er det et generelt problem, at mange af indeklimaets påvirkninger kan give forøget risiko for komplekse sygdomme som infektioner, kredsløbssygdomme, kræft og allergi, hvor også arv, livsstil og arbejdsmæssige påvirkninger kan have betydning. For at skabe viden, der kan føre til reelle forbedringer, er det nødvendigt med en større national indsats for at kunne udskille de enkelte påvirkninger i indeklimaets betydning for folkesundheden. I Danmark har man særligt gode erfaringer med sådanne koordinerede tværgående forskningsbaserede indsatser. Rådhusundersøgelsen (Skov et al., 1989) der blev påbegyndt i 1983 har haft stor betydning for afhjælpningen af indeklimaproblemer i kontorer både nationalt og Internationalt. Forskningsprogrammet "Skimmelsvampe i bygninger" (Gravesen et al., 2002), der blev afsluttet i 2003, er et nyere eksempel på en succesfuld tværgående forskningsindsats til forbedring af indeklimaet. Programmet var særligt rettet mod skoler.

Det foreslås derfor, at der gennemføres et større dansk forskningsarbejde med det formål at identificere muligheder for at reducere boligmiljøets betydning for forekomsten af symptomer og sygdomme. Arbejdet kan kun gennemføres i større skala med bidrag fra fagområder med ekspertise til at karakterisere eksponeringsforhold, sundhedseffekter og byggeteknik samt epidemiologisk og toksikologisk ekspertise.

### 7.3 Ventilation

Bygninger ventileres for at kontrollere indetemperaturen og for at fortynde fugt og forurening fra kilder inde i bygningerne. Dette er meget energiforbrugende. Opvarmning af den tilførte udeluft kræver energi, og transporten af luften forbruger desuden ofte en del elektricitet til drift af ventilatorer. Mange bygningsbrugere oplever gener ved for lav ventilation i form af for høje temperaturer eller indelukket kvalm luft. Gener ved for høj ventilation opleves ikke i samme grad, selv om temperaturen dog kan blive lav

ved kraftig udluftning i kolde perioder, hvis varmesystemerne ikke har tilstrækkelig kapacitet.

Tilpasningen af ventilationen er dermed ikke lige så entydig som for eksempel tilpasningen af temperaturen, hvor både høje og lave temperaturer giver gener. Konflikter mellem bygningsbrugere og de budgetansvarlige for bygningsdriften kan derfor let opstå. Bygningsbrugerne betaler med gener ved lav ventilation, og de budgetansvarlige betaler ekstra for energien ved høj ventilation.

Det opleves af mange særligt positivt at have indflydelse på temperatur, luftkvalitet, belysning og mange andre forhold ved omgivelserne. Styringen af de klimaregulerende installationer sker dog ofte via komplicerede automatiksystemer, og i de tilfælde oplever brugerne utilstrækkelig indflydelse på egne omgivelser.

Mekanisk ventilation kan give anledning til gener som støj og træk. Mange boligventilationssystemer bliver snavsede. Snavs kan drysse ud af udsugningsåbninger og sætte sig som synlige plamager omkring åbningerne. Dette kan være særlig udtalt ved forkert indstillede anlæg eller anlæg med andre fejl. Disse gener kan ofte medføre, at brugere forsøger at lukke eller ændre på indstillingen af deres ventilationsventil. Dermed forøges sandsynligheden for, at forholdene i andre rum, der betjenes af samme anlæg, forringes kraftigt.

De våde komponenter, såsom køleflader og befugtere, udgør en særlig risiko. På fugtige og snavsede overflader omkring disse komponenter kan der forekomme udbredt skimmelsvampevækst. Fladerne skal være tilgængelige og holdes rene. Men der er talrige eksempler på manglende inspektion og deraf følgende langvarig vækst. Ventilationsfiltre og generel ophobning af snavs i anlæggene udgør en anden kilde til forurening af den tilførte udeluft allerede før den tilføres rummene.

Byggevarer er ofte væsentlige kilder til forringet luftkvalitet og dermed af stor betydning for ventilationsbehovet. På den baggrund er den danske mærkningsordning for byggevarer indført som et frivilligt tilbud om overfor forbrugerne at kunne dokumentere gode egenskaber for enkeltstående byggevarer i forhold til indeklimaets kvalitet. Der er behov for en styrkelse af mærkningsordningen, så prøvningerne i højere grad afspejler de påvirkninger, herunder oksidationsprocesser, som byggevarerne udsættes for i bygninger.

Effekten af at reducere forureningen fra materialer bør undersøges med henblik på at fastlægge/vurdere ventilationsbehov og energiforbrug til ventilation af bygninger ved forskellige valg af materialer og inventar.

En undersøgelse i københavnske skoler (Meyer et al., 2004) har vist en forøget forekomst af gener og symptomer blandt eleverne i de skoler, der har mekanisk ventilation. Samtidig viser andre undersøgelser, at produktiviteten blandt kontoransatte kan forøges ved forøget mekanisk ventilation (Wargocki et al., 2002). Disse delvis modsatrettede resultater kan meget vel hænge sammen med nogle af ovennævnte problemer og forklaringer. Der er dog behov for mere sikker viden om årsagerne til, at mange ventilationsanlæg ofte findes i bygninger med et ringe indeklima på trods af, at hele begrundelsen for at de installeres, er at de skal forbedre forholdene.

Der mangler et dækkende, rationelt grundlag for energiøkonomisk ventilation af bygninger, der tilgodeser bygningsbrugernes behov. De store udfordringer i den forbindelse er brugernes behov for individuelle tilpasninger, fastlæggelse af ventilationsbehov og systemløsninger, der muliggør løbende behovstilpasninger af luftsiftet og identifikation og reduktion af forureningskilder i selve ventilationssystemerne. Et eller flere forsknings- og udviklingsprojekter bør startes på dette område.

#### 7.4 Partikler

For de fleste danskere er partikeleksponeringen i boligen afgørende for den samlede eksponering for partikler. Forståelsen for fine og ultrafine partiklers helbredsskadelige effekter stammer i første omgang fra studier i udeluften. Studier i USA og Europa har vist, at udsættelse for partikler er forbundet med en øget sygelighed og en øget dødelighed i befolkningen. Det skønnes, at udeluftforureningen er årsag til en overdødelighed på ca 3.400 personer pr. år i Danmark. I indeklimaet er der pga. bidrag også fra indendørs kilder en højere koncentration af grove partikler end udendørs, og visse aktiviteter som fx afbrænding af stearinlys og cigaretrykning fører til koncentrationer af fine og ultrafine partikler, der langt overstiger de niveauer, man observerer udendørs. Alligevel er der kun meget sparsomme oplysninger om effekten af partikler i indemiljøet på helbredet.

Passiv rygning fører til en øget forekomst af hjertekarsygdomme, øget luftvejssygelighed blandt småbørn og til en øget risiko for lungekræft. Det skønnes af børnelæger, at den altovervejende andel af indlæggelser for luftvejslidelser blandt småbørn skyldes udsættelse for tobaksrøg i hjemmet. Der mangler dog viden om dosis-responsforhold såvel som om eksponeringsforholdene i danske hjem.

Partikelforureningen i indeluften skyldes indtrængning af partikler udefra sammen med ventilationsluften og de indre partikelkilder. En del af partiklerne afsættes på indvendige overflader eller i ventilationsåbninger og -systemer. Andre føres ud med ventilationen. Indtrængningen er normalt størst i naturligt ventilerede bygninger, hvor ventilationsluften ikke filtreres. Vi ved noget, men ikke nok, om de faktorer, der er af betydning for koncentrationen af partikler i indemiljøet, som fx karakterisering af de indre partikelkilder, sammenhængen til udeluftens koncentration af partikler og den transport, der til stadig foregår mellem de enkelte rum og boligenheder i en bygning.

Det er uklart om de dosis-responsforhold der gælder for sammenhængen mellem partikelkoncentrationen i udeluften og helbredseffekterne også gælder for indeklimaet. Men der eksisterer dog en formodning om at forbrændingsrelaterede partikler ikke vil være mindre skadelige i indeluften end i udeluften.

Partikler i ude- og indeluften vurderes at forårsage betydelig sygelighed i luftvejene specielt blandt småbørn, og betydelig overdødelighed af lungekræft, luftvejslidelser og hjertekarsygdomme. Partikelforureningen er den største erkendte miljørelaterede sundhedsfare for befolkningen. Der mangler dog viden mht. karakterisering af partikler, især indendørs, og mht. hvilke karakteristika der har særlig betydning for sundhedsforhold.



## 7.5 Astma og allergi

Forekomsten af overfølsomhed, allergi og astma har været stigende over de seneste årtier. Det antages at der i samme periode er sket væsentlige ændringer i indeklimaet. Dette har medført øget fokus på indeklimatefaktorerens betydning for disse sygdommes udbredelse. Adskillige faktorer i indeklimaet kan udløse symptomer og forværre sygdomsgraden hos personer med overfølsomhed, allergi og astma. Eksponeringen for disse faktorer er ofte udbredt, hvorfor de potentielt kan have stor betydning for forekomsten af symptomer på befolkningsniveau. Vores viden på dette område er begrænset.

Eksponering for allergener i indeklimaet er udbredt, men effekterne heraf, herunder dosis-responsforhold, er endnu ufuldstændigt belyst. Der er konsensus om at allergikere, så vidt det er muligt, bør undgå eller reducere allergeneksponering. Eksponering for husstøvmideallergener øger risikoen for sensibilisering imod husstøvmider, mens denne sammenhæng er usikker for pelsdyrsallergener fra fx kat og hund. Det er endvidere endnu usikkert, om det er muligt at forebygge nyopstået allergisk sygdom og astma ved reduktion af allergener i indeklimaet.

Eksponering for phthalater, som er en gruppe af blødgørere i plast, er udbredt. Enkelte studier har rejst mistanke om at phthalater kan have en forstærkende virkning på andre allergener og at der kan være en sammenhæng med astma, men dette er endnu ikke afklaret. Eksponering for skimmelsvampe og endotoxiner er ligeledes blevet relateret til øget forekomst af overfølsomhedssymptomer, men effekterne og de underliggende mekanismer er komplicerede og ufuldstændigt belyste. Dette understreges af, at eksponering for mikroorganismer og mikrobielle komponenter som fx endotoxiner menes at kunne have en beskyttende effekt over for allergi.

Eftersom ovennævnte eksponeringer alle er udbredte i danske boliger, bør studier af effekter af indeklimatefaktorer være i stand til at kunne bestemme de uafhængige effekter af de enkelte faktorer og tillige kunne tage højde for andre relevante faktorer, f.eks. livsstilsfaktorer og genetiske faktorer. For eksempel er fugt associeret med øget forekomst af luftvejssymptomer. De underliggende mekanismer for effekten af fugt er imidlertid ukendte, og fugt er samtidigt relateret til forekomst af skimmelsvampe og husstøvmider samt livsstil. Væsentlige fremtidige udfordringer vil således være at udvikle passende epidemiologiske studier og biomarkører for eksponering for indeklimatefaktorer med henblik på at opnå større viden om indeklimaets betydning for overfølsomhed, allergi og astma. Denne udfordring kan kun løses gennem en tværfaglig indsats.

## 7.6 Fugt

Fugt i boliger er i mange undersøgelser blevet knyttet til forekomsten af gener såvel som sygdom. Senest har en række reviewartikler beskæftiget sig med fænomenet, og den samstemmende konklusion har været, at fugten – men i mindre grad de kendte afledte konsekvenser som vækst af skimmelsvampe og andre mikroorganismer – findes koblet til gener som hovedpine og træthed og til sygdomme som astma og høfeber. Forskningsprogrammet "Skimmelsvampe i Bygninger" påviste, at der var en positiv sammenhæng mellem skimmelsvampe i gulvstøvet og symptomer, når man først tog højde for andre parametre som halsinfektioner, stress og mobning. Dog har nyere studier af højriskobørn vist at skimmelsvampe i indeklimaet er forbundet med en øget risiko for astmatiske symptomer i de første leveår.

Årsagerne til fugt i boligen såvel som de afledte effekter heraf er mangesidede. Fx. trives husstøvmider bedst i fugtige omgivelser, og det samme gør sig gældende for mikroorganismer. Til gengæld tyder nylige forskningsresultater på, at frigørelsen af komponenter fra disse mikroorganismer øges, når boligen tørrer ud, hvilket kan vanskeliggøre en tydning af sammenhængen mellem udsættelse og effekt.

Fugt kan også føre til en øget nedbrydning af byggevarer som fx. vinylbelægnings på vægge eller gulve med deraf følgende øget udsættelse for kemiske komponenter, der frigøres under nedbrydningen af disse. Et eksempel på dette kunne være den sammenhæng mellem astma/høfeber og fugt, der blev fundet i tværsnitsundersøgelsen af børn i Värmland. Da man undersøgte de børn, der blev ved med at have symptomer i en treårs periode, og sammenlignede med en kontrolgruppe, som ikke havde symptomer, fandt man, at indholdet af phthalater i hjemmet var forbundet med en øget forekomst af astma/høfeber.

Der er derfor behov for en udredning af fugt som indeklimaproblem i en undersøgelse af boligforholdene i Danmark. Hvilke indeklimaparametre ændres, når boligen er fugtig, hvilke parametre er bestemmende for fugtophobningen, og hvilke parametre er bestemmende for beboernes udsættelse, når boligen er fugtig?

## 7.7 Arbejds miljø

Arbejds miljø er ikke behandlet fyldestgørende i denne rapport, men da de bygningsrelaterede påvirkninger i kontorer og skoler normalt opfattes som en del af indeklimaområdet, er problemstillinger, der i særlig grad er under udvikling, i kontorer, skoler og daginstitutioner omtalt nedenfor.

### 7.7.1 Storrums kontorer

Flere og flere kontoransatte arbejder i storrums kontorer, hvor mange har deres daglige arbejdsplads placeret i samme rum. Der kan anføres flere årsager til denne udvikling. For det første et ønske om effektivisering gennem at gøre kommunikation lettere og beslutningsprocesser hurtigere inden for organisationen. En anden og tungtvejende årsag er, at der kan placeres flere arbejdspladser på samme antal kvadratmeter, når arealet ikke er delt op i cellekontorer. Endelig synes der er at være gået mode i storrums kontorer. For mange virksomheder er det vigtigt at have et image der udtrykker, at de er med i de nyeste udviklinger.

Imidlertid viser flere undersøgelser, at i sammenligning med ansatte, der arbejder i individuelle kontorer, er medarbejdere i storrums kontorer mere generede af støj og af det stress, der følger af vanskeligheder ved at kunne koncentrere sig, fordi de bliver forstyrrede af aktiviteter, der foregår andre steder i rummet. Undersøgelser af luftkvalitet og indeklima falder ligeledes på næsten alle de spørgsmål, der kan stilles gennem spørgeskema, ud til de individuelle kontorer fordel. Kun belysningen udgør her en undtagelse, hvor man ikke kan konstatere større utilfredshed i storrums kontorer.

Ofte er den selvrapporterede produktivitet også mindre i storrums kontorer. Dette står således i skarp kontrast til den argumentation, der hævder, at ansatte i storrums kontorer har en højere produktivitet.

Udviklingen med stigende brug af storrumskontorer er sket uden baggrund i forskningsresultater. Stress og indeklimarelaterede sygdomme er en belastning for såvel den enkelte som for samfundet, men også gener, der ikke er direkte sygdomsfremkaldende, kan reducere både trivsel og produktivitet i negativ retning.

Der er således behov for en systematisk kortlægning af arten og omfanget af de ofte meget store gener, ansatte oplever i storrumskontorer. Endvidere savnes der viden om sammenhængen mellem forskellig fysisk udformning og indretning af kontorerne med henblik på at fremsætte forslag til, hvorledes generne kan reduceres. Endelig savnes der en forskningsbaseret diskussion af validiteten af argumenterne om, at storrumskontorer giver besparelser på bygningsdriften og forøgelse af produktiviteten.

### 7.7.2 Skoler

Indeklimaet i skolerne har betydning for børn og unges sundhed og indlæringsevne. På baggrund af et stigende antal skolesøgende børn og de nyeste pædagogiske retningslinjer, hvor der lægges større vægt på individuelt tilpasset undervisning, skal nye skolebygninger i højere grad kunne rumme arbejde i både små og store grupper. Samtidig udvides skolernes åbningstider og skolerne rummer i stigende grad mediecentre, fritidsordninger, eftermiddags- og aftenskole, sportsaktiviteter mm.

Skolebygninger har desuden en særlig funktion i kraft af at børn og unge her modtager tidlige og væsentlige erfaringer og referencer vedrørende brugen af bygninger og indeklimaets påvirkninger. Et dårligt indeklima vil kunne reducere elevernes udbytte af undervisningen. Et uforståeligt eller uforudsigeligt indeklima vil forringe elevernes muligheder for at forstå væsentlige sammenhænge mellem bygninger, miljø og sundhed. På den baggrund er det særligt vigtigt at skolernes indeklima er godt, robust og i nogen grad forståeligt og forudsigeligt.

Der er behov for mere viden om betydningen af indeklimaets kvalitet herunder udeluftskifte, støj, lysforhold, og areal per elev for trivsel og læring i skolerne. Derudover er der behov for at identificere og vejlede om de muligheder for fleksibel brug af klasserum der kan bidrage positivt til hverdagen i en skole.

### 7.7.3 Daginstitutioner

Et område, hvor Danmark i særlig grad har oplevet ændringer inden for de sidste 20-40 år, og hvor danske forhold i dag adskiller sig markant fra de fleste lande omkring os, er pasningen af børn under skolealderen. De fleste børn mellem 1 og 7 år opholder sig i daginstitutioner, hvor regler og praksis giver en i forhold til de fleste andre bygningskategorier høj persontæthed og høj koncentration af luftforurening relateret til personbelastningen.

Luftkvaliteten er dårlig i mange institutioner. Smittetrykket er meget højt, og børn i daginstitutioner såvel som forældre til børn i daginstitutioner oplever sygdomme relateret til infektioner dobbelt så ofte som andre. En reduktion af smittetrykket kan nås ved forbedret almindelig personlig hygiejne både blandt børn og ansatte. Det er muligt, at forbedringer også kan nås ved at give de enkelte børn mere plads, og ved at ventilationen forøges. En forøget ventilation vil både kunne forbedre luftkvaliteten, fortynde bakterier og vira og

samtidig sænke vandindholdet i indeluften, således at mikroorganismernes livsbetingelser forringes.

Støj giver anledning til betydelige gener blandt ansatte i institutioner og utvivlsomt også blandt børnene. De høje støjniveauer er resultatet både af stor persontæthed, ændret adfærd, manglende akustisk dæmpning og uhensigtsmæssig rumdisponering.

Der er behov for øget viden mht. fastlæggelse af ventilationsbehovet og ventilationsprincipper i daginstitutioner. Der er endvidere behov for udvikling af metoder til at sænke støjniveauet i institutioner baseret på en samlet vurdering både af adfærd, støjreducerende tiltag og rumdisponering.

## 7.8 Litteratur

Skov P., Valbjørn O., Gyntelberg F. og DISG. (1989). Rådhusundersøgelsen - Indeklima i kontorer. Arbejds miljøfondet.

Gravesen S., Nielsen P.A. og Valbjørn O. (2002). Skimmelsvampe i bygninger. SBI Resultater 020. Statens Byggeforskningsinstitut.

Meyer H.W., Wurtz H., Suadicani P., Valbjørn O., Sigsgaard T., Gyntelberg F. (2004). Molds in floor dust and building-related symptoms in adolescent school children. *Indoor Air*; 14(1):65-72.

Wargocki, P., Lagercrantz, L., Witterseh, T., Sundell, J., Wyon, D.P., Fanger, P.O. (2002). Subjective perceptions, symptom intensity and performance: a comparison of two independent studies, both changing similarly the pollution load in an office. *Indoor Air*, 12, 74-80.

## 8 Konklusion

I rapporten er givet en samlet beskrivelse af indeklimaområdet. I forlængelse af befolkningens store individuelle ansvar for deres eget indeklima indeholder den anbefalinger om, hvordan befolkningen skal forholde sig for at få det bedst mulige indeklima, både ved forebyggende og afhjælpende indsats. Området er præget af en betydelig magel på forskningsbaseret viden, der besværliggør prioritering af indsatsen fra myndighedernes side. Der er dog umiddelbart behov for målrettet information om god bolighygiejnisk adfærd og bedre vejledning om og overvågning af indeklimaets kvalitet særligt for boliger. I det foregående kapitel er følgende områder identificeret som de mest relevante for en forøget forskningsindsats.

- Indeklimate i boligers betydning for folkesundheden.
- Bedre ventilationsanlæg.
- Farlighed og reduktion af partikeleksponering inden døre
- Betydningen af kemikalier i støvet i boliger
- Forståelse af fugt og fugtrelaterede processers betydning for sygdomme, gener og symptomer
- Vedrørende arbejdsmiljø og indeklima er der særligt brug for mere viden om gener og produktivitet i storrumskontorer, sygdomme, trivsel og læring i relation til udeluftskifte, støj, lysforhold, areal og fleksibilitet i skoler og børneinstitutioner

### 8.1 Risikohåndtering

Bygninger skal opføres i overensstemmelse med bygningsreglementet. Som hovedregel kan ændringer i byggelovens bestemmelser ikke forlanges opfyldt af bebyggelse, der eksisterede ved ændringens ikrafttræden. Enkelte bestemmelser i byggeloven har dog umiddelbart virkning for eksisterende bebyggelse, f.eks. skal en bygning holdes i forsvarlig stand, så den ikke frembyder fare for beboerne, og f.eks. ventilationskrav, der skal varetage sundhedsmæssige hensyn, skal være opfyldt gennem bygningens hele levetid. Kravet om vedligeholdelse af boliger kontrolleres dog ikke ved tilbagevendende tilsyn af myndighederne. Det er således ejerens ansvar at føre tilsyn med, om bygningerne forfalder eller bruges på en sådan måde, at de bliver sundhedsskadelige at opholde sig i. Arbejdstilsynet fører tilsyn med arbejdspladser og kan stille krav til vedligeholdelsen. Der er et behov for, at disse tilsyn med installationer, fugtrelaterede problemer og andet i relation til drift og vedligeholdelse forbedres særligt når det gælder boliger, og til dels også når det gælder arbejdspladser. Dette kunne ske ved at ansætte bolig- eller bygningskonsulenter i kommunerne til støtte for det opsøgende og vejledende arbejde med at sikre et godt indemiljø.

Boligforholdenes betydning for folkesundheden er formodentlig betydelig. Det er berettiget at gennemføre en undersøgelse heraf i Danmark.

Undersøgelsen skal have et betydeligt omfang for at håndtere de mange samvarierende parametre.

Rygning inden døre påfører beboere og ansatte unødvendige gener og sundhedsfarer, der kun i praksis kan reduceres ved at begrænse rygning inden døre. For småbørn er der specielt grund til at forebygge udsættelse for passiv rygning i hjemmet, og derfor bør der iværksættes fornyede/gentagne kampagner for at få småbørnsforældre til at stoppe rygning i hjemmet.

Fugt og vækst af mikroorganismer i bygninger giver unødigt risiko for sundhedsskader blandt bygningsbrugerne. Væksten kan føre til forøget symptomforekomst, til øget inflammation og eventuelt til følgesygdomme heraf. Væksten bør undgås, og der bør sikres hurtigere indgreb over for fugtskader, der kan føre til vækst. Risikoadfærd som reduceret udluftning, manglende brug af emhætte ved madlavning og tørring af tøj i opholdsrum bør begrænses ved informationskampagner og påbud.

Indendørs er det vigtigt kun at anvende produkter, som er egnet til det. For eksempel indeholder byggevarer til udendørs brug ofte bekæmpelsesmidler for at forebygge biologisk nedbrydning og dermed forlænge deres holdbarhed. Det er dog vanskeligt at sikre, at for eksempel malerverer til udvendigt brug ikke anvendes inden døre. Fortsatte informationskampagner for at undgå dette er nødvendige.

Individuel kontrol over indeklimaet opleves altid positivt af bygningsbrugere. Beboere og ansatte har gennem deres adfærd et meget stort ansvar for kvaliteten af det indeklima, de opholder sig i. Det, der i visse bygninger vil være en meget risikabel adfærd, kan foregå uden problemer i andre. Tøjtørring i opholdsrum kan føre til udbredt skimmelvækst i ældre boliger med begrænset isolering af ydervægge og nyrenoverede vinduer, mens nyere boliger med bedre isolering og deraf højere temperaturer på indvendige overflader vil være langt mere robuste over for denne risikobetonede adfærd. Der er et fortsat behov for oplysningskampagner for at forbedre den indeklimarelaterede adfærd. I den forbindelse er indsamling af oplysninger om oplevelsen af risiko i forbindelse med eksponeringer inden døre væsentlig for målretning af kampagnerne.

Radon fra undergrunden fører på grund af indtrængningen i boliger til omkring 250 årlige dødsfald i Danmark (ved den samtidige udsættelse for tobaksrøg, der er i Danmark). Dette viser, at radon har en af de højeste livstidsrisici blandt de erkendte sundhedsfarlige eksponeringer. Der er behov for at eftervise, at eksponeringen ikke forekommer i nyere byggeri, opført efter at opstrammede bestemmelser i bygningsreglementet er indført. Der kan endvidere være behov for systematisk at identificere boliger med særligt høje koncentrationer og sikre, at forholdene bliver forbedret.

## 8.2 Forekomsten af bygningsrelaterede sygdomme

I visse bygninger ses en overhyppighed af bestemte gener og symptomer. Dette kan have mange årsager hvoraf indeklimaets påvirkninger er en. Smitte med infektionssygdomme kan i nogen grad forebygges ved effektiv ventilation og gode pladsforhold. Forekomsten af allergi er stigende. Faktorer i indeklimaet, påvirker forløbet af astma og allergi, men viden om indeklimaets betydning for erhvervelse af sygdommene er fortsat mangelfuld. Kræft forårsaget af påvirkninger i indeklimaet begrænser sig altovervejende til luftvejene. Der er 3 vigtige eksponeringer i indemiljøet der kan føre til kræft,

nemlig radon, tobaksrøg og andre forbrændingsprodukter samt formaldehyd. Hjertekarsygdomme kan udvikles som følge af passiv rygning og høje partikelniveauer. Støj og måske utilstrækkelige lysforhold menes at kunne give anledning til stress, der også vil kunne føre til hjertekarsygdomme.

Indeklimaet i boliger, institutioner, skoler og kontorer har utvivlsomt stor betydning for forekomsten af flere sygdomme. Det drejer sig om allergi og astma, der været stigende forekomst af i befolkningen, giver reduceret livskvalitet og koster store summer til medicinering og sygedage. Samtidig giver indeklimaet et bidrag til sygeligheden af store folkesygdomme som infektionssygdomme, kræft og hjertekarsygdomme, der er den mest almindelige dødsårsag i Danmark. For disse folkesygdomme, der rammer mange og koster mange sygedage, vil selv en beskedent stigning i sygeligheden relateret til indeklimaet have stor betydning for folkesundheden og samfundsøkonomien. Vi har dog begrænset viden både om de præcise årsagssammenhænge og om størrelsesordenen af effekterne. Myndighedernes handlemuligheder er derfor begrænsede.

Boligforholdenes betydning for folkesundheden er betydelig, men videngrundlaget for at gennemføre forbedringer er på flere områder stærkt begrænset. Videnskabelige undersøgelser heraf vanskeliggøres af boligforholdene og sygdomsforekomstens samvariation med sociale, kulturelle og regionale forskelle. Infektionssygdomme, hjertekarsygdomme, kræft og allergiske sygdomme anses for i særlig grad at kunne udløses af miljøpåvirkninger i boliger og på arbejde. På grund af de mange confoundere kan disse forhold formodentlig bedst studeres i meget store tværvideenskabelige projekter. Der er kun gennemført enkelte undersøgelser af folkesundhed og boligforhold i Danmark og også internationalt set. Tidligere undersøgelser har oftest meget upræcise tal for eksponeringsforholdene og flere af undersøgelserne også for sygeligheden. Der er dog gode erfaringer med brede indeklimaundersøgelser i Danmark. Rådhusundersøgelsen og forskningsprogrammet "Skimmelsvampe i bygninger", der fokuserede på skoler, har vist, at der kan findes og anvises forbedringer på indeklimaområdet i Danmark. Det er berettiget at gennemføre en bred undersøgelse af boligens indeklima i Danmark.

### 8.3 Eksponeringer i boliger, institutioner, skoler og kontorer

Der er en stærk sammenhæng mellem fugt i bygninger og risiko for helbredseffekter. Påvirkningerne med allergener fra husstøvmider, pelsdyr, skimmelsvampe, og pollen foregår i væsentlig grad inden døre. Forurening fra byggevarer kan give alvorlige lugtgener i bygninger. Ventilationsbehov og energiforbrug til ventilation i bygninger kan reduceres, når der anvendes lavforurenende materialer. Der er behov for bedre forståelse af, hvilke kemiske stoffer, der er ansvarlige for lugtgener i indeluften. Denne viden vil også muliggøre en målrettet produktudvikling af mere indeklimavenlige byggevarer.

Byggevarer er en væsentlig kilde til forurening af indeluften. Lugtgenerne fra mange nye gulvbelægninger og malervarer er blevet mindre gennem de sidste 10 år. Der er behov for at fortsat anspore byggevarereproducenter til at reducere denne emission mest muligt.

Baseret på dyreforsøg er flere typer af kemiske forbindelser, som forekommer i indeklimaet, mistænkt for at promovere allergi (adjuvans). Phthalater som er en gruppe af blødgørere i plast har vist sig at være relateret til astma og høfeber i flere studier i Skandinavien indenfor de sidste år. Det anses dog

stadig for usikkert om eksponeringen i indeklimaet direkte kan føre til udvikling af allergisk sygdom. Undersøgelser har dog samtidigt vist, at phthalater er en eksponering, som stort set alle børn i Danmark er udsat for, så selv en lille risikostigning vil have stor betydning for forekomsten af astma og høfeber blandt danske børn.

Støj kan give invaliderende høreskader på niveauer, der sjældent forekommer i indeklimaet. På lavere niveauer virker støj generende, og den kan bidrage til et forhøjet stressniveau. Støj i boligen kan desuden føre til reduceret søvnkvalitet og muligvis til mere alvorlige sygdomme relateret til langvarigt stress. Der er begrænset viden om omfanget af disse skader og dermed et delvist utilstrækkeligt videngrundlag for at gennemføre støjbegrænsende foranstaltninger ved boligområder. Der er behov for mere viden om helbredseffekter af lave støjniveauer under grænsen for høreskader. På linie hermed er der behov for undersøgelser der dokumenterer at lyskvalitet både om dagen og om natten har betydning for stressrelaterede sundhedseffekter.

Støv i bygninger indeholder ofte giftige eller problematiske kemikalier som problematiske grundstoffer, phthalater, og både ældre og nyere bekæmpelsesmidler. Der er usikkerhed om såvel kilderne til denne kontaminering som om de mulige sundhedseffekter heraf.

Den luftbårne partikelforurening fører til en øget risiko for hjerte kar sygdomme. Partikelforurening fra udendørs kilder skønnes at bidrage med så mange som 3400 ekstra dødsfald på årsplan i Danmark. Der er betydelig usikkerhed om størrelsen og effekterne af partikelkilderne inden døre. Men den daglige eksponering i indeklimaet overgår med stor sandsynlighed, den dosis vi får fra udeluften. Der findes flere muligheder for at reducere eksponeringen ved indgreb i boliger, som reduktion af partikelkilder indendørs, forøgelse af ventilationen, filtrering af indeluften og hensigtsmæssig placering af luftindtag.

I Danmark er der et særligt behov for at reducere eksponeringen for partikler, radon, formaldehyd, kvælstofdioxid og benzen inden døre. Derudover er der utilstrækkelig viden om eksponeringen og sundhedsmæssige effekter af en række kemiske forbindelser herunder phthalater og PCB'er.

#### 8.4 Byggeteknik

Bygninger har ofte en holdbarhed over 100 år, men dele af bygningerne holder kortere. En drifts- og vedligeholdelsesplan med forventet art, omfang og frekvens af rengøring og vedligeholdelse bør udarbejdes for alle bygninger.

Det er vigtigt at styrke beredskabet for hurtig afhjælpning af fugtskader. Fugtproblemer kan undgås i nyere bygninger ved hurtige indgreb overfor skader. I ældre bygninger kan fugtproblemer også skyldes nedslidte konstruktioner, opstigende grundfugt og kondensation på ved kuldebroer og andre kolde overflader. Mange fugtproblemer i ældre boliger skyldes endvidere forkert udført efterisolering eller utilstrækkelig ventilering bl.a. efter tætningsarbejder eller vinduesudskiftninger.

Etageejendomme har sjældent lufttætte skel mellem lejlighederne. Dette giver ofte generede nabolugt. Lugtgener i boliger, pga. nabolugt, kan reduceres med baggrund i ny viden om ventilationsluftens bevægelser imellem lejligheder.



Nye huse udføres formodentlig således at radon ikke trænger ind. Der er dog behov for at mindske radoneksponeringen i flere ældre boliger.

Mekanisk ventilation kan give anledning til gener og symptomer blandt bygningsbrugere. Dette skyldes ofte utilstrækkelig vedligeholdelse eller u hensigtsmæssig drift. Ventilationsanlæg indeholder desuden ofte en række kilder til luftforurening. Det kan være filtre med støv og snavs, fugtige overflader i forbindelse med luftindtag og køleflader eller store arealer sværttilgængelige indvendige overflader i kanaler. Der er behov for forbedret pasning og vedligeholdelse af mange anlæg, og der er behov for ny viden om mulighederne for at reducere forureningsbelastningen fra ventilationsanlæg.





# Udvalgte farlighedsvurderinger for indeklimaområdet

<b>UDVALGTE FARLIGHEDSVURDERINGER FOR INDEKLIMAOMRÅDET</b>	<b>116</b>
<b>1 INTRODUKTION</b>	<b>119</b>
<b>2 DI(2-ETHYLHEXYL)PHTHALAT</b>	<b>120</b>
2.1 TOKSIKOKINETIK	120
2.2 AKUT TOKSICITET	120
2.3 TOKSICITET VED GENTAGEN EKSPONERING	120
2.4 GENOTOKSICITET	121
2.5 CANCER	121
2.6 REPRODUKTIONSTOKSICITET	122
2.7 KRITISK EFFEKT OG TOLERABEL KONCENTRATION	122
2.8 REFERENCER	123
<b>3 POLYCYCLISKE AROMATISKE HYDROCARBONER (PAH)</b>	<b>124</b>
3.1 TOKSIKOKINETIK	124
3.2 AKUT TOKSICITET	125
3.3 TOKSICITET VED GENTAGEN EKSPONERING	125
3.4 GENOTOKSICITET	126
3.5 CANCER	126
3.6 REPRODUKTIONSTOKSICITET	129
3.7 SPECIELLE STUDIER	129
3.8 KRITISK EFFEKT OG TOLERABEL KONCENTRATION	130
3.9 REFERENCER	130
<b>4 POLYCHLOREREDE BIPHENYLER (PCB)</b>	<b>131</b>
4.1 TOKSIKOKINETIK	131
4.2 AKUT TOKSICITET	132
4.3 TOKSICITET VED GENTAGEN EKSPONERING	132
4.4 GENOTOKSICITET	134
4.5 CANCER	134
4.6 REPRODUKTIONSTOKSICITET	134
4.7 KRITISK EFFEKT OG TOLERABEL KONCENTRATION	136
4.8 REFERENCER	137
<b>5 POLYBROMEREDE FLAMMEHÆMMERE (PBDE)</b>	<b>139</b>
5.1 TOKSIKOKINETIK	140
5.2 AKUT TOKSICITET	140
5.3 TOKSICITET VED GENTAGEN EKSPONERING	141
5.4 GENOTOKSICITET	141
5.5 CANCER	141
5.6 REPRODUKTIONSTOKSICITET	141
5.7 SPECIELLE STUDIER	142
5.8 UNDERSØGELSER I MENNESKER	143

5.9	KRITISK EFFEKT OG TOLERABEL KONCENTRATION	143
5.10	REFERENCER	144
<b>6</b>	<b>CHLOREREDE OPLØSNINGSMIDLER - TRICHLORETHYLEN</b>	<b>145</b>
6.1	TOKSIKOKINETIK	145
6.2	AKUT TOKSICITET	145
6.3	TOKSICITET VED GENTAGEN EKSPONERING	145
6.4	GENOTOKSICITET	146
6.5	CANCER	147
6.6	REPRODUKTIONSTOKSICITET	147
6.7	KRITISK EFFEKT OG TOLERABEL KONCENTRATION	148
6.8	REFERENCER	148
<b>7</b>	<b>CHLOREREDE OPLØSNINGSMIDLER - TETRACHLORETHYLEN</b>	<b>150</b>
7.1	TOKSIKOKINETIK	150
7.2	AKUT TOKSICITET	150
7.3	TOKSICITET VED GENTAGEN EKSPONERING	151
7.4	GENOTOKSICITET	151
7.5	CANCER	152
7.6	REPRODUKTIONSTOKSICITET	152
7.7	KRITISK EFFEKT OG TOLERABEL KONCENTRATION	153
7.8	REFERENCER	154



# 1 Introduktion

Dette bilag indeholder farlighedsvurderinger for 6 stoffer eller stofgrupper. Valget af stoffer er i højere grad baseret på tilgængelig viden og muligheden for at kunne gennemføre en farlighedsvurdering end på vigtigheden af den pågældende eksponering. Bilaget er således i høj grad tænkt som inspiration til det videre arbejde med at fremskaffe videngrundlag for risikovurderinger på indeklimaområdet.

## 2 Di(2-ethylhexyl)phthalat

Denne farlighedsvurdering er udarbejdet med udgangspunkt i følgende referencer: EC (2001), IARC (2000), Nielsen (1996).

### 2.1 Toksikokinetik

Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP) optages efter indånding og indtagelse (ca. 50%), mens optagelse over huden er yderst begrænset. Efter indtagelse omdannes DEHP i tarmen til mono((2-ethylhexyl)phthalat (MEHP) og 2-ethylhexanol (2-EH). MEHP fordeles i hele organismen med de højeste koncentrationer i lever og i fedtvæv, men ophobes ikke. Den videre omdannelse af MEHP til en lang række forskellige metabolitter foregår i leveren. Metabolitterne såvel som MEHP udskilles i urin og fæces. Der er store artsforskelle, hvad angår omdannelse og udskillelse af MEHP. 2-EH omdannes til acetat og kuldioxid, som udskilles med udåndingsluften.

### 2.2 Akut toksicitet

Der er ingen studier vedrørende uønskede effekter hos mennesker som følge af akut eksponering for DEHP.

Hos forsøgsdyr er rapporteret orale LD<sub>50</sub>-værdier for rotter > 20.000 mg/kg og for mus > 10.000 mg/kg. For inhalation er der for rotter rapporteret en LC<sub>50</sub>-værdi på omkring 10.600 mg/m<sup>3</sup> for 4 timers eksponering. DEHP kan give let grad af irritation ved kontakt med hud og øjne. Hvorvidt DEHP også har irriterende virkning på luftvejene, kan ikke vurderes på baggrund af de tilgængelige data.

Data tyder ikke på, at DEHP har en sensibiliserende virkning.

DEHP har lav akut toksicitet. De akutte samt de irritative effekter vurderes på ovennævnte baggrund ikke som værende af kritisk betydning i relation til eksponering for DEHP i indeklimaet.

### 2.3 Toksicitet ved gentagen eksponering

Der er meget få studier vedrørende uønskede effekter hos mennesker som følge af eksponering for DEHP gennem længere tid. Enkelte studier indikerer, at visse luftvejssymptomer (bronchokonstriktion og astma) kan øges hos mennesker eksponeret gennem længere tid i indeklimaet for DEHP samt andre phthalater i PVC produkter.

Der er ligeledes meget få studier vedrørende uønskede effekter hos forsøgsdyr som følge af inhalation af DEHP gennem længere tid. Et enkelt studie indikerer, at effekter på lunger og lever kan forekomme, og der blev fundet et NOAEC på 50 mg/m<sup>3</sup> i dette studie. Nyere studier har vist, at DEHP har adjuvant effekt (Larsen 2002).



Der er talrige studier vedrørende effekter hos forsøgsdyr efter oral administration af DEHP. Der ses skadelige effekter på nyrer, lever og testikler.

Effekter på nyrerne inkluderer øget organvægt samt forandringer og skader på nyrevævet (mineralisering af nyrepapiller, pigment i tubulære celler, kronisk nefropati). De fleste forandringer er set hos begge køn og hos flere arter. Kroniske studier med rotter og mus indikerer, at effekterne tilsyneladende ikke er reversible. Nul-effektniveauet (NOAEL) kan sættes til 29 mg/kg/dag på baggrund af et kroniske studie med rotter.

Effekter på leveren inkluderer øget organvægt, et stærkt forøget antal af leverceller (hepatocyt proliferaion) og af peroxisomer (peroxisom proliferaion), samt udvikling af tumorer. Der er markante artsforskelle hvad angår levereffekter, idet rotte og mus er væsentligt mere følsomme end hamster og marsvin, mens aber tilsyneladende ikke er følsomme. Mekanistiske studier har vist, at levereffekterne observeret hos rotte og mus udløses via en specifik receptor, som er væsentligt mindre aktiv hos aber og hos mennesker, hvorfor det nu er internationalt anerkendt, at de observerede levereffekter ikke er relevante for mennesker.

Effekter på testiklerne inkluderer nedsat organvægt, vakuoler i Sertoli celler, samt skade på det sæddannende væv (atrofi), se 2.6.

DEHP anses på dette grundlag for at kunne påvirke nyrer og testikler hos mennesker ved inhalation gennem længere tid.

#### 2.4 Genotoksicitet

Der er talrige undersøgelser (både *in vitro* og *in vivo*) vedrørende en eventuel skadelig virkning på generne af DEHP. Hovedmetabolitterne MEHP og 2-ethylhexanol er også undersøgt. DEHP og metabolitterne har ikke vist skadelige virkning på generne i langt de fleste anerkendte testsystemer.

DEHP anses på dette grundlag ikke for at kunne forårsage genetiske skader hos mennesker.

#### 2.5 Cancer

Der er ingen studier vedrørende kræftfremkaldende effekter hos mennesker som følge af eksponering for DEHP.

DEHP har kræftfremkaldende virkning hos forsøgsdyr. Hos rotter og mus af begge køn ses tumorer i leveren, og hos hanrotter en øget forekomst af en speciel form for leukæmi (mononucleær celle leukæmi) samt en speciel form for tumorer i testiklerne (Leydig celle tumorer). Det er nu internationalt anerkendt, at udviklingen af tumorer i leveren hos rotter og mus skyldes den peroxisom prolifereende virkning af DEHP, en mekanisme som ikke er relevant for mennesker. Udvikling af mononucleær celle leukæmi er meget almindelig hos den rottestamme (Fisher 344), som er anvendt i det pågældende studie og betragtes ikke som værende relevant for mennesker. For Leydig celle tumorer kan relevansen for mennesker ikke vurderes.

IARC (2000) har vurderet, at DEHP ikke kan klassificeres for kræftfremkaldende effekt hos mennesker (IARC gruppe 3), da mekanismen (peroxisom proliferation) for udvikling af levertumorer hos rotter og mus vurderes som værende ikke relevant for mennesker.

DEHP anses på dette grundlag for muligvis at kunne fremkalde kræft i testiklerne hos mennesker, men risikoen herfor vurderes som værende lille.

## 2.6 Reproduktionstoksicitet

Der er ingen studier hos mennesker vedrørende uønskede effekter på fertilitet samt for skader på barnet under graviditeten som følge af eksponering for DEHP.

Hos forsøgsdyr påvirker DEHP testiklerne, fertiliteten og giver uønskede skader på afkom eksponeret i drægtighedsperioden. Der ses primært irreversible skader på testiklerne. Studier har vist, at Sertoli cellerne i testiklerne er det primære target, og at MEHP sandsynligvis er den toksiske metabolit. Nedsat hanlig fertilitet er set hos både mus og rotter og skyldes den testikelskadende effekt af DEHP og deraf følgende nedsatte sædkvalitet (nedsat antal sædceller). Det er vist, at der er en særlig høj følsomhed for udvikling af testikelskader ved eksponering under drægtighedsperioden eller før kønsmodning. NOAEL for effekter på testikler hos afkom af rotter eksponeret under drægtighedsperioden kan sættes til 4-5 mg/kg/dag.

Ved højere doser er der også set andre former for effekter hos afkommet, inklusive misdannelser. Rotter er mere følsomme for misdannelser end øvrige arter.

DEHP har vist hormonforstyrrende effekter i både *in vitro* og i *in vivo* studier, og data tyder på, at DEHP har en anti-androgen virkning.

I EU er DEHP klassificeret Rep2;R60-61 (kan skade forplantningsevnen og barnet under graviditeten) (MM 2002).

DEHP anses på dette grundlag for hos mennesker at kunne skade testiklerne, påvirke fertiliteten samt at kunne skade barnet under graviditeten.

## 2.7 Kritisk effekt og tolerabel koncentration

På baggrund af den nuværende viden vurderes det, at inhalation af DEHP gennem længere tid kan give anledning til uønskede effekter hos mennesker i form af påvirkning af luftveje samt skadelige effekter på lunger, nyrer, testikler, fertilitet og på barnet under graviditeten. Den kritiske effekt vurderes at være effekten på testiklerne. Der kan på baggrund af den nuværende viden vedrørende uønskede effekter hos mennesker samt fra de meget få inhalationsstudier med forsøgsdyr ikke fastsættes et NOAEC eller LOAEC for denne effekt. På baggrund af de talrige studier med forsøgsdyr, hvor DEHP er givet oralt, kan der fastsættes et NOAEL på 4-5 mg/kg/dag. Børn, herunder fostre, er den mest følsomme gruppe. Under antagelse af 100% absorption af DEHP hos børn under 1 år både efter inhalation og efter oral indtagelse, en legemsvægt på 7,6 kg for børn under 1 år samt at et barn under 1 år i gennemsnit over et døgn indånder 4,5 m<sup>3</sup> luft kan NOAEL omregnes til en koncentration i luften på ca. 7-8 mg/m<sup>3</sup>.

Miljøstyrelsen har for DEHP beregnet luftkvalitetskriteriet til 0,005 mg/m<sup>3</sup> baseret på et NOAEC på 50 mg/m<sup>3</sup> for effekter på lunger og lever hos rotter under anvendelse af en samlet usikkerhedsfaktor på 1000 og et bidrag på kun 10% fra udeluften (Nielsen 1996, MST 2002).

Arbejdstilsynet har for DEHP fastsat en grænseværdi i arbejdsmiljøet til 3 mg/m<sup>3</sup> (At 2005).

## 2.8 Referencer

At (2005). Grænseværdier for stoffer og materialer. At-Vejledning fra Arbejdstilsynet C.0.1 April 2005.

EC (2001). Bis(2-ethylhexyl) phthalate. European Union Risk Assessment Report. European Chemicals Bureau. Consolidated Final Report (September 2001). (<http://ecb.jrc.it/existing-chemicals/>)

EEC (2005). Annex I of Council Directive 67/548/EEC on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions relating to the classification, packaging and labelling of dangerous substances. June 6 2005. <http://ecb.jrc.it/classification-labelling/>

IARC (2000). Di(2-ethylhexyl) phthalate. In: IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk to Humans, Some industrial chemicals, Volume 77, Lyon.

Larsen ST (2002). Adjuvant effect of phthalates and monophthalates in a murine injection model. Arbejds miljøinstituttet. [Ph.D. thesis].

MM (2002). Bekendtgørelse af listen over farlige stoffer. Bekendtgørelse nr. 439 af 3. juni 2002. Miljøministeriet.

MST (2002). B-værdivejledningen. Vejledning Nr. 2 2002. Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

Nielsen E (1996). Evaluation of health hazards by exposure to di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) and estimation of limit values in ambient air, soil and drinking water. In: Toxicological evaluation and limit values for DEHP and phthalates, other than DEHP, Environmental Review No. 6 1996, Miljø- og Energiministeriet, Miljøstyrelsen.

## 3 Polycycliske aromatiske hydrocarboner (PAH)

Polycycliske aromatiske hydrocarboner (PAH) indeholder 3 eller flere sammensmeltede aromatiske ringe opbygget af kulstof og hydrogen atomer. PAH dannes ved ufuldstændig forbrænding af organisk materiale og emitteres fra en række kilder, såsom fremstilling og forarbejdning af kul, råolie, petroleum, naturgas, aluminium, jern og stål, kraftværker, affaldsforbrænding, trafik (benzin, diesel) og boligopvarmning (olie, gas, og kul- og træfyrede (brænde)ovne. Udover bidrag fra det eksterne miljø (udeluft) er de vigtigste kilder til PAH i indeklimaet tobaksrøg, mados og andre åbne kilder såsom stearinlys, pejse og visse brændeovne.

Af de mange hundrede PAH, som kan dannes, er den bedst undersøgte benzo[a]pyren (BaP), der ofte anvendes som markør for PAH i fødevarer og miljø. Denne farlighedsvurdering er primært baseret på et Environmental Health Criteria document om PAH (IPCS 1998), på en risikovurdering foretaget af EU's Videnskabelige Komite for Fødevarer (SCF 2002), på en vurdering af PAH i jord foretaget for Miljøstyrelsen af Larsen (2004) og på en vurdering af PAH i fødevarer foretaget af FAO/WHO's Joint Expert Group on Food Additives (JECFA 2005). Alle vurderinger omhandler de 33 PAH forbindelser (se Tabel 2), hvor der findes mest viden om forekomst og toksikologiske egenskaber.

For ikke-rygere, menes den største eksponering for PAH at komme fra fødevarerne (>90%), efterfulgt af inhalation af luft og støv (<10%). Fra undersøgelser fra 6 Europæiske lande har SCF estimeret den gennemsnitlige daglige indtagelse af BaP for en voksen person til at være mellem 50 og 300 ng/dag, svarende til 1-5 ng/kg legemsvægt/dag for en person, som vejer 60 kg (SCF 2002).

### 3.1 Toksikokinetik

PAH absorberes hurtigt efter peroral indtagelse. Graden af absorption af BaP fra fødevarer er mellem 20 – 50%, større jo mere fedtholdig maden er. PAH kan også optages ved indånding. Det er hovedsagelig de mere lavmolekylære PAH, med mindre end 5 aromatiske ringe, som findes i dampform, mens de 5- og højere ringede PAH i luften primært vil forefindes bundet til partikler (IPCS 1998).

Efter absorption kan PAH relateret stof påvises i næsten alle væv og organer. Fedtholdigt væv virker som et initialt depot, hvorfra PAH langsomt frigives. På grund af enterohepatisk cirkulation, vil høje PAH niveauer kunne findes i mave-tarm kanalen uafhængigt af eksponeringsvejen (IPCS 1998).

Undersøgelser med drægtige mus og rotter har vist, at PAH passerer placenta og kan påvises i fostret (IPCS, 1998).

PAH metabolitter udskilles med urin, galde og fæces. Galden er den vigtigste udskillelsesvej i rotter, hvor 60% af en intravenøs dosis af BaP blev udskildt, mens 3% fandtes i urinen. Mikrofloraen i tarmen kan hydrolysere konjugater af PAH metabolitter, hvorefter metabolitterne re-absorberes (IPCS 1998).

Biotransformationerne af PAH er komplekse, men processerne forekommer at være kvalitativt ens i celler fra dyr og mennesker, men der kan være store kvantitative forskelle mellem celletyper, dyr og mennesker. Det generelle skema for metabolisme af PAH omfatter dannelse af en række primære (epoxider, phenoler, dihydrodioler) og sekundære (diol epoxider, trioler, tetrahydrodioler, phenol epoxider) fase 1 metabolitter katalyseret af P450 (CYP) enzymer og andre enzymer efterfulgt af konjugation med glutathion, glucuronsyre eller sulfat til fase 2 metabolitter (IPCS 1998, SCF 2002).

Mange PAH danner reaktive metabolitter, som kan bindes irreversibelt til proteiner og DNA. For eksempel bindes et diol-epoxid af BAP, BaP-7,8-diol-9,10 epoxid (BaPDE), kovalent til DNA under dannelse af DNA addukter (i N2- og N7 stillingerne i guanin) i forskellige celler og væv. BaPDE er også den BaP metabolit, som har den kraftigste mutagene og kræftfremkaldende aktivitet. De PAH DNA addukter, som er påvist i mennesker er de samme som er påvist i tilsvarende væv og organer fra forsøgsdyr (SCF 2002).

Studier i rotter eksponeret for BaP via huden, lungerne eller mave-tarmkanalen viser, at der dannes DNA addukter både på eksponeringsstedet og systemisk.

### 3.2 Akut toksicitet

LD<sub>50</sub> værdierne fra de få undersøgelser, der foreligger, indikerer, at den akutte toksicitet af PAH er moderat til lav (IPCS 1998)

### 3.3 Toksicitet ved gentagen eksponering

Da det altovervejende har været de genotoksiske og kræftfremkaldende effekter af PAH, der er blevet studeret, er der kun begrænsede data vedrørende andre toksikologiske effekter i kort-tids og lang-tids undersøgelser. De væv og organer, som oftest har været påvirket af BaP og andre PAH er lever (proliferative forandringer), knoglemarv (anæmi) og nyrer (nekroser), samt immunsystemet (immunosuppression).

Tabel 1 giver en summarisk oversigt over NOAEL fra foreliggende perorale kort-tids studier med PAH.

Tabel 1 NOAEL fra kort-tid toksikologiske tests med PAH efter peroral administration (SCF 2002).

PAH	Dyreart	Varighed	Kritisk effekt	NOAEL
acenaphthen	Mus	90 dage	lever toksicitet	175 mg/kg lgv/dag
Anthracen	Mus	90 dage	Ingen	1000 mg/kg lgv/dag (højeste dosis)

Benzo[a]pyren	Rotte	90 dage	lever vægt	3 mg/kg lgv/dag
Benzo[a]pyren	Rotte	35 dage	Immunotoxicitet	3 mg/kg lgv/dag
Fluoranthen	Mus	13 uger	lever/nyre toksicitet	125 mg/kg lgv/dag
Fluoren	Mus	13 uger	organ vægte, hæmatologi	125 mg/kg lgv/dag
Pyren	Mus	13 uger	Nyre toksicitet	75 mg/kg lgv/dag

De immunotoksikologiske effekter af BaP og andre PAH i forsøgsdyr er velundersøgte, og består i immunosuppression, der medfører øget sårbarhed for infektionssygdomme og for udvikling af cancer. Fra undersøgelser af en blanding af 17 PAH i mus er det blevet konkluderet, at det primært er PAH med 4 eller flere ringe, der har disse effekter (SCF 2002).

Nye undersøgelser med rotter, som fik 3, 10, 30, eller 90 mg BaP/kg lgv/dag med mavesonde i 35 dage, viste et NOAEL på 3 mg /kg lgv/dag for den immunotoksiske effekt af BaP. Med 10 mg BaP/kg lgv/dag sås nedsat thymusvægt og nedsat antal B-celler i milten (SCF 2002).

Kraftigt nedsat immunforsvar er også observeret i unger af mus, som blev eksponeret for en eengangdosis af BaP (150 mg/kg lgv) under graviditeten. Efter 12-18 måneder havde ungerne udviklet høje frekvenser af tumorer i lever, lunger, reproduktionsorganer og lymfesystemet. Hvis BaP blev indgivet til ungerne efter fødslen var effekterne langt svagere (SCF 2002).

### 3.4 Genotoksicitet

15 af de 33 PAH, som blev vurderet af SCF (2002) har vist klar evidens for mutagene og genotoksiske egenskaber *in vivo*, mens evidensen for yderligere 6 PAH er mere begrænset og overvejende baseret på *in vitro* studier. Tre PAH (anthracen, benzo[a]fluoren og pyren) gav negative resultater, mens 8 PAH gav usikre og modstridende resultater (Tabel 2). Som det fremgår er der et betydeligt overlap mellem genotoksicitet og carcinogenicitet af disse PAH.

### 3.5 Cancer

En række PAH (se Tabel 2), såvel som stenkulstjære og forskellige komplekse blandinger fra forbrændingsemissioner indeholdende PAH har vist carcinogen effekt i forsøgsdyr og genotoksicitet og mutagenicitet *in vitro* og *in vivo* (IPCS 1998, SCF 2002).

De fleste undersøgelser har anvendt dermal, subkutan eller intratracheal administration. Kun få PAH er undersøgt efter peroral indgift, primært BaP, som også er den eneste PAH, der er undersøgt efter inhalation. Der ses som regel tumorer både på applicationsstedet og systemisk. Således har peroral administration af BaP til gnavere givet tumorer i formave, lever, lunger, og brystvæv.

Tabel 2 Genotoksicitet og carcinogenicitet af udvalgte PAH (SCF 2002)

PAH	Genotoksicitet (SCF, 2002)	Carcinogenicitet (IPCS, 1998)*
Acenaphthen	Inadækvate data	Tvivlsom
Acenaphthylen	Inadækvate data	Ingen studier
Anthanthren	Begrænset evidens	Positiv
Anthracen	Ikke genotoksisk	Negativ
Benz[a]anthracen	Genotoksisk	Positiv
Benzo[b]fluoranthren	Genotoksisk	Positiv
Benzo[j]fluoranthren	Genotoksisk	Positiv
Benzo[k]fluoranthren	Genotoksisk	Positiv
Benzo[ghi]fluoranthren	Begrænset evidens	Negativ ?
Benzo[a]fluoren	Sandsynligvis ikke genotoksisk	Tvivlsom
Benzo[b]fluoren	Inadækvate data	Tvivlsom
Benzo[ghi]perylen	Genotoksisk	Negativ ?
Benzo[c]phenanthren	Begrænset evidens	Positiv ?
Benzo[a]pyren	Genotoksisk	Positiv
Benzo[e]pyren	Tvivlsom	Tvivlsom
Chrysen	Genotoksisk	Positiv
Coronen	Inadækvate data	Tvivlsom
Cyclopenta[cd]pyren	Genotoksisk	Positiv
Dibenz[ah]anthracen	Genotoksisk	Positiv
Dibenzo[a,e]pyren	Genotoksisk	Positiv
Dibenzo[a,h]pyren	Genotoksisk	Positiv

PAH	Genotoksicitet (SCF, 2002)	Carcinogenicitet (IPCS, 1998)*
Dibenzo[a,i]pyren	Genotoksisk	Positiv
Dibenzo[a,l]pyren	Genotoksisk	Positiv
Fluoranthren	Tvivlsom	Positiv?
Fluoren	Inadækvate data	Negativ
Indeno[1,2,3-cd]pyren	Genotoksisk	Positiv
5-Methylchrysen	Genotoksisk	Positiv
1-Methylphenanthren	Begrænset evidens	Negativ ?
Perylen	Begrænset evidens	Negativ ?
Phenanthren	Tvivlsom	Tvivlsom
Pyren	Ikke genotoksisk	Tvivlsom
Triphenylen	Begrænset evidens	Negativ ?

I rotter har peroral indgift af BaP givet tumorer i formave og lever, som de primære organer. Herudover sås tumorer i en række andre organer og væv. Selv om niveauet af BaP DNA addukter i lungerne var lige så højt som i lever og formave, sås ingen tumorer i lungerne (SCF 2002).

Et nyligt studie har sammenlignet den kræftfremkaldende effekt i mus af peroral administration af ren BaP med effekten af BaP som del af en kompleks PAH blanding (stenkulstjære). BaP alene inducerede især tumorer i formaven og leveren, mens stenkulstjæren herudover også gav tumorer i lungerne. JECFA (WHO 2005) estimerede den nedre 95% confidensgrænse (BMDL) for en benchmark dosis (BMD) for 10% ekstra risiko for antal tumor-bærende mus behandlet med stenkulstjære til at være 0,1 mg BaP/kg lgv/dag.

BaP og andre PAH er også potente inducere af lever og lunge tumorer inden for et halvt år efter injektion i nyfødte mus

BaP er den eneste PAH, der er undersøgt ved eksponering gennem inhalation. Langtids inhalation af 10 mg BaP/m<sup>3</sup> gav tumorer i lungerne hos 35% af de eksponerede syriske hamstre (IPCS 1998).

I en række undersøgelser, hvor forskellige fraktioner af kondensater fra biludstødning (benzin, diesel), emissioner fra kulfyrede kaminer, og tobaksrøg blev testet for kræftfremkaldende effekter i rotter efter



hudpåsmøring, subkutan injektion og direkte applikation i lungerne, blev det konkluderet, at den kræftfremkaldende effekt overvejende skyldtes PAH med 4 – 7 ringe (SCF 2002).

Arbejdsmiljømæssige eksponeringer for en række PAH holdige emissioner fra kul forarbejdning, produktion af koks, aluminium, jern og stål, stenkulstjære osv. har givet øget forekomst af lungekræft hos mennesker. Skønt PAH menes at være hovedårsagen, har der været samtidig eksponering til en lang række andre stoffer (IPCS 1998).

Dødeligheden af lungekræft, specielt hos kvinder, i Xuan Wei provinsen er 5 gange større end gennemsnittet i Kina. Dødeligheden korrelerede med brug af 'smoky' kul til madlavning og opvarning i hjemmene. Monitoring af indeluften under madlavning viste at kvinderne var eksponeret til ekstremt høje PAH niveauer (IPCS 1998).

### 3.6 Reproduktionstoksicitet

Kun BaP er blevet undersøgt for reproduktionstoksikologiske effekter. BaP (op til 133 mg/kg lgv/dag) havde ingen effekt på reproduktionsevnen i mus, men nedsat fertilitet blev set i afkom af mus, som fik 10 mg BaP/kg lgv/dag eller højere doser. Eksponering af drægtige mus for BaP (120 mg/kg lgv/dag) medførte nedsat fostervægt, fostermisdannelser og øget fosterdødelighed. Der kan ikke fastsættes NOAEL for de reproduktionstoksikologiske effekter af PAH.

### 3.7 Specielle studier

#### *Receptormedierede biokemiske og toksikologiske effekter*

Adskillige af effekterne af PAH, såsom enzyminduktion (CYP 1A og fase 2 enzymer), immunosuppression, teratogenicitet og tumor promotion menes at være medieret via binding til og aktivering af Ah-receptoren (AhR) og deraf følgende forstyrrelser af cellernes homeostase. PAH er væsentligt mindre aktive end 2,3,7,8-TCDD (dioxin) (SCF 2002). Det er vist, at binding til AhR ved lave PAH koncentrationer ikke medfører forstyrrelser i cellerne, hvorfor det antages, at der er en tærskelværdi for disse effekter.

Betydningen af AhR-aktivering for den kræftfremkaldende effekt af PAH er uklar, men menes at spille en vigtig rolle, specielt i promotionsfasen. Nye undersøgelser har vist, at BaP, som inducerer tumorer i normale mus, ikke giver tumorer i AhR "knock-out mus", som mangler AhR (SCF 2002).

PAH har kemisk lighed med visse steroid hormoner, og både *in vivo* og *in vitro* undersøgelser har vist, at nogle PAH kan have både østrogene, anti-østrogene, og anti-androgene effekter, men den toksikologiske betydningen heraf kendes ikke.

Det har været foreslået, at PAH fra cigaretrøg eller andre forbrændingsprodukter kan være årsag til forandringer i arterievæggene og derved bidrage til udvikling af atherosclerose i mennesker. Selv om PAH afledte DNA addukter er blevet påvist i blodkar hos mennesker og visse effekter er set på vasculære celler *in vitro* er der ikke påvist en årsagssammenhæng mellem øget risiko for cardiovasculare sygdom og eksponering for PAH (SCF 2002).

### 3.8 Kritisk effekt og tolerabel koncentration

Den kritiske effekt af PAH er den kræftfremkaldende effekt. Både ved vurderingen af PAH i luft og i fødevarer, er det foreslået at anvende BaP som markør for den samlede kræftfremkaldende effekt af blandingernes PAH. Den største eksponering for kræftfremkaldende PAH (4 eller flere ringe) menes at forekomme med fødevarerne. Her vurderes den gennemsnitlige daglige indtagelse at være omkring 5 ng BaP/kg lgv/dag.

Med baggrund i de seneste langtidsdyreforsøg i mus og rotter med BaP og stenkulstjære, har forskellige ekspertgrupper estimeret såkaldt "virtually safe doses" for BaP i fødevarer fra ca. 0,6 – 5 ng BaP/kg lgv/dag for et risikoniveau på  $10^{-6}$  (baseret på alle tumorer kombineret). Et konservativt skøn er, at den samlede carcinogene potens af komplekse PAH blandinger er ca 10 gange den der forventes på basis af BaP alene, hvilket fører til et risikoestimat for den kræftfremkaldende effekt af PAH på  $1 \times 10^{-6}$  som følge af indtagelse af 0,06 – 0,5 ng (middelværdi 0,1 ng) BaP/kg lgv/dag (SCF 2002).

I forbindelse med vurderingen af indeklimaet, er det inhalation af PAH, der har størst betydning. Ved opdateringen af retningslinierne for luftkvalitets kriterier for Europa anvendte WHO (2001) resultaterne fra epidemiologiske studier i arbejdere udsat for emissioner fra koksovne. En "unit risk" for BaP som indikator for PAH i luften, blev estimeret til at være  $8,7 \times 10^{-5}$  per ng BaP/m<sup>3</sup>. Den tilsvarende koncentration af BaP, som derfor blev estimeret til at medføre en øget kræftisiko på  $1 \times 10^{-6}$  var 0,012 ng BaP/m<sup>3</sup>.

### 3.9 Referencer

IPCS (1998). Selected Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Environmental Health Criteria 202. International Programme on Chemical Safety, World Health Organization, Geneva.

Larsen JC (2004). Evaluation of health hazards by exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and estimation of a quality criterion in soil. Department of Toxicology and Risk Assessment, Danish Institute of Food and Veterinary Research. Report prepared for the Danish EPA.

SCF (2002) Opinion of the Scientific Committee on Food on the risks to human health of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in food. Brussels, European Commission, Scientific Committee on Foods (SCF/CS/CNTM/PAH/29). <http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf>.

WHO (2001). Polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH). In: WHO Air Quality Guidelines for Europe, 2nd Edition, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen.

WHO (2005). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Summary and Conclusion of the Sixty-fourth meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA), Rome, 8-17 February 2005, pp 32-38. <http://www.who.int/ipcs/food/jecfa/en/>

## 4 Polychlorerede biphenyler (PCB)

Skønt fremstilling og anvendelse af PCB har været forbudt i næsten alle industrielle lande siden sidst i 1980'erne kan deres fortsatte udledning til miljøet ikke undgås, især på grund af utilstrækkelige bortskaffelsesmetoder, læk i transformere og hydrauliske systemer, som fortsat er i anvendelse, og som følge af PCB indholdet i tidligere anvendte byggematerialer. Mens de fleste lavere chlorerede PCB congenere metaboliseres relativt hurtigt i dyr og mennesker, så er de højere chlorerede congenere meget stabile og bioakkumulerer op gennem fødekæderne. Sammensætningen af de PCB blandinger, som mennesker udsættes for gennem forskellige medier, såsom fødevarer, arbejdsmiljø, indeklima og jordforurening, er derfor vidt forskellige.

Fra et toksikologisk synspunkt kan PCB inddeles i to grupper. Den ene gruppe består af 12 congenere, såkaldte non-ortho og mono-ortho substituerede "coplanare" PCB, som har samme toksikologiske egenskaber som de polychlorede dibenzo-*p*-dioxiner (PCDD) og dibenzofuraner (PCDF), og som er blevet tildelt dioxin-toksicitets-ækvivalent-faktorer (TEF værdier) af WHO (van den Berg et al., 1998). De kaldes derfor dioxinlignende PCB. De resterende PCB har ikke dioxinlignende egenskaber og har andre toksikologiske profiler. Denne gruppe PCB kaldes ikke-dioxinlignende PCB.

De ikke-dioxinlignende PCB udgør mængdemæssigt hovedparten af de tekniske produkter, mens de dioxinlignende PCB kun forekommer i lave koncentrationer, der imidlertid, sammen med forurening af PCDF, har signifikant toksikologisk betydning. Da de dioxinlignende PCB og PCDF er langt mere toksiske end de ikke-dioxinlignende PCB, har disse stoffer ofte været den primære årsag til mange af de effekter, som er beskrevet i forsøgsdyr og mennesker efter eksponering for PCB blandinger, selvom effekterne ofte kun beskrives som PCB effekter (EFSA 2005).

### 4.1 Toksikokinetik

PCB absorberes godt hos mennesker og forsøgsdyr efter peroral indtagelse, og må formodes også at kunne optages efter inhalation. Molekylvægt og fedtopløselighed er de bestemmende faktorer for absorption fra mave-tarmkanalen. Congenere med 4-6 chlor atomer absorbers godt (90-50 %) mens hepta- og octa-chlorerede congenere absorbers i mindre omfang (Nørhede og Larsen 2003, WHO 2003, ATSDR 2000).

PCB fordeles først til lever og muskelvæv og translokeres derpå til fedtvævet. På grund af den høje fedtopløselighed og resistens imod biotransformation, især for de højere chlorerede PCB, akkumuleres stofferne især i fedtvævet. (Nørhede og Larsen 2003, WHO 2003, ATSDR 2000).

PCB metaboliseres af de mikrosomale cytochrom P450 systemer til polære metabolitter som kan konjugeres med glucuronsyre og glutathion. Mange PCB udviser en høj resistens mod metabolisme. De PCB, der metaboliseres

lettest, har to sidestillede usubstituerede kulstofatomer i yderstillingerne (3,4 eller 4,5). Disse positioner oxideres af cytochrome P450 systemet. Den vigtigste udskillelsesvej for især de højere chlorerede, uomdannede PCB er med galde til fæces og for lavere chlorerede PCB og metabolitterne med urinen. PCB kan passere placenta i gravide dyr og mennesker og udskilles med modermælk (Nørhede og Larsen 2003, WHO 2003, ATSDR 2000).

Estimater af eliminations halveringstiderne for PCB i mennesker, baseret på gentagne målinger af kropsbelastningen, varierer fra 0.02 år til uendeligt for individuelle congenere. Ifølge ATSDR anses halveringstider på mellem 2.5 og 5 år for at være de bedste estimater (ATSDR 2000), mens andre estimater angiver længere halveringstider for de højere chlorerede PCB. Halveringstider for dioxiner og nogle af dioxinlignende PCB angives af SCF til at være 5 – 11 år (7½ år for 2,3,7,8-TCDD).

De PCB, som formodes at være af størst toksikologisk betydning, er de PCB, der ophobes i kroppen og herved opnår høj intern dosis. Baseret på analyserne af modermælk fra 18 Europæiske lande (EFSA 2005). drejer det sig om de følgende ikke-dioxinlignende PCB: PCB 18, 28, 33, 37, 47, 52, 60, 66, 74, 99, 101, 110, 128, 138, 141, 153, 170, 180, 183, 187, 194, 206 og 209, og de dioxin-lignende PCB: 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 169 og 189. Den dominerende congener er PCB 153, efterfulgt af PCB 138 og PCB 180. Disse 3 di-ortho congenere udgør op mod 65% af PCB i modermælk.

#### 4.2 Akut toksicitet

Den akutte toksicitet af PCB i forsøgsdyr varierer for de forskellige kommercielle blandinger, men er generelt lav med LD<sub>50</sub> værdier mellem 1000 and 4000 mg/kg legemsvægt i rotter (WHO 2003, ATSDR 2000). Med de PCB koncentrationer, der forekommer i stort set alle eksponeringsscenerier, så er de akutte doser uden toksikologiske konsekvenser, mens det er de koncentrationer, som ophobes i kroppen som følge af gentagne eksponeringer over lang tid, der kan udgøre en sundhedsmæssig risiko.

#### 4.3 Toksicitet ved gentagen eksponering

Informationer vedrørende de sundhedsskadelige effekter af PCB i mennesker stammer primært fra undersøgelser af folk i Japan (Yusho episoden) og Taiwan (Yu-Cheng episoden) eksponeret gennem indtagelse af risolie kontamineret med varme-degraderet Kanechlor. Ultrastrukturelle forandringer indikative for mikrosomal enzyminduktion sås i leveren, øget serum triglycerid, og lever porphyri blev almindeligt konstateret hos eksponerede personer. Endvidere sås en sammenhæng mellem PCB eksponering og forandringer i skjoldbruskkirtlen. Chloracne og andre hudforandringer, såvel som synsforstyrrelser er også blevet rapporteret. Immunologiske forandringer omfattede øget følsomhed for infektioner hos voksne og børn. Forandringer i de sensoriske og motoriske nerver er også blevet observeret hos højt eksponerede Yusho og Yu-Cheng patienter (ATSDR 2000).

De toksikologiske effekter af peroral indtagelse af PCB er undersøgt i en række dyreforsøg. De fleste undersøgelser er blevet foretaget med de kommercielle PCB blandinger.

De PCB-inducerede levereffekter i rotter, omfatter mikrosomal enzyminduktion (EROD, en dioxineffekt), øget serum niveauer af lever relaterede enzymer og lipider, leverforstørrelse, ændret porphyrin og vitamin A metabolisme, og histopathologiske forandringer, som efter højere doser eller længerevarende eksponeringer kan udvikles til non-neoplastic degenerative forandringer og/eller tumorer. Induktion af de mikrosomale enzymer (EROD) er den mest følsomme effekt i rotter (dioxineffekt) og er set efter daglig peroral administration af Aroclor 1242, 1248, 1254, eller 1260 i 4 uger med dosisniveauer fra 0.03 mg/kg legemsvægt/dag (den laveste dosis testet).

I nyere 2-års fodringsforsøg i rotter sås levereffekter (hepatocellulær hypertrofi og vacuolisering) efter daglig administration af Aroclor 1016, 1242, 1254, eller 1260 svarende til dosisniveauer på 1-2 mg/kg legemsvægt/dag. Levereffekterne var mere alvorlige i hunrotterne end i hanrotterne og udviste følgende toksicitets mønster: Aroclor 1254 > 1260 ≈ 1242 > 1016. I Rhesus aber er der set effekter på leveren (leverforstørrelse, fedtophobning, levernekrose og forandringer i galdegangene), øget serum triglycerider og nedsat serum bilirubin og kolesterol. LOAEL for lever effekter af de kommercielle PCB blandinger var 0,08 mg/kg legemsvægt/dag for Aroclor 1254 i aber efter 72 måneders indtagelse med foderet. Den kritiske effekt var øget levervægt.

I rotter sås effekt på skjoldbruskkirtlen i form af nedsat serum koncentration af thyroidea hormonerne T4 og T3 efter indtagelse af 0,09 mg Aroclor 1254/kg legemsvægt/dag (laveste dosisniveau testet) med foderet igennem 5 måneder. Histologiske forandringer er set i rotter efter 0,25 mg Aroclor 1254 /kg legemsvægt/dag i foderet i 5 uger, men ikke efter 0,025 mg/kg legemsvægt/dag. I Rhesus aber blev der ikke set effekter på thyroidea og hormonerne efter eksponering for Aroclor 1254 i dosisniveauer på op til 0,08 mg/kg legemsvægt/dag i op til 72 måneder (NOAEL).

I rotter og aber er der konstateret ændringer i niveauerne af binyrebarkhormoner efter daglig indtagelse af Aroclor 1254. Der er ikke set histologiske forandringer i binyrerne. NOAEL var 0,08 mg Aroclor 1254/kg legemsvægt/dag til aber i 72 måneder. NOAEL for hæmatologiske effekter (anæmi) af Aroclor 1254 var ligeledes 0.08 mg/kg legemsvægt/dag til aber i 72 måneder.

Morfologiske og funktionelle ændringer af immunsystemet efter dosering med PCB er set i mus, rotter, marsvin, kaniner og aber og omfatter atrofi af thymus og milt, nedsat antistof produktion rettet mod fremmede antigener, øget følsomhed for infektioner med virus og andre mikroorganismer, nedsat hudreaktion mod tuberculin og øget proliferation af lymfocytter i milten som respons på mitogen-stimulering. LOAEL for Aroclor 1254 var 0,005 mg/kg legemsvægt/dag i aber.

Ændringer i niveauerne af neurotransmittere, hyppigst i form af nedsat dopamin koncentration i forskellige hjerneområder er set i aber, rotter og mus. LOEL for Aroclor 1016 og 1260 var 0,8 mg/kg legemsvægt/dag til aber i 20 uger.

Undersøgelser af individuelle PCB congenere er foretaget i en række sammenlignelige 13-uger perorale toksicitets studier i rotter med 3 ikke-dioxinlignende PCB (28, 128, 153) og 4 dioxinlignende PCB (77, 105, 118, 126). Et bredt spektrum af toksikologiske effekter er blevet observeret. De mest følsomme organer var lever (specielt i hunner) og skjoldbruskkirtel (ATSDR 2000). Levereffekterne var øget vægt, biokemiske forandringer (forhøjede serum enzymer og kolesterol, forhøjet lever porphyrin niveau og nedsat lever vitamin A), og histopathologiske forandringer i leveren (cytoplasmisk vakuolisering og øget fedtophobning). Effekterne på skjoldbruskkirtlen bestod i histopatologiske forandringer af varierende grad for de individuelle congenere. Den mest toksiske congener var PCB 126 (dioxinlignende PCB) med et LOAEL på 0,0008 mg/kg legemsvægt/dag. De næst mest toksiske var PCB 105 (dioxinlignende PCB) med LOAEL på 0,039 mg/kg legemsvægt/dag. De dioxinlignende PCB 77 og 118 havde LOAEL på henholdsvis 0,087 og 0,170 mg/kg legemsvægt/dag, mens de ikke-dioxinlignende PCB 153, 28 og 128 var de mindst toksiske med ensartede LOAEL værdier på henholdsvis 0,34, 0,36 og 0,42 mg/kg legemsvægt/dag. NOAEL for de ikke-dioxinlignende PCB var 0,036 mg/kg legemsvægt/dag for PCB 28, 0,042 mg/kg legemsvægt/dag for PCB 128 og 0,034 mg/kg legemsvægt/dag for PCB 153.

#### 4.4 Genotoksicitet

Både dioxinlignende og ikke-dioxinlignende PCB har generelt været inaktive i *in vitro* og *in vivo* test for genotoksicitet.

#### 4.5 Cancer

Den kræftfremkaldende effekt af PCB i mennesker er undersøgt i arbejdere og i case-control undersøgelser af miljøeksponering. Nogle af mortalitetsstudierne antyder, at arbejdsmiljømæssig udsættelse for PCB kan være associeret med øget risiko for kræft i forskellige væv.

En række perorale cancer studier er udført i dyreforsøg med kommercielle PCB blandinger. Den mest omfattende undersøgelse, publiceret i 1998, sammenlignede de fire mest anvendte kommercielle Aroclor blandinger (1016, 1242, 1254 og 1260). Øget tumorforekomst blev fundet i lever og skjoldbruskkirtel, mens der sås nedsat forekomst af brysttumorer. Effekten i leveren sås primært i hunrotter. Aroclor 1254 var den mest potente PCB blanding.

Resultaterne fra de kroniske carcinogenicitetsstudier i rotter med forskellige tekniske PCB blandinger indikerer imidlertid samlet, at forekomsten af levertumorer og skjoldbruskkirtel tumorer ikke afhænger af dosis af total PCB, men af den totale dioxin aktivitet i disse tekniske blandinger (Mayes et al., 1998). Undersøgelser viser, at i rotter spiller tilstedeværelsen af de ikke-dioxinlignende PCB sammen med dioxinlignende PCB i tekniske blandinger en ubetydelig rolle som carcinogener, hvis overhovedet nogen.

#### 4.6 Reproduktionstoksicitet

Menstruations forstyrrelser blev set i kvinder under Yusho episoden. Kønsmodning og udvikling af kønsorganer var ikke ændret hos drenge født af Yu-Cheng mødre. For børn af Yusho og Yu-Cheng kvinder sås der lavere

fødselsvægt og nedsat vækst tidligt i livet, og der er rapporteret om adfærds- og indlæringsmæssige ændringer hos disse børn.

Epidemiologiske studier af befolkningsgrupper med højt konsum af kontamineret fisk antyder, at udsættelse for PCB i fostertilstanden og med modermælken (perinatalt) kan have effekter på udviklingen af nervesystemet med bl.a. motoriske, adfærdsmæssige og indlæringsmæssige forstyrrelser til følge. Disse effekter tilskrives primært eksponeringen i fostertilstanden. Det er uklart om effekterne er reelle, da resultaterne af de forskellige undersøgelser er svage og varierer meget og i visse tilfælde er modstridige.

Informationer om reproduktions- og udviklingseffekter er til stede fra dyreforsøg med kommercielle PCB blandinger og enkelte congenere.

Reproduktionseffekter i hunner eksponeret for kommercielle PCB blandinger er set i en række forskellige dyrearter, såsom rotter (forlænget oestrus, nedsat sexuel modtagelighed, nedsat implantations rate i voksne og/eller deres unger eksponeret under graviditeten og laktationsperioden), mus (nedsat befrugtning), og aber (forlænget menstruation, nedsat fertilitet). Aber forekommer at være særligt følsomme for de reproduktionseffekterne af PCB. NOAEL for reproduktionseffekter af Aroclor 1254 i aber var 0,005 mg/kg legemsvægt/dag i 37 måneder før parring og under graviditeten. LOAEL var 0,02 mg/kg legemsvægt/dag. Oplysninger om reproduktionseffekter i hanner er begrænsede.

I forsøgsdyr er de mest følsomme effekter af dioxiner og dioxinlignende PCB påvirkning af reproduktions-, nerve- og immun-systemernes udvikling i fostertilstanden. En enkeltdosis på 50 – 200 ng TCDD/kg legemsvægt til hunrotter på dag 15 i drægtighedsperioden bevirker feminisering, nedsat sædkvalitet og nedsat immunforsvar hos det hanlige afkom.

Udviklingsmæssige effekter af de kommercielle PCB blandinger er set i ungerne fra doserede forsøgsdyr inkluderende rotter (nedsat vækst, forandringer i skjoldbruskkirtlen og hormoner, adfærds- og indlæringsmæssige forandringer, og forandringer i reproduktionssystemerne), mus (adfærds- og indlæringsmæssige ændringer), og aber (nedsat vækst, adfærds- og indlæringsmæssige ændringer, og forandringer i immunsystemet). LOAEL for udviklingsmæssige effekter af kommercielle PCB blandinger (Aroclor 1254) i abeunger var 0,005 mg/kg legemsvægt/dag til mødrene i 37 måneder før parring og de efterfølgende 29 måneder gennem, drægtighed, fødsel og ungerne opvækst. Effekterne var relaterede til hud, negle og immunsystemet og vurderes overvejende at skyldes dioxinlignende påvirkning.

For de individuelle ikke-dioxinlignende PCB som er testet for reproduktions effekter i gnavere, omfattende østrøgene effekter og effekter hos unger på skjoldbruskkirtlen og på udviklingen af reproduktionsorganer og nervesystemet (PCB 18, 28, 47, 52, 101, 110, 153) varierede NOAEL fra >1 mg til > 50 mg/kg legemsvægt.

I undersøgelser foretaget i det samme laboratorium, under anvendelse af det samme forsøgsdesign (dosering fra dag 10 – 16 i drægtighedsperioden) var LOAEL for PCB 126 <0,001 ug/kg legemsvægt/dag og 4 mg/kg legemsvægt/dag for PCB 118. For PCB 77 var NOAEL 2 mg/kg

legemsvægt/dag, mens de ikke-dioxinlignende PCB 28, 153 og 95 havde NOAEL på henholdsvis 8, 16 og 32 mg/kg legemsvægt/dag.

Grupper af abeunger (Rhesus og Cynomolgus) indtog en veldefineret PCB blanding (hovedsagelig mono- og di-ortho-substituerede congenere) fra fødsel til de var 20 uger gamle. Blandingen havde en PCB sammensætning, der var analog til den, der forekommer i modermælk i Canada. Den daglige indtagelse af blandingen var 0.0075 mg/kg legemsvægt. Aberne blev fulgt indtil de var 66 uger gamle. Doseringen havde ingen effekt på ungerne tilvækst og gav ikke anledning til signifikante forandringer i biokemiske parametre inkluderende lever enzymer, bilirubin, triglycerider og kolesterol. Med hensyn til immunologiske parametre var den eneste statistisk signifikante effekt en reduktion i niveauet af IgM og IgG antistoffer mod røde blodlegemer fra får og en reduktion i niveauet af HLA-DR celleoverflade-markør (Arnold et al. 1999).

I abeunger (Cynomolgus), som indtog ovennævnte veldefinerede PCB blanding fra fødsel til de var 20 uger gamle blev der observeret nedsat indlæringssevne i nogle parametre og stædig adfærd i de doserede unger i en alder af 2½ til 5 år, hvor testene blev foretaget (Rice, 1999).

#### 4.7 Kritisk effekt og tolerabel koncentration

Ved den sundhedsmæssige vurdering af de forskellige typer af potentielle PCB eksponeringer, er det nødvendigt at tage hensyn til den PCB sammensætning, som findes i de pågældende medier. I tilfældet indeklime (luft, støv) adskiller sammensætningerne sig indbyrdes, og markant fra den sammensætning, der kendes fra fødevarer.

Det er blevet estimeret, at mere end 90% af menneskers eksponering for PCB sker med fødevarerne, primært fra fødevarer af animalsk oprindelse (kød, mælkeprodukter, fjerkræ, æg, fisk) Den gennemsnitlige (livslange) daglige indtagelse hos voksne af ikke-dioxinlignende PCB med kosten er blevet estimeret til mellem 10 og 50 ng/kg legemsvægt/dag. Det er de højere chlorerede, persistente PCB, såsom PCB 153, 138 og 180, der dominerer kvantitativt. Samtidigt indtages i gennemsnit 1-2 pg WHO TEQ/kg legemsvægt/dag af persistente dioxiner og dioxinlignende PCB med kosten. Sammensætningerne af PCB i fødevarer er markant forskellige fra sammensætningerne af de kommercielle PCB, hvorfor resultaterne fra de toksikologiske undersøgelser af de kommercielle PCB blandinger ikke er egnede til risikovurdering af PCB i fødevarer. Denne vurdering opdeles i stedet i en separat vurdering af dioxin og dioxinlignende PCB, og en separat vurdering af de ikke-dioxinlignende PCB.

De dioxinlignende PCB er for nyligt blevet vurderet sammen med PCDD og PCDF af EU's Videnskabelige Komite for Fødevarer (SCF 2000; 2001), som har fastsat en tolerabel ugentlig indtagelse på 14 pg WHO TEQ/kg legemsvægt. Den kritiske effekt var påvirkning af de hanlige kønsorganer i rotteunger, hvis mødre blev doseret med dioxin. En toksikologisk vurdering af dioxinerne og de dioxinlignende PCB er også for nyligt foretaget for Miljøstyrelsen i forbindelse med fastsættelse af jordkvalitetskriterier for PCDD, PCDF og dioxinlignende PCB, og er indeholdt i Nørhede og Larsen (2003).



De ikke dioxin-lignende PCB er i 2005 blevet vurderet af den Europæiske Fødevarsikkerhedsautoritet (EFSA 2005). Som en konservativ vurdering kan det antages, at alle ikke-dioxinlignende PCB har toksikologiske potenser tilsvarende PCB 28, 128, 153 med et NOAEL på 30 ug/kg legemsvægt/dag for effekter på lever og skjoldbruskkirtel. Dette NOAEL giver en sikkerhedsmargin (margin of safety, MOS) på ca. 1000 i forhold til den estimerede daglige indtagelse af PCB hos mennesker (10-50 ng/kg legemsvægt/dag). Som nævnt anses denne vurdering for at være konservativ, da størstedelen af effekterne set i studier med ikke-dioxinlignende PCB sandsynligvis er relateret til dioxineffekter.

De PCB, som er fundet i indeluften, er primært ikke-dioxinlignende, lavt-chlorede PCB, såsom PCB 28, 31, 44, 49 og 52. Disse congenere metaboliseres hurtigere og akkumuleres i mindre omfang end de fleste af de kongenere, som forekommer i fødevarer. Hvis det for eksempel antages, at PCB koncentrationen i indeluften er 1 ug/m<sup>3</sup>, og at en voksen person på 60 kg dagligt indånder 15 m<sup>3</sup> af denne luft, vil eksponeringen blive 15 ug/person, eller 250 ng/kg legemsvægt/dag. I dette tilfælde vil der være en MOS på omkring 100 til NOAEL niveauet for PCB 28, og eksponeringen for denne type PCB vil være markant større med indeluften end med fødevarerne.

Når det drejer sig om eksponering for PCB via direkte kontakt med fugemasser og forurenede jord, så er det mere relevant at anvende resultaterne fra de toksikologiske undersøgelser af de kommercielle blandinger, da PCB sammensætningerne her er mere sammenlignelige. Husstøv forekommer at indtage en mellemstilling med hensyn til PCB sammensætning, og sammenligning med de kommercielle blandinger må anses for at give en forsigtig, men adækvat vurdering. NOAEL/LOAEL i aber for effekter på reproduktion, indlæringssevne og immuntoksikologiske parametre er omkring 0,005 til 0,0075 mg/kg legemsvægt/dag. Hvis det for eksempel antages, at PCB koncentrationen er 1 ug/g støv, og at en voksen person på 60 kg dagligt indtager 50 mg støv, vil eksponeringen blive 0,05 ug/person, eller ca 1 ng/kg legemsvægt/dag. Hvis det antages, at 100% absorberes via inhalation eller fra mave-tarm kanalen, vil der i dette tilfælde være en margin of exposure (MOE) på omkring 5000 til NOAEL/LOAEL niveauet og eksponeringen vil kun udgøre et beskedent bidrag til kropsbelastningen med PCB.

#### 4.8 Referencer

Arnold D.L., Bryce F., Mes J., Tryphonas H., Hayward S., Malcolm S. (1999) Toxicological consequences of feeding PCB congeners to infant rhesus (*Macaca mulatta*) and cynomolgus (*Macaca fascicularis*) monkeys. *Food Chem. Toxicol.* 37, 153-167.

ATSDR (2000). Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls (Update). U.S. Department of Health & Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

EFSA (2005). Opinion of the CONTAM Panel related to the presence of non dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCB) in feed and food. Opinion adopted on 8 November 2005. European Food Safety Authority.  
[http://www.efsa.eu.int/science/contam/contam\\_opinions/1229\\_en.html](http://www.efsa.eu.int/science/contam/contam_opinions/1229_en.html)

FDIR (2000). Overvågningssystem for levnedsmidler 1993-1997. Fødevaredirektoratet 2000.

Mayes BA, McConnell EE, Neal BH, et al. (1998). Comparative carcinogenicity in Sprague-Dawley rats of the polychlorinated biphenyl mixtures Aroclors 1016, 1242, 1254, and 1260. *Toxicol Sci* 41 (1):62-76.

Nørhede, P. og Larsen JC (2003). Evaluation of health hazards by exposure to polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs), dibenzofurans (PCDFs) and biphenyls (PCBs) and estimation of a quality criterion in soil. The Institute of Food Safety and Nutrition, Danish Veterinary and Food Administration. Report prepared for the Danish EPA.

Rice DC (1999). Behavioral impairment produced by low-level postnatal PCB exposure in monkeys. *Environ. Res.* 80, S113-S121, 1999b.

SCF (Scientific Committee on Food) (2000). Opinion on the Risk Assessment of Dioxins and Dioxin-like PCBs in Food (Adopted on 22 November 2000) [http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/out78\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/out78_en.pdf)

SCF (Scientific Committee on Food) (2001). Opinion on the risk assessment of dioxins and dioxin-like PCBs in food (update based on the new scientific information available since the adoption of the SCF opinion of 22 November 2000) (adopted by the SCF on 30 May 2001) [http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/out90\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/out90_en.pdf)

Van den Berg M, Birnbaum L, Bosveld ATC, Brunström B, Cook P, Feeley M, Giesy JP, Hanberg A, Hasegawa R, Kennedy SW, Kubiak T, Larsen JC, van Leeuwen FXR, Liem AKD, Nolt C, Peterson RE, Poellinger L, Safe S, Schrenck D, Tillitt D, Tysklind M, Younes M, Wærn F and Zacharewski T (1998). Toxic Equivalency Factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for Humans and for Wildlife. *Environ Health Perspect* 106, 775-792.

WHO (2003). Polychlorinated biphenyls: human health aspects. Concise International Chemical Assessment Document 55. <http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad55.htm>

## 5 Polybromerede flammehæmmere (PBDE)

Denne farlighedsvurdering af bromerede flammehæmmere omhandler de polybromerede diphenylethere (PBDE) og er baseret på et ATSDR dokument om polybrominerede biphenyler og polybrominerede diphenylethere (ATSDR 2005) og især en vurdering af polybromerede diphenylethere i fødevarer foretaget af FAO/WHO's Joint Expert Group on Food Additives (JECFA 2005).

PBDE har primært været produceret som 3 kommercielle hovedprodukter: Pentabromodiphenyl oxid eller ether (PentaBDE), octabromodiphenyl oxid eller ether (OctaBDE) og decabromodiphenyl oxid eller ether (DecaBDE). DecaBDE har primært været anvendt i plastik, såsom TV og computerkabinetter, OctaBDE primært i andre typer plastik, mens pentaBDE har været anvendt i skum til polstring af møbeltekstiler. Selv om sammensætningen kan variere mellem produkter fra forskellige fabrikanter, kan hvert teknisk produkt beskrives omtrentligt med hensyn til congener sammensætningen. Teoretisk er der 209 forskellige PBDE kongener (ligesom for PCB), men hvert kommercielt produkt indeholder sædvanligvis et begrænset antal kongener fra hver homologe gruppe. I 2001 udgjorde DecaBDE næsten 80% af den totale markedsandel, der var ca. 70000 tons.

Tabel 1 Sammensætning af kommercielle PBDE flammehæmmere, og substitutionsmønstre for udvalgte kongener

PBDE produkter	Congener sammensætning i blandingen (% af total)
PentaPBDE	24-38% tetraBDE
	50-60% pentaBDE
	4-8% hexaBDE
OctaBDE	10-12% hexaBDE
	44% heptaBDE
	31-35% octaBDE
	10-11% nonaBDE
	<1% decaBDE
DecaBDE	<3% nonaBDE
	97-98% decaBDE
<b>Individuelle PBDE</b>	<b>Substitutionsmønstre</b>
PBDE-47	2,2',4,4'-tetraBDE
PBDE-99	2,2',4,4',5-pentaBDE
PBDE-153	2,2',4,4',5,5'-hexaBDE
PBDE-209	2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-decaBDE

Analysen af Svenske modermælksprøver, indsamlet mellem 1972 og 1997, har vist en stigning i PBDE indholdet, med en fordobling hvert femte år. Analyser af (få) serumprøver, indsamlet mellem 1985 og 1999 i USA, viser også en stigning i PBDE koncentrationerne over tid. Nyligt indsamlede humane prøver (blod, modermælk, fedtvæv) fra Nordamerika (median koncentration 23 ng PBDE/g fedt) indikerer, at de gennemsnitlige koncentrationer af PBDE nu er 10 – 20 gange højere end i Europa (1,8 ng PBDE/g fedt). Det typiske mønster af PBDE congenere i humane prøver domineres af BDE-47, efterfulgt af BDE-99 og den hexabrominerede BDE-153. DecaBDE, som nu er den mest anvendte PBDE, er sjældent påvist i humane prøver.

Indtagelsen af PBDE med fødevarer er estimeret til 13 – 113 ng/person/dag, både i Europa og Nordamerika. Fisk og skaldyr er de vigtigste kilder i Europa, mens kød og fjerkræ er vigtigst i Nordamerika. Baggrunden for de højere værdier fundet i mennesker fra Nordamerika, sammenlignet med Europa, kan derfor ikke tilskrives et tilsvarende højere niveau i fødevarer, og andre kilder, såsom indeluft og husstøv menes at bidrage signifikant. I luftprøver er det primært BDE-47, 99, 100 og 153, der er blevet påvist i lave  $\text{pg/m}^3$  koncentrationer, mens decaBDE sjældent kan påvises.

Akkumuleringen i miljøet har medført både frivillige og formelle forbud mod anvendelse af penta- og octaBDE, således at det nu kun er DecaBDE, som markedsføres kommercielt i Europa og Nordamerika.

## 5.1 Toksikokinetik

Der er kun begrænset viden om de toksikokinetiske forhold for PBDE i mennesker, men på basis af de fundne forøgede koncentrationer af PBDE i human fedtvæv over tid, kan det konkluderes, at PBDE absorberes og bioakkumulerer hos mennesker.

Hovedparten af de eksperimentelle undersøgelser vedrørende absorption, fordeling, metabolisme og udskillelse af PBDE i forsøgsdyr er begrænset til de individuelle congenere PBDE-47, -99 og -209. Absorptionen fra mave-tarmkanalen afhænger af graden af bromering. Således udskilles mere end 90% af en peroral dosis af DecaBDE hurtigt med fæces. For congenere med lavere bromeringsgrad (PBDE-47 og -99) absorberes mere end 80% af en peroral dosis. Absorberet PBDE fordeles primært til fedtvæv. Metabolisering består i hydroxylering og methoxylerings reaktioner, og for congenere med højt bromindhold i oxidativ afspaltning af brom. Udskillelse sker primært med fæces. Studier i hunrotter med en kommerciel pentaBDE har indikeret at halveringstiderne for tetra-, penta-, og hexa substituerede BDE varierer mellem 30 – 90 dage.

## 5.2 Akut toksicitet

Den akutte toksicitet af PBDE i gnavere er lav. Selv med meget høje doser (adskillige g/kg legemsvægt) ses ingen effekter i standardtest med DecaBDE og OctaBDE, men øget mortalitet, adfærdsforstyrrelser og patologiske forandringer er rapporteret efter sådanne høje doser af PentaBDE. Leverenzyminduktion og forandringer i hormonniveauer og

adfærdsforstyrrelser er set efter administration af lavere doser PentaBDE, OctaBDE og individuelle congenere.

### 5.3 Toksicitet ved gentagen eksponering

I 90-dages perorale studier i gnavere med tekniske PBDE blandinger er der primært set effekter i lever (forstørrelse, vuculisering og nekrose), nyrer (hyaline degenerative forandringer i cytoplasma) og skjoldbruskkirtel (hyperplasi) i begge køn. Øget levervægt ses altid og kan skyldes øget aktivitet af de mikrosomale enzymer. Effekter på skjoldkruskkirtelhormoner, vitamin A og leverenzymmer er observeret efter doser på 1 – 10 mg/kg legemsvægt/dag.

Der foreligger kun lang-tidsundersøgelser med DecaBDE. Grupper af mus og rotter fik foder, der indeholdt høje koncentrationer (2,5 eller 5%) af DecaBDE (renhedsgrad 94-99%) i 111 – 113 uger. Der sås lever hypertrofi og degeneration, cellulær hypertrofi i skjoldbruskkirtlen og hyperplasi af lymfevæv.

### 5.4 Genotoksicitet

Langt hovedparten af test for genotoksicitet og mutagenicitet *in vitro* (punkt mutationer, kromosomaberrationer, søsterkromatid udbytning og induktion af DNA syntese) og *in vivo* (kromosom aberrationer) har været negative, hvilket indikere, at PBDE blandinger og individuelle congenere ikke er genotoksiske.

### 5.5 Cancer

Kun DecaBDE er undersøgt for kræftfremkaldende effekt. Grupper af mus og rotter fik foder, der indeholdt høje koncentrationer (2,5 eller 5%) af DecaBDE (renhedsgrad 94-99%) i 111 – 113 uger. Den samlede forekomst af godartede og ondartede levertumorer var forøget i hanmus, men ikke i hunmus. Der sås ingen øget forekomst af tumorer i skjoldbruskkirtlen i mus. I både han- og hunrotter sås øget forekomst af godartede levertumorer, men ikke af ondartede.

Samlet vurderes det, at der kun er begrænset evidens for kræftfremkaldende effekt af DecaPBDE.

### 5.6 Reproduktionstoksicitet

DecaPBDE af høj renhedsgrad (97-98%) havde ikke effekt på fostrets udvikling i rotter, mens DecaPBDE af lavere renhed (decaBDE, 77,4%; nonaBDE, 21,8%; octaBDE, 0,8%) havde en toksisk effekt på fostret. Eksponering for OctaBDE blandinger (10–50 mg/kg legemsvægt/dag) gav øget antal resorptioner, nedsat fostervægt, ødemer, nedsat forbening af knogler, og deforme ribben efter doser på 25 – 50 mg/kg legemsvægt/dag. En enkelt undersøgelse med en PentaBDE viste ikke klar effekt efter 100 mg/kg legemsvægt.

I kaniner som fik en kommerciel OctaBDE blanding under graviditeten sås ingen toksisk effekt på fostre, mens forsinket forbening af ribben efter 15 mg/kg legemsvægt/dag.

Det vurderes, at fostret kan være mere følsom end moderen over for PBDE og at eksponering for OctaBDE har givet anledning til øget forekomst af abnormiteter hos fostret.

## 5.7 Specielle studier

### *Effekter på skjoldbruskkirtelhormoner*

Skjoldbruskkirtelhormon status er målt i adskillige undersøgelser i mus og rotter efter kort-tids dosering med kommercielle Penta-, Octa- og DecaBDE blandinger. I de fleste undersøgelser sås reduceret koncentration af total thyroxin (T4), og i nogle tilfælde fri T4 i blodet, med samtidig øget koncentration af thyroidea-stimulerende hormon (TSH). OctaBDE var mere potent end PentaBDE, mens DecaBDE ikke havde effekt.

Efter indgift af teknisk PentaBDE til gravide rotter (3 mg/kg legemsvægt/dag) sås nedsat T4 i de nyfødte unger. Plasma koncentrationen af total og fri T4 var også nedsat i voksne rotter, der fik PentaBDE i doser på op til 18 mg/kg legemsvægt/dag i 2 uger. Tilsvarende observationer er set i studier med de individuelle congenere PBDE-47 og PBDE-99, mens PBDE-209 var meget mindre potent. Der sås også øget aktivitet af UDP-glucuronyltransferase og ethoxyresorufin-O-deethylase (EROD), hvilket indikerer at dioxinlignende forureninger kan have haft betydning for effekterne.

Det er foreslået, at effekten på thyroideahormonerne skyldes, at hydroxylerede metabolitter af PBDE konkurrerer med T4 om binding til transportproteinet transthyretin (TTR). Relevansen heraf for mennesker er tvivlsom, da metabolitter af PBDE ikke bindes til det vigtigste thyroideahormon-transporterende protein i mennesker, Thyroidea-Bindende Protein (TBG), som ikke forekommer i rotter.

### *Effekter på steroidhormoner*

Mulige effekter af PBDE på steroid hormoner og hertil relaterede effekter er kun undersøgt for en teknisk PentaBDE blanding og for PBDE-47 og PBDE-99. I nyligt fravænnede rotteunger, som blev doseret peroralt med en PentaBDE blanding i 20 dage (hunner) eller 31 dage (hanner), var puberteten forsinket efter doser på 30 – 60 mg/kg legemsvægt/dag. En engangsdosis af PBDE-47 (700 µg/kg legemsvægt) på dag 6 i graviditeten til rotter medførte, at det hanlige afkom havde nedsat serum koncentration af follikelstimulerende hormon (FSH). Med en tilsvarende forsøgsprotokol sås nedsat sæd-produktion efter en dosis på 60 µg/kg legemsvægt. I både nyligt fravænnede og voksne hanrotter, født af mødre som fik PBDE-99 doser ned til 1 mg/kg legemsvægt/dag ved subkutan injektion fra dag 10 – 18 i drægtighedsperioden, sås nedsat serum koncentrationer af kønshormoner (østradiol og testosteron). Den anogenitale afstand var reduceret i hannerne og reproduktionsorganernes vægte var reduceret i begge køn. Puberteten var forsinket i hunnerne og accelereret i hannerne. I alle disse undersøgelser blev der også set induktion af EROD aktiviteten i leveren, hvorfor effekterne muligvis primært skyldes dioxinlignende forureninger.

I modsætning til ovennævnte studier med kommercielle blandinger og individuelle congenere, har specielle *in vitro* studier med højt oprensede PBDE congenere vist, at disse ikke har Ah-receptor aktivitet med

koncentrationer, der var 1 million gange højere end den effektive koncentration af 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD). Dette indikerer at en række af de beskrevne toksikologiske effekter kan være influeret af spor af forureninger med potente dioxinlignende egenskaber.

#### *Neurotoksikologiske effekter*

Med hensyn til neurotoksikologiske effekter er det blevet rapporteret, at individuelle congenere (PBDE-47, 99, 153, 183, 203, 206, 209) administreret som en peroral enkelt-dosis til nyfødte mus, har givet ændringer i aktivitetsmønstre og tilpasningsevne. Congenere med lavere bromeringsgrad var mere potente end congenere med højere bromeringsgrad. I rotter er hovedparten af undersøgelserne foretaget med PBDE-99. Hos unger født af mødre, som fik subkutane doser af 1 mg PBDE-99/kg legemsvægt/dag under drægtigheden, blev der rapporteret om ændringer i hjernens funktion og struktur, ligesom en feminisering blev iagttaget med hensyn til sødestof-preference.

#### 5.8 Undersøgelser i mennesker

Der foreligger ikke rapporter om kliniske iagttagelser efter PBDE eksponering. Skønt der foreligger adskillige studier af personer, som har været udsat for PBDE i arbejdsmiljøet, har disse begrænset værdi for vurderingen, fordi der også har været samtidig eksponering til andre stoffer. I personer med højt konsum af fisk fra Østersøen, sås en sammenhæng mellem højt serum niveau af PBDE-47 og lavt TSH, men ingen sammenhæng til niveauer af T3 og T4, hvilket tyder på, at eksponering for PBDE-47 som følge af hyppig fiskespisning ikke har effekt på funktionen af skjoldbruskkirtlen hos mennesker.

#### 5.9 Kritisk effekt og tolerabel koncentration

Det er kun teknisk decaBDE, der er blevet undersøgt i langtidsforsøg, hvor meget høje doser (2,5% i foder) gav effekter på lever og skjoldbruskkirtel. Der foreligger kun begrænsede kort-tids (90 dage) undersøgelser i gnavere af kommercielle PentaBDE og OctaBDE produkter, som indeholder de congenere, som forekommer i luft, fødevarer og menneskers fedtvæv. Effekter sås i lever, skjoldbruskkirtel og nyrer. LOAEL i rotter for effekter på leveren var ca. 8 mg/kg legemsvægt/dag for en OctaBDE blanding og 2 mg/kg legemsvægt/dag for en PentaBDE blanding. Med højere doser sås også effekter på skjoldbruskkirtlen og nedsat T4 niveau i serum. Effekt på serum T4 er også set i fostre og nyfødte fra mødre doseret med pentaBDE fra dag 6 til 21 i drægtighedsperioden.

Præliminære undersøgelser med dosering af BDE-47 eller BDE-99 til mus og rotter i drægtighedsperioden eller til nyfødte unger har rapporteret om forskellige effekter relateret til nervesystemets udvikling (ændret adfærd, hukommelse og aktivitet) og effekt på skjoldbruskkirtlen og kønsudvikling med enkelt-doser ned til 60 µg/kg legemsvægt.

Der er imidlertid indikationer for, at en række af de beskrevne toksikologiske effekter kan være influeret af forureninger med potente dioxinlignende egenskaber, f. eks. polybromerede dibenzo-p-doxiner og furaner. Hvorvidt disse forureninger også vil kunne forekomme i f.eks. indeluft vides ikke. Selv

om der ikke kan fastlægges et NOAEL for PBDE ud fra de foreliggende undersøgelser, forekommer det ikke sandsynligt, at de mere toksiske congenere vil give alvorlige effekter i gnavere efter doser, der er lavere end ca 100 ug/kg legemsvægt/dag.

#### 5.10 Referencer

ATSDR (2005). Toxicological Profile for Polybrominated Biphenyls and Polybrominated Diphenylethers (Update). U.S. Department of Health & Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

WHO (2005). Polybrominated diphenylethers. Summary and Conclusion of the Sixty-fourth meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA), Rome, 8-17 February 2005, pp25-32.  
<http://www.who.int/ipcs/food/jecfa/en/>



# 6 Chlorerede opløsningsmidler - Trichlorethylen

Denne farlighedsvurdering er udarbejdet med udgangspunkt i følgende referencer: EC (2001), IARC (1995), Larsen (1995), WHO (1985).

## 6.1 Toksikokinetik

Trichlorethylen (TCE) optages hurtigt ved indånding af dampe, ved oral indtagelse og ved direkte hudkontakt. Absorptionen efter oral indgift er næsten fuldstændig. TCE fordeles hurtigt til kroppens væv og organer, men med størst affinitet for fedtrige væv. TCE omsættes i leveren til en række mere vandopløselige metabolitter, som udskilles med urinen, mens ca. 20% udskilles uomdannet via lungerne. Der er fundet kvantitative forskelle mellem forskellige dyrearter, men ikke kvalitative, mht. omsætningen af TCE.

## 6.2 Akut toksicitet

Hos mennesker påvirker TCE primært centralnervesystemet. Ved eksponering for høje koncentrationer ( $> \text{ca. } 25000 \text{ mg/m}^3$ ) ses narcosis. Ved lavere koncentrationer (fra omkring  $5500 \text{ mg/m}^3$ ) er rapporteret symptomer som hovedpine, kvalme, opkast, svækkelse af sanser, svimmelhed og træthed, samt nedsat evne til at udføre opgaver i visse adfærdstests. Ved ca.  $1600 \text{ mg/m}^3$  er ovennævnte symptomer ikke rapporteret. TCE virker irriterende i næse og svælg hos mennesker fra omkring  $800 \text{ mg/m}^3$ .

Hos forsøgsdyr ses ligeledes en påvirkning af centralnervesystemet samt af leveren ved høje akutte eksponeringer. Hos forsøgsdyr er rapporteret  $\text{LC}_{50}$ -værdier (for 4 timers eksponering) på  $65.000 \text{ mg/m}^3$  for rotter og på  $46.000 \text{ mg/m}^3$  for mus og orale  $\text{LD}_{50}$ -værdier for rotter fra 5400 til  $7200 \text{ mg/kg}$  og for mus omkring  $2900 \text{ mg/kg}$ .

Data tyder ikke på, at TCE har en sensibiliserende virkning.

I EU er TCE klassificeret R67 (dampe kan give sløvhed og svimmelhed) og Xi;R36/38 (irriterer øjnene og huden) (MM 2002).

TCE har lav akut toksicitet. De akutte effekter samt de iritative effekter vurderes på ovennævnte baggrund ikke som værende af kritisk betydning i relation til eksponering for TCE i indeklimaet.

## 6.3 Toksicitet ved gentagen eksponering

Ved længerevarende inhalation af TCE ses hos mennesker primært en påvirkning af centralnervesystemet, men der er også data, som tyder på, at leveren er et målorgan. Symptomerne for påvirkning af nervesystemet inkluderer træthed, svimmelhed, hovedpine, hukommelsestab og koncentrationsbesvær. Der kan fastsættes et nul-effektniveau (NOAEC) på ca.  $270 \text{ mg/m}^3$  for effekter på centralnervesystemet hos mennesker.

Hos forsøgsdyr ses ligeledes en påvirkning af centralnervesystemet efter inhalation af TCE gennem længere tid, og der kan fastsættes et NOAEC på ca. 1100 mg/m<sup>3</sup>.

Endvidere ses hos forsøgsdyr også effekter på nyrer, lever og lunger, samt høretab.

For effekter på nyrerne, som er karakteriseret ved hypertrofi af celler i tubuli og udvidelse af tubuli (tubulær cytomegali og dilatation), kan der fastsættes et NOAEC på ca. 540 mg/m<sup>3</sup>. Der er fremsat to hypoteser for virkningsmåden i nyrerne, men data er ikke tilstrækkelige til afgørende at pege på en af de to virkningsmåder, ej heller til at vurdere relevansen af nyreeffekterne for mennesker. Effekterne må på denne baggrund vurderes som værende relevante for mennesker.

Effekter på leveren inkluderer øget organ vægt, øget enzymaktivitet, stigning i niveauer af enzymer der er markører for nedsat leverfunktion, fedtinfiltration, hypertrofi af leverceller, og ved meget høje doser levercelle nekrose. Hos mus er endvidere set peroxisom proliferation. NOAEC for effekter på leveren kan sættes til ca. 1100 mg/m<sup>3</sup>.

Hos mus er der set effekter på lungerne (vacuoler i Clara celler). Det vurderes, at effekten på Clara cellerne er relateret til den måde, hvorpå mus omsætter TCE, hvorfor denne effekt ikke vurderes som værende relevant for mennesker.

Hos rotter er der konstateret hørenedsættelse efter inhalation af høje koncentrationer af TCE, og NOAEC for denne effekt kan fastsættes til ca. 4300 mg/m<sup>3</sup>.

TCE anses på dette grundlag for at kunne påvirke centralnervesystemet, hørelsen, lever og nyrer hos mennesker ved inhalation gennem længere tid.

#### 6.4 Genotoksicitet

TCE er blevet testet for skadelig virkning på generne i en lang række forskellige tests. Der er set klar mutagen virkning i flere *in vitro* testsystemer. Resultaterne i en lang række *in vivo* tests rettet mod forskellige endpoints er inkonsistente. Hos patienter med nyretumorer er der i to studier fundet en sammenhæng mellem mutationer i et specifikt gen i tumorceller fra nyrerne og arbejdsmæssig eksponering for TCE, men data er ikke tilstrækkelige til en klar konklusion.

EU's 'Specialised Experts' gruppe har for nyligt vurderet, at TCE har genotoksisk virkning *in vivo* i somatiske celler, men at der på baggrund af de tilgængelige data ikke kan foretages en vurdering for genotoksisk virkning i kønsceller.

I EU er TCE klassificeret Mut3;R68 (mulighed for varig skade på helbred) (MM 2002).

TCE anses på dette grundlag for at kunne forårsage genetiske skader hos mennesker.

## 6.5 Cancer

Den kræftfremkaldende virkning af TCE er undersøgt i en række studier af arbejdere eksponeret for TCE via inhalation. I de fleste af studierne sås ingen klar sammenhæng mellem eksponering for TCE og øget forekomst af kræft.

Et velgennemført kohortestudie indikerer en øget risiko for forekomst af kræft, især en speciel form for lymfom (non-Hodgkin's lymphoma), hos TCE eksponerede arbejdere. To andre studier indikerer øget risiko for udvikling af tumorer i nyrerne hos arbejdere eksponeret for høje TCE koncentrationer i arbejdsmiljøet.

Der er ingen studier vedrørende en eventuel kræftfremkaldende virkning hos mennesker efter oral eksponering for TCE.

EU's 'Specialised Experts' gruppe har for nyligt konkluderet, at der sandsynligvis er en sammenhæng mellem TCE eksponering og øget forekomst af nyretumorer samt non-Hodgkin's lymfom, men at bias og confounders ikke helt kan udelukkes, hvorfor 'Specialised Experts' ikke anbefalede klassifikation af TCE som et humant carcinogen (EU kategori 1).

TCE har kræftfremkaldende virkning hos forsøgsdyr. Hos rotter ses tumorer i nyrerne og hos mus i leveren ved inhalation af ca. 3200 mg/m<sup>3</sup>, men ikke ved ca. 1600 mg/m<sup>3</sup>. Der er også set tumorer i nyrer hos rotter og i lever hos mus efter oral administration af TCE. Endvidere er der set lungetumorer hos mus efter inhalation af ca. 800 mg/m<sup>3</sup> i et enkelt studie, men ikke ved ca. 540 mg/m<sup>3</sup> i et andet studie. Virkningsmekanismen for udvikling af nyretumorer hos rotter er ikke afklaret, og effekten må på denne baggrund vurderes som værende relevant for mennesker. Det er sandsynliggjort, at udviklingen af tumorer i leveren hos mus skyldes den peroxisom prolifererende virkning af en specifik TCE metabolit (trichloreddikesyre), en mekanisme som ikke er relevant for mennesker.

IARC (1995) har vurderet TCE som sandsynligt kræftfremkaldende hos mennesker (IARC gruppe 2A), der er begrænset evidens hos mennesker men tilstrækkelig evidens hos forsøgsdyr.

I EU er TCE klassificeret Carc2;R45 (kan fremkalde kræft) (MM 2002).

TCE anses på dette grundlag for at kunne fremkalde kræft hos mennesker.

## 6.6 Reproduktionstoksicitet

Sammenhæng mellem eksponering for TCE i arbejdsmiljøet og øget risiko for abort eller medfødte misdannelser hos fosteret er undersøgt i adskillige studier. Der kan ikke drages en klar konklusion på baggrund af disse studier.

Hos forsøgsdyr påvirker TCE fertiliteten, men kun ved høje dosisniveauer, hvor der samtidigt ses generelle toksiske effekter, som beskrevet ovenfor. Hos forsøgsdyr er der i konventionelle studier ikke set effekter på afkommet efter eksponering af mødrene via inhalation (op til ca. 9700 mg/m<sup>3</sup>) i drægtighedsperioden. I tests for påvirkning af nervesystemet hos afkom af rotter givet TCE oralt i drægtighedsperioden er der set effekter ved doser fra 30 til 110 mg/kg/dag.

TCE anses på dette grundlag for hos mennesker muligvis at kunne påvirke fertiliteten samt at kunne skade barnet under graviditeten. Effekterne er set ved relativt høje koncentrationer/dosisniveauer, hvorfor risikoen vurderes som værende lille.

## 6.7 Kritisk effekt og tolerabel koncentration

På baggrund af den nuværende viden vurderes det, at inhalation af TCE gennem længere tid kan give anledning til uønskede effekter hos mennesker i form af påvirkning af centralnervesystemet, skadelige effekter på lever, nyrer, fertilitet og på barnet under graviditeten, samt hørenedsættelse, genetiske skader, og udvikling af kræft. Den kritiske effekt vurderes at være den kræftfremkaldende effekt. TCE vurderes som et genotoksisk og kræftfremkaldende stof, dvs. at den kræftfremkaldende effekt igangsættes via en påvirkning af generne. Der anses ikke at være en tærskelværdi for denne effekt, dvs. en nedre grænse hvorunder der ikke er en risiko for udvikling af kræft. Der kan således ikke fastsættes en tolerabel koncentration for den kritiske effekt, hvorfor eksponeringen for TCE bør være så lav som praktisk opnåelig.

Miljøstyrelsen har for TCE beregnet luftkvalitetskriteriet til  $0,001 \text{ mg/m}^3$  ( $10^{-6}$  livstidsrisiko for udvikling af kræft) (Larsen 1995). Ifølge Luftvejledningen (MST 1990) sættes B-værdien til 40 gange luftkvalitetskriteriet for kræftfremkaldende stoffer, dvs. for TCE er B-værdien fastsat til  $0,04 \text{ mg/m}^3$  (MST 2002).

Arbejdstilsynet har for TCE fastsat en grænseværdi i arbejdsmiljøet til  $55 \text{ mg/m}^3$  (At 2005a).

For chlorerede opløsningsmidler accepterer Arbejdstilsynet efter anbefaling fra Arbejds miljøinstituttet en værdi på 1/200 af grænseværdien i arbejdsrum (At 2005b).

## 6.8 Referencer

At (2005a). Grænseværdier for stoffer og materialer. At-Vejledning fra Arbejdstilsynet C.0.1 April 2005.

At (2005b). Kommentar fra Finn Gamél Christensen til styregruppen 7. februar 2005.

EC (2001). Trichloroethylene. European Union Risk Assessment Report. European Chemicals Bureau.

EEC (2005). Annex I of Council Directive 67/548/EEC on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions relating to the classification, packaging and labelling of dangerous substances. June 6 2005. <http://ecb.jrc.it/classification-labelling/>

IARC (1995). Trichloroethylene. In: IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk to Humans, Dry cleaning, some chlorinated solvents and other industrial chemicals, Volume 63, Lyon.

Larsen PB (1995): Evaluation of health hazards by exposure to trichloroethylene and estimation of quality criteria in soil and drinking water. Instituttet for Toksikologi, Levnedsmiddelstyrelsen, 1995. Baggrundsrapport udarbejdet for Miljøstyrelsen.

MM (2002). Bekendtgørelse af listen over farlige stoffer. Bekendtgørelse nr. 439 af 3. juni 2002. Miljøministeriet.

MST (2002). B-værdivejledningen. Vejledning Nr. 2 2002. Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

MST (1990). Begrænsning af luftforurening fra virksomheder. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 6 1990.

WHO (1985). Trichloroethylene. Environmental Health Criteria 50. International Programme on Chemical Safety. World Health Organization, Geneva.

# 7 Chlorerede opløsningsmidler - Tetrachlorethylen

Denne farlighedsvurdering er udarbejdet med udgangspunkt i følgende referencer: EC (2004), EC (1996), IARC (1995), Larsen (1995/2001), WHO (1984).

## 7.1 Toksikokinetik

Tetrachlorethylen (TeCE) optages hurtigt ved indånding af dampe og ved oral indtagelse. Absorptionen efter oral indgift er næsten fuldstændig. TeCE fordeles hurtigt til kroppens væv og organer, men med størst affinitet for fedtrige væv. Langt den overvejende del af det optagne TeCE udskilles uomdannet via lungerne (ca. 80% hos mennesker og op til ca. 90% hos rotter). TeCE omsættes i leveren ved oxidation til en række mere vandopløselige metabolitter, som udskilles med urinen (2-3% af dosis), i fæces (ca. 2% af dosis), og i udåndingsluften (ca. 1%).

Der er også indikationer for, at der sker en konjugering med glutathion, og denne omsætningsvej, som sandsynligvis først finder sted ved høje dosisniveauer, leder til dannelse af metabolitten S-1,2,2-trichlorvinylcystein i nyrerne.

Der er fundet kvantitative forskelle mellem forskellige arter, men ikke kvalitative, mht. omsætningen af TeCE.

## 7.2 Akut toksicitet

Hos mennesker påvirker TeCE primært centralnervesystemet, men der kan også ses påvirkning af leveren ved meget høje koncentrationer. Koncentrationer fra ca. 7500 mg/m<sup>3</sup> kan medføre beruselse og bevidstløshed, mens eksponering for ca. 1400 mg/m<sup>3</sup> kan medføre opstemthed, hovedpine, sløvhed, nedsat koordinationsevne, kvalme og opkastning. Der kan fastsættes et nul-effektniveau (NOAEC) på ca. 720 mg/m<sup>3</sup> for effekter på centralnervesystemet. TeCE virker hos mennesker irriterende i næse/svælg og på øjnene ved ca. 700 mg/m<sup>3</sup>.

Hos forsøgsdyr ses ligeledes en påvirkning af centralnervesystemet samt leveren ved høje akutte eksponeringer. Hos forsøgsdyr er rapporteret LC<sub>50</sub>-værdier på over 20.000 mg/m<sup>3</sup> for rotter og mus, og orale LD<sub>50</sub>-værdier fra 2600 til 7800 mg/kg.

Data tyder ikke på, at TeCE har en sensibiliserende virkning.

TeCE har lav akut toksicitet. De akutte samt de iritative effekter vurderes på ovennævnte baggrund ikke som værende af kritisk betydning i relation til eksponering for TeCE i indeklimaet.

### 7.3 Toksicitet ved gentagen eksponering

Ved længerevarende inhalation af TeCE ses hos mennesker primært en påvirkning af centralnervesystemet, men der er også set effekter på leveren. På baggrund af de tilgængelige, men begrænsede studier, kan der fastsættes et NOAEC på ca. 135 mg/m<sup>3</sup> for effekter på centralnervesystemet. Hos arbejdere er der i nogle studier ikke påvist ændringer i leverfunktionen efter inhalation af ca. 700-2800 mg/m<sup>3</sup>, mens nedsat leverfunktion og levercirrhosis er rapporteret i andre studier, hvori der dog ikke er angivet eksponeringsniveauer.

Hos forsøgsdyr ses ligeledes en påvirkning af centralnervesystemet efter inhalation af TeCE gennem længere tid, og der kan fastsættes et NOAEC på ca. 5400 mg/m<sup>3</sup>.

Endvidere ses hos forsøgsdyr også effekter på lever og nyrer.

Effekter på leveren inkluderer øget organ vægt, øget enzymaktivitet, stigning i niveauer af enzymer der er markører for nedsat leverfunktion, fedtinfiltration, hypertrofi af leverceller, og ved meget høje doser levercelle nekrose. Der er også set peroxisom proliferation hos både mus og rotter efter oral administration af TeCE. Mus er tilsyneladende mere følsomme end rotter, idet effekten er meget mere markant hos mus end hos rotter. Der er set effekter på leveren ved den laveste koncentration (60 mg/m<sup>3</sup>) testet i dyreforsøg (mus), hvorfor der ikke kan fastsættes et NOAEC.

Effekter på nyrerne er set hos rotter og mus ved koncentrationer fra ca. 2000 mg/m<sup>3</sup> og fra ca. 1400 mg/m<sup>3</sup>, respektivt. Studier med oral administration af TeCE indikerer, at effekterne på nyrerne hos hanrotter (dannelse af hyalin dråber i proximale tubuli) sandsynligvis er specifikke for dette species og således ikke relevante for mennesker. På denne baggrund fastsættes et NOAEC på ca. 1400 mg/m<sup>3</sup> for effekter i nyrerne baseret på studier med mus.

TeCE anses på dette grundlag for at kunne påvirke centralnervesystemet, lever og nyrer hos mennesker ved inhalation gennem længere tid.

### 7.4 Genotoksicitet

TeCE er blevet testet for skadelig virkning på generne i en lang række forskellige tests.

Der er ikke set en sammenhæng mellem genotoksicitet og arbejdsmiljømæssig eksponering for TeCE i tre humane studier, men som følge af begrænsninger i disse studier kan der ikke drages en klar konklusion. Der er ligeledes ikke set skadelig virkning på generne i langt de fleste konventionelle *in vivo* og *in vitro* tests, men der er også forskellige former for begrænsninger i flere af disse tests, hvorfor der ikke på baggrund af disse kan drages en klar konklusion.

Flere TeCE metabolitter har vist genskadelende virkning i bakterie tests. En specifik metabolit (S-1,1,2-trichlorvinylcystein), som sandsynligvis kun dannes ved eksponering for relativt høje koncentrationer af TeCE, har vist klar mutagen virkning.

TeCE anses på dette grundlag ikke for i sig selv at kunne forårsage genetiske skader hos mennesker, men et genskadelende potentiale som følge af omdannelse til visse metabolitter kan ikke udelukkes.

## 7.5 Cancer

Den kræftfremkaldende virkning af TeCE er undersøgt i en række studier (mortalitet og incidens) af arbejdere eksponeret for TeCE. Der er endvidere studier, som har undersøgt sammenhængen mellem eksponering for TeCE i drikkevand og forekomst af kræft i den generelle befolkning. De fleste af disse epidemiologiske studier indikerer, at der ikke er en sammenhæng mellem eksponering for TeCE og øget risiko for udvikling af kræft, inklusive tumorer i lever og nyrer. Der er dog i nogle af mortalitetsstudierne af arbejdere rapporteret en positiv sammenhæng for udvikling af kræft i spiserør, svælg, mundhule og tunge, samt livmoderhalskræft og en speciel form for lymfom (non-Hodgkin's lymphoma), men det kan ikke udelukkes, at forekomsten af disse tumorformer skyldes confounders.

TeCE har kræftfremkaldende virkning hos forsøgsdyr. Hos rotter af begge køn er set øget forekomst af en speciel form for leukæmi (mononucleær celle leukæmi), og hos hanrotter en meget sjælden tumorform i nyrerne – begge ved inhalation af TeCE fra ca. 1400 mg/m<sup>3</sup> (den laveste koncentration i studiet). Efter kronisk oral administration i doser op til ca. 950 mg/kg/dag sås ingen øget forekomst af tumorer, men studiet har en begrænsning pga. en meget høj og tidlig mortalitet. Virkningsmekanismen for udvikling af nyretumorer hos rotter er ikke afklaret, og effekten må på denne baggrund vurderes som værende relevant for mennesker.

Hos mus ses tumorer i leveren ved inhalation af ca. 700 mg/m<sup>3</sup> (laveste koncentration i studiet) og ved orale doser fra ca. 400-550 mg/kg/dag (laveste dosisniveau der er undersøgt). Det er sandsynliggjort, at udviklingen af tumorer i leveren hos mus skyldes den peroxisom prolifererende virkning af TeCE, en mekanisme som ikke er relevant for mennesker.

IARC (1995) har vurderet TeCE som sandsynligt kræftfremkaldende hos mennesker (IARC gruppe 2A), der er begrænset evidens hos mennesker men tilstrækkelig evidens hos forsøgsdyr.

I EU er TeCE klassificeret Carc3;R40 (mulighed for kræftfremkaldende effekt) (MM 2002).

TeCE anses på dette grundlag for muligvis at kunne fremkalde kræft i nyrerne hos mennesker ved eksponering for høje koncentrationer af TeCE, men risikoen herfor vurderes som værende lille.

## 7.6 Reproduktionstoksicitet

Sammenhæng mellem eksponering for TeCE i arbejdsmiljøet og øget risiko for abort eller medfødte misdannelser hos fosteret, samt for påvirkning af fertiliteten er undersøgt i flere studier. I to studier er der ikke fundet en påvirkning af forplantningsevnen hos mennesker eksponeret for TeCE i arbejdsmiljøet, mens der er andre studier, som har rapporteret nedsat sædcellekvalitet hos mænd og menstruationsforstyrrelser hos kvinder. I flere studier er det undersøgt, hvorvidt der er en sammenhæng mellem eksponering for TeCE i arbejdsmiljøet og øget risiko for spontan abort. Alle de humane studierne har begrænsninger blandt andet i relation til angivelse af eksponeringsniveauer og samtidig eksponering for andre opløsningsmidler,



og der kan således ikke drages klare konklusioner på baggrund af disse studier.

Hos rotter sås ingen påvirkning af forplantningsevnen efter inhalation af TeCE i koncentrationer op til ca. 7000 mg/m<sup>3</sup>. Effekter på afkommet i form af reduceret vægt sås ved ca. 2100 mg/m<sup>3</sup> og i form af reduceret kuld størrelse, overlevelse og tilvækst ved ca. 7000 mg/m<sup>3</sup>. Der sås ligeledes alvorlige toksiske virkninger hos mødrene (effekter på centralnervesystemet) ved ca. 7000 mg/m<sup>3</sup> og lettere virkninger ved ca. 2100 mg/m<sup>3</sup>. NOAEC kan på denne baggrund fastsættes til ca. 700 mg/m<sup>3</sup> for både forældregenerationen og afkommet.

Hos rotter og kaniner eksponeret for TeCE ved inhalation af koncentrationer op til ca. 3400 mg/m<sup>3</sup> i drægtighedsperioden er der ikke set effekter på fostrene. Ved højere koncentrationer, hvor også mødrene var påvirkede, er set effekter på fostrene hos rotter. Hos fostre af mus er der set en let forsinket udvikling ved ca. 2100 mg/m<sup>3</sup>, men også mødrene var påvirkede ved denne koncentration. Ved høje orale doser, 900 og 1200 mg/kg/dag, hvor mødrene var alvorligt påvirkede, er der set resorptioner og reduceret vægt hos fostrene af rotter.

TeCE anses på dette grundlag for hos mennesker muligvis at kunne skade barnet under graviditeten. Effekterne er set ved relativt høje koncentrationer, hvor mødrene ligeledes var påvirkede, hvorfor risikoen for skader på barnet under graviditeten vurderes som værende lille.

## 7.7 Kritisk effekt og tolerabel koncentration

På baggrund af den nuværende viden vurderes det, at inhalation af TeCE gennem længere tid kan give anledning til uønskede effekter hos mennesker i form af påvirkning af centralnervesystemet, skadelige effekter på lever og nyrer samt på barnet under graviditeten, og muligvis udvikling af kræft. De kritiske effekter ved inhalation af TeCE vurderes at være effekterne på centralnervesystemet og leveren.

De humane data indikerer et NOAEC på ca. 135 mg/m<sup>3</sup> for effekter på centralnervesystemet. På baggrund af den nuværende viden fra studier i forsøgsdyr kan der ikke fastsættes et NOAEC for effekter på leveren, idet der er set effekter ved den laveste koncentration testet (ca. 60 mg/m<sup>3</sup>), ligesom det ikke kan afklares, hvorvidt levereffekterne hos mus skyldes peroxisom proliferation, en mekanisme som ikke er relevant for mennesker.

Miljøstyrelsen har for TeCE beregnet luftkvalitetskriteriet til 0,006 mg/m<sup>3</sup> baseret på effekter i leveren hos mus ved ca. 60 mg/m<sup>3</sup> og under anvendelse af en samlet usikkerhedsfaktor på 10.000 (Larsen 1995, MST 2002).

Arbejdstilsynet har for TeCE fastsat en grænseværdi i arbejdsmiljøet til 70 mg/m<sup>3</sup> (At 2005a).

For chlorerede opløsningsmidler accepterer Arbejdstilsynet efter anbefaling fra Arbejds miljøinstituttet en værdi på 1/200 af grænseværdien i arbejdsrum (At 2005b).

## 7.8 Referencer

At (2005a). Grænseværdier for stoffer og materialer. At-Vejledning fra Arbejdstilsynet C.0.1 April 2005.

At (2005b). Kommentar fra Finn Gamél Christensen til styregruppen 7. februar 2005.

EC (2004). Tetrachloroethylene. European Union Risk Assessment Report. European Chemicals Bureau. Fortroligt udkast.

EC (1996). Tetrachloroethylene. European Union Risk Assessment Report. European Chemicals Bureau. Fortroligt udkast.

EEC (2005). Annex I of Council Directive 67/548/EEC on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions relating to the classification, packaging and labelling of dangerous substances. June 6 2005. <http://ecb.jrc.it/classification-labelling/>

IARC (1995). Tetrachloroethylene. In: IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk to Humans, Dry cleaning, some chlorinated solvents and other industrial chemicals, Volume 63, Lyon.

Larsen PB (1995): Evaluation of health hazards by exposure to tetrachloroethylene and estimation of quality criteria in soil and drinking water. Institutet for Toksikologi, Levnedsmiddelstyrelsen, 1995. Baggrundsrapport udarbejdet for Miljøstyrelsen.

MM (2002). Bekendtgørelse af listen over farlige stoffer. Bekendtgørelse nr. 439 af 3. juni 2002. Miljøministeriet.

MST (2002). B-værdivejledningen. Vejledning Nr. 2 2002. Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

WHO (1984). Tetrachloroethylene. Environmental Health Criteria 31. International Programme on Chemical Safety. World Health Organization, Geneva.