

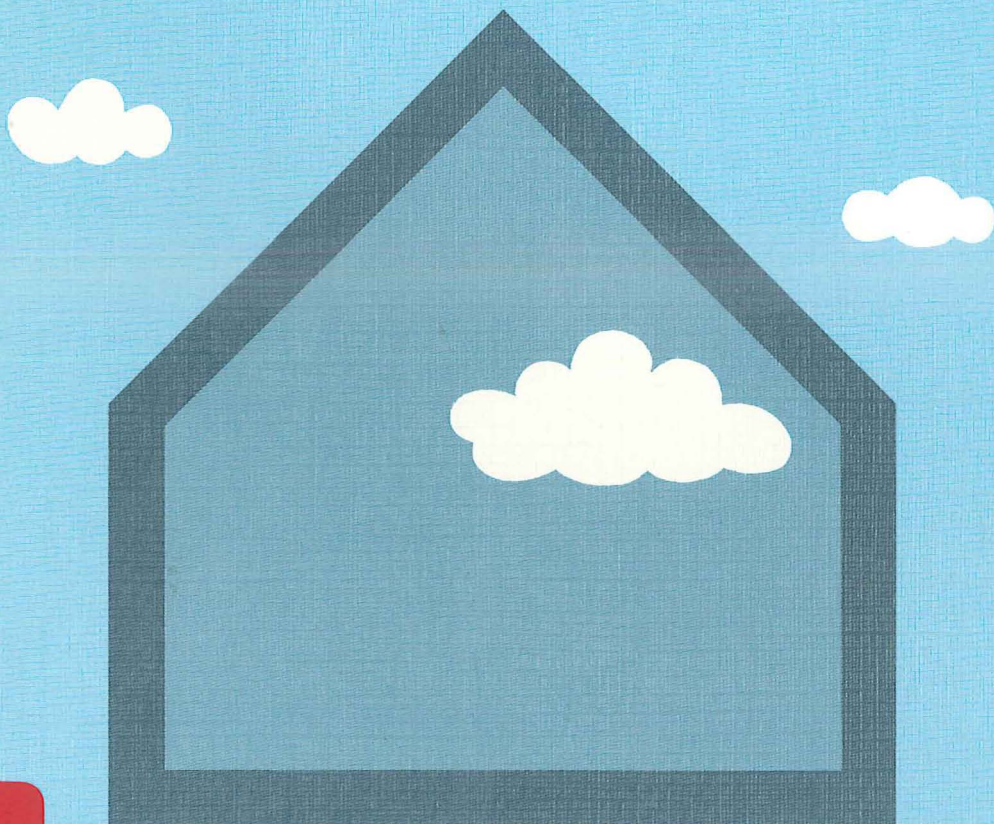
SBI - pibe.

Indeklimaets påvirkninger



Temperatur, lyd, lys, støv, gasser,
fugtighed, radioaktivitet, elektricitet og ventilation

SBI-RAPPORT 230 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1993



Indeklimaets påvirkninger

Temperatur, lyd, lys, støv, gasser,
fugtighed, radioaktivitet, elektricitet og ventilation

Redigeret af OLE VALBJØRN

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

ex-3

- 7 SEP. 1993

00449 P



SBI-rapporter er beretninger om afsluttede forskningsprojekter.

SBI-publikationer udgives i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Meddelelser, Byplanlægning og Beton. Publikationerne fås gennem boghandelen eller ved at tegne et SBI-abonnement. Institutets årsberetning og publikationskatalog er gratis og kan rekvireres fra SBI.

SBI-abonnement er en rabatordning med mange fordele for dem, der vil sikre sig løbende orientering om væsentlige udgivelser inden for byggeforskningsområdet. Ring til SBI og hør nærmere.

ISBN 87-563-0843-4.

ISSN 0573-9985.

Pris: Kr. 125,00 inkl. 25 pct. moms.

Oplag: 2500 eksemplarer.

Tekstbehandling: Yelva Jensen.

Tegninger: Annette Juul Muusfeldt og Henrik Pedersen.

Omslag: Henning Holmsted.

Tryk: Dyva Bogtryk, Glostrup.

Statens Byggeforskningsinstitut,

Postboks 119, 2970 Hørsholm.

Telefon 42 86 55 33.

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:

SBI-rapport 230: *Indeklimaets påvirkninger. 1993.*

Indhold

Forord	4
Indeklimaets virkninger	6
Peder Skov	
Termisk klima	17
Bjarne W. Olesen og Ove Nielsen	
Lyd	31
Jørgen Kristensen og Jens Holger Rindel	
Lys og belysning	42
Vibeke Clausen	
Støv og mikroorganismer	50
Suzanne Gravesen, Peter Lind og Peter A. Nielsen	
Gasarter og dampe	66
Peter A. Nielsen og Lars Gunnarsen	
Luftfugtighed	82
Ole Valbjørn og Nils Erik Andersen	
Luftbåren radioaktivitet	88
Niels Jonassen	
Statisk og atmosfærisk elektricitet	98
Niels Jonassen	
Ventilation	111
Erik Christophersen	
Summary	120
SBI Report 230: Indoor Climate Exposures	

Forord

Indeklimaet i boliger og på arbejdspladser er årsag til mange fysiske gener og i visse tilfælde medvirkende til udvikling af sygdomme. Der klages over træk, tør luft, støj, varme, tørre slimhinder, hovedpine, træthed og udvikling af allergi.

Nogle årsager til disse klager kendes og kan afhjælpes, mens andre ikke er så ligetil at finde. Der kan være tale om en samlet virkning af flere påvirkninger.

Der er siden udgivelsen af 1. udgave af SBI-rapport 110: Indeklimaets påvirkninger i 1978 og 2. udgave i 1983 præsenteret en lang række forskningsresultater, der dels demonstrerer forekomsten af luftforurenende stoffer i boliger og på arbejdspladser, dels redegør for sammenhænge mellem indeklimaets påvirkninger og de sundhedsmæssige forhold.

Denne udgave, der afløser SBI-rapport 110, medtager de seneste resultater fra forskningen siden 1983. Denne forskning har bragt mange nye oplysninger på området om årsager til indeklimaproblemer. Den indsamlede viden anvendes allerede nu i stigende grad ved udformningen af nye byggerier.

Indeklimaproblemer er ikke alene et dansk problem. I WHO's rapport "Indoor Air Pollutants Exposure and Health Effects Assessments" fra 1982 introduceres begrebet "Sick Building Syndrome". Det er en fælles betegnelse for de symptomer, der opleves i visse bygninger, og som berører hud, slimhinder og det almene velbefindende.

Der er dog stadig behov for yderligere grundvidenskabelig forskning, og ikke mindst information om den eksisterende viden. "Indeklimaets påvirkninger", der er et led i denne information, henvender sig både til projekterende arkitekter og ingeniører, samt de led i sundhedssektoren og den offentlige forvaltning, der

involveres i løsningen af indeklimamæssige problemer i boliger og på arbejdspladser.

Rapporten er udarbejdet af seks medarbejdere fra SBI sammen med bedriftslæge Peder Skov, SAS, civilingeniør Vibeke Clausen, Lys og Optik, cand.scient. Suzanne Gravesen, Allergologisk Laboratorium, cand.scient. Peter Lind, Proteinkemisk Institut, Københavns Universitet, dr.techn. Niels Jonassen, Laboratoriet for teknisk fysik, Danmarks Tekniske Højskole, civilingeniør Ove Nielsen, Bygge- og Boligstyrelsen, civilingeniør Jens Holger Rindel, Laboratoriet for Akustik, Danmarks Tekniske Højskole, samt civilingeniør Bjarne W. Olesen, Virginia Polytechnic Institute and State University.

Statens Byggeforskningsinstitut, juni 1993
Afdelingen for Energi og Indeklima
Erik Christophersen, forskningschef

Indeklimaets virkninger

Peder Skov

Indledning

Problemer med varme, kulde og træk, dårlig lugt og inde-lukket luft i boligen eller på arbejdspladsen har været og er fortsat hyppige. Fælles for disse problemer er, at de ofte har en sammenhæng med bygningernes indeklima, de er relativt lette at konstatere, og det er ofte muligt at afhjælpe dem, selv om det kan være bekosteligt. I sammenligning med arbejdsmiljøforhold som udsættelse for organiske opløsningsmidler, svejserøg og tunge løft kan indeklimaets påvirkninger synes mindre væsentlige. Alligevel har man inden for de sidste 10-15 år i stigende grad rettet opmærksomheden mod de indeklimatiske forhold i boliger og på arbejdspladser og her specielt kontorer, skoler og daginstitutioner. Dette skyldes blandt andet, at flere og flere tilbringer størstedelen af deres tid indendørs i bolig eller på arbejdsplads og på vejen frem og tilbage mellem disse i transportmidler som bil, tog eller fly.

Væsentligt for interessen har været, at der er dukket en række nye problemer op, hvoraf det mest udbredte er indeklimasymgen eller the Sick Building Syndrome, hvor bygningernes indeklima er en vigtig faktor. (1, 2, 3, 4). Energikrisen i begyndelsen af 1970'erne medførte, at man gjorde bygningerne tættere og nedsatte ventilationen. Sideløbende hermed er der blevet indført nye byggemåder, byggematerialer, indretning af bygningerne og indførelse af ny teknologi, specielt inden for edb-området. Disse forhold har efter alt at dømme spillet en afgørende rolle for de nye problemers opståen. Der er stigende forståelse for disse problemer og for, at de opstår i et komplekst sammenspil mellem bygningen, brugen af denne og de personer, der opholder sig i den.

Indeklima-
sygen

Gener forårsaget af indeklimaet

Et stort antal personer føler sig ofte generet af træk, kulde og en høj temperatur, når de er på arbejde. Eksempelvis fandt man ved en større dansk undersøgelse af rådhusene, Rådhusundersøgelsen (2), at 30 % af medarbejderne ofte var generet af træk, 30 % af fodkulde og 19 % af høj temperatur. Ligeledes er mange generet af inde-lukket luft (36 %) og tør luft (46 %). Endvidere viste undersøgelsen, at der var stor forskel mellem de enkelte rådhusene, således varierede klage over træk fra 15 til 61 %. Man kan ofte ud fra klagerne slutte, hvilke indeklimatiske forhold der skal ændres på for at reducere det pågældende problem. En undtagelse er dog klage over tør luft, idet luftens fugtighed sjældent spiller en rolle for, om man oplever luften som tør. Fornemmelsen af tør luft hænger efter alt at dømme sammen med en svag irritation af slimhinderne i næse og svælg.

Sygdomme forårsaget af indeklimaet

Udover disse gener er der en række sygdomme, som har relation til indeklimaet. Det drejer sig om allergiske luftvejslidelser, luftvejsinfektioner og øget risiko for lungekræft (3).

Sjældne, men alvorlige, er tilfælde, hvor personer udvikler en allergisk alveolitis eller befugterfeber. Begge sygdomme menes at skyldes en betændelsesreaktion i lungeblærerne (alveolerne) og i de små luftveje (bronchierne), hvor indåandede organiske partikler reagerer med immunapparatet. Disse sygdomme er hovedsageligt set i bygninger med luftkonditioneringsanlæg, hvor luften befugtes, og hvor der sker en voldsom vækst af bakterier, alger og svampe i befugtningsanlægget.

Allergisk snue og astma er andre luftvejslidelser, der kan forårsages af indeklimaet. Det kan dreje sig om allergi overfor stueplanter, eksempelvis stuebirk, over for skimmelsvampe i vandskadede bygninger og ikke mindst over for husstøvsmeden. Dårligt indeklima kan desuden have en uspecifik betydning for astma og allergisk snue. Personer, der har disse lidelser, kan opleve, at hyppighe-

Luftbe-
fugtersyge

Allergi

Legionærsyge

den og graden af astmaanfald og sværhedsgraden af allergisk snue har relation til ophold i specielle bygninger.

Legionærsygdommen, der er en lungesygdom, som i nogle tilfælde kan have et dødeligt forløb, blev første gang set i 1976 under Amerikansk Veteranorganisations Kongres ("American Legion" - heraf sygdommens navn) - hvor 29 personer døde. Sygdommen skyldtes en bakterie, som voksede i et køletårn nær luftindtaget til kongresbygningens luftkonditioneringsanlæg. Siden er flere lignende tilfælde blevet rapporteret, men der er dog tale om en sjælden lidelse.

Luftvejsinfektion

Indeklimaet kan også medvirke til en øget hyppighed af almindelige luftvejsinfektioner som forkølelse og ondt i halsen.

Lungekræft

Mens allergiske luftvejslidelser og luftvejsinfektioner knytter sig til relative korttidseffekter af indeklimaet, er der også eksempler på, at indeklimaet kan have langtidseffekter. Det drejer sig om udsættelse for radon, der giver en forhøjet risiko for lungekræft. Denne udsættelse sker væsentligst i hjemmet og er afhængig af jordbundsforhold og bygningens konstruktion, specielt fundament og kælder.

Slimhinde- og almen symptomer

Symptomer forårsaget af indeklimaet

Langt hyppigere er de mindre alvorlige, men generende symptomer fra slimhinder i øjne, næse og svælg og almene symptomer som tunghedsfornemmelse i hovedet, hovedpine, træthed og utilpashed. Disse symptomer har man sammenfattende kaldt indeklimasygen eller the Sick Building Syndrome. Ved en stikprøveundersøgelse (1) af den voksne danske befolkning fandt man, at 16 % havde slimhindeirritation en gang om ugen eller oftere, når de opholdt sig på deres arbejdsplads, og 12 % havde hovedpine. Begge symptomer var mindre hyppige, når personer opholdt sig i hjemmet (henholdsvis 7 % og 8 %). Symptomerne forekom specielt hyppigt hos personer, der udførte kontorarbejde.

Fra flere undersøgelser ved man, at hyppigheden af slimhindeirritation og almene symptomer kan variere be-

Tabel 1. Gennemsnitlig forekomst af symptomer for mænd (m) og kvinder (k) i boliger og på arbejde samt specielt i kontorarbejde. Tallene er baseret på undersøgelserne (1) og (2) med henholdsvis 2000 og 3400 personer.

Symptomer én eller flere gange ugentlig	Bolig		Arbejde - alle brancher		Kontorarbejde i alt arbejdsrelat.			
	m	k	m	k	m k		m k	
	%		%		%		%	
Slimhinde- irritation	6	8	12	21	35	49	20	32
							(10)	(19)*
Almen symptom	-	-	-	-	28	45	26	41
							(17)	(30)*

* Tal i () er den laveste symptomforekomst fundet i bygninger med mere end 80 ansatte i undersøgelsen (1).

tydeligt fra en bygning til en anden. Dette har været et tungtvejende argument for, at de indeklimatiske forhold i bygningen kan være medvirkende til denne forskel i symptomhyppighed.

Det er karakteristisk, at symptomerne hos den enkelte person er opstået dage til måneder efter indflytning i bygningen eller efter, at der er foretaget ændringer i bygningen. Personen er i øvrigt sund og rask, men oplever indtil flere gange ugentligt eller endda dagligt, at øjne, næse eller svælg bliver irriteret og at der opad dagen kommer en tunghedsfornemmelse i hovedet, en unormal træthed og eventuelt også hovedpine. Disse symptomer forsvinder eller bliver væsentligt mindre udtalte minutter til timer efter, at personen har forladt bygningen. For nogen sker bedring dog først efter, at de har været væk fra bygningen i flere dage, og for enkelte skal der en hel uge til. Der er desuden rapporteret om tilfælde, der - selv

om de ikke længere opholder sig i den pågældende bygning - har konstante symptomer og har udviklet en øget følsomhed for forskellige påvirkninger såsom tobaksrøg, malingslugt og lignende.

Der er i samme bygning ofte et betydeligt antal personer, der har lignende symptomer. Intensiteten af symptomerne kan dog variere betydeligt fra person til person, fra lette irritationsgener til så udtalte gener, at en sygemelding eller skift af arbejdsplads er nødvendig. I boliger har der også været tilfælde, hvor personer pga. indeklimaproblemer har måttet skifte bolig, dog sjældent grundet indeklimasygen, hyppigere grundet allergi.

Hudsymptomer

Tørhed af huden i ansigt og på hænder er andre hyppige klager, og enkelte klager over et forbigående rødt udslæt i ansigtet. Personer, der i forvejen har en hudlidelse såsom eksem eller hudlidelser knyttet til hudens talgkirtler, oplever, at ophold i specielle bygninger har betydning for forløbet af deres hudlidelse.

Objektive undersøgelser

Der findes ingen entydige undersøgelser, der hos den enkelte person kan afgøre, om denne persons symptomer eventuelt skyldes indeklimaet. Man har dog fundet, at personer, som er generet af irritation i øjnene, udviser objektive forandringer i øjnene i form af en nedsat funktionsduelighed af tårefilmen og ganske små sår i øjets bindehinde. Disse forandringer er ganske udbredte blandt personer, der arbejder på kontor. Man har også forsøgt at følge næsens tilstopningsgrad og lungefunktion hos enkelte personer og set en samvariation med ophold i specielle bygninger.

Disse objektive målemetoder er dog tidsrøvende og omkostningskrævende.

Spørgeskemaundersøgelser

Spørgeskemaer er derfor blevet det mest anvendte redskab til at undersøge, om der i en bygning forekommer problemer med indeklimaet, hvilken karakter disse problemer har, og hvor udbredte de er. Selv om der er forskellige problemer knyttet til brug af spørgeskemaer, har det vist sig at være et særdeles anvendeligt og pålideligt redskab.

Indeklimasygens risikofaktorer

Der er endnu mange uafklarede forhold omkring indeklimasygen - hvordan den opstår, hvad der sker i kroppen og hvilke luftforureningskomponenter, der kan give anledning til hvilke symptomer.

I bygninger, hvor der er mange personer, der klager over indeklimasygen, antages det ofte, at årsagen til disse symptomer er at finde i de målte indeklimafaktorer, der enten er lavere eller højere end de anbefalede standarder. Denne antagelse holder desværre ikke, idet adskillige undersøgelser ikke har kunnet finde sammenhæng mellem en række forskellige luftforureningskomponenter og forekomsten af symptomer.

Derimod har man været i stand til at indkredse forskellige risikofaktorer i epidemiologiske undersøgelser, og i nogle tilfælde kunne man eftervise effekten af disse i klimakammerforsøg. De identificerede risikofaktorer knytter sig til bygningsmæssige forhold såsom valg af en bygnings design, byggematerialer og inventar, hvorledes bygningen drives og vedligeholdes, hvilke aktiviteter der foregår i bygningen, og hvorledes det psykiske arbejdsmiljø er.

Ventilationsanlæg

Fleere større epidemiologiske undersøgelser har fundet en generel højere forekomst af indeklimasygen i bygninger med mekanisk ventilation, specielt luftkonditionerede bygninger, i forhold til bygninger med naturlig ventilation. Der er dog en betydelig variation i indeklimasygens forekomst selv imellem bygninger, der har samme type af ventilationsanlæg. Denne forskel har ikke kunnet henføres til mængden af tilført udeluft; muligvis drejer det sig om, hvor godt ventilationsanlæggene er konstrueret, drives og vedligeholdes.

Bygningsudformning

Bygningens alder, og derved valg af design og byggematerialer, synes også at spille en rolle, eksempelvis er en simpel bygningsparameter som højde til loftet stærkt afhængig af, i hvilken tidsperiode bygningen blev opført. I den danske Rådhusundersøgelse (2) var forekomsten af indeklimasygen lavest i bygninger bygget i perioden 1900-1960, og i en engelsk undersøgelse var forekomsten højere

i bygninger opført i 1970'erne end i bygninger opført før 1970 og i 1980'erne (5).

Byggematerialer

Der findes en række beskrivelser af tilfælde, hvor uheldigt valg af byggematerialer har givet problemer. Det kendteste og mest udbredte problem har været afgang af formaldehyd fra spånplader og fra urea-formaldehydskum brugt til isolering af bygninger. Fugemasser beregnet til brug udendørs har, når de i enkelte tilfælde fejlagtigt er blevet brugt indendørs, givet problemer specielt med ubehagelig lugt, hovedpine og utilpashed. Mineraluldsfibre, der er blevet frigjort i større mængder fra loftsplader eller fra ventilationsanlæg, har specielt givet øjen- og hudsymptomer.

Indretning og aktiviteter

Undersøgelser af kontorarbejdspladser peger på, omend ikke utvetydigt, at kontorets indretning og de aktiviteter, der foregår i kontoret, har stor betydning.

Således lider personer, der arbejder i storrumskontorer, ofte af indeklimasygge. Det samme gør sig gældende for personer, der arbejder i kontorer, der er vanskelige at gøre rene grundet brug af tekstile overflader (tæpper, hessian) og ud fra et rengøringsmæssigt synspunkt uhensigtsmæssigt indrettet kontor. Fotokopiering, brug af laserprintere, håndtering af papir, specielt selvkopierende papir og arbejde ved en skærmterminal er andre faktorer, der har indflydelse på forekomsten af indeklimasyggen.

Psykologiske forhold

Forhold, som hvilket arbejde der udføres, hvordan dette arbejde er organiseret og forholdet til overordnede og kolleger, har også betydning. Personer i underordnede stillinger med ensformigt arbejde og ringe indflydelse på arbejdets tilrettelæggelse har en højere frekvens af indeklimasyggen.

Personlige forhold

Forekomsten af indeklimasygge er højere blandt kvinder end blandt mænd. Det er dog uafklaret, om der er tale om biologiske forskelle eller om arbejdsmæssige forskelle. I Rådhusundersøgelsen blev forskellen mellem mænds og kvinders symptomforekomst tydeligt reduceret, når der blev taget hensyn til stilling og simple arbejdspsykologiske forhold. Personer, der lider af astma

eller høfeber, kan som nævnt forbigående få forværret deres lidelse i dårlige indeklimaer, men vil også have en større risiko for specielt slimhindeirritation.

Indeklima-påvirkninger

Indeluftens temperatur, luftens indhold af organiske gasser og dampe, støv, belysningens intensitet og bedømmelse af luftens kvalitet er væsentlige indeklimafaktorer, og de synes også at spille en rolle for indeklimasyggen.

Det er interessant, at selv små forskelle i luftens temperatur har en stor betydning for tunghedsfornemmelse i hovedet, hovedpine og utilpashed. Ved en stigning på 1 °C fra 22 til 23 °C vil risikoen for disse symptomer blive væsentligt forøget.

Luftens indhold af organiske gasser og dampe har også vist sig at have indflydelse på indeklimasyggen, men det er endnu uafklaret, hvilke gasser og dampe der er de væsentlige, og i hvilke niveauer de har en effekt. Kilder til de organiske gasser og dampe er personerne og deres aktiviteter (fotokopiering, papirhåndtering m.v.), kontormaskiner, inventar, gulvbelægninger, maling og byggematerialer.

Støv i indeklimaet, enten vurderet ud fra luftbårent støv eller gulvstøv, synes også at have betydning. Tobaksrygning er den væsentligste kilde til luftbårent respirabelt støv, medens personaktivitet og rengøringsforhold har indflydelse på mængden af gulvstøv. Specielt den organiske del af gulvstøvet (Makromolekylære organiske del - MOD) og de gramnegative bakterier i støv synes at være relateret til indeklimasyggen.

For meget og for lidt lys har også vist sig at være relateret til indeklimasyggen, og ikke overraskende overvejende til øjenirritation og hovedpine.

Der er en meget stærk sammenhæng mellem personers oplevelse af indeklimaets kvalitet og indeklimasyggen. Det er dog uhyre vanskeligt at afgøre, hvad der er årsag og virkning. Hvis en person får irritation af slimhinderne og bliver træt, hver gang vedkommende opholder sig i en bestemt bygning, er det naturligt, at personen vil være mere opmærksom på indeklimaets kvalitet. Om der er en

Tabel 2. Eksempler på risikofaktorer for indeklimalasyge. Arbejdsrelaterede symptomer i relation til personlige karakteristika, jobforhold og psykosociale faktorer. Effekten er angivet ved odds ratio (relativ risiko) (2).

NS = ikke statistisk signifikant

	Slimhinde- irritation, relativ risiko	Almen symp- tom
<i>Køn</i>		
Mand	1	1
Kvinde	1.6	1.8
<i>Høfeber</i>		
Nej	1	NS
Ja	1.3	
<i>Stilling</i>		
Direktør	1	1
Kontorassistent	3.1	1.6
<i>Selvkopierende papir</i>		
<i>Håndtering:</i>		
Nogle gange månedligt	1	1
Ugentligt/dagligt	1.3	1.5
<i>Fotokopiering</i>		
< 25 ark ugentligt	1	NS
≥ 25 ark ugentligt	1.5	
<i>Skærmterminalarbejde</i>		
< 1 time dagligt	1	NS
≥ 1 time dagligt	1.6	
<i>Tilfredshed med overordnet</i>		
Ja	1	NS
Nej	1.7	
<i>Tilfredshed med kolleger</i>		
Ja	NS	1
Nej		2.0

konsistent sammenhæng mellem hyppigheden af indeklimalasygen og luftens kvalitet bedømt af et udefra kommende personpanel er påstået men endnu uafklaret.

Et multifactorielt problem

Der er ofte et tæt sammenfald mellem de indeklimatiske faktorer. Eksempelvis kan det være svært at styre varme- og ventilationsforhold i storrumskontorer, hvilket kan give en højere lufttemperatur specielt sidst på dagen. Det kan endvidere være af arbejdsorganisatoriske grunde, at man har valgt at lade arbejdet udføre i storrumskontorer, hvor både arbejdsorganisationen og det, at arbejdet foregår i et storrumskontor, kan påvirke det psykiske arbejdsmiljø.

Årsagerne til indeklimalasygen skal sandsynligvis søges i et komplekst og uensartet sammenspil mellem flere af de ovenfor nævnte faktorer. Man må forvente, at flere forskellige sammensætninger af indeklimafaktorer kan være årsag til samme symptomer, og at samme sammensætning af indeklimafaktorer kan være årsag til forskellige symptomer.

Da en række af de ovennævnte indeklimatiske forhold som nævnt samtidig er tæt forbundne, er det forståeligt, at det har været og fortsat er vanskeligt at indkredse indeklimalasygens årsager.

Litteratur

- (1) Valbjørn, O.; N. Kousgård. Hovedpine og slimhindegener. (SBI-rapport 175). Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm 1986.
- (2) Skov, P.; O. Valbjørn; F. Gyntelberg. Rådhusundersøgelsen. Arbejdsmiljøfondet, København 1989.
- (3) Effects of Indoor Air Pollution on Human Health. (Report No 10). Commission of the European Communities, Luxemburg 1991.

- (4) Molina, C. et al. Sick Building Syndrome. A Practical Guide. (European Concerted Action. Indoor Air Quality & its Impact on Man. Environment and Quality of Life. Report No 4.) Commission of the European Communities, Luxembourg 1989.
- (5) Wolkoff, P.; S. Kjærgaard. Indeklimasyndromet i kontormiljøet. State-of-the-art oversigt. Bygge- og Boligstyrelsen, København 1992.
- (6) Burge, P. S. et al. Sick Building Syndrome. A study of 4373 office workers. I: Annales of Occupational Hygiene 31, 1987.

Termisk klima

Bjarne W. Olesen og Ove Nielsen

Fysiologiske forhold

For at mennesket opfatter det termiske klima behageligt, skal der være ligevægt imellem den varmemængde, der produceres i kroppen ved stofskifteprocesserne og den varmemængde, der afgives til omgivelserne. Varmen, der produceres, er afhængig af den fysiske aktivitet.

Varmeafgivelsen for en person til omgivelserne er afhængig af følgende faktorer:

- Lufttemperatur
- Middelstrålingstemperaturen
- Lufthastigheden
- Luftens fugtighed
- Beklædningens varmeisolering
- Aktivitetsniveau.

De fire første faktorer beskriver de termiske omgivelser, hvorimod beklædningen og aktiviteten er tilknyttet personen. Beklædningens varmeisolering angives normalt i enheden clo og aktiviteten i met. Se tabellerne 3 og 4.

At legemet er i varmebalance er ikke ensbetydende med, at betingelserne er acceptable. For at opnå varmebalance kræves måske en meget høj svedningsintensitet, der kan være meget belastende. Produceres der mere varme, end der afgives, vil kropstemperaturen stige. Tilsvarende vil kropstemperaturen falde, hvis der afgives mere varme, end der produceres. At kroppen således kan opretholde varmebalancen er et afgørende krav for, at arbejdet i de pågældende omgivelser kan fortsætte over en længere periode (arbejdsdag).

Termisk komfort

For at mennesket skal føle de termiske omgivelser acceptable, er det ikke ligegyldigt, hvordan disse oven-

PMV-PPD indeks

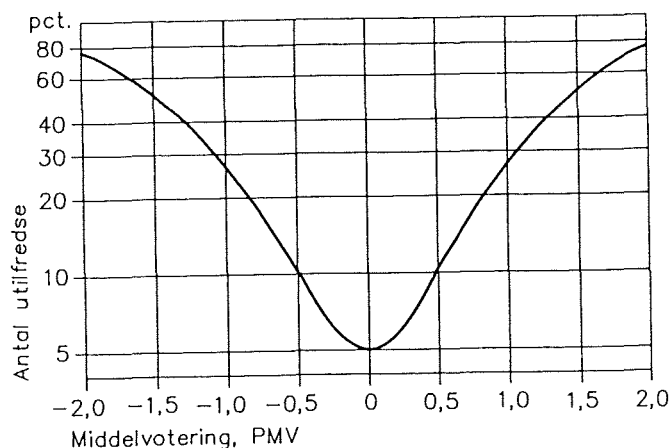
stående parametre kombineres. Kravet er, at mennesket skal være i termisk neutralitet, dvs. hverken ønsker omgivelserne varmere eller koldere.

Desuden er det et krav, at mennesket ikke udsættes for et uønsket lokalt varmetab fra fx træk, kolde vinduer, kolde eller varme gulve og lodrette lufttemperaturforskelle.

Det er den samlede indflydelse af de seks faktorer, der har betydning for en persons følelse af varme eller kulde. I litteraturen findes flere metoder beskrevet til at kombinere disse faktorer til et index, der kan relateres til indflydelsen på en person.

Den mest udbredte metode til vurdering af moderate termiske omgivelser er PMV-PPD indekset, der er beskrevet i den danske standard DS/ISO 7730. Ved hjælp af denne metode udregnes der, baseret på de seks termiske faktorer, et index - PMV-værdi -, der er et tal på følgende 7-punktsskala: +3 hedt, +2 varmt, +1 let varmt, 0 neutralt, -1 let køligt, -2 køligt, -3 koldt.

På denne skala svarer 0 til termisk neutralitet, dvs. at personerne i middel ikke ønsker omgivelserne varmere eller koldere.



Figur 1. Sammenhæng mellem middelvotering PMV og forventet antal utilfredse PPD, med det termiske klima.

PMV-værdien kan sammenlignes med den forventede middelvotering af en stor gruppe personer på ovenstående 7-punktsskala.

Der er store individuelle forskelle mellem personerne. Det er således ikke muligt at bestemme en rumtemperatur, hvor alle i et lokale er tilfredse, selv om de udfører samme arbejde og har samme påklædning. Forsøg med mere end 1300 personer (3) har bestemt følgende sammenhæng mellem PMV-værdien og det forventede antal utilfredse i et lokale (PPD = Predicted Percentage of Dissatisfied).

Komfortområde

Det optimale klima opnås, når $PMV = 0$. Grænser for et acceptabelt termisk klima er fastsat efter, at der højst er 10 procent utilfredse (forudsat samme aktivitet og beklædning). Det svarer til, at PMV er inden for området $-0.5 < PMV < 0.5$.

PMV-indekset kan bestemmes af de seks faktorer, lufttemperatur, middelstrålingstemperatur, lufthastighed, luftfugtighed, beklædning og aktivitet.

Operativ temperatur

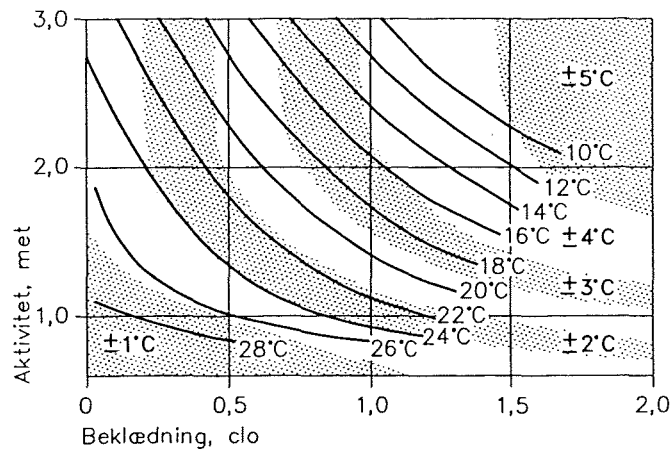
Indflydelsen af luft- og middelstrålingstemperaturen kan udtrykkes ved en fiktiv temperatur, der kaldes den operative temperatur. Den operative temperatur kan med god tilnærmelse sættes til middelværdien af luft- og middelstrålingstemperaturen, når lufthastigheden er mindre end 0,2 m/s, og der ikke er mere end 4 °C forskel på de to temperaturer.

Til praktisk brug anvendes figur 2, der angiver den optimale operative temperatur og komfortområdet som funktion af beklædning og aktivitet, der kan bedømmes af figurerne 3 og 4.

Komfortområdets bredde er afhængig af beklædning og aktivitet, idet større aktivitet og kraftigere beklædning giver et bredere interval. Hvis lufthastigheden er ca. 0,2 m/s, skal komfortområdet hæves ca. 1 °C i forhold til det angivne på figuren.

Aktivitetsniveau

Kendskab til aktivitetsniveauet (metabolismen) er vigtigt for at vurdere indflydelsen af de termiske faktorer på komfort, helbred og arbejdspræstation. Kun en lille del af den energi, der omsættes ved udførelse af et fysisk ar-



Figur 2. Den optimale operative temperatur (svarende til $PMV = 0$) som funktion af aktivitetsniveau og beklædning. De prikkede arealer angiver et komfortområde omkring den optimale operative temperatur, som vil medføre, at højst 10 procent forventes at blive utilfredse. Figuren forudsætter, at lufthastigheden er under 0,1 m/s og den relative luftfugtighed 50 pct.

bejde, sker i form af ydre arbejde. Den største del omsættes til varme. Derfor er aktivitetsniveauet et godt mål for varmeproduktionen i kroppen.

Aktivitetsniveauet angives oftest i enheden met, hvor 1 met svarer til en samlet varmeproduktion på ca. 100 watt hos en person, der udfører stillesiddende arbejde.

Ved hjælp af beklædningen er det muligt selv at regulere termiske komfort. Hermed kan der kompenseres for individuelle forskelle eller forskelle i aktiviteten. Beklædningens isoleringsevne angives i enheden clo, hvor 1 clo svarer til beklædningen hos en person iklædt jakkesæt. I tabel 4 er varmeisoleringen for en række typiske beklædninger angivet.

I mange arbejdslokaler er temperaturen ofte fastsat ud fra krav til den produktion, der foregår (slagterier, rene rum m.m.). Det er derfor vigtigt at vælge en beklædning, der er afpasset til forholdene.

Detaljerede oplysninger om arbejdsbeklædninger og de enkelte beklædningsdeles isolans fremgår af (4).

Tabel 3. Aktivitetsniveau (metabolisme) for en række typiske aktiviteter.

Aktivitet	Stofskifte met
Liggende	0,8
Siddende, afslappet	1,0
Stillesiddende aktivitet (kontor, hjem, skole, laboratorium)	1,2
Stående aktivitet (forretning, laboratorium, let industri)	1,6
Stående aktivitet (ekspedient, husarbejde, arbejde ved maskine)	2,0
Middelstor fysisk aktivitet (tungt arbejde ved maskine, værkstedsarbejde)	2,8
Elite-sportsaktivitet	15

Beklædningens varmeisolering

Luftfugtigheden

Luftfugtighedens indflydelse på den termiske komfort er lille, når temperaturniveauet svarer til det komfortable område. Fx modsvares en stigning på 20 procent af den relative fugtighed af ca. 0,5 °C reduktion af temperaturen.

Ved stigende temperatur, hvor en større del af varmen skal afgives ved svedning, stiger fugtighedens indflydelse. Den bør i så fald være lavere end 60-70 procent (se i øvrigt kapitlet "Luftfugtighed").

Variationer

Variationer af rumtemperaturen i tid og sted vil ofte være generende. Den operative temperatur bør altid ligge inden for intervallet, der er angivet i figur 2. Dvs. variationer i løbet af opholdstiden og variationer på et sted i opholdszonen til et andet bør ikke overskride de vi-

Tabel 4. Varmeisoleringen af en række beklædninger.

Beklædning	clo
Shorts, underbukser, T-shirt, lette sokker, sandaler	0,30
Let kjole med ærmer, underkjole strømpebukser, trusser	0,45
Lette bukser, skjorte med korte ærmer, underbukser, lette sokker, sko	0,50
Nederdel, sweater med rund hals, skjorte, trusser, tykke knæ sokker, sko	0,90
Jakke, bukser, skjorte, underbukser, sokker, sko	1,00

ste grænser. For siddende arbejde om sommeren (0,5 clo) betyder det et interval på 3 °C og om vinteren (1,0 clo) et interval på 4 °C.

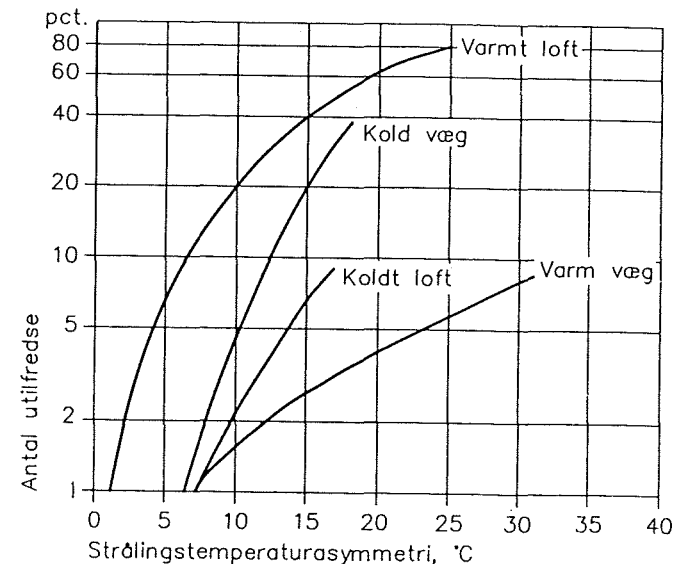
I tid bør ændringshastigheden ikke overstige 2 °C pr. time (1).

Lokal termisk komfort

Selv om ovenstående kriterier er opfyldt, vil der ofte være flere utilfredse. Det kan skyldes ubehag fra lokal afkøling eller opvarmning på kroppen, eksempelvis træk, asymmetrisk strålingstemperatur (kolde vinduer, opvarmede lofter), forskelle i lufttemperatur mellem hoved og fødder samt varme eller kolde gulve. Indflydelsen af disse parametre er hovedsagelig undersøgt på siddende personer med let arbejde, hvor der også er størst følsomhed over for påvirkninger.

Asymmetrisk stråling opstår ofte nær vinduer enten ved stråling til den kolde overflade om vinteren eller fra

Strålings-
temperatur



Figur 3. Procent utilfredse som funktion af strålingstemperatursymmetrien.

solstråling, men det kan også skyldes loftsvarme, eller højt lysniveau i loftet. Strålingstemperatursymmetrien angives som forskelle i strålingstemperatur i to modsatte retninger set i forhold til en lille plan overflade.

En person er mest følsom for varmestråling fra oven. Asymmetrien bør være mindre end 5 °C. Asymmetrien i vandret retning skal være mindre end 10 °C, når det drejer sig om kolde flader. Stråling fra varme flader er langt mindre kritisk. Et koldt loft giver sjældent problemer med for lav strålingstemperatur. Loftet vil nemlig normalt dryppe af kondens ved en højere temperatur end den kritiske, og det vil så være den begrænsende faktor.

I Danmark vil man normalt ikke overskride disse grænser om vinteren, selv ved placering tæt på et vindue med dobbelte ruder. Når der i praksis mange steder alligevel er klager over kulde nær vinduer, skyldes det snarere kuldene-fald og en for lav operativ temperatur.

En person kan ikke acceptere for store lufttemperaturforskelle mellem hoved og fødder. Især gælder det, når

Temperatur-
gradient

Lufthastighed

hovedet er varmere end fødderne. Det anbefales, at temperaturforskellen er mindre end 3 °C.

En øget lufthastighed medfører dels en generel afkøling af kroppen, dels en risiko for lokal afkøling dvs. træk. Oplevelsen af træk er stigende (antal personer eller styrken) for faldende lufttemperatur samt for stigende middellufthastighed og turbulens.

Turbulensintensiteten er forholdet mellem standardafvigelsen og middelværdien af lufthastigheden. Den er lavest i rum, der ikke er mekanisk ventileret og højest i rum med opblandingsventilation. Der er dog stor forskel fra sted til sted i de enkelte rum.

Figur 4 viser sammenhængen mellem lufttemperatur, middellufthastighed og turbulensintensitet ved et forventet antal utilfredse pga. træk på 15 procent. Det er vanskeligt ud fra en statistisk betragtning at opnå færre end 15 procent utilfredse pga. træk. Langt de fleste målinger af turbulensintensiteten ligger omkring 20 procent turbulensintensitet.

Figuren gælder for personer med fortrinsvis stille-siddende arbejde. Personer med en højere aktivitet kan acceptere højere lufthastighed.

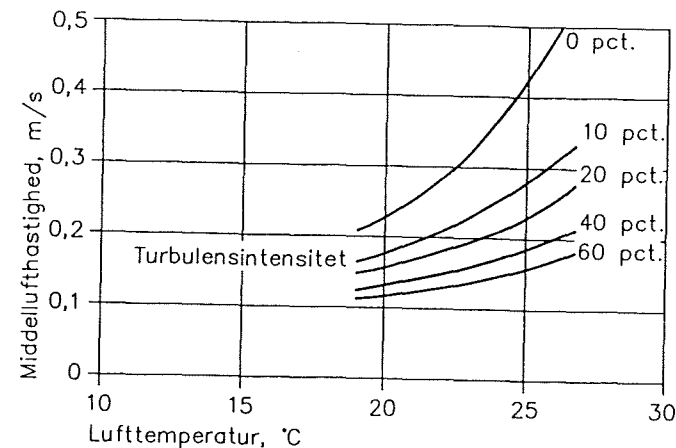
Gulvtemperatur

Ubehag kan også skyldes den direkte kontakt med for varme eller for kolde gulve. For siddende eller stående personer med normalt fodtøj anbefales, at gulvtemperaturen ligger i intervallet 19-26 °C. For personer med bare fødder eller sokker har gulvmaterialet betydning for den ønskede gulvtemperatur. Der skal fx være mindst 21 °C på tæpper og 27 °C på stengulve.

Antal utilfredse

I ovenstående er der vist en række sammenhænge mellem de enkelte klimaparametre og antal utilfredse både med hensyn til generel komfort og lokal diskomfort. Det samlede antal utilfredse er dog ikke blot summen af de enkelte utilfredshedsprocenter. Faktorerne kan kompensere hinandens virkning, og i nogle tilfælde forstærke hinanden.

De anbefalede retningslinier for den operative temperatur er baseret på, at der skal være færre end 10 procent utilfredse, og retningslinierne for de lokale para-



Figur 4. Acceptabel lufthastighed som funktion af lufttemperatur og turbulensintensitet, når højst 15 pct. må forventes at være generet af træk.

Tilvænnning

metre er baseret på 5-15 % utilfredse. Det antages derfor, at de givne retningslinier højst kan medføre, at der i en større gruppe vil være 80 procent tilfredse med de termiske angivelser, hvilket er i overensstemmelse med resultater af spørgeskemaundersøgelser (5).

Gennem lang tids udsættelse for meget kolde eller varme omgivelser opnås en vis form for tilvænnning. I kolde omgivelser ytrer tilvænningen sig ved, at en person lettere kan tolerere at være i en ukomfortabel tilstand. Det er konstateret, at reguleringen af blodomløbet i hænderne hos personer, der arbejder i kulde, ændres, således at blodomløbet ikke nedsættes.

I varme omgivelser ytrer tilvænningen sig ved, at en persons varmereguleringsystem virker hurtigere, bl.a. går svedproduktionen hurtigere i gang og derfor kompenseres for de varme omgivelser, inden det føles alt for ubehageligt, og desuden vænner personen sig til at svede. Tilvænningen kan optræde efter ca. 1-2 ugers ophold i de varme omgivelser i nogle timer om dagen. I begge tilfælde skal bemærkes, at personen er i en ukomfortabel tilstand. Komforttilstanden for tilvænnede personer, enten det er

til varme omgivelser eller til kolde omgivelser, er helt den samme som for ikke-tilvænnede personer.

En god kondition og lav alder betyder generelt, at den enkelte persons tolerance og accept af ikke-komfortable forhold er større.

Årstidens
komfortgrænser

Komfortgrænserne er de samme året rundt (6), men uden for komfortområdet er man om sommeren mere tilbøjelig til at acceptere en højere ukomfortabel rumtemperatur end om vinteren. I praksis skal også regnes med det forhold, at beklædningen for de fleste personer er lettere end vinterbeklædning.

Døgnrytme

Der optræder en vis ændring af den indre kropstemperatur gennem døgnet på 0,5 °C. Den laveste temperatur optræder tidligt om morgenen. Undersøgelser har vist, at dette ikke har betydning for den foretrukne rumtemperatur (7).

Kønnetts
indflydelse

Der er ikke nogen forskel i den foretrukne temperatur for de to køn, når de er iført samme beklædning og har samme aktivitet.

Alderens
indflydelse

Da basalstofskiftet falder med alderen, kunne det forventes, at jo ældre man blev, jo højere temperatur ønskede man. Men forudsat samme beklædning og aktivitet er der ingen forskel i komfortbetingelserne for yngre og ældre personer. Det lavere stofskifte kompenseres formentlig af et tykkere fedtlag i underhuden. Ældre personer er dog ikke så aktive som yngre og ønsker derfor ofte en højere rumtemperatur. Tolerancen over for afvigelsen fra den optimale temperatur er dog mindre og evnen til at tåle arbejde i varme omgivelser formindskes med stigende alder.

Børns komfort

Det er ikke undersøgt, om børns komfortkrav afviger fra de voksnes.

Luftkvalitet

Selv om der kan være termisk komfort ved 24 °C eller højere, viser undersøgelser, at luftkvaliteten opleves behageligst af flest personer, når lufttemperaturen er 20-22 °C (8), eller at der er en lavere forekomst af almen-symptomer (hovedpine og træthed) hos kontoransatte, når lufttemperaturen er under 23 °C (5). Den sandsynligste årsag er, at under i øvrigt samme ventilationsbetingelser

vil en stigende lufttemperatur forringe luftkvaliteten, fordi afgangingen fra byggematerialer, inventar og fx trykt papir øges.

Ikke-termiske klimafaktorerers indflydelse på den termiske komfort

Der foreligger ikke mange undersøgelser på dette felt. En enkelt forsøgsserie (9) med to forskellige farver belysning (blå og rød) og to forskellige lydtrykniveauer (40 dB(A) og 85 dB(A) viste, at det foretrukne temperaturniveau ikke var anderledes end ved neutrale farver, og at forskellen i lydtrykniveau ikke havde indflydelse.

Tidligere undersøgelser i fabrikker har dog vist, at høje lydtrykniveauer og høje temperaturer har samme negative indflydelse på præstationen ved manuelt arbejde. Se også kapitlet "Lyd", hvor der er refereret en undersøgelse af den relative betydning af støj, temperatur og luftkvalitet.

Kolde - varme omgivelser

En overskridelse af de angivne temperaturintervaller vil give anledning til mere eller mindre ubehag.

Kulde

Når rumtemperaturen bliver lavere end ca. 19 °C, begynder fingrenes bevægelighed at blive nedsat. Derved bliver arbejde med fingrene udført langsommere og med forøget fejlfrekvens. Også risikoen for uheld øges.

En lavere temperatur kan forsøges afhjulpet med en varmere beklædning, men det kan da gå ud over personens bevægelighed; ved forøget kulde vil kulderystelser automatisk sætte ind.

Varme

En højere temperatur kan til en vis grænse kompenseres ved at reducere beklædningen. Ved forøget temperatur vil svedkirtlerne træde i funktion, og fordampning af sved kan blive en stor andel af varmeafgivelsen. Især ved stillesiddende arbejde føles det for de fleste mennesker ubehageligt at svede.

Allerede når temperaturen er nogle få grader over komfortområde, vil der ske en sænkning af muskelspændingen og derigennem også en sænkning af vågenheds-

graden, da denne er sammenkoblet med reguleringen af muskelspændingen. Dette medfører en reduktion af både den intellektuelle og manuelle præstation. Fejlfrekvensen øges, og der kan optræde hovedpine og anden utilpashed. Der foreligger undersøgelser (10), der viser, at ved intellektuelt arbejde reduceres præstationen først hos de personer, der i forvejen har en svag præstation. En undersøgelse af personer i kontorarbejde (12) viste ingen ændringer i præstationen ved temperatur 4 °C over komfortområdet, men personerne overvurderede deres præstation og følte sig mere trætte og søvnige.

Varmestress

Arbejde i varme omgivelser kan være farligt for personer med dårligt hjerte og kan i øvrigt udløse hedeslag. Der findes en række indices, der udtrykker varmebelastningen fra omgivelserne. Internationalt anbefales det at anvende det enkle index WBGT (12), eller det noget mere komplicerede "Nødvendig svedtab, SWreq" (13). For kolde omgivelser anbefales at anvende standarden DS/INSTA 352 (14), der omhandler den nødvendige beklædningsisolering.

Boliger

Årsager til termiske indeklimagener

I boliger er de karakteristiske indeklimagener træk fra utætte vinduer og overopvarmning på grund af solindfald og dårligt regulerbare varmeanlæg. I skoler, kontorer og arbejdspladser i industrien er den hyppigste indeklimagene træk, hovedsagelig fra dårligt indregulerede og vedligeholdte ventilationsanlæg, men også høje lufttemperaturer forekommer.

Arbejdspladser

I industrien findes desuden en række arbejdspladser, hvor der er koldt eller varmt. De kolde arbejdspladser er ofte nær porte, hvor temperaturen er lav, og det ofte trækker. Mangelfuld eller dårlig reguleret opvarmning forekommer også. For høj temperatur hænger ofte sammen med processerne, undertiden kombineret med solvarme gennem vinduer og store flade tage.

En stor del af kilderne til klimagener stammer fra bygningerne og det, der foregår i dem, men en ikke ubetydelig del stammer fra uhensigtsmæssig brug og drift af

bygninger og varme- og ventilationsanlæggene. En opgørelse af de almindeligste problemer og deres løsning fremgår af (15) og (16).

Litteratur

- (1) ASHRAE standard 55-90: "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy", 1990.
- (2) DS/ISO 7730 "Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort", 1984.
- (3) Fanger, P. O. Thermal Comfort. Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar FL 1982.
- (4) Elnäs S.; I. Holmar; B.W. Olesen. Arbetsplatsens klimat. Mätning och bedömning. I: Arbete och Hälsa 1985:43.
- (5) Skov, P.; O. Valbjørn; F. Gyntelberg. Rådhusundersøgelsen. Arbejdsmiljøfondet, København 1989.
- (6) McNall, P. E.; P. W. Ryan; J. Jaax. Seasonal variation in comfort conditions for college-age persons in the Middle West. I: ASHRAE Transactions 74(1):IV.2.1-IV.2.9, 1968.
- (7) Fanger, P. O.; J. Højbjerg; J. O. B. Thomsen. Thermal comfort conditions in the evening. I: International Journal of Biometeorology 18(1):16, 1974.
- (8) Andersson L. O. et al. Människans reaktion för torr, fuktad och intermitterent fuktad luft. (Rapport R63:1975). Statens Institut för Byggnadsforskning, Stockholm 1975.
- (9) Fanger, P. O., N. O. Breum, E. Jerking. "Can color and noise influence man's thermal comfort?". I: Ergonomics, 20, 1977.
- (10) Wyon D. P.; I. Holmberg. Systematic observation of classroom behaviour during moderate heat stress. Thermal comfort and moderate heat stress, proc. CIB (W 45) Symposium, Garston 13-15

- September 1972. (Building Establishment Report no 2). HMSO. London 1973.
- (11) Wyon D. P. The effects of moderate heat stress on typewriting performance. I: *Ergonomics* 17, 1974, pp. 309-318.
 - (12) ISO 7243 "Hot Environments - specifications relating to instruments and methods for measuring physical quantities of the environment." 2. udgave, 1989.
 - (13) ISO 7933 "Hot Environments - Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate". 1989.
 - (14) DS/INSTA 352. "Beskyttelsesbeklædning. Klæder mod kulde. Klassifikation, mærkning og instruktion. Anneks: Vejledning vedr. anvendelse af standarden". Dansk Standardiseringsråd, København 1989.
 - (15) Valbjørn, O. Ventilation i Industrien. 2. udg. (SBI-anvisning 106). Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1983.
 - (16) Valbjørn, O. et al. Indeklimaproblemer. Undersøgelse og afhjælpning. (SBI-rapport 199). Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1989.

Lyd

Jørgen Kristensen og Jens Holger Rindel

Lyd som klimafaktor

Forekomst af støj

Støj er en udbredt årsag til gener i indeklimaet. På landsbasis er ifølge "Levevilkår i Danmark" 1992 (1) 26 % af beboere i etagehuse generet af støj fra naboer, 21 % er generet af støj fra gade eller vej og 9 % er generet af støj fra tog eller fly. Tallene er noget lavere for beboere i enfamiliehuse. I arbejdsmiljøet blev det i en stor dansk undersøgelse (2) fundet, at 38% anførte støj som den mest generende faktor i arbejdsmiljøet, og at støj var den oftest nævnte faktor.

Opfattelse af lyd

Opfattelse af lyd er en sammensat proces, der afhænger af lydets frekvens og styrke, af rummets akustiske forhold og af personens høreegenskab, kendskab til den hørte lyds oprindelse, personens øjeblikkelige beskæftigelse og sindstilstand samt flere andre personafhængige forhold. Det er ikke muligt at fastsætte normer for lyd klimaet, således at det tilfredsstillende alle.

Enkelte af de forhold, der er bestemmende for lyd klimaet, kan angives i målelige størrelser, mens de fleste personafhængige forhold endnu knap kan beskrives, idet der fortsat er mange uafklarede sammenhænge.

Sammenhænge mellem faktorer

Der er utvivlsomt sammenhænge mellem lyd og andre indeklimafaktorer; men det er vanskeligt at påvise sådanne sammenhænge. Alligevel har de fleste mennesker sikkert fornemmelse af en sammenhæng fx mellem det hørte og det sete i en oplevelse. Der kan således være tale om en vekselvirkning mellem flere faktorer ved samtidig påvirkning; men der kan også være tale om en præference mellem to faktorer, hvis der foreligger en valgmulighed; fx foretrækkes i en given situation et forøget støjniveau frem for en forhøjet rumtemperatur.

Betingelser for godt indeklima

De væsentlige betingelser for at opnå et godt indeklima med hensyn til lyd er, at materialer og inventar giver en lydabsorption, der er afpasset til rummets anvendelse, og at rummets omgivende bygningsdele yder en tilstrækkelig isolation mod lyd og vibrationer fra naborum eller udefra. Der stilles gennem forskellig lovgivning en række krav til lydforhold, som alle sigter mod at skabe rimeligt tilfredsstillende betingelser for menneskers ophold. Det må alligevel konstateres, at der er en række vigtige områder, hvor der ikke stilles krav til lydforhold, fx mellem rum inden for en bolig.

Fysiske forhold

Lyd og vibrationer

Lyd og vibrationer er fysisk set to sider af samme sag. De er begge mekaniske svingninger karakteriseret ved antal svingninger per sekund også kaldet svingningernes frekvens, der måles i enheden hertz (Hz). Lyd kan frembringes af vibrationer, og vibrationer kan frembringes af lyd. Det er normalt underforstået, at lyd er hørbar; men i forbindelse med en generel vurdering af lyd klima i bygninger vil det være hensigtsmæssigt under begrebet støj også at medtage ikke-hørbar lyd, infralyd. Infralyd er lyd med frekvenser mellem 0,1 Hz og 20 Hz, medens hørbar lyd dækker frekvenser fra ca. 20 Hz til omkring 20 kHz. Der anvendes hyppigt betegnelsen lavfrekvent lyd og lavfrekvente vibrationer, som omfatter svingninger med frekvenser under 100 Hz. Lavfrekvente ikke hørbare vibrationer betegnes ofte som rystelser.

Infralyd

Styrken af en svingning, et lydtryk eller en vibration, karakteriseres ved enheden decibel (dB). Dette er en relativ størrelse, der altid er knyttet til en referencestørrelse. Sådanne størrelser er for lyd og vibrationer standardiseret og findes angivet i DS/ISO 1683 (3).

Måling af lyd

Til måling af lyd anvendes normalt instrumenter, der kan foretage frekvensvægtning efter en filterkarakteristik A , som udgør en grov tilnærmelse til ørets opfattelse af støj. Der findes i de fleste lydtrykmålere indbygget frekvensvægtende filtre, fx filterkarakteristikken A . Når lydtrykniveauet måles med ens vægtning af alle frekvenser,

også kaldet lineær karakteristik, betegnes lydtrykniveauet ved L_p . Anvendes filterkarakteristikken A betegnes lydtrykniveauet ved L_{pA} eller L_A . Enheden er i alle tilfælde dB. Da det i mange sammenhænge er ønskeligt at kunne udtrykke lydtrykniveauet over en eller anden tidsperiode ved et enkelt tal, er det blevet almindeligt at anvende det energiekvivalente A -vægtede lydtrykniveau, L_{AeqT} , hvor T angiver det tidsinterval, hvori målingen har fundet sted. Med de fleste nyere lydtrykmålere kan L_{AeqT} måles direkte. L_{AeqT} anvendes som mål for lydtrykniveauet i de fleste bestemmelser om støj i boliger og på arbejdspladser.

Måling af vibrationer

På tilsvarende måde som A -vægtningen til lyd er der til måling af vibrationer indført et særligt frekvensvægtende filter, et såkaldt KB-filter. Dette filter er en grov efterligning af menneskets følsomhed for vibrationer i stående eller liggende stilling inden for frekvensområdet 1-80 Hz.

Efterklangstid

Et rums akustiske tilstand bestemmes af dets efterklangstid, dvs. den tid det tager fra en lyd giver afbrydes, indtil lydtrykniveauet i rummet er aftaget med 60 dB fra sin begyndelsesværdi. Efterklangstiden kan være mere eller mindre frekvensafhængig. I rum med god akustik er efterklangstidens længde afpasset til rummets anvendelse, og dens frekvensafhængighed er reduceret ved brug af forskellige lydabsorptionsmaterialer. I Bygningsreglement BR-82 (4) foreskrives længden af efterklangstiden i bl.a. undervisningsrum, og fra Arbejdstilsynet (5) findes øvre grænser for efterklangstid i arbejdslokaler. Efterklangstiden betegnes ved middeltallet af de inden for det foreskrevne frekvensområde målte værdier per 1/3 oktav.

Fysiologiske forhold

Tab af hørelse

Store lydtryk og kraftige vibrationer belaster den menneskelige organisme. Meget høje lydtrykniveauer, over 120 dB, kan frembringe øjeblikkeligt tab af hørelsen i større eller mindre frekvensområder, afhængig af lydens varighed og frekvensspektrum.

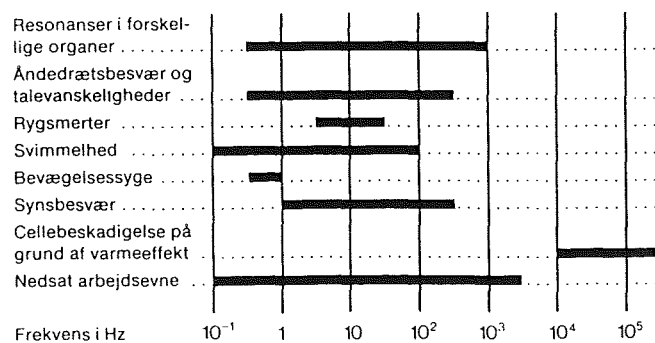
Høje lydtrykniveauer L_{Aeq} på mere end 85 dB giver ved en daglig belastning i 8 timer gennem mange år en forøget risiko for høretab. For eksempel giver en støjbelastning på 85 dB i 35 år statistisk set en risiko for, at 9 pct. af de støjeksponerede får en støjskade, dvs. et høretab der vanskeliggør opfattelse af tale. I alt 30 pct. vil have udviklet høretab, men heraf ville de 21 pct. alligevel have fået et høretab, selv om de ikke havde været udsat for en støjbelastning større end 80 dB, ISO 1999 (6). Ved støjbelastninger under 80 dB er den forøgede risiko for høretab på grund af støjeksponering ubetydelig. Støjbelastning med mindre lydtrykniveauer end de ovenfor omtalte kan fremkalde andre målelige biologiske reaktioner end dem, der finder sted i høreorganet.

Ubehag ved vibrationspåvirkning

Kraftige vibrationer af hele kroppen giver i reglen utilpashed, der kan udarte forskelligt afhængig af frekvensen af vibrationerne. Generelt er der jf. (2), pag. 87, mulighed for at få åndedrætsbesvær, talevanskeligheder, svimmelhed, synsforstyrrelser og nedsat arbejdsevne.

Eksponeeres dele af legemet, fx hænder, under et dagligt arbejdsforløb gennem længere tid med kraftige vibrationer, kan disse medføre risiko for varig skade, "hvide fingre".

Vejledende grænser for opholdstid under forskellige grader af vibration findes angivet i ISO 2631 (7).



Figur 5. Effekten af helkropsvibrationer ved forskellige frekvenser.

Enhed dB	Symbol	
120	L_{pA} L_p	Betegnes ofte som smertegrænse. Høretærskel ved ca. 2 Hz.
110	.	
100	.	
90	L_{Aeq}	Grænse for tilladeligt støjniveau ved 8 timers arbejde uden høreværn.
80	L_p	Høretærskel ved ca. 20 Hz.
70	L_A	Risiko for høreskader anses for usandsynlig.
60	.	
50	$L_{Aeq}(24)$	Vejledende grænse for trafikstøjniveau uden for boligens vinduer, målt over 24 timer.
40	$L_{Aeq}(1/2)$	Vejledende grænse for natstøjniveau fra erhvervsaktiviteter i boligområde, målt over den halve time, hvor niveauet er højest.
30	L_{Aeq}	Grænse for tilladeligt støjniveau fra installationer i boliger.
20	.	
10	L_{pA}	Baggrundsstøjniveau ved nat i stille områder.
0	L_p	Høretærskel ved 1000 Hz.

Figur 6. Nogle grænser i relation til støjniveauets størrelse.

Ubehag ved lavfrekvent lyd påvirkning

Kraftige påvirkninger af den menneskelige organisme med lavfrekvent lyd giver ofte ubehagsfølelser, som minder om virkningen af vibrationer. Tærsklen for opfattelse af lyd vokser med aftagende frekvens.

Acceptabelt støj- og vibrationsniveau

Psykologiske-fysiologiske forhold

Små lydtryk og svage vibrationer vil altid forekomme. Der foreligger kun sparsomme undersøgelsesresultater, der klart indikerer, hvilket støjniveau og hvilket vibrationsniveau, som er acceptable i en given komfortsituation.

Tilladelige
støjniveauer
i boliger

Ved gentagne forsøg kan der forekomme meget store variationer i den tærskelværdi, som måles, både for den enkelte person og fra person til person.

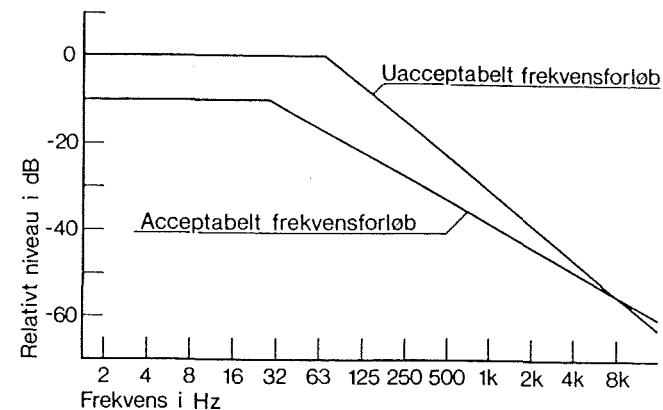
Der findes i litteraturen adskillige forslag til grænser for tilladelige støjniveauer i boliger. Forslagene varierer fra 25 dB til ca. 40 dB for L_A eller L_{Aeq} . I BR-82 (4) er det maksimalt tilladelige støjniveau fra installationer $L_{Aeq,2min} = 35$ dB i umøblerede rum. Dette svarer til ca. 30 dB i møblerede rum. Ved formulering af krav til facaders lydisoliation har Danmark valgt en døgnmiddelværdi $L_{Aeq,24h} = 30$ dB som det tilstræbte maksimale støjniveau i beboelserum.

Klager over støj
og vibrationer

Blandt klager over støj forekommer der relativt mange, hvor det er svage vibrationer og lavfrekvent støj med et lavt niveau, som er årsag til generne. Sådanne klagemål forekommer både i boligbebyggelser og i kontorbygninger. Infralyd anføres undertiden som en mulig årsag til gene. Den høje tærskelværdi for infralyd betyder imidlertid, at der kan forekomme ret høje infralydniveauer, før den bemærkes. Ifølge svenske undersøgelser (8), pag. 10, kan infralyd ved høje niveauer ikke blot frembringe ubehag, men endog udgøre en risiko for direkte lidelser. Der er dog ikke noget der tyder på, at infralyd ved lavere niveauer end tærskelværdierne er i stand til at frembringe nogen form for ubehag. Grænser for infralyd fremgår af (9) og (10).

Lavfrekvent støj

I en række tilfælde er der ved måling af støj, som af klagerne ofte betegnes infralyd, konstateret forholdsvis høje støjniveauer i frekvensområdet 30-80 Hz end i infralydområdet. Det er også konstateret, at der ofte kun er få dB mellem bedømmelsen tilfreds og meget utilfreds. Sådanne resultater er omtalt i (11), pag. 65, hvor den hypotese fremsættes, at lydtrykniveauets mere eller mindre stejle forløb som funktion af frekvensen kan være årsag til, at genevirkningen af to lyde kan være meget forskellig, selv om det A-vægtede lydtrykniveau er det samme. I figur 7 er vist to idealiserede forløb af spektre for støj, som henholdsvis vurderes acceptabel og uacceptabel.



Figur 7. Idealiseret frekvensspektrum baseret på middelværdier på 5 acceptable og 9 uacceptable situationer med lavfrekvent støj. I (11), pag. 65, fremsættes den formodning, at lydtrykniveauets forløb med frekvensen har betydning for genevirkningen.

Ubalanceret støj-
spektrum

Den amerikanske akustiker, Beranek, har foreslået en metode til at måle graden af ubalance i et støjspektrum ved at sammenholde en oktavbåndsanalyse af støjen med de såkaldte NCB-kurver (12). Metoden er udviklet i erkendelse af, at for visse støjtyper er støjens niveau, fx L_{Aeq} , ikke tilstrækkelig til at afgøre, om støjen er acceptabel i indeklimaet. De hyppigst forekommende eksempler på støj, som er særligt generende på grund af ubalanceret spektrum, er af typen lavfrekvent (buldrende) støj; men ubalanceret højfrekvent (hvislende) støj forekommer også.

Grænser for vi-
brationer

Miljøstyrelsen har indført vejledende grænseværdier for vibrationer i boliger (13). Det er karakteristisk, at grænseværdien for acceptable vibrationer i boliger kun ligger få dB over tærsklen for mærkbare vibrationer. Ligesom ved lavfrekvent støj er der et meget lille interval fra føletærskel til genevirkning.

Støj og andre indeklimafaktorer

Der er gennemført en sammenlignende undersøgelse med temperatur, luftkvalitet og støj som de indgående faktorer (14). Som støj blev benyttet vejtrafikstøj med lille

tidsvariation og med lydtrykniveauer L_{Aeq} mellem 40 dB og 75 dB, og indeklimaet blev vurderet med henblik på kontorarbejde. Beklædningen var ca. 1 clo, og aktivitetsniveauet ca. 1,2-1,6 met.

Ved variation af hver af faktorerne for sig blev der etableret en sammenhæng med den procentdel, der er utilfredse med indeklimaet. Det fremgår eksempelvis, at for at opnå under 10 % utilfredse skal støjen være under 46 dB og temperaturen under 24 °C. Et resultat af disse forsøg er, at en temperaturstigning på 1 grad svarer til ca. 3 dB forøgelse af lydtrykniveauet.

Støj og luftkvalitet

Vedrørende luftkvalitet og støj viste en sammenligning mellem resultater med samme procent utilfredse, at en fordobling af decipol-værdien svarer til ca. 6 dB forøgelse af lydtrykniveauet. Temperaturen var her holdt neutral, ca. 21 °C.

Kombination af flere indeklimafaktorer

I den samme undersøgelse blev der også udført forsøg med to rum med forskellige indeklimaforhold. Det ene rum havde varierende temperatur og luftkvalitet, men konstant støjniveau på 40 dB. Det andet rum havde varierende støjniveau, men konstant temperatur på ca. 21 °C og god luftkvalitet.

Ved at lade forsøgspersoner bedømme forholdene i de to rum, fandt man frem til kombinationer af de tre parametre, hvor der var den samme andel, der var tilfreds med forholdene. Resultaterne viste en temperaturstigning til 28 °C eller en forringelse af luftkvaliteten til 7,3 decipol kunne ækvivaleres med en forøgelse af støjen fra 40 dB til 60 dB. Kombinationen af høj temperatur og samtidig dårlig luft ækvivaleres med 70 dB, dvs. 10 dB højere end for hver af faktorerne enkeltvis. Det kan bemærkes, at en forøgelse på 10 dB netop svarer til en fordobling af den subjektive styrke af lyden, se (9) pag. 53. I eksemplet kan indeklimabelastningen siges at være fordoblet ved samtidig tilstedeværelse af høj temperatur og dårlig luft.

Det ovenfor omtalte forsøg blev udført i et laboratorium, og resultaterne kan ikke direkte overføres på andre situationer. Men det er et eksempel på vurdering af kombinationer af indeklimafaktorer og på, at det er muligt

at etablere forbindelser mellem forskellige faktorer, som umiddelbart synes vanskelige at sammenligne.

Støj- og vibrationskilder

Støj og vibrationer frembringes af mange forskellige kilder. Den mest almindelige støjkilde er mennesket og dets aktiviteter, fx musikafspilning eller musikudøvelse. Denne form for støj kan virke særligt generende på grund af indholdet af toner og rytme. Støj og vibrationer kan skyldes naturfænomener eller indretninger frembragt af mennesker.

Blandt naturens støjklider kan nævnes jordskælv, vulkansk aktivitet, torden, vandfald og vind, som alle kan frembringe både støj og vibrationer. Infralyd kan foruden af de nævnte kilder også frembringes af oceanbølger og atmosfæriske trykvariationer. Bortset fra vinden har de nævnte kilder normalt ingen interesse set fra et indeklimasynspunkt.

Naturens støjklider

De menneskeskabte støj- og vibrationskilder omfatter installationer i bygninger, processer eller maskiner i omliggende industri samt trafik. De fleste af bygningens installationer frembringer normalt ikke generende vibrationer eller lavfrekvent lyd; men ventilationsanlæg, kompressoranlæg og fyringsanlæg, kan gøre det.

Bygningers støjklider

I industrivirksomheder forekommer herudover en mangfoldighed af støj- og vibrationskilder fra processer og maskiner. De hyppigste kilder til lavfrekvent støj og vibrationer i en industrivirksomhed er dieselmotorer, ventilationsanlæg, fyringsanlæg, koblings- og gearsystemer, kompressoranlæg, transformatorer og stansemaskiner. Hertil kommer en række processer, hvori der indgår udblæsning af damp, luft, gas mv. under højt tryk.

Industristøj

Industrivirksomheder kan, afhængig af de anvendte typer af arbejdsprocesser og maskiner, frembringe støj i nærliggende områder, fx boligområder. Der er i (15) angivet grænser for tilladelig støj fra virksomheder. I nogle tilfælde består støjen overvejende af lavfrekvent lyd, som kan transmitteres over meget store afstande uden nogen videre dæmpning. Gener fra vibrationer, som

skyldes industri, forekommer ofte, hvor der er tale om sammenbygning af industribygninger og bygninger til andet formål, fx boliger. Der findes dog også eksempler på transmission af vibrationer over lange strækninger gennem jordlag.

Vej-, bane- og flytrafik frembringer støj, og i nogle tilfælde også lavfrekvent lyd og vibrationer. I (16) og (17) er angivet grænser for støj fra vejtrafik og omkring lufthavne. I nærheden af jernbaner er der indført grænseværdier for såvel støj som vibrationer (18).

Litteratur

- (1) Levevilkår i Danmark. Statistisk oversigt 1992. Socialforskningsinstituttet og Danmarks Statistik, København 1992.
- (2) Luftforureninger. Termisk klima. Ventilation. Støj. Vibrationer. Belysning. Rumdimensionering. Redegørelse nr. 1 til arbejdsmiljøgruppen af 1972. Statens Trykningskontor, København 1973.
- (3) DS/ISO 1683 "Acoustics - Preferred reference quantities for acoustic levels". København 1986.
- (4) Bygningsreglement 1982. (Publikation nr. 54). Boligministeriet, Byggestyrelsen. København 1982.
- (5) Akustik i arbejdsrum. (At-anvisning nr. 1.1.0.1.) Arbejdstilsynet, København 1991.
- (6) DS/ISO 1999 "Akustik, Bedømmelse af støjeksponering på arbejdspladsen med henblik på hørebekyttelse". Dansk Standardiseringsråd, København 1975 (engelsk og fransk tekst).
- (7) ISO 2631 "Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration" 2. udg. Geneve 1978.
- (8) Från Byggforskningen nr. 6, 1977, 20. årgang. Statens Råd för Byggnadsforskning, Stockholm.
- (9) J. H. Rindel (red.) et al. Indeklima - lyd. Polyteknisk Forlag, København 1979.
- (10) Arbejdstilsynet informerer - Infralyd. Arbejdstilsynet, København 1984.

- (11) W. Tempest (ed.) Infrasound and low frequency vibration. Academic Press, London 1976.
- (12) Beranek, L. L. Balanced noise-criterion (NCB) curves. I: J. Acoust. Soc. Am. Vol. 86, pp 650-664, 1989.
- (13) Retningslinier for måling og vurdering af vibrationer i det eksterne miljø. (NFM 2/1983). Miljøstyrelsen, København 1983.
- (14) Carrick, L. A Comparison of the Effects of Air Quality, Temperature and Noise on Human Comfort. Laboratoriet for Varme- og Klimateknik, DTH. Lyngby 1992.
- (15) Ekstern støj fra virksomheder. (Vejledning nr. 5/1984). Miljøstyrelsen, København 1984.
- (16) Miljøhensyn ved planlægning. (Vejledning nr. 2/1974). Miljøstyrelsen, København 1974.
- (17) Flyvepladser og lufthavne. (Vejledning nr. 2/1988). Miljøstyrelsen, København 1988.
- (18) Støj og vibrationer fra jernbaner. (Vejledning nr. 6/1985) Miljøstyrelsen, København 1985.

Lys og belysning

Vibeke Clausen

Hvordan påvirker lyset os?

Lys påvirker på den menneskelige organisme, dels gennem huden dels gennem øjnene. Lyset påvirker os såvel biologisk som fysisk og psykisk og betyder derfor meget for trivselen. Lys har desuden stor indflydelse på vor mulighed for at arbejde og for sikkerheden.

Dagslyset forårsager et større stofskifte og en større legemsaktivitet end om natten. Derfor tager det ofte nogen tid at omstille sin rytme, som det er nødvendigt fx ved skifteholdsarbejde. Dagslyset har også stor psykologisk betydning som regulator for organismens "biologiske ur" og for vort velbefindende. Nyere undersøgelser tyder på, at en del mennesker, som lider af vinterdepressioner i den mørke årstid, kan hjælpes med regulære lysbehandlinger (10,13). Mange føler sig også indelukket i lokaler uden vinduer, fordi de ikke kan følge med i, hvordan vejret skifter, tidspunktet på dagen, og hvad der ellers måtte ske uden for vinduerne. Hvis omgivelserne både indendørs og udendørs er for ensformige og uden variationer, kan det påvirke os negativt. Vi bliver sløve og savner stimulation.

Tidligere var mennesket henvist til stort set at arbejde udelukkende ved dagslys. Men i dag er det en selvfølge at erstatte en del af dagslyset med kunstig belysning. Denne uafhængighed af dagslyset bevirker, at der må stilles store krav til kvaliteten af det kunstige lys.

Et arbejde, der kræver synets hjælp, kan udføres med større eller mindre hastighed, lethed og sikkerhed. Arbejdsemnet og dets detaljer skal kunne opfattes præcist af øjet og det modtagne synsindtryk viderebearbejdes i hjernen. Gode lysforhold er en betingelse for et tilfredsstillende forløb af disse processer og her tænkes ikke

alene på styrken af det anvendte lys, men også på dets placering, retning, farve og farvegengivelse samt rumskabende egenskaber.

Belysningen er endvidere med til at skabe en afslappet atmosfære, når der ikke skal arbejdes. Kravet til belysningen i et maskinværksted er helt anderledes end i end spisestue og en kantine, hvor belysningen skal være med til at skabe hygge og stemning.

Kun yderst sjældent kan uheldige lysforhold skade synet, derimod er det meget almindeligt, at en utilfredstillende belysning vanskeliggør arbejdet og dermed er med til, at en person føler sig utilstrækkelig og dermed stresset. Alle former for uhensigtsmæssig belysning vil på et eller andet tidspunkt vise sig bl.a. ved træthedsforømmelse, nedsat arbejdspræstation og forringet kvalitet af arbejdet.

Også for ældre mennesker er det af stor betydning, at belysningsforholdene er i orden, bl.a. at der er nok lys til stede, og at blændingen ikke er generende.

Som en grundlæggende regel må belysningen indrettes efter arbejdsopgaven og arbejdsområdet. I mange tilfælde vil det imidlertid også være en fordel, hvis man kan tilpasse arbejdsområdet til belysningen. Det kan fx gøres ved at give arbejdsområdet en passende farve og form eller ved at vælge matte overflader (fx bruge antirefleksbehandlede dataskærme og mat papir), så generende reflekser undgås. Man kan også foretage en omlægning af arbejdspladsen, så synsafstande bliver bedre, eller hvis man arbejder med små detaljer anvende forstørrelsesglas. Den slags foranstaltninger kan i høj grad lette arbejdet. Specielt af hensyn til ældre mennesker er det vigtigt, at man udnytter sådanne muligheder.

Kravene til belysning er forskellige alt efter, om man skriver på maskine, spiller badminton, gør rent osv., fordi synsopgaverne er forskellige. I DS 700 - Retningslinier for kunstig belysning i arbejdslokaler (2) findes en liste over de almindeligst forekommende synsopgaver. For hver synsopgave er beskrevet det belysningsprincip, der bedst tilgodeser opgaven, og der er givet eksempler på, hvordan

Psykologisk
betydning

Arbejde og
belysning

Arbejdsopgavens
krav

Hvad er en
god arbejds-
belysning?

Belysningsstyrke

man kan indrette belysningen. I DS 700 findes desuden en alfabetisk liste over arbejdssteder og -opgaver med en angivelse af hvor meget lys, der skal være på arbejdsområdet, den højst tilladelige blænding og en henvisning til synsopgaver, der stiller særlige krav til belysningen.

Belysningsstyrken er et mål for hvor meget lys, der falder på en flade. Belysningsstyrken måles med et luxmeter og måleenheden er lux.

Man skelner mellem belysningsstyrken på selve arbejdsstedet og i omgivelserne. Hvor der foregår langvarigt arbejde med små detaljer og/eller små kontraster, kræves mere lys end på fx færdselsarealerne udenom.

I DS 700 er belysningsstyrkerne angivet i talrækken 50, 100, 200, 500, 1000, 1500 lux, hvor den laveste værdi svarer til meget groft arbejde, f.eks. rengøring, og de 1500 lux svarer til særligt synskrævende arbejde (fx farvebedømmelse). Kontorarbejde ved skrivebord bør være ca. 500 lux.

Luminansfordeling

Den mængde lys, en flade udsender, er et mål for fladens luminans. Luminansen afhænger både af hvor meget lys, fladen modtager, og hvor meget den reflekterer, dvs. dens farve og overfladebeskaffenhed. Luminanser kan enten beregnes eller måles med et luminansmeter.

Øjet indstiller sin følsomhed efter de luminanser, der er i synsfeltet. Da øjet samtidig tiltrækkes af de lyseste områder, er det hensigtsmæssigt at arbejdsområderne er lyse.

Der findes en tommelfingerregel, som siger, at luminansforholdet mellem arbejdsområde, arbejdsfelt og omgivelserne bør være nogenlunde 5:3:1, dvs. at der bør være mest lys på selve arbejdsområdet, mindre på arbejdsfeltet udenom og mindst i rummet. Endnu vigtigere er det, at overgangen fra større mørke flader til større lyse flader er jævnt forløbende og ikke brat.

Omvendt bør luminanserne i et lokale heller ikke være for ens, fordi lokalet så opleves som meget ensformigt og kedeligt. Naturlige luminansvariationer som kan opnås ved variation i farve, dekoration eller lysfordeling er at foretrække.

Blænding

Blænding viser sig blandt andet ved, at lyset "skærer i øjnene" eller er for "skarpt", så man føler trang til at skygge af for lyset eller øjnene. Iøvrigt udtrykkes gener over ubehagsblænding ofte fejlagtigt som klager over for meget lys.

Man skelner mellem to former for blænding: *Den synsnedsættende blænding*, der direkte forringer øjets evne til at opfatte, og *ubehagsblændingen*, der umiddelbart føles ubehagelig, og kan give anledning til træthed og hovedpine og medføre forkerte arbejdsstillinger. Begge former for blænding bør undgås.

Synsnedsættende blænding har sjældent større betydning ved kunstig belysning, men kan dog forekomme, f.eks. hvis man får lyset lige i øjnene. Vinduer umiddelbart foran arbejdspladsen forårsager derimod ofte synsnedsættende blænding. At sidde med en mørk dataskærm direkte op mod et lyst vindue er meget u hensigtsmæssigt og bør altid undgås.

Ubehagsblænding er et psykologisk fænomen, der ofte opstår, når lyset fra vinduer eller belysningsarmaturer føles for kraftigt eller irriterende.

I flere tilfælde forekommer de to blændingsformer samtidig. Både den synsnedsættende blænding og ubehagsblændingen kan beregnes. I DS 700 er angivet grænser for ubehagsblænding fra almenbelysningen (loftsbelysningen).

Rigtig lysretning

Lysets retning har betydning for skyggetegning og rumopfattelse. Skyggerne giver tingene omkring os liv og karakter, men skyggernes karakter skal passe til tingenes karakter, for at vi kan få en harmonisk oplevelse af vores omverden. Generelt kan man sige, at store genstande og former kræver bløde skygger fra overvejende diffust lys. Små genstande og detaljer kræver skarpere skygger fra mere rettet lys. Normalt har man brug for en blanding af den diffuse og den mere eller mindre rettede belysning. En uheldig skyggetegning kan virke forvirrende, fx store slagskygger eller skygger fra flere retninger.

Gode kontrastforhold

Lysets retning har også indflydelse på kontrasten. Kontrasten er forskellen i luminans mellem en detalje og dens baggrund, fx mellem et trykt bogstav og papiret.

Materialets egenskaber, fx papirets farve og reflektans er med til at bestemme den "medfødte" kontrast, men lys fra en uheldig retning kan nedsætte denne kontrast, ved at lyset spejler sig i de blankere bogstaver eller i den blanke papiroverflade.

I DS 700 er angivet, hvilken belysningsform, der er den bedst egnede ved en række forskellige arbejdsopgaver. Vejledningen spænder fra anbefaling af rettet lys, f.eks. fra en arbejdslampe eller spot til anvendelse af storfladearmaturer, dvs. store, jævnt, ikke for kraftigt lysende armaturer.

Lysfarve

Både lysets farve og måden lyset gengiver lokalets farver og den menneskelige hud på er afgørende for, om et arbejdslokale er rart at være i, om der virker "koldt" eller "varmt".

Lysets egen farve beskrives med farvetemperaturen. Høj farvetemperatur angiver "koldt" lys og bør anvendes fortrinsvis ved høje belysningsniveauer og til særlige belysningsformål. Lav farvetemperatur angiver "varmt" lys, og bør anvendes ved lavere niveauer. Lysets farve har dog ingen betydende virkning på den ønskede lufttemperatur.

Farvetemperaturen måles i Kelvin(K), fx har en glødelampe en farvetemperatur på ca. 2700 K, og lysstofrør har farvetemperaturer fra ca. 2700 til 7000 K.

Farvegengivelse

Hvor godt lyset gengiver farverne i lokalet beskrives med et farvegengivelsesindeks - et tal mellem 0 og 100. Jo større tal, jo bedre farvegengivelse.

Dagslys og glødelamper har et farvegengivelsesindeks (R_a indeks) på 99-100. Lysstofrør findes i forskellige udgaver. Nogle lysstofrør kan gengive farverne næsten som glødelamper, mens andre lysstofrør gengiver farverne helt anderledes. En god regel er altid at vælge lyskilder efter arbejdets art og lokalets anvendelse som helhed. I kontorlokaler vælges normalt lysstofrør med god farvegengivelse og en varm lysfarve.

Flimmer

Den pulsation i lysudsendelsen, der fx kan opstå, når lyskilder er tilsluttet vekselstrøm, opfattes under visse betingelser som flimmer. I Danmark drives lyskilder ved en vekselstrøm på 220 V med en netfrekvens på 50 Hz.

Det betyder, at strømmen varierer hele tiden, og at man har 0-strøm 100 gange pr. sekund. Vore lyskilder pulserer i takt med pulsationerne i strømmen. Hvor store pulsationerne i lysudsendelsen er, afhænger af typen af lyskilden.

Flimmer kan, specielt ved visse lysstofrør og andre udladningslamper, give anledning til en ubehagsfølelse og til den såkaldte stroboskopeffekt.

Eventuelle gener kan formindskes betydeligt og ofte helt undgås ved en hensigtsmæssig elektrisk kobling af lyskilderne, hvor dette er muligt, eller som den nyeste mulighed at benytte elektroniske forkoblingsenheder, hvor lysstofrørene drives med langt højere frekvenser, fx 30.000-35.000 Hz. De nyeste undersøgelser tyder på, at den sidste løsning - anvendelse af elektronisk forkoblingsudstyr med lavt indhold af 100 pulsationer - reducerer forekomsten af hovedpine og øjenstress (12).

UV-stråling

Ultraviolet stråling udsendes både af kunstige lyskilder og solen. UV-stråling er årsag til flere biologiske påvirkninger, og har pådraget sig en del interesse i de senere år på grund af risikoen for hudcancer. Der er dog ingen grund til at antage, at UV-stråling fra sædvanlige belysningsanlæg frembyder nogen helbredsmæssig risiko for så vidt det ikke drejer sig om personer, der er unormalt følsomme for UV-stråling. UV-strålingsdosen kan i tvivlstilfælde beregnes og risikoen for eventuelle skadevirkninger vurderes i forhold til de i (3) foreslåede grænseværdier. Armaturer med nøgne halogenbrændere og ren aluminiumsreflektor kan dog i visse tilfælde (vedvarende brug og høje belysningsstyrker) give UV-strålingsdoser, der er sammenlignelige med de hygiejniske grænseværdier. Kommende regler vil dog formentlig påbyde anvendelse af dækglas i lyskilder eller armaturer, hvorved det eventuelle problem er fuldstændig elimineret.

Belysningsanlæggenes energiforbrug og deres indflydelse på temperaturniveau, ventilationsbehov og indeklima i vore bygninger er af vital betydning. Specielt energiforbruget til belysningsformål har stor bevågenhed i dag (5 og 6). Mange anlæg bruger for meget energi i forhold

til det lys, de udsender, enten fordi de er for gamle, eller fordi de ikke er vedligeholdt ordentligt. Energikriserne har givet anledning til en stærk teknologisk udvikling både af lyskilder og armaturer. Derfor vil det ofte kunne betale sig at gå belysningsanlæggene kritisk igennem og bl.a. sørge for at anvende effektive lyskilder og belysningsarmaturer, at gennemføre systematisk vedligeholdelse af belysningen, at vælge lyse farver i lokalerne samt at udnytte dagslyset bedst muligt (6), (7) og (8).

Litteratur

- (1) Indeklima lys. Rapport fra en arbejdsgruppe under ATV's Indeklimaudvalg. Akademiet for de Tekniske Videnskaber, København 1977.
- (2) DS 700 "Retningslinier for kunstig belysning i arbejdslokaler" 4. udg. Dansk Standardiseringsråd, København 1986.
- (3) Pedersen, P. E.; B. Nielsen. Ultraviolet stråling fra belysningsanlæg og dets virkninger. Rapport nr. 33. Lysteknisk Laboratorium, København 1982.
- (4) Petersen, E. et al. Arbejdspladsbelysning. (Rapport nr. 13). Lysteknisk Laboratorium, Lyngby 1976.
- (5) Det betaler sig at se på lyset. Eksempler. Byggestyrelsen, København 1987.
- (6) Det betaler sig at se på lyset. Hvordan? Lysteknisk Selskab, København 1987.
- (7) Godt lys på arbejdspladsen. Arbejds miljøfondet, København 1982.
- (8) Hold arbejdslyset ved lige - det betaler sig. Arbejds miljøfondet, København 1985.
- (9) NB-metoden. Beregning af indendørs almenbelysning. Lysteknisk Selskab, København 1986.
- (10) Andrés Magnússon. Paper til Nordiske Belysningskongres 1989. Psykiatriske Kliniken, Universitetssjukhuset i Reykjavik, Reykjavik 1989.
- (11) Basisbog i teknisk arbejdshygiejne. Arbejds tilsynet. København 1986.

- (12) Wilkins, A. J. et al. Flourescent lighting, headaches and eye-strain. Paper til Preceedings 1988 CIBSE National Lighting Conference, Cambridge. CIBSE, London 1988.
- (13) Lærum, O. D. Lyset og det levende liv. Paper til Nordisk Belysningskongres 1989. Gades Institut, Universitetet i Bergen, 1989.
- (14) God og energirigtig skolebelysning. Lys & Optik og Lysteknisk Selskab. København 1990.
- (15) God og energirigtig kontorbelysning. Lys & Optik og Lysteknisk Selskab. København 1993.

Støv og mikroorganismer

*Suzanne Gravesen, Peter Lind og
Peter A. Nielsen*

Påvirkninger af den menneskelige organisme

Luften i bygninger indeholder altid partikler (fx tekstilfibre og mikroorganismer) der indåndes. Den menneskelige organisme søger på forskellige måder at bortskaffe de indåndede partikler. Disse beskyttelsesforanstaltninger er ikke altid lige effektive, og der kan opstå risiko for helbredet. Risikoen for skadevirkninger hænger først og fremmest sammen med partiklernes kemiske sammensætning og antal, men også partikelstørrelse og -form har betydning. De kemiske stoffer kan være gasser og dampe, der er adsorberet fra luften.

En forudsætning for, at partiklerne fremkalder gener og sygdomme, er, at partiklerne afsættes i luftvejssystemet (næsenslimhinde, bronchier og lungeslimhinde), i øjenslimhinderne eller på huden. Der kan de give anledning til lokale skader eller, efter optagelse, skader på andre organer.

Industristøv

For industrien er der udarbejdet grænseværdier for støv, hvis sammensætning og virkning man kender (1). Støv i industrien er ofte domineret af relativt få komponenter. Kendes den samlede virkning af flere komponenter ikke, vurderes påvirkningen efter additionsformlen. Denne formel udtrykker, at summen af de enkelte stoffers koncentration divideret med stoffernes grænseværdi skal være mindre end eller lig med 1.

Støv i det ikke industrielle indeklima er i modsætning hertil karakteriseret ved at bestå af mange forskellige komponenter. Sammensætningen afhænger bl.a. af forekommende aktiviteter, udemiljø samt af bygningens materialer.

Husstøv

I almindeligt husstøv er der identificeret flere hundrede forskellige stoffer. Af de hyppigste bestanddele kan nævnes mikroorganismer (fx bakterier og svampe), pollen, hudskæl, midedele, hår, tekstilfibre, mineralfibre, plast, maling, træ, metal, beton og silikater.

Støvparkler kan bl.a. give anledning til irritation og af og til allergiske symptomer fra øjne, næse, lunger og hud. Symptomerne er øjenkatarr, høfeber, astma eller u-specifikke lungesympptomer samt hudirritation. Isoleres de store organiske molekyler fra den biologiske del af støvet (2), fås en fraktion af makromolekyler (MOD, den makromolekylære organiske del af støvet, fx målt i mg pr. g støv), der overvejende består af humant serum albumin fra hudskæl og hår, som immunsystemet reagerer på. For gulvstøvs vedkommende har denne del vist sig at korrellere med forekomsten af slimhinde- og almene symptomer i kontorbygninger (3). På støvparkler er der adsorberet forskellige kemiske stoffer, som kan give anledning til irritation på de slimhinder, som de udfældes på. Der er således tegn på, at den kemiske luftforurening kan gøres mere skadelig af støvet. I (4) er nogle af disse forhold beskrevet, idet der er foretaget en karakterisering af gulvstøvs bestanddele, herunder adsorberede organiske gasser og dampe. I husstøv er der således stoffer, antigener og allergener, der er fremmede for vor egen organisme, og som kan give overfølsomhedsreaktioner. Ved indånding eller anden påvirkning af støvet kan organismen reagere ved at danne antistoffer eller andre biologiske aktive stoffer.

Allergi (fra græsk: allos - fremmed og ergeia - virkning) kan opdeles i tre principielt forskellige hovedformer: Kontaktallergi (kontakteksem), luftvejsallergi og fødemiddelallergi (omtales ikke her).

Kontaktallergi

Kontaktallergi viser sig ved overfølsomhedsreaktioner i hud, ofte som eksem, der opstår efter berøring med det stof, man er blevet overfølsom for. De hyppigste kontaktallergier har mest at gøre med aktiviteterne. Materialer, der kan give allergiske reaktioner er: Garvet læder, evt. nogle malinger, nikkel og koboltklorid, der forekommer

i smykker, metalspænder, køkkenredskaber, håndtag og mønter samt formaldehyd, der kan forekomme i opvaske-midler, shampoo, lim, lakker, kunstharpiks, strygefrit tøj og i spånplader. Cement indeholder dikromat, der kan give eksem. Tilsættes ferrosulfat, der går i forbindelse med dikromat, ophæves virkningen. Det er derfor nu den mest anvendte cementtype. I industrien forekommer langt flere stoffer, der kan give allergi.

Luftvejsallergi

Luftvejsallergi kan vise sig ved øjenkatar, høfeber (allergisk snue) og astma. Sygdommen er arvelig. Er man allergisk disponeret, kan symptomerne fremkaldes minutter, timer eller eventuelt dage efter kraftig og langvarig påvirkning af forskellige proteinstoffer, hovedsageligt fra husstøvmider, hudskæl fra husdyr, pollen og skimmelsvampe (se senere i kapitlet). Når allergien først er opstået, skal der derimod kun indåndes ganske ringe mængder stof for at udløse den allergiske reaktion. Den vil som regel opstå få minutter efter udsættelsen for allergenet.

Allergisk lungebetændelse

Ved massiv udsættelse for støv af biologisk oprindelse kan man udvikle allergisk lungebetændelse eller influenza-lignende symptomer. Symptomerne kan være feber, kulderystelser, led- og muskelsmerter, åndenød. Der kan med tiden opstå astma og væggtab. Påvirkningen kan måles i blodet, som kan indeholde antistoffer over for det pågældende stof, hvis udsættelsen har været langvarig og kraftig. Denne antistofdannelse udtrykker dog ikke graden af sygdom. Et røntgenbillede kan vise forandring i lungerne. Et eksempel er tærskerlunge, som kan opstå hos personer, der håndterer muggent hør. Denne sygdom kan ramme personer, som ikke i forvejen er allergisk disponerede.

Organisk toksisk støvsyndrom

Organisk toksisk støvsyndrom rammer personer, der er udsat for organisk støv, fx i genbrugsanlæg, papirfabrikker og bomuldsspinderier. Mikroorganismene i støvet medvirker til luftvejs- og slimhindesyntomer og evt. astma.

Andre lungelidelser

Mineralsk, uorganisk støv kan ved indånding i store rater over længere tid føre til lungesygdomme. Kvarts og

asbest er eksempler på henholdsvis partikler og fibre, som kan resultere i alvorlige sygdomme som silikose og asbestose (5). Sygdommene har en lang udviklingstid, ofte mere end 20 år, og kan opstå år efter at udsættelsen for støvet er ophørt.

Udsættelse for asbestfibre medfører øget risiko for lungekræft. Rygning mangedobler risikoen. En speciel kræftform, mesotheliom, der synes at være specifik for asbestudsættelse, udvikles i lunge- og bughinde. Asbest har tidligere været anvendt i forskellige byggematerialer, men har siden 1986 været forbudt til indendørs materialer (6). Arbejdstilsynet har særlige krav (7), der knytter sig til asbestarbejde, hvilket bl.a. vil have betydning ved renoivering af bygninger.

Andre naturligt forekommende fibre som wollastonit, attapulgit og zeolit anvendes industrielt evt. som erstatning for asbest. Disse er under mistanke for at have de samme virkninger, da fibrene har næsten samme dimensioner.

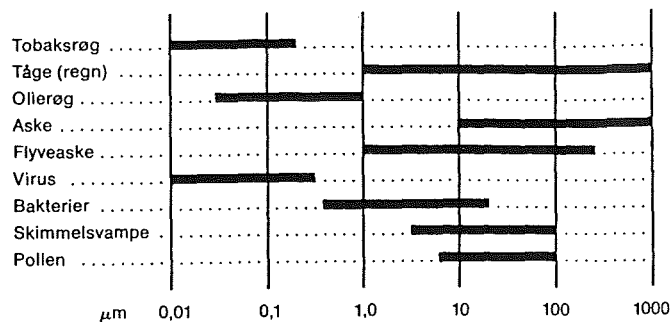
Syntetiske mineralske fibre, fx stenuld og glasuld, der bruges til isolering, anses ikke på samme måde at være kræftfremkaldende. Der er dog epidemiologiske undersøgelser, der viser en øget risiko for lungekræft ved fremstilling af disse materialer efter gamle produktionsmetoder. Der er ikke nogen risiko ved de koncentrationer, der er i indeklimaet, og som generelt er under 100 fibre pr m³ (8).

Tobaksrygning og tobaksrøg (passiv rygning) er årsag til lungekræft og bronkitis (se kapitlet "Gasarter og dampe" om virkningerne).

Partikler i luftvejene

De fleste af de partikler, der sædvanligvis findes i luften vil have en sådan størrelse, at de vil følges med indåndingsluften. Tilbageholdelsesgraden af partiklerne er afhængig af partikeldiameter og af personens åndingsmåde. Er en person "næseånder", vil partikler større end 10 µm tilbageholdes af næsens og luftrørets cilier.

Er man derimod "mundånder", vil partikler helt op til 20 µm kunne trænge ned i bronchieerne. Ved de fleste arbejdsaktiviteter, bortset fra stillesiddende arbejde, og i øvrigt når der samtales, trækkes vejret gennem munden.



Figur 8. Partikelstørrelse af emner, der kan forekomme i luften.

De fleste store partikler opfanges dog normalt undervejs og hostes op. Partikler under 1 µm har størst mulighed for at nå ned til de sårbare lungeblærer, hvor de kan skade lokalt eller optages af blodet og skade andre organer.

Partikler, der afsættes på den slimdækkede del af luftvejsepitetet, transporteres normalt ud af lungerne i løbet af nogle timer. Rensningen af de dybere dele af lungerne er ikke helt klarlagt, men varierer fra stof til stof. Tiden, der medgår til udrensningen af partikler, kan vare fra nogle få timer til flere år.

Grænseværdier

Boliger

For boliger findes ingen grænseværdier for støv eller mikroorganismer. I WHO's Air Quality Guidelines for Europe (9) er der forslag om, at udeluften højst må indeholde støv kombineret med svovldioxid af en størrelse på 0,12 mg/m³ som døgnmiddelværdi. I Danmark er der ikke krav til det maksimale støvindhold, men det er praksis at filtrere, så luftens støvindhold efter filtreringen er væsentlig mindre end 0,1 mg/m³.

Arbejdspladser

For arbejdspladser gælder de grænseværdier, der er udsendt af Arbejdstilsynet (1). For respirabelt støv uden særlig giftig virkning er grænseværdien 5 mg/m³ luft. Den er mindre for organisk støv og støv med indhold af fx kvarts, crom og andre sygdomsfremkaldende stoffer. Den resulterende grænseværdi for støv af forskellige stoffer beregnes med additionsformlen (1).

Karakteristiske niveauer

Grænseværdierne for industrien er fastsat på grundlag af en 8 timers arbejdsdag, 40 timer om ugen i ca. 40 år. Grænseværdierne giver ikke sikkerhed for, at alle ikke vil få gener af de stoffer, de udsættes for. (Se også om grænseværdier i kapitlet "Gasarter og dampe").

Karakteristiske gennemsnitlige støvniveauer ved almindelig aktivitet er i boliger mindre end 0,1 mg/m³, i kontorer 0,1-0,2 mg/m³ og i skoler og børneinstitutioner 0,2-0,3 mg/m³. Karakteristiske niveauer for specifikke komponenter i støvet anbefales i de følgende afsnit.

Kilder til luftbårne partikler

Partikler kan fx stamme fra afslidning af overfladebelægninger, tekstiler samt fra de aktiviteter, der foregår i rummet, fx håndtering af papir, og endelig fra personerne selv. Partikler udefra, fx pollen og skimmelsvampesporer vil i en vis udstrækning altid forekomme i indeluften.

Materialers nedbrydning

Det har vist sig, at holdbarheden af de materialer, der anvendes indendørs, ikke altid er tilstrækkelig god. Et eksempel er loftsplader af sammenlimede mineralfibre, hvor limen efterhånden er blevet nedbrudt, hvorved der frigøres mineralfibre. En undersøgelse (10) i 105 forskellige bygninger med 10 forskellige loftbeklædninger har vist, at det gennemsnitlige mineralfiberindhold i luften er ca. 100 fibre/m³ (standardafvigelse ca. 250 fibre/m³). I lokaler med den loftstype hvor fiberindholdet var højst, lå det på ca. 270 fibre/m³ (standardafvigelse ca. 500 fibre/m³). De sidste koncentrationsniveauer vil formentlig kun forekomme, hvor loftpladerne har været udsat for meget hårde påvirkninger, eller hvor rengøringen er dårlig.

Målinger har vist, at steder, hvor der var slimhinde- og især øjenirritation, var fiberindholdet i rumluften over 100 gange større, end der normalt findes.

Renovering

Ved renovering af bygninger, specielt ved nedtagelse af materiale, frigøres dele af materialerne, som kan spredes i bygningen. Særlig opmærksomhed må vies asbestholdige materialer.

Der er anvisning på, hvorledes arbejdet med asbest skal tilrettelægges (7), og der kræves bl.a. særligt

Aktivitet	<p>uddannet personale. En oversigt over asbestholdige materialer fremgår af (11). Ved isoleringsarbejder tilrådes det at tildanne materialerne på en måde og i et lokale, hvorfra fibre ikke spredtes til bygningen.</p> <p>Aktiviteterne kan selv frembringe partikler, fx ved sammenlægning af tøj, eller de kan ophvirvle sedimenteret støv, fx ved sengeredning og forskellige former for fysiske aktiviteter. Støvsugning, der nok fjerner sedimenterede partikler, kan være medvirkende til, kortvarigt, at forøge antallet af små partikler i luften. Tobaksrøg er den væsentligste kilde til luftens indhold af svævestøv, dvs. støv med en partikelstørrelse, der er mindre end 0,2 µm.</p> <p>Mennesker og dyr producerer også partikler, fx hudskæl og hår. Ved hoste og især ved nysen kan der produceres et stort antal væskepartikler indeholdende bakterier og virus.</p>
Ventilationsanlæg	<p>Ventilationsanlæg, der indblæser filtreret luft, tilfører støv i en mængde og fordeling, der bl.a. afhænger af filterets kvalitet. Generelt er den tilførte mængde af mindre betydning end den, der kommer fra de aktiviteter, der foregår i bygningen. Det forudsætter dog, at filtrene er monteret korrekt og udeluften ikke er særlig forurenede. En undersøgelse (12) af støv i ventilationsanlæg uden luftbefugtning og køling viste at det støv, der var i indblæsningskanalerne, ikke var væsentligt forskelligt fra det støv, der fandtes på gulvbelægninger. Der var dog færre bakterier. Der var mest støv i udsugningskanalerne.</p>
Luftbefugtning	<p>Det har vist sig, at vandet i luftfugtere kan indeholde bakterier, skimmelsvampe og navnlig deres stofskifteprodukter, som vil kunne spredes i luften sammen med befugtervandet. Luftbefugtere bør derfor jævnligt rengøres og desinficeres.</p>
Rengøring	<p>I lokaler, hvori der færdes eller arbejder mange mennesker, kan der, når rengøringen er mangelfuld, være personer, der generes af støvet.</p> <p>Der ophobes støv, hvoraf en del hvirvles op og indåndes. En del af støvet (uorganisk støv) kan forårsage øjen- og luftvejsirritation. En anden del (organisk støv) kan tillige påvirke immunsystemet i kroppen. De tilfælde,</p>

Industrielle processer

der er fundet mest støv og størst andel af organisk støv på gulve, har hovedsagelig været steder med tæppebelægninger. En undersøgelse (13) har vist, at der er en sammenhæng mellem rengøringsprogram og øjengener: jo dårligere rengøringsprogram, jo flere øjengener. Hvor rengøringsprogrammet er tilrettelagt, så rengøringen holder trit med smudsbelastningen, opnås ingen forbedring af indeklimaet, selvom rengøringen øges.

Processer i industrien tilfører luften partikler, fx svejserøg og slibestøv, men også organisk støv frigøres ved industrielle processer, fx kan genbrugsanlæg med affaldssortering af såvel husholdningsaffald som industriaffald afgive store mængder støv, med skimmelsvampe, bakterier og endotoxiner. Der opstår luftvejssygdomme herunder astma (organisk toksisk støvsyndrom), på sådanne arbejdspladser. Virkningsmekanismen er endnu ikke tilstrækkeligt belyst, og der kan ikke fastsættes grænseværdier for denne type støv.

Mider

Allergi og infektion

I 50-90 pct. af vesteuropæiske boliger forekommer husstøvmider, som derfor må betragtes som en naturlig bestanddel af boligens mikroorganismer. Husstøvmiderne udgør en risiko for de ca. 10 pct. af befolkningen, der er disponerede for at udvikle allergi.

Miderne er årsag til ca. 90 pct. af de allergiske reaktioner på husstøv. De sidste 10 pct. udføres hovedsagelig af dyrehårsallergier.

Miderne er 0,1-0,4 mm lange. De er meget vanskelige at se med det blotte øje, fordi de er farveløse og bevæger sig langsomt. Kun i stort antal (mange tusinde pr. gram støv) vil husstøvmidernes urinagtige lugt kunne mærkes. Antallet afhænger af klimaforhold og renlighedsniveauet. Der kan være fra ganske få til flere tusinde pr. gram støv. Det bør tilstræbes, at der er mindre end 100 mider pr. g støv - eller bedre mindre end 2 µg mideallergen pr. g støv. Akut astma hos mideallergikere kan udløses af 500 mider/g støv svarende til 10 µg mideallergen/g støv.

Husstøvmiderne trives bedst ved ca. 25 °C og en relativ luftfugtighed på 75-80 pct., med variationer de enkelte arter imellem. De dør ved en relativ luftfugtighed under 40-45 pct.

Hudskæl synes at være midernes væsentlige kost i boligen. Et menneske afstøder dagligt omkring 1 gram hudskæl, og specielt i og omkring senge og i madrasser vil miderne kunne finde rigelig ernæring og samtidig en (i forhold til normal stueluft) høj luftfugtighed, der giver optimal vækst og formering. Under disse betingelser gennemløber husstøvmiden sin livscyklus - fra æg gennem larve- og nymfestadier til kønsmoden voksen - på 25-30 dage, og en population kan fordoble sit antal på 1-2 uger. Den overvejende del af allergenerne afgives under midernes vækst med afføring, der let, som pollen, hvirvles op og spredes rundt i boligen.

Da undersøgelser har påvist, at luftfugtigheden har afgørende betydning for midernes forekomst, er det vigtigt at holde luftfugtigheden lav (helst under 40-45 pct. relativ fugtighed ved ca. 20 °C). Det kan kun opnås i vinterhalvåret. I danske kontorer, skoler o.l. er luftfugtigheden under 40-45 pct. i så lang tid, at der ikke findes levende husstøvmider af betydning.

Boliger med grundfugt eller fugt på grund af dårlig fugtisolering, fx fugtindtrængning fra slagregn, må derfor forbedres for at forlænge perioden med lav fugtighed. Der skal endvidere i boliger opretholdes et luftskifte, der er ca. 0,5 gange pr. time. I nyere huse, der er tætte, og efter tætning og efterisolering skal man være opmærksom på, at der ventileres tilstrækkeligt, fx ved udluftning. I særligt tætte boliger eller tæt beboede boliger kan det være nødvendigt at have mekanisk ventilation. Derudover er det hensigtsmæssigt med en effektiv rengøring, især i soveværelser, samt luftning af sengetøj for hurtigt at nedsætte fugtindholdet.

Hudskæl fra kæledyr og husdyr (kat, hund, marsvin, hamster, ørkenrotte, hest, ko) er stærkt allergenholdige. Dyrehår (hårproteinet) er ikke i sig selv allergene, men på

Dyrehår og skæl

hårenes overflade findes fastholdte skæl. Ved konstateret dyreskælsallergi, normalt kaldet dyrehårsallergi, tilrådes derfor ofte at fjerne dyret fra hjemmet samt ekstraordinær rengøring for at få fjernet hår og skæl. I ca. halvdelen af danske boliger kan imidlertid findes flere allergener fra hest og ko end forventet alene ud fra indslæbning af materiale fra disse dyr. Det har da vist sig, at husdyrallergener (især fra ko) kan frigøres ved slitage fra tæpper, hvor der indgår dyrehår. I industrielt forarbejdet uld til tæpper, stoffer og garner kan der dog ikke påvises allergener, som stammer fra ulden.

Pollen

Pollen er blomsterstøv fra hanblomster fra vindbestøvede træer, blomster og græsser. I blomstringstiden frigøres store mængder pollen, der af vinden kan transporteres over store strækninger. Registreringer af luftens pollen har vist, at ca. 20 pollen/m³ luft er nok til at udløse symptomer hos allergiske patienter (15).

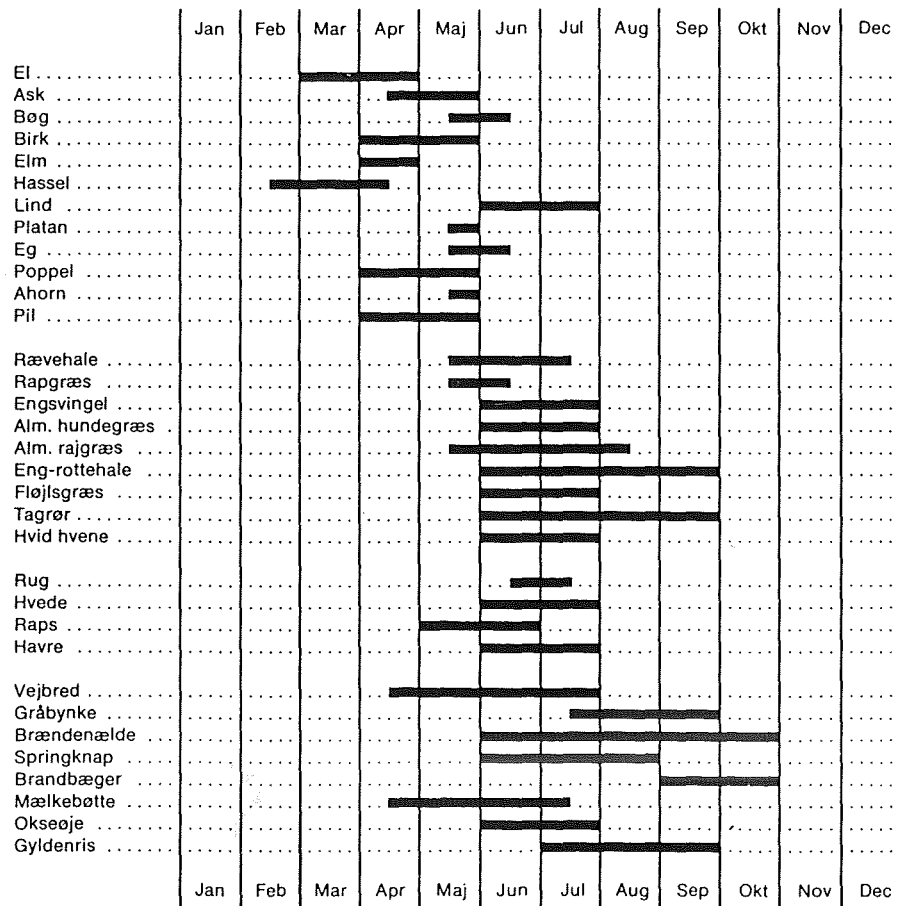
En del af disse pollen vil kunne trænge ind i boligen gennem åbne døre og vinduer og dermed give anledning til allergisymptomer indendørs.

Svampe

Svampe findes overalt i naturen, hvor de nedbryder døde dyre- og plantedele og hører således til de vigtigste organismer ved stofomsætningen i naturen. Svampe formerer sig ved sporer, som frigøres fra svampen og kan spredes gennem luften i lighed med pollen og trænge ind i bygningerne.

Svampe kan dog også optræde som allergenkilde i selve bygningen, fx i fugtige bygninger, bygninger med dårlig isolering eller uhensigtsmæssig opvarmning, i fugtige kældre eller på utætte vinduer og ved kondensdannelse. Luftbefugtere i boligen og i forbindelse med ventilationsanlæg er endvidere grosted for svampe og bakterier. Det er især mug- og skimmelsvampe, der forekommer i bygninger. De kendes ved den karakteriske, stikkende muglugt.

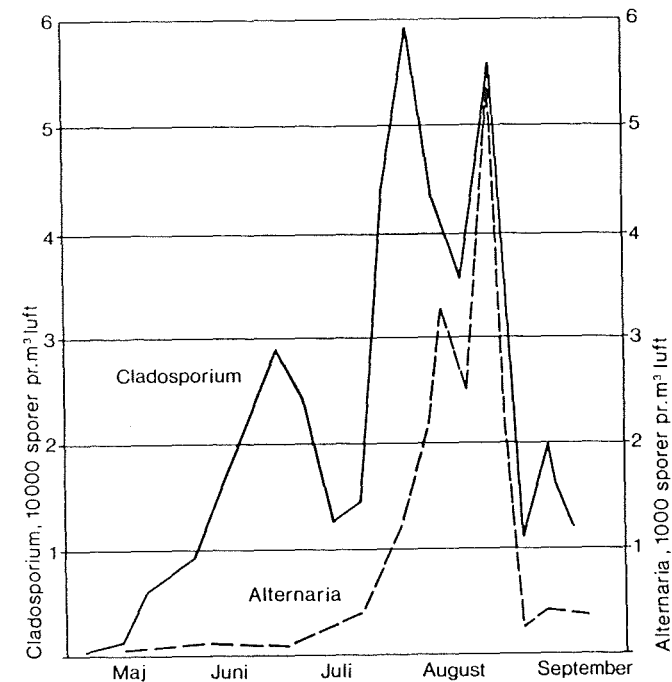
Svampe tåler i langt højere grad end bakterier et relativt tørt indeklima og ekstreme temperaturer, men de fleste har vækstoptimum ved 22-32 °C og over 70 pct. relativ fugtighed. Disse forhold, især den høje fugtighed,



Figur 9. Forekomst af pollen i luften fra forskellige planter. De mørke streger angiver det tidsrum, hvor den pågældende plante afgiver sin pollen.

forekommer på overfladen af fx fugtige vægge eller fugtige vinduesrammer.

De mikrosvampe, der ofte forekommer indendørs, er følgende slægter: Cladosporium, Alternaria, Mucor, Penicillium og Aspergillus. I en stikprøve i 13 råduse (3) målt i vinterperioden gennemsnitlig 30 svampekim pr. m³ luft, maksimalt ca. 110 kim pr. m³ luft (målt med BIAP



Figur 10. Eksempel på sporekalender (1978). Kurverne viser antallet af svampesporer i udeluften. Registreringen foretages af den Aerobiologiske gruppe under Danmarks Astma-Allergiforbund.

Slitsamplere). Udendørs findes svampesporerne i størst koncentration i luften sidst på sommeren og det tidlige efterår.

Alger spiller en mindre sundhedsmæssig rolle i indeklimaet.

Bakteriers og virus' vækstkrav er mere specifikke, idet de dårligt tåler udtørring og store temperatursvingninger. Nogle bakterier kan dog overleve ugunstige vilkår ved at danne sporer inde i bakteriecellen. Bakteriers og virus' betydning for allergi er endnu ikke kendt. Det er dog vist, at disse organismer kan have indflydelse på immunsystemet og dermed indirekte medvirke til at forstærke eller udløse allergiske reaktioner. Langt de fleste infektionssygdomme er derimod forårsaget af bakterier og virus. I ovennævnte stikprøveundersøgelse i 13 råduse

Alger

Bakterier
og virus

måltes i vinterperioden ca. 500 bakterier pr. m³ luft. Højeste værdi, der blev målt, var 2100 bakterier pr. m³ luft.

I de senere år er der to sygdomme, der er sat i forbindelse med luftbåren smitte: Legionærsygen eller den såkaldte pontiacfeber.

Legionella pneumophila er en lille gramnegativ bakterie, som, når den er luftbåren, kan give lungebetændelse eller et mere influenzalignende sygdomsbillede (legionærsyge). At smitten er luftbåren kan illustreres ved det såkaldte Pontiac-udbrud i 1968, hvor 95 af 100 personer i et kontorhus blev syge. Årsagen var, at inficeret luft overførtes til ventilationsluften fra kølesystemets vandkølede kondensator, der var for tæt ved ventilationsanlæggets luftindtag. At Pontiac-udbruddet formentlig skyldes Legionella bakterien blev først klarlagt i 1976, hvor en række krigsveteraner på ét hotel i Pennsylvania blev syge. Luftkonditioneringsanlægget, som havde været ude af funktion, var netop taget i brug i forbindelse med kongressen.

En ny kilde til spredning af legionella er inficeret vand i boblebade (whirl-pools). Men man kan finde Legionella-bakterier i mange vandinstallationer uden at de fremkalder sygdom. I forbindelse med den forstøvning, der finder sted i brusebade, kan inficeret vand give symptomer. For de allerfleste mennesker er mødet med Legionella dog et harmløst bekendskab. I Danmark er der således kun påvist nogle få tilfælde, deriblandt infektioner hos svækkede patienter på hospitaler. Andre bakterier i vandinstallationer kan dog give anledning til hudgener hos badende.

Gramnegative bakterier forekommer endvidere i støv og i forurenede vand fra luftbefugtere. De anses sammen med svampe og amøber for at være medvirkende til de sygdomstilfælde, ofte kaldet "mandagsfeber", eller "befugtersyge", der rapporteres om i kontorbygninger eller industrier, hvor luften befugtes.

De gramnegative bakteriers stofskifteprodukter - endotoxiner - kan give symptomer, når de indåndes enten som svævestøv eller som aerosoler. Symptomerne er

slimhindeirritation, træthed og evt. muskelsmerter og forhøjet temperatur.

Spredning
af smitte
og allergener

Mennesket selv er en stor, som regel den største smittekilde. Smitteemner kan komme ud i luften ved fx nysen eller hoste, men kan også hvirvles op i støv fra fx gulv og møbler. De fleste af de partikler, som kommer ud i luften ved hoste og nysen, er så små, at de holder sig svævende i luften i lang tid. Smitteemner, der hvirvles op, følger derimod ofte med støvet, og på grund af støvets større partikelstørrelse vil smitteemner hurtigt sedimentere igen.

Smitte ved bakterier og virus fra luftvejene sker først og fremmest gennem dråbeinfektion eller ved fysisk kontakt mellem to personer. Ved normal vejtrækning kommer der kun et ubetydeligt antal mikroorganismer ud i luften.

Generelt om
mikroorganismer

Mange af de dråber, der kommer ud i luften ved hoste og nysen, har en sådan størrelse, at de ville sedimentere, hvis ikke deres størrelse hurtigt blev mindre. En stor del af vandet fordamper nemlig hurtigt og mange af mikroorganismene i de indtørrede dråber vil ikke overleve den kraftige udtørring. Der regnes normalt med, at de fleste smitteemner vil overleve nogle timer. Ventilationens størrelse er altså en afgørende faktor for mængden af mikroorganismer i luften. I lokaler (fx operationsstuer), hvor personer og inventar holdes desinficerede af hensyn til smittefare, har det stor betydning at ventilere bakterier og virus bort. Fugtigheden i rum bør holdes så lav som muligt for at nedsætte mikroorganismers vækst. Kuldebroer og kolde flader i et rum bør undgås, da den relative fugtighed ved de kolde flader da bliver så høj, at der i mange tilfælde vil blive gode vækstbetingelser for mikroorganismer. Grundig rengøring afpasset efter materialerne og med samtidig god ventilation holder antallet af luftbårne mikroorganismer nede.

Litteratur

- (1) Grænseværdier for stoffer og materialer. (At-anvisning nr. 3.1.0.2). Arbejdstilsynet. København 1992.
- (2) Løwenstein, H. Quantitative immunoelectrophoretic methods as a tool for the analyses and isolation of allergens. I: Allergy 1978, no 25.
- (3) Skov, P.; O. Valbjørn; F. Gyntelberg. Rådhusundersøgelsen. Arbejdsmiljøfondet, København 1989.
- (4) Gyntelberg, F. et al. Støv- og Indeklimasyge. Byggestyrelsen. København 1992.
- (5) Basisbog i arbejdsmedicin. Del III. Arbejdsbetingede sygdomme. Arbejdstilsynet. København, 1983.
- (6) Tillæg 1 til Bygningsreglement for småhuse 1985. Boligministeriet, Byggestyrelsen. København 1986.
- (7) Bekendtgørelse om asbest. (Arbejdsministeriets bekendtgørelse nr. 660 af 24. september 1989.) Arbejdstilsynet, København 1989.
- (8) Environmental Health Criteria 77. Man-made Mineral Fibres. WHO. Geneva 1988.
- (9) Air Quality Guidelines for Europe. (European series: no. 23). WHO. Copenhagen 1987.
- (10) Nielsen O. et al. Måling af Mineraluldsfibre i indeklimaet. En undersøgelse. (SBI-rapport 201). Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1989.
- (11) Wormslev, E. C.; K. Prebensen. Asbestholdige materialer i Bygninger. (SBI-anvisning 153). Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1986.
- (12) Bach Nielsen J. et al. Støv i ventilationsanlæg. (SBI-rapport 206). Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1990.
- (13) Rengøringsprogrammer, kvalitet og indeklima. Rapport. Albertslund Kommune og COWIconsult. Albertslund 1992.
- (14) Husstøvmider og Allergi. Dansk Selskab for Allergologi. København 1990.

- (15) Allergi - årsag, forbyggelse og behandling, anvendt immunologi. (Kerne hæfte 7). Nucleus. København 1982.

Gasarter og dampe

Peter A. Nielsen og Lars Gunnarsen

Påvirkninger af den menneskelige organisme

Tilstedeværelsen af gasarter og dampe i luft kan belaste den menneskelige organisme. Kraftige påvirkninger kan medføre akutte sygdomme og død. Ved de koncentrationer, der forekommer i bygninger, hvor der ikke forekommer industrielle processer, vil der oftest være tale om påvirkninger, der ikke direkte udvikler sygdomme, men fx kan have en irriterende virkning.

Påvirkningerne kan også have indflydelse på præstationsevnen ved fysisk og mentalt arbejde samt på velbefindendet.

Mennesket påvirkes af gasarterne hovedsageligt i næsehulen, luftvejene, lungerne, øjnenes slimhinder og huden. Efter optagelse i luftvejssystemet kan gasserne påvirke andre organer. De vandopløselige gasarter vil normalt udfældes i næsehulen og i luftvejene. De gasarter, der ikke opløses i vand, vil udfældes i lungeblærerne. I begge tilfælde vil det have indflydelse på organismens modstandskraft mod biologiske påvirkninger (bakterier, virus) og mod andre påvirkninger. Nogle gasarter (hovedsagelig organiske) vil "kun" i de koncentrationer, der forekommer i indeklimaet, give anledning til ubehag på grund af lugt.

Irritation i øjnene har vist sig at hænge sammen med ødelæggelsen af tårefilmen og det beskyttende fedtlag. De påvirkninger, der forårsager dette er ikke klarlagt, men formodes bl.a. at hænge sammen med stoffernes overfladeaktivitet. Blandt kontoransatte er der flere end normalt med øjenirritation og også med overfølsomhed for forskellige luftforureninger.

Lugt

Den oplevede luftkvalitet

Mennesker oplever lugtende og irriterende luftforureninger med bl.a. lugtesansen og den generelle kemiske sans.

Lugtesansen har receptorer, der er placeret i næsehulens øverste del. Receptorerne er både kvalitativt og kvantitativt følsomme for et meget stort antal kemiske forbindelser. Sansen virker omgående og med stor følsomhed, når receptorerne i et stykke tid ikke har været påvirkede af de pågældende luftstoffer. Ved eksponering i kort tid med forureninger vil der forekomme betydelig adaptation, således at opfattelsen af mange lugtstoffer forsvinder efter 10-15 minutter.

Lugtende luftforureninger kan være generende uden at have forbindelse med sygdom. De kan virke fysiologisk eller psykologisk og udløsende for visse allergiske sygdomme, fx astmatisk bronchitis eller de kan have en fysiologisk påvirkning, fx øget åndedrætsbesvær.

En bevidst eller ubevidst undertrykkelse kan give gener som hovedpine, koncentrationsbesvær og lignende.

Der er indtil nu ikke fundet sikre sammenhænge mellem lugtstoffer i luften og forekomsten af sygdomme.

Hjernens reaktion på lugtindtryk er umiddelbar, idet lugtnerverne går uden om rygmarven og direkte til hjernen. Den del af hjernen (hypothalamus), der bearbejder lugtindtryk er også den del, der bearbejder mange af de instinktive funktioner som søvn, drømme, sult og seksualitet. Hypothalamus står i forbindelse med hypofysen. Hypofysen er en endokrin kirtel, der regulerer mange basale behov og dele af det autonome nervesystem. Lugtindtrykkene bearbejdes og kan indvirke på følelser og associationer. Nogle mennesker reagerer på visse lugte ved at blive opstemte, deprimerede, glade, sørgmodige, opkvikkede eller søvnige.

Ofte kobles lugtindtryk sammen med indtryk på andre sanseelementer. Det resulterer i følgende fornemmelser af nedennævnte stoffer:

- mentol, kamfer, eukalyptus fornemmes som kolde,
- alkoholer som varme,
- klor, ammoniak og løg som stikkende.

Lugte kan desuden virke lette, tunge, tørre, fugtige, kildrende, sødlige, sure, salte, appetitvækkende, kvalmende, forfriskende, kvælende, lystbetonede og ulystbetonede. Lugte virker i øvrigt forskelligt fra person til person. I en undersøgelse bedømte 38 pct. honninglugt som behagelig, medens 48 pct. opfattede den som ubehagelig. Resten svarede ikke eller fandt lugten ligegyldig.

Den generelle kemiske sans har ikke egentlige receptorer. Frie nerveender, hovedsageligt i næsehulen, men også i øjne og hals, giver ved stimulering en følelse af irritation. Eksponering for forurening med indhold af irriterende stoffer giver en omgående følelse af irritation. Ved høje koncentrationer og ved langvarig påvirkning kan slimhindernes beskyttende lag ødelægges. Dette giver en stigende følelse af irritation. Den generelle kemiske sans har ikke samme adaptive egenskaber som lugtesansen, så irritationen på grund af konstant luftforurening er den samme eller stigende over længere tid.

De fleste mennesker kan ikke skelne mellem lugt og irritation og mange lugtstoffer er også irriterende.

Lugtesansen er udviklet til at være en af menneskets sanser for tidlig advarsel gennem tusinder af år, men der er ingen systematiske sammenhænge mellem et stofs lugtindtryk og dets giftighed. Der findes således flere giftige stoffer, som ikke umiddelbart kan opfattes af den menneskelige organisme. Kulmonoxid er det mest kendte eksempel på en lugtløs giftig gas.

Kilder

Byggematerialer og inventar

Mange materialer, der indgår i en bygning, afgiver gasser. Det gælder ikke alene byggematerialerne, men også de materialer, der er anvendt til inventar, tekstiler og beklædning. Et materials afgasningshastighed eller emissionshastighed, den mængde stof, der afgasses pr. tidsenhed fra materialet, er ikke konstant. Afgasningshastigheden aftager som regel med tiden og på en sådan måde, at de let flygtige komponenter dominerer afgasningen i starten, senere er det de mere tungflygtige, der dominerer.

De organiske forbindelser, der afgasses fra byggematerialerne er anvendt under fremstillingsprocessen, bl.a. for at lette denne. Materialer, der påføres i flydende stand i bygningen, fx maling, spartel- og fugemasser, vil som regel indeholde betydeligt mere, der kan afgasses end materialer, der i færdigproduceret form bringes ind i bygningen. Afgasningshastigheden øges med temperaturen. Undersøgelser tyder på, at afgasningshastigheden fordobles ved en temperaturstigning på 7-8 °C i stuetemperaturområdet. Dette forhold kan fx i nye bygninger udnyttes til at nedsætte den tid, hvor afgasningen er et problem ved at varme bygningen op fx til 35 °C i en periode inden den tages i brug. Samtidig med opvarmningen skal ventilationen også øges, således at koncentrationen af afgasningsprodukterne i rumluften ikke bliver væsentlig forøget. Dels vil afgasningen gå hurtigere, og dels vil der blive optaget mindre i bygningens øvrige materialer, hvorfra det senere vil kunne afgives til indeluften igen.

Brugernes aktiviteter

Der udvikles tillige gasser og dampe ved mange af de aktiviteter, der foregår i en bygning. Det kan fx være madlavning, rengøring og rygning. Som drivmidler i spraydåser bruges også undertiden generende eller sundhedsskadelige gasser. De levende organismer, herunder mikroorganismer, der er i bygningen, afgiver gasformige stofskifteprodukter.

Udeluftens forurening

Gasarter, der forekommer i udeluften, fx fra bilernes udstødning eller fra opvarmningsanlæg og industri, vil med ventilationen føres til indeluften, enten gennem utætheder i bygningen eller gennem mekaniske ventilationsanlægs friskluftindtag.

Industrielle processer

I industrien medfører processerne, at luften kan indeholde mange forskellige forureninger. Virkningerne af gasser, der forekommer på arbejdspladser eller i boliger, er ikke tilstrækkelig kendt. De kan således være årsagen eller en medvirkende årsag til gener, som i dag ikke kan forklares. Se kapitlet side 6 om indeklimaets virkninger.

Udeluft

Grænseværdier

For udeluft anvendes de såkaldte B-værdier, som er de værdier, den enkelte virksomhed maksimalt må bidrage til tilstedeværelsen af forurenende stoffer i udeluften med. B-værdierne anvendes ved de beregninger, der skal foreligge ved alle afkast fra virksomheder, der udsender forurenede stoffer til udeluften.

I (1) er der lister over kemiske stoffers B-værdier.

De grænseværdier, der findes for en række gasarter beregnet til brug i industrien, er baseret på en påvirkning af raske voksne mennesker gennem en 8 timers arbejdsdag, 40 timer ugentlig i mange år. Arbejdstilsynet udgiver hvert år en liste over grænseværdier (2).

Boligen

På boligområdet findes der ingen tilsvarende grænseværdier, og normerne for industrien kan ikke umiddelbart overføres til dette område. Det skyldes, at de industrielle grænseværdier er fastsat ud fra erfaringer fra sygdomsudvikling og genforekomst i den arbejdende befolkning. Denne del af befolkningen er den mest modstandsdygtige og raske, idet den ikke omfatter særligt følsomme, syge, børn og ældre. Fx indånder spædbørn pr. kg legemsvægt dobbelt så megen luft som voksne. Opholdstiden i en bolig er desuden op til ca. 5 gange længere end på en arbejdsplads. Alene af de to sidste grunde bør en eventuel grænseværdi for boliger højst være en tiendedel af den industrielle grænseværdi for stoffer, der ikke kun har en akut virkning. Man skal endvidere være opmærksom på, at de grænseværdier, der er gældende i industrien, er fastsat for rene stoffer.

Når to eller flere stoffer samtidig er til stede, er det den samlede effekt, der må betragtes. Virkningen af to eller flere gasser kan være uafhængig, formindskende (antagonistisk) eller forstærkende (synergistisk). Den samlede virkning af flere gasser er stort set ukendt. Da der alene fra materialer er påvist over 500 forskellige gasser og dampe i indeluft, bør dette så vidt muligt tages i betragtning ved vurdering af de samlede virkninger, men for industrielle arbejdspladser anvender Arbejdstilsynet additionsformlen (2), som også kan anvendes til at få et

udtryk for flere gassers virkning under ikke industrielle forhold.

Enkelte gasarter og materialer

Under dette afsnit er medtaget nogle af de gasarter og materialer, der spiller den største rolle for den luftforurening, der kan forekomme i bygninger.

Gasser, der stammer fra arbejdsprocesser, er ikke medtaget. De er indgående beskrevet i (3).

Kulmonoxid

Kulmonoxid (carbonmonoxid, kulilte) er en farveløs, lugtfri gas med en massefylde som almindelig luft.

Kulmonoxid bindes meget stærkt til hæmoglobinet i de røde blodlegemer og forhindrer derved optagelsen af ilt. Den resulterende fysiologiske effekt svarer til mangelen på ilt.

Der hersker usikkerhed om, hvilke virkninger kulmonoxid har hos dem, der i længere tid udsættes for mindre koncentrationer af kulmonoxid i luften. Formentlig findes der ikke nogen værdi, under hvilken kulmonoxid er helt ufarligt.

I Danmark er grænseværdien for kulmonoxid i industriluft 40 mg/m^3 (35 ppm). WHO anbefaler maksimalt 9 ppm for mere end 8 timers udsættelse (4).

Den kulmonoxid, der findes i bygninger, stammer dels fra udendørsluftens indhold af kulmonoxid (biltrafik), dels fra indendørs kilder, som fx ildsteder, skorstene, gasovne og tobaksrygning. For bygninger med mekanisk ventilation spiller friskluftindtagets placering stor rolle for hvor meget af den ydre forurening, der kommer ind i bygningerne. Kulmonoxid er forholdsvis inaktiv og vil derfor henfalde langsommere end fx svovldioxid.

Kuldioxid

Kuldioxid (carbondioxid) er en farveløs, lugtfri gas, som almindeligvis findes i ikke-forurenede luft i et indhold på ca. 575 mg/m^3 (320 ppm). Indholdet af kuldioxid er i de sidste 100 år steget fra ca. 520 mg/m^3 til ca. 575 mg/m^3 . Kuldioxids massefylde er større end almindelig luft. Indholdet af kuldioxid i udeluften skyldes hovedsagelig forbrænding af olie, kul m.m. Indholdet af kuldioxid i indeluften kan ofte være mange gange højere end

udeluftens indhold af kuldioxid. Den væsentligste indendørskilde er sædvanligvis udåndingsluften fra mennesker og dyr samt forbrænding (uden effektivt aftræk).

Ved et indhold på 72 g/m^3 kan der optræde akutte symptomer som hovedpine, svimmelhed og hjertebanken.

I Danmark er Arbejdstilsynets grænseværdi for kuldioxid i industriluft 9 g/m^3 (5000 ppm). Når det anbefales, at der normalt ikke bør være mere end ca. 2 g/m^3 (1000 ppm) i opholdsrum, er denne værdi baseret på, at kuldioxiden fra udåndingsluften kan bruges som indikator for personlugte. Kuldioxidens eventuelle virkning ved værdier omkring den arbejdshygiejniske grænseværdi eller lavere er endnu ikke undersøgt.

Kvælstofilter eller nitrøse gasser er en fælles betegnelse for gasser, som består af kemiske forbindelser mellem kvælstof (nitrogen) og ilt (oxygen). Den vigtigste af disse forbindelser er kvælstofdioxid (nitrogendioxid). Tilsammen benævnes de NO_x .

Ved forbrænding af gas dannes NO_x . Målinger i danske køkkener med gaskomfurer (5) har vist et indhold af NO_2 på henholdsvis $0,23 \text{ mg/m}^3$ (sommer), og $0,38 \text{ mg/m}^3$ (vinter). Måleværdierne er gennemsnitsværdier målt over en time. $1 \text{ mg/m}^3 \text{ NO}_x$ svarer til 0,53 ppm.

Ud fra sundhedsmæssige betragtninger er det NO_2 , der har den største betydning. Det vurderes (6), at der kan være en risiko for nedsat lungefunktion og øget følsomhed i luftvejene for astmatikere samt en øget infektionsrisiko hos børn ved udsættelse for NO_2 i indeklimaet. Effekterne formodes at kunne optræde ved kortvarig udsættelse ned til omkring $0,1 \text{ mg/m}^3 \text{ NO}_2$. Det vurderes også, at der kan være en risiko for nedsat lungefunktion for raske personer ved kortvarig påvirkning ned til ca. $0,4 \text{ mg/m}^3 \text{ NO}_2$. Der bør derfor i gasforsynede køkkener etableres emhætter over komfuret med afkast til udeluften. Ved nyinstallation af gaskomfurer i nybyggeri er dette et krav (7).

Ikke alene ved forbrænding af gas, men alle steder hvor luften opvarmes, dannes der kvælstofilter. Luftens kvælstof iltes. Derfor er der grund til at advare mod

Kvælstofiltere

Svovldioxid

andre former for afbrænding indendøre, fx petroleums-ovne, medmindre der er direkte afkast af forbrændingsprodukterne til udeluften.

Svovldioxid er en farveløs gas, som virker irriterende på øjne, svælg, næsehule og luftveje. Der er med den nuværende viden intet der tyder på, at svovldioxid, når det er alene til stede, kan give anledning til lungekræft eller bronchitis, men sammen med forbrændingsprodukter antages det at medvirke til sådanne sundhedsskader.

Den svovldioxid, der findes i bygninger, skyldes i langt overvejende grad udeluftens indhold af svovldioxid, som igen stammer fra forbrændingen af olie og kul.

Indholdet af svovldioxid vil sædvanligvis være en hel del lavere indendørs end udendørs. Dette forhold skyldes, at svovldioxid, der er en kemisk reaktiv gas, kan nedbrydes på forskellig måde og kan fx absorberes af vægge, gulv og loft samt af inventar.

I Danmark er Arbejdstilsynets grænseværdi for svovldioxid i industrien 5 mg/m^3 (2,0 ppm). For udendørs luft anvender Miljøstyrelsen en B-værdi på $0,25 \text{ mg/m}^3$ (1).

Formaldehyd er en farveløs, irriterende gasart med en stikkende lugt. Formaldehyd er et meget almindeligt forekommende kemikalie. Formaldehyd indgår fx i ureaformaldehydlim, som anvendes ved fremstilling af mange byggematerialer. De materialer, der indeholder ureaformaldehydlim kan afgive formaldehyd til luften.

Carbamidskum (UF-skum - bruges ikke mere i Danmark), spånplader, krydsfiner, parketstave, døre, garderobe- og køkkenskabe er eksempler på materialer og komponenter, der indeholder formaldehyd.

Syrehærdende lak, der bl.a. anvendes til lakering af spånplader, afgiver også formaldehyd. Den syrehærdede lak kan endog forøge formaldehydafgivelsen fra spånpladerne.

Plader, der er limet med ureaformaldehydlim vil, når de udsættes for vand og fugt, få en øget afgivelse af formaldehyd.

Formaldehyd kan indgå i et stort antal andre materialer, fx shampoo, kosmetik, deodoranter, sanitetsvæske,

Formaldehyd

maling, lædervarer, papirvarer og tekstiler. Nogle lande har krav til det maksimale indhold af formaldehyd i tøj.

I de senere år er formaldehydindholdet i mange produkter dog blevet stærkt reduceret. Hvilket også afspejler sig i den mængde, der findes i indeluften.

Formaldehyd dannes i øvrigt ofte ved forbrænding. I udstødningsgas fra biler og i tobaksrøg findes således formaldehyd.

Formaldehyd forekommer som et naturligt led i stofomsætningen i den menneskelige organisme og nedbrydes i lave koncentrationer til ufarlige produkter. Formaldehyd oplagres ikke i organismen. I store koncentrationer er formaldehyd giftig for de fleste levende organismer.

Ved formaldehydkoncentrationer på ca. 1 mg/m³ optræder sædvanligvis slimhindeirritationer i form af svie i øjne, næse og hals. Ved ca. 6 mg/m³ er formaldehyd kraftigt tårefremkaldende, (8).

Klager over irritationsgener hos følsomme personer kan forekomme helt ned til under 0,1 mg/m³ (0,08 ppm).

Formaldehyd kan give overfølsomhedsreaktioner, og ved hudkontakt kan der opstå eksem. Det er svært at angive nogen koncentrationstærskel for udvikling af allergiske reaktioner.

I Danmark er Arbejdstilsynets grænseværdi for formaldehyd i industriluft 0,4 mg/m³ (0,3 ppm). Grænseværdien er en loftværdi, og må derfor ikke overskrides selv i korte tidsrum. I arbejdsrum, hvor der ikke arbejdes med produktion af materialer, der indeholder formaldehyd, accepteres dog normalt ikke mere end 0,15 mg/m³.

I Bygningsreglement for småhuse 85 (9) stilles krav om, at spånplader, krydsfinerplader og lignende plader, hvori der indgår lim, der kan afspalte formaldehyd kun må anvendes, hvis de er omfattet af en kontrolordning, der er godkendt af boligministeriet. Kontrollen er baseret på, at pladerne ved prøvning i klimakammer højst må afgive så meget formaldehyd, at ligevægtskoncentrationen i huset ikke overstiger 0,15 mg/m³. Der findes tilsvarende krav, når sådanne plader anvendes til møbler.

Organiske gasser og dampe

En dokumentationsgruppe (8) nedsat af Byggestyrelsen konkluderer bl.a., at koncentrationen af formaldehyd i indeklimaet bør være under irritationsniveauet på 0,12 mg/m³. I en undersøgelse af 123 boliger bygget efter 1982 var dette opfyldt (10).

Der er i de senere år etableret megen viden om kilderne til og forekomsten af organiske gasser og dampe i indeluften. Det er især de flygtige organiske forbindelser (kogepunkter fra 50-100 til 240-260 °C), der er undersøgt. (Dette beror først og fremmest på opsamlings- og analyseteknik). Hvorimod de mere tungt flygtige forbindelser (kogepunkter fra 240-260 til 380-400 °C) ikke er undersøgt i samme udstrækning. Af hensyn til arbejdsmiljøet, hvor man gerne vil undgå eksponering af arbejderne med organiske forbindelser, har der i de senere år fundet en ændring sted, hvor anvendelsen af tungt flygtige organiske forbindelser er øget i forhold til de flygtige forbindelser. De tungtflygtige anses for at kunne være særlig betydningsfulde for forekomsten af både almene og slimhindesympomer.

Der er på forskellig måde gjort forsøg på at behandle alle de organiske forureninger under ét begreb: TVOC (Total volatile organic compounds).

En ofte anvendt metode er at udtrykke TVOC i toluenækvivalenter. Andre metoder anvender forskellige målemetoders signal som et udtryk for det totale indhold af organiske dampe, uanset hvilken responsfaktor det enkelte stof har. TVOC fra én måling er derfor ikke umiddelbart sammenlignelige med resultater fra andre målinger medmindre der er anvendt samme metode.

Indeluftens indhold af organiske stoffer vil både kvalitativt og kvantitativt variere fra sted til sted i et rum og fra tid til tid. De enkelte organiske stoffer, der indgår i TVOC-begrebet har også forskellig effekt på og indvirker med forskellig styrke på den menneskelige organisme. Af disse grunde kan TVOC-begrebet kun anvendes til relative målinger eller i forbindelse med en grov screening af en bygning. Det har da heller ikke været muligt i

feltstudier at påvise sammenhænge mellem symptomer og TVOC.

Den bedste og mest acceptable metode at bedømme de organiske gasser og dampe på er at foretage en toksikologisk bedømmelse af de enkelte stoffer hver for sig. Hvordan dette kan gøres, arbejdes der på i forskellige sammenhænge, men der findes endnu ikke en enkelt metode, der er generel accepteret.

På trods af dette er TVOC ofte blevet målt i indeluften, og mængden af TVOC har vist en faldende tendens i de senere år. Dette skyldes bl.a. at organiske opløsningsmidler, som fx terpentiner, i stor udstrækning er blevet erstattet af vand.

Typiske værdier for TVOC indeholdet i indeluft er ifølge (11): Udeluft 0,01-0,04 mg/m³, boliger 0,05-0,4 mg/m³, kontorer 0,05-1,3 mg/m³, skoler og børnehaver 0,05-0,3 mg/m³.

En anden måde at få et samlet mål for indeluftens kvalitet er at basere denne på personers sensoriske bedømmelse (se senere i kapitlet).

Ozon dannes, når ilten i luften udsættes for ultraviolet stråling eller for elektriske udladninger, hvorfra den karakteristiske lugt også kendes. Elektrostatiske filtre, fotokopieringsmaskiner og laserprintere kan være indendørs kilder til ozon. Tæt ved apparaterne kan koncentrationen let overstige Arbejdstilsynets grænseværdi.

Almindeligvis er ozonindholdet i udeluften 0,01 mg/m³. Under tordenvejr kan koncentrationen komme op på 0,02-0,1 mg/m³.

Ozon virker stærkt irriterende på slimhinderne og kan fremkalde tørhed i hals og næse, hovedpine og træthed. I store koncentrationer bevirker ozon lungeødem, der ødelægger lungernes funktion. Ozon er i øvrigt et radio-mitika, hvilket betyder, at det har en virkning, der ligner den, der fremkaldes af ioniserende stråling. Virkningen rammer væsentligt kromosomerne (arveanlæggene).

I Danmark er Arbejdstilsynets grænseværdi for industriluft 0,2 mg/m³ (0,1 ppm).

Tobaksrøg

Tobaksrøg er en blanding af gasarter og små tjærepartikler. Der er identificeret mere end 1000 forskellige stoffer i tobaksrøg. Cigaretgløder har en højere temperatur (800-900 °C) end pipe-, cerut- og cigargløder (ca. 700 °C). Derfor bliver de dannede produkter forskellige. Cigarettrøg er svagt sur, piberøg kan enten være sur eller alkalisk, og cigarrøg er alkalisk. Cigarettrøg er mindre irriterende end røg fra andre tobaksvarer, hvorfor det er mere almindeligt at inhalere cigarettrøg end røg fra andre tobaksvarer.

Tobaksrøg indholder både kræftfremkaldende og irriterende stoffer.

Det er bevist, at rygere har en gennemsnitlig kortere levetid end ikke-rygere. Antallet af lungekræfttilfælde er større hos rygere, især hos cigaretrygere. Blandt cigaretrygere forekommer bronkitis 3 gange så hyppigt som blandt ikke-rygere, og risikoen for at dø af hjerte- og karsygdomme er større blandt cigaretrygere end blandt ikke-cigaretrygere.

Kvinder, der ryger under svangerskabet, aborterer oftere end kvinder, der ikke ryger. Fødselsvægten er mindre hos børn født af mødre, der ryger, end hos børn af mødre, der ikke ryger. Passiv rygning synes at have betydning for udvikling af lungekræft hos voksne og luftvejsproblemer hos børn (12).

Udover forbud mod tobaksrygning kan gener hos ikke-rygere kun undgås ved at ventilere. I et lokale, hvor der ryges, skal ventilationen være mindst 3 gange større end det ellers er nødvendigt for at sikre en god luftkvalitet.

Lugt fra personer

Lugtstofafgivelsen fra personer kan variere stærkt og er afhængig af de pågældende personers aktivitetsniveau, påklædning og personlig hygiejne. De stoffer, der afsondres ved sved, er af ret kompliceret kemisk opbygning. Når svedlugtstofferne nedbrydes, dannes bl.a. følgende stoffer: myresyre, eddikesyre, smørsyre, valeriansyre, propionsyre og kaprylsyre. Fra fordøjelsesprocesserne afgives der mange forskellige stoffer, herunder acetone,

Kuldioxid
som indikator

methyl- og ethylmerkaptan. Udåndingsluften indeholder methanol, ethanol, acetaldehyd og acetone.

Kuldioxid-indholdet kan, når det udelukkende stammer fra personers udånding, anvendes som en indikator for personlugte. Således vil de fleste bedømme lugten som ubehagelig, når de kommer ind i et lokale ved et indhold på 0,1-0,15 pct. kuldioxid (2-3 g/m³ luft).

Andre kilder

Andre kilder er madlavning, mikroorganismers (bakterier og svampe), trafik, fabrikker og fyringsanlæg, og byggematerialer.

Ventilationssystemer, byggematerialer, inventar og tobaksrygning i kontor- og forsamlingslokaler udgør ud fra et lugtsynspunkt en lige så stor eller endnu større forureningskilde.

Oplevet luftkvalitet

Det har indtil nu ikke været muligt at udføre måling af lugt på en måde, der udtrykker den kombinerede effekt, som lugtesansen kan. Der anvendes derfor mennesker til "måling" af lugte. Men menneskers sensoriske bedømmelse af luftforurening er præget af store individuelle forskelle. Det anbefales derfor at anvende flere personer i et panel ved objektiv brug af sensoriske bedømmelser.

Paneldeltagerne kan eksponeres for forureningen ved at træde helt ind i et rum, der indeholder den aktuelle forurening. Denne metode anvendes ved undersøgelse af forureningen efter et tilvænningsforløb. Ved eksponering alene af paneldeltageres næser, er det vigtigt at sikre, at paneldeltageres vejrtrækning ikke influerer væsentligt på forureningskoncentrationen. En luftstrøm på 0,5-1 l/s vil normalt være tilstrækkeligt.

Der findes en række metoder til kvantificering af luftforurening på baggrund af sensorisk bedømmelse. Bl.a. har Fanger m.fl. (13) indført begrebene olf for kildestyrken og decipol for den oplevede luftkvalitet (se kapitlet "Ventilation").

De væsentligste metoder er:

- Et trænet panel, der udtrykker den initialt oplevede luftkvalitet i decipol.

- Et utrænet panel, der angiver oplevelsen af luftkvaliteten ved markeringer på kontinuert skala for accept (14).
- Et utrænet panel, der angiver oplevelsen af luften ved besvarelse af binært (ja/nej) spørgsmål om accept af luftens kvalitet (15).
- Bestemmelse af den forureningskoncentration ED₅₀ der netop giver anledning til, at 50 % af et panel kan detektere forureningens tilstedeværelse (16).

Sammenligning af
metoderne

Der er vist en entydig sammenhæng imellem den oplevede luftkvalitet (målt i decipol) og andelen utilfredse; endvidere er der nøje sammenhæng imellem voteringer for accept af luftkvaliteten på den kontinuerte skala og ved ja/nej-spørgsmål.

Dermed kan de tre første bedømmelsesmetoder umiddelbart anvendes til fastlæggelse af ventilationsbehov baseret på enhederne olf og decipol.

Anvendelsen af et trænet panel giver erfaringsmæssigt store unøjagtigheder i bestemmelsen ved lave forureningskoncentrationer under 3 decipol.

Den kontinuerte skala kan trække mere information ud af paneldeltagerne end et binært spørgsmål, og denne metode vil derfor for samme panelstørrelse være mere nøjagtig end metoden baseret på ja/nej-spørgsmål.

Et utrænet panels bedømmelser på den kontinuerte skala for accept vil give de mest pålidelige resultater ved koncentrationer omkring 2,5 decipol eller 30 % utilfredse. Et trænet panel behøver ofte ikke at være så stort som et utrænet panel. Ved omfattende undersøgelser, der foregår ved forholdsvis høje forureningsniveauer, er det derfor fordelagtigt at anvende et trænet panel.

Der er ikke umiddelbar sammenhæng mellem de tre førstnævnte metoder og den sidste. Oplysninger om hvilken koncentration netop 50 % af paneltagerne kan detektere er således vanskelig at koble sammen med et ventilationsbehov. Foreløbige undersøgelser tyder på, at koncentrationen med 50 % detektion svarer til omkring 30 % utilfredse ved initial vurdering.

Litteratur

- (1) Begrænsning af luftforurening fra virksomheder. Almindelige anvisninger om vejledningens anvendelse, emissions grænser og beregningsværdier, beregning af skorstenshøjder, udformning af vilkår og kontrolregler. (Vejledning fra Miljøstyrelsen, nr. 6, 1990). Miljøstyrelsen. København 1990.
- (2) Grænseværdier for stoffer og materialer. (At-anvisning 3.1.0.2.). Arbejdsministeriet, Arbejdstilsynet. København 1992.
- (3) Andersen I. (red). Basisbog i Arbejdsmedicin. Del II. Risikofaktorer i Arbejdsmiljøet. Arbejdsministeriet, Arbejdstilsynet, København 1983.
- (4) Air Quality Guidelines for Europe. (WHO Regional Publications, European Series No. 23). WHO. København 1987.
- (5) Rachlitz, C.-O. Måling af kvælstofilter i køkkener med gaskomfur - Bygas og Naturgas - Vintermåling. Boligministeriet, Byggestyrelsen. København 1988.
- (6) Helbredseffekter og gener ved udsættelse for kvælstofilter (NO og NO₂) i boligen. Boligministeriet, Byggestyrelsen. København 1988.
- (7) Gasreglementet. Afsnit A. Dansk Gasmateriel Prøvning. Hellerup 1991.
- (8) Frimann Hansen, L. Helbredseffekter og gener ved udsættelse for formaldehyd. Boligministeriet, Byggestyrelsen. København 1988.
- (9) Bygningsreglement for småhuse, BR-S 85. Boligministeriet, Byggestyrelsen. København 1985.
- (10) Bergsøe, N. C. Undersøgelse af ventilationsforhold i nyere boliger. Luftskifte. (SBI-rapport 213). Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1991.
- (11) Inomhusklimat - Luftkvalitet. (NKB-skrift nr. 61, juni 1991). Den Nordiske Komité for Bygningsbestemmelser. Boligministeriet, Bygge- og Boligstyrelsen. København 1991.
- (12) Gyntelberg, F. et al. Passiv rygning - og overfølsomhed. Tobaksskaderådet. København 1993.
- (13) Fanger, P. O. Introduction of the olf and the decipol unit to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors. I: Energy and Building. V 12., 1988.
- (14) Gunnarsen, L. Ventilationsbehov og adaptation til indeluft. Carl Bro as. Glostrup 1990.
- (15) Fanger, P. O. et al. Air pollution sources in offices and assembly halls quantified by the olf unit. I: Energy and Building, V 12, 1, 1988.
- (16) Begrænsning af lugtgener fra virksomheder. Vejledende retningslinier for afhjælpning af lugtgener fra virksomheder i forbindelse med en miljømæssig sagsbehandling. (Vejledning fra Miljøstyrelsen, nr. 4, 1985). Miljøministeriet, Miljøstyrelsen. København 1985.

Luftfugtighed

Ole Valbjørn og Nils Erik Andersen

Fugtighedens indflydelse

Fysiologiske forhold

Mennesket har ingen fugtsans og kan derfor heller ikke direkte mærke, om luften er fugtig eller tør.

Indirekte mærkes luftens fugtighed ved, at den har betydning for varmeafgivelsen fra kroppen. Betydningen er størst, når det er varmt, så varmt at størstedelen af kroppens varmeafgivelse sker ved fordampning af sved. Vanddampafgivelsen fra kroppen varierer fra ca. 40 g pr. time i hvile til flere kg pr. time ved meget hårdt arbejde. Afgivelsen sker gennem udånding og fordampning fra huden.

Når luftens fugtighed er meget lav, vil slimhinderne i næse og hals tørre ud, og de naturlige rensningsfunktioner bliver nedsat. Det bliver derfor vanskeligere at udskille indåndede partikler.

Indirekte indflydelse

I det danske klima varierer luftens fugtighed inden for grænser, der normalt ikke giver anledning til gener. Hvis luften ikke tørres kunstigt, eller den ikke tilsættes meget vanddamp, overholdes komfortgrænserne næsten hele året. Alligevel klages der tit over "tør luft", "udtørrede slimhinder", eller luften beskrives som "kvalmende, lummer" selv ved moderate temperaturer og fugtigheder, men det kan skyldes andre påvirkninger, fx gasser, dampe og støv.

Undertiden kobles luftens fugtighed sammen med gener fra statisk elektricitet. Den statiske elektricitet opstår ved gnidning mellem to materialer, fx skosål og gulvbelægning. En øget luftfugtighed vil øge nogle materialers elektriske ledningsevne (fx gulvtæpper af polyamid) og derved nedsætte dannelsen af statisk elektricitet.

Green (1) har peget på nogle undersøgelser, der tilsyneladende viser et mindre fravær fra arbejde ved højere

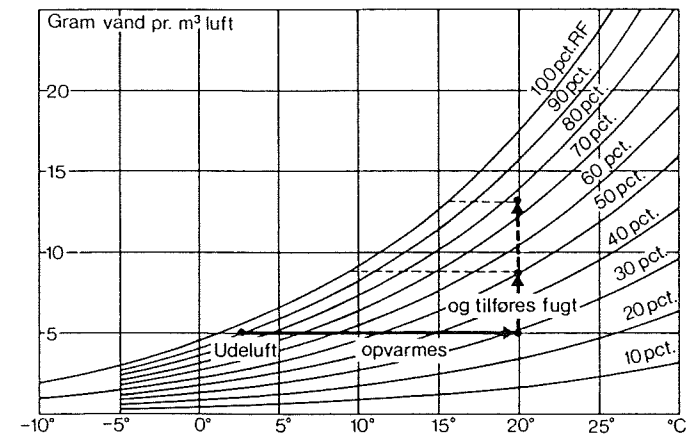
Absolut og relativ fugtighed

fugtighed end ved lavere fugtighed. Det kan være et spørgsmål om mikroorganismers overlevelse som funktion af luftens fugtighed.

Luftens fugtindhold

Luftfugtigheden kan udtrykkes som vandindholdet i g pr. kg luft eller pr. m^3 luft (1 kg svarer til $0,8 \text{ m}^3$ ved 20°C). Ofte udtrykkes luftfugtigheden som den relative fugtighed og angives normalt i pct. Den relative fugtighed (RF) udtrykker vandindholdet i luften i forhold til det maksimalt mulige vandindhold i luften af samme temperatur, der er mættet med vanddamp. Den relative fugtighed er således ved et bestemt vandindhold afhængig af temperaturen, se figur 11.

Ved 1°C kan 1 m^3 luft indeholde ca. 5 g vanddamp, medens den ved fx 20°C kan indeholde ca. 18 g vanddamp. Indeholder den 9 g vanddamp ved 20°C , altså 50 pct. af det maksimale, er den relative fugtighed 50 pct.

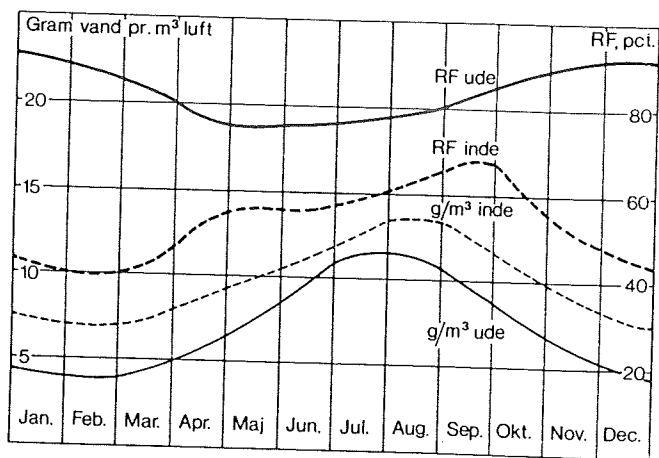


Figur 11. Sammenhængen mellem luftens temperatur, vandindhold og relativ fugtighed. Når den kolde udeluft om vinteren - her vist med et vandindhold på 5 g pr. m^3 - kommer ind i et opvarmet rum, falder den relative luftfugtighed kraftigt. Samtidig med, at der tilføres vanddamp fra personer, planter m.m., stiger den relative fugtighed.

Luften i et opvarmet, beboet rum vil normalt indeholde mere vanddamp end udeluften. Mennesker, madlavning, vask, tørring af tøj og processer tilfører luften vanddamp. Men køling af ventilationsluft eller processer, hvori materialer, der opsuger vanddamp, føres bort fra lokalet, kan dog reducere luftens vandindhold.

I boliger er vandindholdet i luften 3-4 g/m³ højere end i udeluften, mens det i kontorer og lignende, hvor det kun er personer, der afgiver fugt, er nærmere udeluftens fugtindhold.

Fugten varierer ude og inde gennem året. Som omtalt, se figur 12, er den lavest om vinteren og højest om efteråret. Indeluftens fugtvariationer dæmpes noget af byggematerialers og inventars fugtakkumulering.



Figur 12. Typisk variation af den relative luftfugtighed ude og i boliger gennem året. Den relative fugtighed inde er højest fra august til oktober, lavest fra december til marts. Det er forudsat, at fugttilførslen indendørs medfører et vanddampindhold, som er 3 g pr. m³ højere inde end ude, dog ikke i sommermånedene, hvor der luftes mere ud end resten af året. Indetemperaturen er regnet til 23 °C i juni og september, og 20 °C resten af året.

Påvirkninger og grænser

I komfortområdet for temperaturen har den relative fugtighed næsten ingen indflydelse på varmfornemmelsen. En stigning på 20 pct. i relativ fugtighed kan kompenseres af en temperatursænkning på 0,5 °C.

Over komfortområdet, hvor temperaturen er så høj, at næsten al varmen afgives ved fordampning af sved (ca. 25 °C ved hårdt arbejde og ca. 35 °C ved let arbejde), betyder den relative fugtighed meget. 20 pct. ændring i relativ fugtighed må da her kompenseres af en ændring på ca. 7 °C i omgivelsestemperaturen.

Kommer man fra et tørt rum til et rum med større fugtighed, vil der kondensere fugt i tøjet. Mens det sker (5-10 min.), afgives varme til kroppen, og rummet vil føles varmere. Omvendt vil et rum med lavere fugtighed føles koldere umiddelbart efter, at man kommer ind i det.

Luftens relative fugtighed kan variere fra ca. 25 til ca. 60 pct. uden at give gener, når blot temperaturniveauet er 20-22 °.

Der er tendens til, at huden tørrer ud, når luftens vandindhold er under 3 g pr. kg luft. Denne virkning formodes at være uafhængig af, om opholdet er indendørs eller udendørs. 3 g pr. kg luft svarer til 20 pct. RF ved 21 °C. Laboratorieforsøg (3) viste meget ringe følsomhed for fugtvariationer fra 20 pct. til 70 pct. (ved ca. 21 °C).

En undersøgelse i kontorbygninger med et stort antal personer (4) viste imidlertid, at mennesker kan registrere fugtvariationer, men at det hænger sammen med temperaturniveauet. Disse undersøgelser viste, at ved 21-22 °C var der større tilfredshed både med luftens fugtighed og luftens kvalitet (friskhed) end ved 23-24 °C. Ved 23-24 °C blev der klaget over tør luft ved 25 pct. RF og trykkende luft ved 40 pct. RF.

Optagelse og afgivelse af fugt i byggematerialer vil kunne binde eller udløse afgivelse af gasser og dampe, fx formaldehyd. En ændring i luftens relative fugtighed vil derfor kunne ændre rumluftens kvalitet. Disse effekter er omtalt i kapitlet "Gasser og dampe". Da der er sammenhæng mellem påvirkning fra gasser og dampe og tørheds-

Statisk
elektricitet

fornemmelse i slimhinderne, kan der således være ovennævnte indirekte effekt af luftens relative fugtighed.

De fleste gulvbelægnings og tekstiler vil ikke give anledning til statisk elektricitet, når den relative fugtighed er over ca. 40 pct. Ved lavere værdier, der ofte forekommer om vinteren, kan dannelsen af statisk elektricitet reduceres ved at anvende elektrisk ledende gulvmaterialer. Alternativt kan gulvbelæggningerne behandles med anti-statisk væske (se kapitlet "Statisk og atmosfærisk elektricitet").

Mikro-
organismer og
husstøvmider

Indirekte kan fugtigheden spille en rolle for forekomsten af sygdomme (fx astma), idet allergener fra mikrosvampe og husstøvmider forekommer hyppigst ved høj fugtighed, se kapitlet "Støv og mikroorganismer". Der bør af den grund ikke anvendes luftfugtere i boliger. Fugtigheden bør, når det er muligt (i vintersæsonen) holdes under 40-45 pct. RF. En undersøgelse af ventilation og fugtighed i danske boliger (5) viser, at der i ca. 80-85 pct. af boligerne er under 45 pct. RF i en vinterperiode. Undersøgelsen viste i øvrigt også, at det ikke var de dårligst ventilerede boliger, der havde høj fugtighed.

Astma

Undersøgelser (6) af anstrengelsesudløst astma hos børn viser, at børn med astma bedre tåler anstrengelse i fugtig luft end i tør luft (undersøgt ved 85 pct., 50 pct. og 15 pct. RF). Årsagen er formodentlig den mindre afkøling af bronkierne fra fordampning af vand ved høj fugtighed. Da fugtigheden i boliger meget sjældent er under 30 pct. RF og så vidt muligt i vintersæsonen bør holdes under 40-45 pct. RF, er effekten af at befugte luften (fx fra 30 til 40 pct. RF) væsentlig mindre end den undersøgelse viste.

Bygning og
installationer

Luftfugtigheden bør indendørs ikke være så høj, at der sker kondensation på eller i bygningskonstruktionen. I den kolde tid kan det ske ved 45-50 pct. RF. Kondensation kan være skadeligt for byggematerialerne, fordi det kan give grobund for svamp og råd. Det er derfor nødvendigt at sikre tilstrækkelig ventilation især i boliger, der er tætte. En simpel kontrol af at den relative fugtighed ikke er for høj i vinterperioden er at se, at der ikke er kondens

på den indvendige (varme) side af 2-lags vinduer fx koblete vinduer eller almindelige termoruder.

Vanddamp fra processer eller i baderum fjernes bedst umiddelbart, hvor den dannes, fx ved udsugning. Hvis der af procestekniske grunde skal holdes en konstant fugtighed med mekanisk befugtning, skal det anvendte vand og apparat holdes rent, så der ikke spredes mikroorganismer via befugtningsanlægget. Desinficerende midler skal skylles bort efter rensningen.

Konklusion

Det er ikke nødvendigt af fysiologiske grunde at affugte eller befugte luften i Danmark. Der vil kun være korte perioder om vinteren med relativ fugtighed lavere end 25 pct. RF og korte perioder om sommeren med højere fugtighed end ca. 60 pct. ved 21-22 °C.

Hensynet til bygningskonstruktionen og til helbredsmæssige forhold sætter en øvre grænse for luftfugtigheden i vintersæsonen på ca. 45 pct. RF ved 21 °C.

Litteratur

- (1) Green, G. H. Indflydelse af luftbefugtning på luftvejsinfektioner. I: VVS, 13. årgang nr. 5, 1977.
- (2) Andersen, N. E.; Christensen, G.; Nielsen, F. Bygningers fugtisolering. (SBI-anvisning 178). Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm 1993.
- (3) Andersen, I. et al. Human perception of humidity under four controlled conditions. I: Archives of Environmental Health, 26. årgang, 1973.
- (4) Andersson, L.-O. et al. Människans reaktion för tort, fuktad och intermittent fuktad luft. (Rapport R63:1975). Statens Institut för Byggnadsforskning, Stockholm 1975.
- (5) Bergsøe, N. C. Undersøgelse af ventilationsforhold i nyere boliger. Luftskifte. (SBI rapport 213) Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm 1991.
- (6) Henriksen, J. M. et al. Influence of relative humidity and repeated exercise on exercise-induced bronchoconstriction. I: Allergy, 36. årgang, 1981.

Luftbåren radioaktivitet

Niels Jonassen

Radon og radondøtre

Det er skadeligt i længere tid at være udsat for radioaktiv eller, mere generelt, ioniserende stråling. En sådan udsættelse kan forekomme i medicinsk sammenhæng, fx i forbindelse med røntgenfotografering eller en undersøgelse, hvor der anvendes radioaktive sporstoffer. Den kan også være forårsaget af udslip fra et kernekraftværk eller af letsindig omgang med radioaktive materialer, som anvendes i industrien.

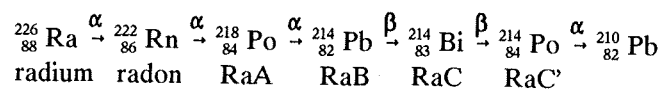
Men hvis vi betragter befolkningen i almindelighed er den væsentligste enkeltårsag til radioaktiv eksponering ingen af disse ting. Langt den største del af den radioaktive eksponering, som befolkningen udsættes for, skyldes indåndingen af de såkaldte radondøtre.

Fysisk grundlag

Radon, som er en kemisk inaktiv luftart, eller ædelgas, dannes ved radioaktivt henfald af radium, der altid forekommer som en bestanddel af jordbunden og derfor også af visse byggematerialer.

Radon er selv α -radioaktiv med en halveringstid på 3,84 dage og henfalder til en række datterprodukter eller, som de ofte kaldes, døtre, der er kemisk aktive og relativt kortlivede.

I nedenstående skema er vist de forskellige radioaktive omdannelser, startende med radium $^{226}_{88}\text{Ra}$ og endende med det (næsten) stabile bly $^{210}_{82}\text{Pb}$.



kortlivede (luftbårne) radondøtre

En del af de radonatomer, der dannes ved radioaktivt henfald af radium, fx i jordbunden, har en mulighed for at diffundere fra materialets porer ud i den omgivende luft.

Når dette radon derefter henfalder, bliver resultatet, at man også i luften får en vis mængde af de første fire datterprodukter i luftbåren form, og det er disse kortlivede radondøtre, der giver anledning til hele radonproblematikken. De luftbårne radondøtre optræder i to former, dels som ikke-partikelbundne i meget små molekyllklynger af størrelsen nogle få nm, dels bundet til partikler, fx tobaksrøg med en størrelse på måske 100 nm.

Radiologisk
virkning

Når blandingen af radon og radondøtre indåndes, vil hovedparten af radon udåndes igen, inden det når at henfalde under udsendelse af α -partikler. Radon repræsenterer derfor ikke nogen helbredsrisiko.

Anderledes forholder der sig med radondøtrene. Både de partikelbundne og de ikke-partikelbundne vil med stor sikkerhed udfældes et eller andet sted i luftvejene, hvor de vil henfalde radioaktivt. Betragt vi fx et $^{218}_{84}\text{Po}$ (RaA)-atom vil dette i alt give anledning til to α -partikler og to β -partikler, før det ender som $^{210}_{82}\text{Pb}$, og noget tilsvarende gælder for de øvrige radondøtre. De udsendte β -partikler har så lille energi, at deres virkning på luftvejenes celler er forsvindende. For α -partiklerne, derimod, gælder det, at de afsætter deres store energi inden for en meget lille tykkelse af væv, og at de derfor med stor sandsynlighed vil kunne skade vævets celler, evt. med udvikling af en kræftsvulst som slutresultat.

De to former for radondøtre, partikelbundne og ikke-partikelbundne, har vidt forskellig radiologisk virkning. Da de ikke-partikelbundne radondøtre er meget små, har de stor tilbøjelighed til at slå sig ned på enhver overflade, de kommer i nærheden af, og de vil derfor fortrinsvis udfældes i den øverste del af luftvejene, dvs. i bronchieerne, mens de partikelbundne radondøtre vil kunne bevæge sig til de nedre luftveje, før de udfældes. Imidlertid er bronchieerne det mest sensitive sted for udvikling af lungekræft, og de ikke-partikelbundne radondøtre bliver derfor i almindelighed langt mere

radiologisk virksomme, måske 10-20 gange, end de partikelbundne.

Aktivitetskoncentration og potentiel energi

Niveauet af radon såvel som dets datterprodukter angives normalt som en aktivitetskoncentration, dvs. som antallet af radioaktive omdannelser pr. tidsenhed pr. volumenenhed. Enheden er bequerel pr. m^3 ($Bq \cdot m^{-3}$), idet $1 Bq = 1$ radioaktiv omdannelse pr. sekund.

I princippet kan aktiviteten af de enkelte radondøtre være lige så stor som af radon selv, og man taler da om, at man har radioaktiv ligevægt. I praksis vil døtrene koncentration dog altid være mindre og aftagende efter omdannelsesrækkefølgen vist ovenfor.

Dette skyldes, at en del af døtrene fjernes, fx ved ventilation og ved at slå sig ned på overflader i rummet, den såkaldte plate-out proces.

For radondøtrene er aktivitetskoncentrationen af de enkelte døtre dog et dårligt mål for den samlede, mulige (potentielle) virkning, idet denne beror på, hvor meget energi, der af α -strålingen evt. vil kunne afsættes i luftvejene ved indånding. Man definerer derfor i stedet den potentielle alfa energi koncentration (PAEC) som den energi, der pr. volumenenhed ville være frigivet i form af α -stråling, hvis alle de luftbårne radondøtre i volumenenheden var henfaldet til $^{210}_{82}Pb$. Enheden for PAEC er joule pr. m^3 ($J \cdot m^{-3}$) og dens værdi kan beregnes, når man kender de enkelte datterkoncentrationer.

En given værdi af PAEC kan imidlertid fremkomme som resultat af (uendeligt) mange forskellige kombinationer af radondøtrene, og af alle disse kombinationer antages at have samme potentielle virkning, definerer man en ækvivalent ligevægtskoncentration (EED, equilibrium equivalent daughter concentration), som den ens koncentration af alle døtrene, som ville give samme PAEC. Da den teoretiske maksimale koncentration af døtrene er lig radonkoncentrationen C_{Rn} , definerer man en ligevægtsfaktor F, som forholdet mellem EED og C_{Rn} .

Faktoren F er normalt omkring 0,4-0,6. PAEC angiver også eksponeringshastigheden, og ved at multiplicere med den tid, man er eksponeret, fås den totale eksponering ($J \cdot s \cdot m^{-3}$). Multipliceres eksponering med åndedræts-hastigheden, får man den totale energi (J), der potentielt kan afsættes i luftvejene.

Den radiologiske effekt er dog, som allerede nævnt, ikke entydigt bestemt ved energien, men afhænger af, i hvilke organer denne energi afsættes, og det vil igen sige af størrelsesfordelingen og koncentrationen af luftens aerosoler og hermed af, hvor stor en del af radondøtrene, der findes i den ikke-partikelbundne form. Man kan for hver del af luftvejene definere den absorberede dosis, som den energi, der absorberes pr. masseenhed. Enheden er $J \cdot kg^{-1}$, der i denne sammenhæng kaldes gray (Gy).

Det skal dog understreges, at mens koncentrationer og PAEC er størrelser, der direkte lader sig måle, omend ofte besværligt, så er doserne størrelser, hvis beregning hviler på mange teoretiske forudsætninger, som ikke har et eksperimentelt grundlag.

Aktionsniveau og undersøgelsesniveau

Vurderingen af den skadelige virkning af indånding af radondøtre er baseret på en analyse af sammenhængen mellem antallet af lungekræfttilfælde hos minearbejdere og den eksponeringshastighed eller totale eksponering, de har været udsat for. Det er klart, at en sådan analyse er behæftet med endog meget stor usikkerhed, bl.a. på grund af, at der måske går 30 år fra eksponeringen finder sted, til virkningen viser sig, og derudover på grund af, at egentlige målinger af eksponering kun har fundet sted i nyere tid, og så endda som regel uden hensyntagen til alle de relevante faktorer som fx aerosoltilstand.

Med disse forbehold i betragtning synes minedataene at føre til, at en eksponering i 1 år med en ækvivalent ligevægtskoncentration af radondøtre på $1 Bq \cdot m^{-3}$ over en 30-års periode efter eksponeringen giver en risiko på omkring $5 \cdot 10^{-6}$ for at udvikle lungekræft (1).

Vurderingsgrundlag

Der er naturligvis ikke på forhånd givet, at man kan ekstrapolere disse data, der er opnået ved radondatterkoncentrationer på måske 5000-10000 Bq · m⁻³ til også at gælde ved de koncentrationer på 50-100 Bq · m⁻³, som fx kan forekomme i boliger. Og yderligere gælder der, at man ikke kan sætte en grænse for, hvad der er farligt. En lav koncentration i lang tid er måske endda farligere end en høj koncentration i kort tid. Der findes ikke i Danmark fastsat nogen grænseværdi for, hvad man kan acceptere af radondatterkoncentrationer. På internationalt plan kan nævnes, at den Internationale Kommission for Radiologisk Beskyttelse (ICRP) i sin publikation nr. 39 "foreslår", snarere end det stærkere "anbefaler", at man overvejer et aktionsniveau på omkring 200 Bq · m⁻³ EED.

Kommissionen anbefaler også, at de nationale myndigheder etablerer eller definerer undersøgelsesniveauer for at adskille boliger, som kræver nærmere undersøgelse fra sådanne, som ikke gør det. Det synes rimeligt at antage, at et undersøgelsesniveau omkring 100 Bq · m⁻³ EED vil svare til den nuværende opfattelse i ICRP, og det kan måske derfor forventes, at man i de forskellige lande vil indarbejde disse forslag og anbefalinger i de nationale regler, således at det måske inden for de næste ti år skulle være muligt ved forskellige forebyggende foranstaltninger at holde PAEC fra radondøtrene nede under måske 150 Bq · m⁻³, i hvert fald i nye huse.

Radon og radondøtre i indendørs luft

Som nævnt dannes radon ved radioaktivt henfald i jordbunden og i et vist omfang i en del byggematerialer. En del af det dannede radon vil kunne trænge ud i den omgivende luft, enten ved ren diffusion eller ved, at der dannes et undertryk i luften i forhold til materialets porer. Denne sidste proces er ofte helt dominerende. I materialeporerne vil der naturligvis også eksistere radondøtre, men disse vil kun i forsvindende grad have mulighed for at slippe ud. Den exhalerede radon vil i udendørs luft i nærheden af jordoverfladen give koncentrationer omkring

5-10 Bq · m⁻³ med en ligevægtsfaktor omkring 0.6-0.7. I indendørs luft vil koncentrationerne af såvel radon som radondøtre ofte være meget større. Dette skyldes, at et hus virker som en opsamlende beholder, hvor den exhalerede radon fra jordbunden akkumuleres og koncentrationen af radondøtrene vokser, indtil der er indtrådt en ligevægt mellem tilførsel og fjernelse (ved radioaktivt henfald, plate-out evt. assisteret af elektriske felter, ventilation og evt. andre processer som filtrering).

Danske målinger

Der er efterhånden mange steder i verden gennemført undersøgelser for at fastslå, hvilke niveauer af radon, og naturligvis primært radondattereksponeringer, befolkningen er udsat for. Af praktiske grunde har man i vist nok alle undersøgelser været nødt til at nøjes med at måle koncentrationerne af radon og derefter ved at gætte på en passende ligevægtsfaktor (som regel 0,5) at skønne over koncentrationen af radondøtrene. Ved den største, danske undersøgelse (2) fandt man, at middelkoncentrationen af radon i danske målinger var omkring 55 Bq · m⁻³, svarende til en koncentration af radondøtrene på omkring 25-30 Bq · m⁻³. I etageboliger var den gennemsnitlige koncentration af radon 20 Bq · m⁻³, mens den i enfamilieboliger var 70 Bq · m⁻³. Disse tal svarer meget godt til resultaterne fra andre lande, idet det dog skal nævnes, at man i nogle lande, som Sverige og USA, i visse områder hyppigt finder meget højere koncentrationer, op til 5000-10000 Bq · m⁻³, forårsaget af specielle jordbundsforhold (højt radiumindhold og/eller høj porøsitet) eller i visse tilfælde specielt radiumholdige byggematerialer.

Skønnet risiko

På baggrund af middelværdien af radondatterkoncentrationen har Sundhedsstyrelsen skønnet at man kan forvente op til 300 ekstra lungekræfttilfælde pr. år i befolkningen som helhed som følge af eksponeringen for radondøtrene. Ved den omtalte danske undersøgelse fandt man, at ca. 3 % af enfamiliehusene, svarende til 30000-40000 på landsplan, havde radonkoncentrationer over 200 Bq · m⁻³ og højst 600 Bq · m⁻³ (200 Bq · m⁻³ svarer til det omtalte internationalt foreslåede aktionsniveau). Selv om dette tal er fundet på grundlag af et relativt lille antal målinger

(348), stemmer det meget godt overens med, at man også ved alle andre større undersøgelser finder, at der altid er et ikke ubetydeligt antal boliger, der har radondatterkoncentrationer af en sådan højde, at det bør overvejes at gøre noget for at sænke disse. Dette gælder for eksisterende huse, men herudover synes det også rimeligt at planlægge nybygninger på en sådan måde, at man i videst muligt omfang sikrer sig imod at få uacceptabelt høje radondatterkoncentrationer i husene. (3).

Kontrol af radondøtre i indendørs luft

Kontrol af niveauet af radondøtre i indendørs luft kan foregå efter én eller flere af følgende strategier:

- Forhindring af radontilførsel
- Fortynding med radonfattig luft (ventilation)
- Direkte fjernelse af radondøtrene.

Forhindring af radontilførsel

Den mest effektive metode til kontrol af radondatterkoncentrationen i et hus er at kontrollere (sænke) tilførslen af selve radongassen. Det sker bedst som en forebyggende foranstaltning ved nybyggerier. Jordbunden kan undersøges for med en vis sikkerhed at forudsige, om et hus bygget på det pågældende sted vil kunne få et radonproblem eller ej. Man kan naturligvis undlade at vælge byggematerialer, som potentielt kan give væsentlige radonafgasinger. (Bidraget er dog af mindre betydning). Desuden kan man ved bygningen af huset nedsætte muligheden for indsigning af radon fra jordbunden ved anvendelse af passende barrierer. Beton af god kvalitet tillader således kun i ringe grad radongennemstrømning, således at et tæt betonfundament under et hus ville garantere lave radon- og dermed datterkoncentrationer. Imidlertid findes der altid planlagte og uplanlagte åbninger, gennem hvilke radon kan trænge ind. Det kan dreje sig om rørgennemføringer, afløb, sammenføjninger mellem enkelte dele af gulvet m.m. Og selv ganske små åbninger og revner kan være tilstrækkelige til at nedsætte virkningen af resten af betonen ganske betragteligt. Man kan da måske ved hjælp af såkaldte "radonsniffere" finde disse åbninger og tætte dem ved anvendelse af forskellige

typer af fyldmateriale, ofte asfalt- eller gummibaseret. På denne måde er det muligt at gøre et hus næsten (og i hvert fald tilstrækkeligt) radontæt, men metoden har den ulempe, at der med stor sandsynlighed i tidens løb opstår nye åbninger dels ved de naturlige og helt uundgåelige bevægelser og forskydninger i huset og dels ved, at tætningsmidlerne efterhånden ikke har tilstrækkelig god kontakt med betonen. Hvis denne metode anvendes, bør det, måske med nogle års mellemrum, ved måling af radonkoncentrationen kontrolleres, at tætningen stadig er effektiv. Hvor en effektiv forsegling af alle kontaktflader med jorden ikke kan opnås, er den eneste måde, på hvilken man kan nedsætte radonindstrømningen, at nedsætte trykdifferensen mellem bygningen og jorden, eller at sænke radonkoncentrationen i selve jorden i nærheden af huset. Begge dele kan opnås samtidigt ved anvendelse af et jordbunds-ventilations-system, bestående af et netværk af perforerede rør nedenunder og rundt om bygningen, holdt på et tryk, som er lidt lavere end trykket i selve huset. Herved skabes en (svag) luftstrøm fra huset ud i jorden, som dels nedsætter radonindstrømningen og dels fortynder luften i selve jorden.

Ventilation

Den bedst kendte metode til at sænke radon- og radondatterkoncentrationen er anvendelse af ventilation. Antager man, at man ventilerer et rum med luftskiftet n (pr. time, h^{-1}) kan radonkoncentrationen i rummet skrives

$$R_n = \frac{\lambda}{\lambda + n} \cdot R_0$$

hvor λ er henfaldskonstanten for radon = $7,554 \cdot 10^{-3} h^{-1}$, og R_0 er den radonkoncentration, der ville være hvis rummet ikke blev ventileret. Det ses, at ventilation tilsyneladende er en meget effektiv metode til at sænke koncentrationen, idet et luftskifte på blot $0,3 h^{-1}$ bevirker at R_n kun er 2,5 % af R_0 og radondatterkoncentrationen ville da være yderligere lavere.

Man skal imidlertid huske på, at hvis man ønsker at anvende forøget ventilation, så starter man med et hus, der allerede har et vist luftskifte, fx $0,3 h^{-1}$, og kan måske

acceptere et forøget luftskifte til $1,5 \text{ h}^{-1}$. Ifølge ovenstående formel vil dette da kun nedsætte radonkoncentrationen til ca. 20 % af den oprindelige værdi. I forbindelse med anvendelse af ventilation skal man være opmærksom på, at ventilationen skal være balanceret, således at der ikke skabes et undertryk i huset i forhold til omgivelserne, idet selv meget små undertryk kan forøge indstrømningen af radon fra jordbunden og således helt ophæve, ja måske endda vende den ønskede virkning. Endelig skal det også nævnes, at ventilation med udendørs (radonfattig) luft også indebærer spørgsmålet om ekstra energi til opvarmning af ventilationsluften. Sammenfattende må siges, at anvendelse af forøget ventilation ofte er den simpleste og tilstrækkeligt effektive metode til sænkning af radondatterkoncentrationen, men at også denne metode helt klart har sine ulemper.

Direkte fjernelse af radondøtre

Det er en nærliggende tanke at forestille sig, at man kan fjerne radon eller datterprodukter med kemiske, mekaniske eller elektriske metoder. Da radon er en (ædel) gas, kan den ikke fjernes ved filtrering eller andre fysiske metoder. Anderledes ligger det med datterprodukterne.

Filtrering

Især de partikelbundne radondøtre kan udfældes i såvel mekaniske som i elektrofiltre, men da filtreringen ofte også ændrer luftens aerosoltilstand er virkningen vanskelig at forudsige med rimelig nøjagtighed. Undersøgelser har dog vist (4), at det med anvendelse af kommercielt tilgængelige elektrofiltre er muligt at sænke radonkoncentrationen i et lokale til måske 30-40 % af den oprindelige værdi. Da de ikke-partikelbundne radondøtre ikke fjernes lige så effektivt som de partikelbundne, bliver den skønnede dosis måske kun sænket til 50-60 % af den oprindelige værdi. En anden metode til direkte fjernelse af radondøtre fra luften består i anvendelse af ionisering med unipolare ioner i et elektrisk felt. Denne metode synes at være mindst lige så effektiv som filtrering, og har den fordel at være helt lydløs. Med en ionisator er det muligt at reducere såvel koncentration af som dosis fra radondøtrene til godt under halvdelen i selv et rimeligt stort rum ($\approx 100 \text{ m}^3$). Radondøtrene vil i dette tilfælde

Ionisering

udfældes på rummets begrænsninger, og tilsvarende vil andre luftbårne partikler. Resultatet kan derfor blive en tilsmudsning af væggene. Ved denne direkte fjernelse af radondøtrene fra luften påvirkes luftens indhold af radon ikke. Disse sidstnævnte metoder synes især at have deres berettigelse, enten som en foreløbig løsning, indtil mere omfattende (og dyrere) foranstaltninger kan sættes i gang, eller hvor man kun har brug for en reduktion i radondatterkoncentrationen på 2-3 gange.

Litteratur

- (1) Nazaroff, W. W.; A.V. Nero (eds.). Radon and its Decay Products in Indoor Air. Wiley 1988. (Denne bog giver den mest omfattende behandling af hele emnet).
- (2) Naturlig stråling i danske boliger. Statens Institut for Strålehygiejne. København 1987.
- (3) Vejledning om radon og nybyggeri. Boligministeriet, Byggestyrelsen. København 1988.
- (4) Jonassen, N.; B. Jensen. Removal of Radon Daughters by Filtration and Electrostatic Plate-out. Proc. The 1988 Symposium on Radon Reduction Technology, Environmental Protection Agency. Denver 1988.

Statisk og atmosfærisk elektricitet

Niels Jonassen

Blandt de fysiske påvirkninger, som mennesket udsættes for, er en del af elektrisk natur, forårsaget af statisk elektriske eller atmosfæriske elektriske processer. I visse tilfælde er påvirkningerne meget mærkbare, fx i form af elektriske stød, mens det i andre tilfælde er tvivlsomt om påvirkningen overhovedet registreres. Det sidste gælder især den atmosfæriske elektricitet.

Statisk elektricitet

Når to legemers overflader kommer i nær kontakt, vil der ofte ske en transport af ladede partikler (som regel elektroner) fra det ene stof til det andet. Hvis de to legemer er af forskelligt materiale, kan transporten ske, blot legemerne rører hinanden. Hvis legemerne derimod er ens, vil det ofte være nødvendigt, at kontakten er ledsaget af en gnidning, for at en væsentlig ladningsudveksling skal finde sted. Sålænge kontakten og den eventuelle gnidning foregår, vil legemerne da være elektrisk ladede, idet det ene har overskud af elektroner, dvs. er negativt, og det andet har underskud af elektroner, dvs. er positivt. Skiller man nu de to legemer, vil man i visse tilfælde kunne bevare ladningerne, og man har da fået en elektrostatisk opladning. Hvis et af legemerne er en leder (fx metalgenstand eller person), der ikke er isoleret, vil det straks tabe sin ladning, mens isolatorer og isolerede ledere kan bevare ladningen, afhængig af isolationens godhed, i meget lang tid.

Statisk elektricitets virkninger

En elektrisk ladning siges at være omgivet af elektrisk felt. Hermed menes, at en anden ladning anbragt i den første ladnings omgivelser bliver påvirket af en kraft. Den kraft

hvormed en enheds ladning ville blive påvirket kaldes feltstyrken. Dens enhed er newton pr. coulomb eller hvad, der er det samme, volt/m.

I såvel ledere som isolatorer, der anbringes i et elektrisk felt, sker der sådanne ladningsforskydninger (ved fordeling og polarisation), at legemerne som regel bliver påvirket af en kraft rettet henimod det opladede legeme. Det er denne effekt, der fx kan få opladede flader til at tiltrække støv, og desuden kan den forårsage produktionsvanskeligheder i spinderier, trykkerier og lignende steder (1). Denne mekaniske virkning af elektrostatiske opladninger forekommer i princippet for selv små værdier af feltstyrken, og virkningen vokser sædvanligvis stærkt med voksende feltstyrke.

I modsætning hertil gælder, at en anden slags virkning af elektrostatiske opladninger, den termiske eller elektriske, kun forekommer, når feltstyrken et eller andet sted overskrider en vis værdi, den såkaldte gennemslagsfeltstyrke. Sker dette, vil der springe en gnist fra (eller til) det opladede legeme. Gennemslagsstyrken er i atmosfærisk luft ca. $3 \cdot 10^6$ volt/m eller 30.000 volt/cm.

Springer en sådan gnist i en atmosfære, der indeholder eksplosive gasser og dampe, kan resultatet blive en eksplosion eller brand. På fx en operationsstue gælder da også særlige regler til sikring mod elektrostatiske opladninger.

Hvis gnisten springer fra en person, der er blevet opladet fx ved gang på en isolerende gulvbelægning, vil dette normalt kun give anledning til et vist ubehag, men ikke rumme nogen egentlig risiko.

Et af de områder, hvor opladninger har de største praktiske og økonomisk mest betydningsfulde virkninger, dog uden direkte hygiejnisk betydning, er i den elektroniske industri. Følsomme halvlederkomponenter og -kredsløb kan meget let ødelægges som resultat af opladninger og udladninger, som er så svage, at man næppe på anden måde vil have opdaget dem. Problemet, benævnt ESD, Electro Static Discharge, optræder både under fabrikantransport, montage og anvendelse.

Tiltrækning af støv

Gnistdannelse

Eksplosion

Ubeklag

Elektronisk udstyr

Elektrostatisk opladning

Indirekte
virkning

Udover de foran omtalte direkte virkninger kan der tænkes en række indirekte virkninger af fysiologisk eller hygiejnisk art. For at forstå disse er det nødvendigt at se nærmere på de atmosfærisk elektriske forhold.

Atmosfærisk elektricitet

I atmosfæren, både indendørs og udendørs, foregår til stadighed en række processer, som helt eller delvis er af elektrisk natur.

For så vidt angår de udendørs forhold indgår de luftelektriske processer i et elektrisk strømkredsløb, og der må derfor i luften, som alle steder, hvor elektriske strømme forekommer, eksistere dels et elektrisk felt og dels bevægelige ladningsbærere.

Det luftelektriske felt er ved jordoverfladen omkring 150 volt/m og rettet nedad mod jorden. Efterhånden som man fjerner sig fra jordoverfladen, falder feltstyrken, indtil den i en højde af ca. 60 km er forsvindende. I denne højde har man det såkaldte luftelektriske udligningslag, og mellem dette lag og jorden er der en spændingsforskel på ca. 300.000 volt. Årsagen til denne spændingsforskel og dermed til feltet er tordenvejr eller, måske bedre udtrykt, tordensystemer.

I atmosfæren vil der også gå elektriske strømme. I smukt vejr således ca. $3 \cdot 10^{-12}$ A/m² og i tordenvejr meget større strømme. Disse strømme drives af det luftelektriske felt, men deres forløb er samtidig tegn på, at der i atmosfæren eksisterer bevægelige ladningsbærere, luftioner.

Luftionerne, dvs. partikler af normalt molekular størrelse, bærer i almindelighed en enkelt positiv eller negativ elementarladning. Dannelsen af ioner i atmosfæren foregår ved, at der fra et oprindeligt uladet luftmolekyle slås en enkelt elektron løs, hvorved molekylet efterlades som en enkeltladet, positiv elementarion. Elektronen vil hurtigt slå sig ned på et uladet molekyle, hvorved dette bliver en enkeltladet, negativ elementarion. Disse elementarioner vil tiltrække andre molekyler, især vand, og blive til lette ioner, eller blot luftioner.

Det luft-
elektriske felt

Luftioner

Lette ioner

Den energi, som skal tilføres et molekyle for at ionisere det, kan leveres af en stødende partikel, eller et elektromagnetisk strålingskvante.

Ved jordoverfladen er ioniseringskilderne sædvanligvis af radioaktiv art, nemlig stråling fra radioaktivt stof i jordbunden, evt. i byggematerialer, og først og fremmest i luften. Især indendørs kan man, afhængigt af ventilationen, regne med at langt den væsentligste ionkilde er luftens indhold af radon og dets datterprodukter (se kapitlet om radioaktivitet). I de højere luftlag forsvinder bidragene fra radioaktivt stof mere og mere, og den kosmiske stråling bliver dominerende.

I atmosfæren findes altid en vekslende mængde partikler af vidt forskellig art, fra kondensationskerner til synlige støvpartikler, fra fx tobaksrygning, madlavning og bilers udstødning.

Støder en let ion sammen med en større partikel, er der stor sandsynlighed for at de forbliver sammen som en tung ion, og antallet af lette ioner i luften er derfor stærkt afhængigt af forekomsten af tunge partikler i luften.

Ioners virkning på mennesker

Næsten lige siden de atmosfæriske ioners eksistens blev påvist omkring 1900, har man tilskrevet dem en lang række virkninger af fysiologisk, medicinsk eller hygiejnisk art.

Som regel hævdes de lette positive ioner at have en uønsket eller skadelig virkning, og de lette negative ioner en gavnlig effekt. Blandt de oftest påståede effekter er virkninger på blodets indhold af serotonin, vibrationsfrekvensen af cilierne (fimrehårene) i luftvejenes slimhinder, reaktionstiden samt især udløsning af anfald hos astmatikere. Beslægtet med den sidstnævnte effekt er den nok hyppigste af alle påståede virkninger, nemlig at luft med overskud af lette positive ioner virker trykkende, mens luft med overskud af lette negative ioner virker frisk.

Fælles for alle de nævnte og en lang række andre foreslåede effekter på mennesker af ioner er, at der

Tunge ioner

Mulige
virkninger

blandt forskere hersker megen uenighed om virkningernes eksistens overhovedet. Når man et eller andet sted mener at have eftervist en virkning, viser det sig ofte umuligt andre steder at gentage forsøgene med blot samme tendens. Hvis virkningen eksisterer, er den sandsynligvis kædet sammen med andre påvirkninger og gælder måske for særligt følsomme personer.

I (2) er refereret en kontrolleret undersøgelse med astmapatienter udsat for henholdsvis positive og negative ioner. Undersøgelsen viste en svag fysiologisk, men ikke mærkbar (af personerne) positiv effekt af et meget stort antal negative ioner. I en kontrolleret feltundersøgelse (3) i soveværelser hos astmabørn i hjem hvor forældrene røg, og der var begrænset udluftning, sås en svag positiv effekt ved brug af ionapparater. Der blev ikke ved undersøgelsen foretaget nogen elektriske målinger, og det er mest sandsynligt, at den positive virkning skyldes iongeneratorernes luftrensende virkning (se afsnittet om iongeneratorer).

Indendørs atmosfærisk elektricitet

Udendørs og indendørs kan der være væsentlige forskelle på de luftelektriske forhold. Bygningen vil skjærme totalt for det luftelektriske felt, således at man indendørs ikke har de af dette felt fremkaldte strømme.

Hvad angår iontæthederne gælder det, at man indendørs normalt har de samme ionkilder som udendørs, men hertil kan komme betragtelige ekstra bidrag fra stråling fra bygningen selv og især fra den radioaktive afgang fra grunden og byggematerialerne. Dette kan medføre, at iontætheden indendørs kan blive væsentligt højere end udendørs på samme sted, men samtidig forekommer ofte indendørs en stor produktion af forskellige slags partikler, fx på grund af rygning, hvilket som før omtalt vil bevirke et kraftigt fald i koncentrationen af lette ioner.

Bliver luften udskiftet ved ventilation, og passerer den herved gennem filtre, vil den indkommende luft ofte have et meget lavt ionindhold, men da ioniseringskilderne, på nær de faste luftbårne radioaktive stoffer (radons datterprodukter), ikke forsvinder ved filtrering, vil luften hurtigt

(nogle minutter) igen have nået i nærheden af sit maksimale ionindhold. Passage af luft gennem kanaler, såvel ledende som isolerende, har en lignende temporær virkning på ionindholdet.

Statisk elektriske felter

Iontæthederne påvirkes af statisk elektriske felter. Det er velkendt, at der, måske især i moderne bygninger, anvendes store mængder af isolerende materialer til overfladebeklædning eller -behandling. Spørgsmålet er da, om disse materialer rent faktisk bliver opladede, og om felterne fra dem i væsentlig grad virker i den omgivende luft.

Hvad angår selve opladningen af materialerne gælder der, som tidligere nævnt, at disse skal udsættes for gnidning mod andre stoffer, for at en opladning kan blive resultatet. For så vidt angår gulvbelægninger foregår en sådan gnidning mellem gulvet og skosålerne, når personer færdes i lokalet. Herudover er det muligt, at rengøring som støvsugning, mopning, polishbehandling og lignende også kan efterlade gulvet med en elektrisk ladning. Dette har dog ikke været undersøgt nærmere. Vægge og lofter er normalt ikke udsat for samme grad af "makroskopisk" gnidning, som gulvet, men her kan man forestille sig en mere kontinuerlig opladningsproces gennem medvirken af luften. Ren luft kan i sig selv ikke oplades eller oplade andre stoffer ved strømning. Indeholder luft derimod faste partikler, som støv og lignende, vil luften ved at strømme forbi en flade i princippet kunne oplade denne, og processer af denne art vil da kunne foregå ved alle rummets begrænsningsflader. Der foreligger endnu ikke undersøgelser, der viser om en sådan opladning rent faktisk foregår med luft med normalt forekommende støvindhold. I hovedparten af de betragtede rumflader (gulve, vægge, lofter) vil en elektrisk ladning på overfladen ligge tæt op ad (måske nogle mm fra) en relativt god ledende flade (træ, mursten, beton osv.) Dette medfører, at næsten hele feltet fra ladningen er rettet ind mod muren, og at virkningen udad i luften bliver lille. En opladet flade anbragt frit i rummet som fx inventar og skærmterminaler har til gengæld indflydelse på ionkoncentrationen (4).

Bygningens
indflydelse

Ventilations-
anlæggs
indflydelse

Bliver en person opladet, vil der omkring personen, og derfor også omkring næse og mund, eksistere et felt, der delvis vil filtrere indåndingsluften for ioner. Opladning af mennesker sker næsten udelukkende ved gnidning mellem skosåler og gulvbelægning, og opladningen kan ved visse kombinationer af de to materialer give anledning til personspændinger på mange tusinde volt.

Opladninger af en sådan størrelse vil give en kraftig nedsættelse i indåndingsluftens ionindhold, evt. udfældning af modsat ladede partikler på huden, og give anledning til ubehagelige stød, hvis personen kommer i nærheden af jordledende genstande eller blot ledende genstande med tilstrækkelig stor kapacitans. Man kan regne med, at spændinger under 1000-2000 volt ikke giver anledning til mærkbare stød. Ved spændinger omkring 2000-3000 volt vil flere og flere mennesker føle ubehag, og over 3000 volt syntes praktisk taget alle, at stødene er særdeles ubehagelige. Det kan desuden nævnes, at en gnist fra en person opladet til 3000 volt er energirig nok til at tænde de fleste eksplosive dampe (fx fra opløsningsmidler) som kan forekomme i hverdagen.

I ethvert katodestrålerør, hvad enten det drejer sig om en data- eller TV-skærm, vil elektronerne accelereres mod skærmen i feltet fra et sæt elektroder, der holdes på høj positiv spænding (måske 10-30 kV) i forhold til omgivelserne. Dette felt stoppes imidlertid ikke af skærmen, men strækker sig også ud i rummet foran denne. Hvis en operatør sidder foran skærmen, vil dette felt bevirke, at positive partikler i luften af feltet drives over imod og kan udfældes på operatøren. Men også neutrale partikler vil (på grund af polarisation) af feltet kunne føres over på operatøren.

Negativt ladede partikler vil trækkes over imod og udfældes på selve skærmen, og dette gælder også de neutrale, polariserbare partikler i de perioder, hvor der ikke befinder sig en person eller anden større ledende genstand i umiddelbar nærhed af skærmen.

Det er påvist, at et felt foran en dataskærm faktisk forøger partikeludfældningen på operatørens hud (5), og

det har været foreslået, at denne udfældning af luftbårne partikler skulle kunne give anledning til fx eksem og udslæt. Dette kan på ingen måde udelukkes og er måske endda under visse forhold sandsynligt. Det statiske felt foran en skærm kan fjernes, fx ved hjælp af et jordledet filter eller ved at belægge skærmen med en (jordledet) ledende, gennemsigtig metalbelægning. Ethvert katodestrålerør er foruden det statiske, elektriske felt også omgivet af et elektromagnetisk felt. Det er blevet foreslået at dette felt skulle kunne have skadelige virkninger på operatører foran dataskærme fx være abortfremkaldende. Der er ikke hidtil hverken foreslået nogen sandsynlig virkningsmekanisme eller påvist nogen statistisk, pålidelig sammenhæng. WHO har dog angivet en værdi under hvilken helbredseffekter af pulserende magnetfelter er usandsynlige (6), og i sit direktiv (7) om skærmterminaler har EF stillet krav bl.a. om at ikke-synlig, elektromagnetisk stråling reduceres mest muligt af hensyn til brugeren.

Iongeneratorer

Det forhold, at et elektrisk felt vil bevæge og evt. udfælde elektrisk ladede, luftbårne partikler udnyttes i en bestemt type af iongeneratorer, beregnet til luftrensning. I den almindeligste form består en sådan generator af en spids, fx en metalnål eller et bundt kulstoffibre, der holdes på en høj spænding, typisk 5-10 kV. Foran spidsen vil der i et meget lille volumen foregå en ionisering, dvs. dannes lige mange positive og negative ioner, og hvis spidsen fx er positiv vil de negative ioner trækkes ind mod spidsen og neutraliseres, og de positive ioner vil bevæge sig væk fra spidsen, som derfor virker som en positiv iongenerator. Og tilsvarende, hvis spidsen er negativ. De ioner, der bevæger sig væk fra iongeneratoren vil for langt de flestes vedkommende slå sig ned på rummets gulv, vægge og loft. Nogle vil undervejs hæfte sig på partikler i luften, hvorved også disse bevæges i feltet ud mod rummets overflader og derved fjernes fra luften. For at en iongenerator, som her forklaret, skal virke luftrensende, skal den både producere ioner, der skal oplade partiklerne, og være omgivet af et felt, der kan bevæge de opladende partikler. Det er ligegyldigt, om de producere-

de ioner er positive eller negative. Den her beskrevne type iongeneratorer fjerner partikler fra luften, men ikke fra rummet, idet partiklerne udfældes på flader i rummet. Og disse flader vil derfor kunne tilsmudses. Hvis iongeneratoren anvendes til fjernelse af radondøtre fra luften er virkningen betydeligt større, hvis man anvender positive ioner fremfor negative ioner. Der foreligger endnu ikke nogen afsluttede videnskabelige undersøgelser af effekten af ionisatorer som luftrensningmiddel, men undersøgelser, der er udført på Laboratoriet for Teknisk Fysisk, Danmarks Tekniske Højskole, har vist, at selv ret små, ionisatorer har en evne til at fjerne fx partikler (men ikke gasser) i tobaksrøg med en effektivitet, der er helt på linie med eller større end recirkulerende filteraggregater. Iongeneratorer til luftrensning kan ikke anvendes til bekæmpelse af statiske opladninger. Til dette skal man anvende iongeneratorer der producerer både positive og negative ioner.

Kilder til opladning af personer

Som nævnt afhænger personspændingerne af kombinationen af skosåler og gulvbelægninger. Hvis begge dele er ledende, får man ingen opladning. Er derimod blot et af stofferne isolerende, kan der forekomme betragtelige opladninger. For skoens vedkommende gælder således, at såvel læder- som gummi- og kunststofsåler, ja selv såler af ledende gummi, i hvert fald på visse gulvbelægninger, kan give store spændinger. Det er derfor i højere grad gulvbelægningernes egenskaber, der bestemmer muligheden for opladninger.

Den vigtigste statisk elektriske egenskab ved en gulvbelægning er dens elektriske modstand. Er denne modstand høj, er der mulighed for store opladninger, selv om også overfladens glathed og lignende har betydning.

Praktisk taget alle typer af tekstile belægninger, herunder også løse tæpper, kan give høje opladninger. Belægninger af nylon, polypropylen, acryl og andre polymere materialer kan give opladninger på adskillige tusinde volt

ved fugtigheder under 40-50 pct. RF, mens belægninger af naturfibre som uld og bomuld oftest først giver opladninger ved fugtigheder under 30-35 pct. RF.

Faste
belægninger

For faste gulvbelægningers vedkommende gælder, at en del, som beton, træ, sten, m.fl., under normale omstændigheder kun giver små opladninger medmindre skosålerne er højisolerede. Andre belægninger som asfalt og vinyl er naturligt isolerende og giver selv i ny tilstand store opladninger. Linoleum giver i ny, ubehandlet tilstand meget lave personspændinger, mens ældre belægninger ikke væsentligt adskiller sig fra andre isolerende hårde belægninger. Dette gælder især, hvis linoleum er overfladebehandlet med de hyppigt anvendte polishmidler, der bruges for at lette rengøringen. En lignende effekt fås også ved polish- og anden overfladebehandling af gulvbelægninger af fx træ og asfalt. Både på polishbehandlet linoleum og på lakerede trægulve er der målt spændinger på 6000-8000 volt. Der forekommer dog generelt kun få klager over statisk elektricitet i bygninger med faste belægninger i forhold til bygninger med ikke-antistatiske tekstile belægninger.

Antistatiske
gulvbelægninger

En del gulvbelægninger, såvel tekstile som faste, er antistatiske. For tæppebelægningernes vedkommende betyder dette i visse tilfælde, at en del af tæppets fibre, og undertiden alle, er halvledende, således at ladningerne, der adskilles ved gang på tæppet, hurtigt forenes igen, og spændingerne derved holdes lave, fx under 1500-2000 volt. Egentlig antistatiske faste gulvbelægninger er fx vinylprodukter, som er iblandet antistatiske midler. Disse belægninger anvendes først og fremmest til operationsstuer på hospitaler samt til lokaler for datamater, skrivemaskiner og lignende udstyr. Flere af de antistatiske tæppebelægninger er i øvrigt netop udviklet til brug på sådanne steder. Der findes en deklaraionsordning baseret på en afprøvning af, hvor høje personspændinger, man kan opnå ved gang på et givet tæppemateriale. Hvis underlaget for en tæppebelægning er isolerende og af væsentlig tykkelse, kan personspændingen dog blive højere end vist ved afprøvningen.

Gulvbelægninger

Tekstile
beklædninger

Metoder til at reducere opladning

Visse af de antistatiske tekstile belægninger har blot gennemgået en overfladebehandling med et antistatmid- del. Dette kan meget vel give en acceptabel effekt, så længe belægningen er ny, men effekten vil forsvinde, efterhånden som midlet slides af.

Omvendt kan en egentlig isolerende gulvbelægning i mange tilfælde gives tilfredsstillende statisk elektriske egenskaber ved jævnlig behandling med et antistatisk middel. Disse midler virker ved, at de på belægningernes overflade danner et meget tyndt lag, der suger vanddamp til sig fra luften, og ladningerne vil da kunne ledes bort i dette lag. Antistatbehandling er derfor væsentligst nødven- dig i vinterperioden hvor den relative luftfugtighed er lav indendørs.

For faste belægningers vedkommende kan behandlin- gen foretages ved afvaskning af gulvet med en opløsning af midlet. Behandlingen må gentages ved hver vask af gulvet. I øvrigt synes gulvbelægninger, der fx er polish- behandlet, kun vanskeligt at tage imod antistatbe- handlinger.

For tekstile belægningers vedkommende påføres anti- statmidlerne ved påsprøjtning. Hvis denne foretages omhyggeligt og med et middel, der passer til belægningen, kan en sådan behandling virke i 2-3 måneder. Sikkerheds- foranstaltninger mod indånding af antistatmidlet under påføringen og umiddelbart efter skal træffes.

Luftens fugtighed spiller en væsentlig rolle for størrelsen af opladningerne på langt de fleste gulvbe- lægninger. Ved almindelig stuetemperatur falder oplad- ningerne kraftigt ved fugtigheder over ca. 45-50 pct. RF undtagen for de stærkest isolerende materialer. Generelt kan luftbefugtning til over 40 pct. RF ikke tilrådes på grund af risiko for overlevelse af husstøvmider og kon- densrisiko i vinterperioden.

Man kan principielt fjerne ladninger på personer ved at gøre den omgivende luft ledende. Det antal ioner, der normalt findes i luften, er alt for lille til at denne form for neutralisering spiller nogen praktisk rolle. Anvendes en

iongenerator til at producere ekstra ioner, kan luftens ionindhold måske forøges 10 til 20 gange, og derved neu- tralisere ladningerne tilsvarende hurtigere. Sådanne iongeneratorer skal producere både positive og negative ioner, dels fordi man ikke på forhånd ved, hvilket fortegn ladningen har, og dels fordi man ved at anvende en iongenerator, der fx kun laver negative ioner, kan risikere at oplade neutrale legemer, altså gøre lige det modsatte af det, man ønskede.

Metoden spiller en stor rolle i den elektroniske in- dustri, men er normalt for ineffektiv, når det drejer sig om afladning af personer, der oplades ved at gå på iso- lerende gulvbelægninger.

Litteratur

- (1) Jonassen, N. Statisk elektricitet. Polyteknisk For- lag. København 1981.
- (2) Albrechtsen, O. et al. Influence of small atmospheric ions on the air-ways in patients with bronchial asthma. I: Indoor Climate. Effects on human comfort, performance, and health in residential, commercial and light-industry build- ings. Ed. by P. O. Fanger and O. Valbjørn. Proceedings of the 1st International Indoor Climate Symposium in Copenhagen, August 30 - September 1 1978. Danish Building Research Institute. København 1979.
- (3) Daugbjerg P. et al. Iongenerator og astmatisk bronchitis/astma bronchiale. I: Ugeskrift for læger 150/2. 1988.
- (4) Johansson L.; O. Strindehag. Luftjoner i ventilerede lokaler. (R69:1983). Statens råd för Byggnadsforskning. Stockholm 1983.
- (5) Olsen, W. C. Electric field enhanced aerosol exposure in visual display unit environments. (CMI nr. 803604). The Chr. Michelson Insti- tute. Bergen 1981.
- (6) Magnetic Fields. (Environmental Health Cri- teteria 69). WHO, Geneva 1987.

- (7) Rådets direktiv af 29. maj 1990 om minimumsforordninger for sikkerhed og sundhed i forbindelse med arbejde ved skærmterminaler. I: Rådet for de Europæiske Fællesskabers Tidende Nr. L.156/14. 1990.

Ventilation

Erik Christophersen

Ånding

Udelufttilførslen til et rum må fastlægges under hensyn til komfortmæssige og bygningsfysiske forhold og således, at der ikke opstår fare for personernes helbred.

Mennesket ændrer sammensætningen af den omgivende luft, bl.a. ved at forbruge ilt og afgive kuldioxid. Der vil derfor altid være behov for tilførsel af udeluft til rum, hvori der opholder sig personer, idet luftens indhold af ilt og kuldioxid skal holdes inden for sådanne grænser, at de tilstedeværende personers åndedræt kan foregå ubesværet. For at tilfredsstille disse krav skal der blot tilføres 1-3 l udeluft pr. sekund pr. person afhængigt af aktiviteten, og kravene vil kun have betydning i meget tætte lokaler med dårlig ventilation. I almindelige bolig- og arbejdslokaler vil ventilationen fra utætheder i bygningen være tilstrækkelig.

Udeluftbehov

Udeluftbehovet vil derfor som regel være bestemt af forureningsmængden i form af lugte fra de personer, der opholder sig i rummet, tobaksrøg, luftforurenende processer eller afgang, fx fra materialer i rummets begrænsningsflader eller inventaret. Behovet for udeluft kan tillige være bestemt af ønsket om at holde luftfugtigheden på et passende niveau, dels af hensyn til sundhed og velbefindende for de personer, der er i rummet, dels for at undgå bygningskader på grund af kondens. Endelig kan udeluftbehovet være bestemt af ønsket om at anvende luften til køling af bygningen i sommerhalvåret.

Ud over udelufttilførslen har også luftens fugtindhold og temperatur indflydelse på luftkvaliteten, jf. kapitlerne om "Termisk klima" og "Luftfugtighed".

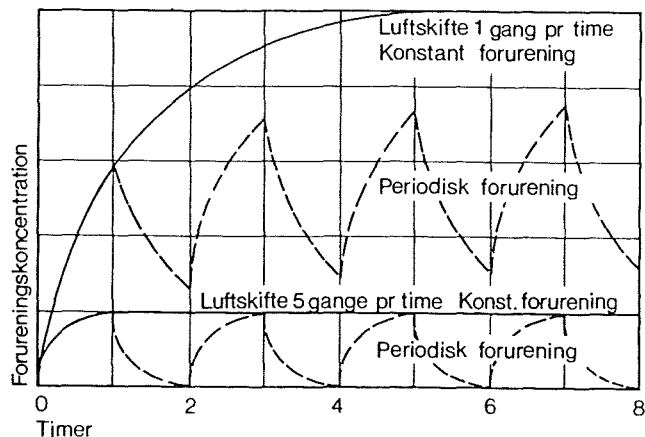
Forekomsten og indflydelsen på sundhed og velbefindende af forskellige forureninger i form af partikler og gasarter er behandlet tidligere i denne rapport. Det gælder tillige kravene til den relative fugtighed.

I det følgende omtales forskellige kriterier for bestemmelse af udelufttilførslen og undersøgelser vedrørende udeluftbehovet, samt de luftskifter, der må forventes i huse uden egentlige ventilationsanlæg.

Fortynding

Ved at tilføre udeluft opnås en fortynding af den forurenede luft. Forureningen angives gerne ved koncentrationen i ppm (parts per million), dvs. rumfangsenheder forurening i 1 million rumfangsenheder luft, og det er den, det har interesse at beregne. Det gøres ved opstilling af stofbalanceligningen, hvori udtrykkes, at den ændring, der sker i mængden af forurening i luften, er lig den mængde, der tilføres, minus den mængde, der bortføres med den udsugede ventilationsluft. Dette gælder, hvad enten forureningen er gasarter, støv eller bakterier.

Stofbalanceligningen viser bl.a., at ligevægtskoncentrationen for en forurening er uafhængig af begyndelseskoncentrationen, og at rummets volumen kun har indflydelse på hvor lang tid, der går inden ligevægtskoncentrationen nås, og ikke på selve ligevægtsværdien.



Figur 13. Tidsforløbet af koncentrationen af fx kuldioxid forårsaget af forurening fra en person.

Beregning af forureningskoncentrationen

Yaglous undersøgelser

Den tid, det varer, før den stationære tilstand nås, er afhængig af luftskiftets størrelse. Jo mindre luftskiftet er, jo længere tid varer det, før tilstanden er stationær. Ved et luftskifte på 1 gang pr. time nås den stationære tilstand efter ca. 5 timer, ved et luftskifte på 5 gange pr. time efter ca. 1 time. I nogle tilfælde, især med lavt luftskifte, spiller udfældningen på overflader ved adsorption eller sedimentation dog også en rolle.

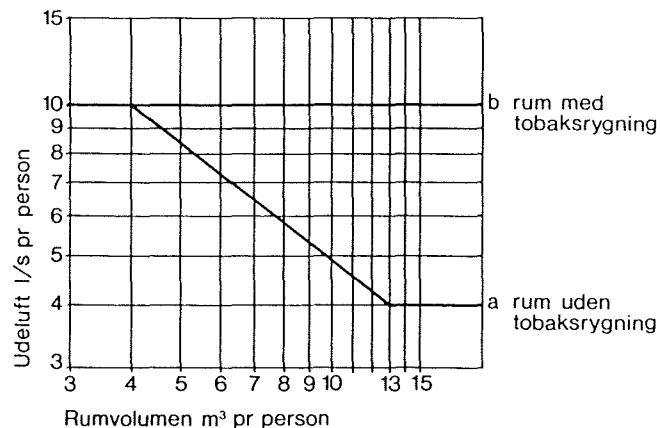
Kriterier for bestemmelse af frisklufttilførsel

De grundlæggende undersøgelser vedrørende sammenhængen imellem udelufttilførslen og lugtintensiteten blev udført af amerikaneren C. P. Yaglou i 1930'erne. Yaglou satte det stationære ventilationsbehov bestemt ud fra kropslugtkriterier i relation til personantal og det rumvolumen, der er til rådighed for hver person, således at ventilationsbehovet for et givet rum vokser næsten kvadratisk med antallet af personer i rummet. Yaglou forklarede dette med, at lugtstofferne er kemisk ustabile og hurtigt dekomponeres ved oxydering, så der vil være mindre spredning af kropslugt blandt de tilstedeværende personer, jo større rumvolumet er pr. person.

Som mål for acceptabel luftkvalitet anvendes ofte, at 80 pct. af udefra kommende personer skal finde luftkvaliteten tilfredsstillende med hensyn til lugtkvalitet. Dette mål anvendes bl.a. i ASHRAE's standarder for luftkvalitet.

Yaglous undersøgelser er baggrunden for den vejledning, der gives vedrørende basisventilation i Dansk Ingeniørforenings norm for ventilationsanlæg, DS 447, (2).

Personer, som opholder sig i et rum, opnår ret hurtigt en tilvænning, således at deres lugtopfattelse svækkes, men hvis de forlader rummet og efter kort tid vender tilbage, bedømmer de lugtintensiteten som nyttilkomne med friske lugtesanser. Tilvænningen sker efter 10-15 minutters ophold i rummet. Der sker størst tilvænning til bioeffluenter og kun en begrænset tilvænning til forurening fra byggematerialer (1).



Figur 14. Diagram til beregning af basisventilationen i lokaler med udelukkende menneskelige forureninger og tobaksrygning. Der bør af hensyn til forurening fra byggematerialer være mindst 0,35 l/s udeluft pr. m² gulvareal. (Kilde: Dansk Ingeniørforenings norm for ventilationsanlæg, DS 447 (2)).

Der er i de senere år iværksat nye omfattende undersøgelser, navnlig USA og Skandinavien, af sammenhængen mellem udelufttilførsel og luftkvalitet. Resultater fra denne igangværende forskning tyder på, at rumvoluminet pr. person kun har ringe indflydelse på lugtintensiteten, og at det alene er udelufttilførslen pr. person, der har betydning, når det drejer sig om stationære forhold.

Indtil for få år siden var det antagelsen, at kropslugt fra mennesker var den forureningskilde, som bestemte behovet for tilførsel af udeluft. Forureningen fra byggematerialer, inventar mv. blev anset for at have mindre betydning.

Nyere forskning udført af Fanger (3) viser at ventilationssystemer, byggematerialer, inventar og tobaksrygning i kontor- og forsamlingslokaler, ud fra et lugtsynspunkt udgør en ligeså stor eller endnu større forureningskilde. Fanger har indført nye begreber som olf og decipol som mål for kildestyrken og oplevet luftkvalitet. En olf modsvare emissionen (bioeffluenter) fra en person under definerede standardbetingelser. En decipol er den oplevede luftkvalitet af en olf, som ventileres med 10 l ren

Tabel 7. Niveauer for oplevet luftkvalitet (4).

Oplevet luftkvalitet decipol	% utilfredse	Nødvendig lufttilførsel l/s, olf
0,6	10	16
1,4	20	7
2,5	30	4

luft pr. sekund. En decipol er således en anden måde at udtrykke hvor mange mennesker, der gennemsnitlig finder luftkvaliteten utilfredsstillende ved et første indtryk. På lignende måde kvantificeres andre forureningskilder, fx bygningsmaterialer og inventar, med det antal standardpersoner "olf" som medfører samme utilfredshed som den betragtede forureningskilde. For at opnå højst 20 % utilfredse med den oplevede luftkvalitet (1,4 decipol) skal lufttilførslen være mindst 7 l/s pr. olf.

Forureningsbelastningen fra bygning, aktiviteter og ventilationssystemer varierer betydeligt mellem forskellige bygninger. I en "lav-olf bygning" er forureningsbelastningen 0,1 olf pr. m² og i en "normal" bygning 0,4 olf pr. m², hvilket jf. tabel 7 svarer til en nødvendig udelufttilførsel på 0,7 l/s pr. m², henholdsvis 2,8 l/s pr. m² så fremt den oplevede luftkvalitet skal være 1,4 decipol, svarende til 20 % utilfredse.

Valg af udelufttilførsel kan ske ud fra kriteriet om oplevet luftkvalitet, fx 7 l/s pr. person (ved stillesiddende aktiviteter) for kriteriet 20 % utilfredse. Ved højere aktivitetsniveau kræves en større lufttilførsel. Hertil kommer den lufttilførsel, der er nødvendig af hensyn til andre forureningskilder (materialer, inventar mv.). Det er dog ikke dokumenteret, i hvor høj grad, der er en additiv virkning af vidt forskellige kilder.

Undersøgelser vedrørende indflydelsen af tobaksrygning på ventilationsbehovet viser entydigt, at udelufttil-

Tobaksrygning

førslen må øges kraftigt i rum, hvor der ryges. Ved "almindelig rygning" i et lokale med flere personer skal der i henhold til Ingeniørforeningens norm for ventilationsanlæg mindst tilføres 10 l/s pr. person for at opnå acceptabel luftkvalitet.

Nye undersøgelser vedrørende tobaksrygningens indflydelse på luftkvaliteten peger dog i retning af endnu større tilførsel af udeluft for at opnå acceptabel luftkvalitet. I NKB-rapport 61 (4) anbefales det således, at der i rum, hvor der almindeligvis forekommer tobaksrygning, tilføres mindst 20 l/s pr. person.

Som det fremgår af kapitlet "Luftbåren radioaktivitet" har ventilationen stor indflydelse på niveauet af radondøtre i indeluften. Ved udluftning falder niveauet næsten øjeblikkeligt til en meget lav værdi, og det varer flere dage, før det tidligere niveau nås igen.

Når der anvendes mekanisk ventilation, må det sikres, at der ikke skabes undertryk i huset, idet der i så fald kan suges mere radon ind i boligen gennem utætheder mod jorden.

Der er i tidligere undersøgelser blevet konstateret ret høje koncentrationer af formaldehyd i nye og nyere huse. Dette resulterede i krav i bygningsreglementet til materialers afgivelse af formaldehyd.

I en undersøgelse (5) blev målt den totale koncentration af gasser og dampe (TVOC) i 123 nyere boliger i brug. Boligerne var etageboliger med mekanisk udsugning, énfamiliehuse med mekanisk udsugning og énfamiliehuse med naturlig ventilation. Resultaterne viser at den gennemsnitlige koncentration ikke var høj og omtrent den samme, ca. 0,3 mg/m³, i de 3 typer af boliger der blev undersøgt. Det generelle billede er således, at der med de gennemsnitlige luftsifter, der er i nyere boliger, opnås et acceptabelt niveau af koncentrationen af organiske gasser og dampe.

Forureninger fra en del af de industrielle processer har sundhedsskadelig eller generende virkning på mennesker. Arbejdstilsynet udgiver grænseværdier (6) for disse forureninger. Kendes den producerede forureningsmæng-

de pr. tidsenhed og det maksimalt ønskede forureningsniveau, kan udeluftmængden pr. tidsenhed beregnes. Som dimensionerende faktor bør der bruges en lavere værdi end den hygiejniske grænseværdi. Udelufttilførslen kan reduceres, hvis forureningen reduceres, fx ved punktudsugning. Forureninger i bygninger kan også komme fra processer uden for bygningerne, fx bilos eller røgpartikler og svovldioxid fra forbrænding af olie. Se kapitlet "Gasarter og dampe".

I 1991 udsendte den Nordiske Komité for Bygningsbestemmelser (NKB) NKB-rapport nr. 61, Inomhusklimat, Luftkvalitet (4). Rapporten indeholder retningslinier for krav til ventilation af boliger, kontorer, skoler og lignende. Det angives, at lufttilførslen mindst skal være 0,7 l/s pr. m², idet det forudsættes at nye bygninger er bygninger med lavemitterende bygningsmaterialer og inventar, at ventilationsanlæggenes indblæsningsdele er rene, og at rengøringsniveauet er tilfredsstillende. Det anbefales tillige, at lufttilførslen pr. person er mindst 7 l/s.

For et rum på 10 m² beregnet til en person sammenvejes de to krav til den nødvendige udelufttilførsel, således $0,5 \times 7 \text{ l/s pr. person} + 10 \text{ m}^2 \times 0,7 \text{ l/s pr. m}^2 = 10,5 \text{ l/s}$.

For boliger angives det, at udelufttilførslen kan sættes lavere end 0,7 l/s pr. m², idet det antages beboerne selv i nogen grad kan styre ventilationen og øge lufttilførslen ved vinduesventilation.

Udover disse anbefalinger er angivet særlige krav til ventilation af køkkener, bad, toilet m.v.

I bygningsreglementet BR-82 og i bygningsreglement for småhuse, BR-S 85 er der en bestemmelse om, at der skal være mulighed for at opretholde et luftsifte for boligen på 0,5 gange pr. time. Der er desuden mere specificerede dimensioneringsregler for ventilation af beboelsesrum, køkken, bad og toilet.

I DIF's norm for ventilationsanlæg, fra december 1981, DS 447 (2), er der et afsnit om luftkvalitet med krav til projektet, hvad angår angivelse af udelufttilførsel. Der er desuden en vejledning vedrørende basisventilation i arbejds-, forsamlings- og undervisningslokaler.

Radon

Organiske
dampe

Industrielle
processer

NKB-rapport 61

BR-82, BR-S 85

DS 447

Placering af udeluftindtag

Det kan undertiden være af afgørende betydning for såvel filterøkonomi som for kvaliteten af den luft, der indblæses, at udeluftindtaget for en bygnings ventilationsanlæg er placeret, hvor udeluften er reneest. Disse forhold er omtalt i (7).

Luftskifte i boliger

I den tidligere refererede undersøgelse (5) blev luftskiftet målt i 123 boliger, med forskellige former for ventilation. Måleperioden i de enkelte boliger var 1-2 uger og alle målinger blev foretaget i opvarmningssæsonen.

Undersøgelserne omfattede målinger af boligernes totale gennemsnitlige luftskifte. I enfamiliehuse med naturlig ventilation var det gennemsnitlige luftskifte 0,33 gange pr. time, i boligerne med mekanisk udsugning godt 0,5 gange pr. time, hvilket almindeligvis betragtes som nødvendig basisventilation i boliger. Til trods for det lave luftskifte i de naturligt ventilerede boliger, indikerede undersøgelsen, der også omfattede målinger af relativ fugtighed og organiske gasser og dampe, at det gennemsnitlige luftskifte generelt ligger på et tilfredsstillende niveau, idet der i gennemsnit blev målt acceptable niveauer af såvel rumluftens fugtighed som koncentrationen af organiske gasser og dampe.

Ventilations-effektivitet

I nye tætte boliger eller i eftertætnede boliger betyder det lave luftskifte, at fordelingen af udelufttilførslen til de enkelte rum må sikres fx ved placering af udeluftventiler i facaderne. Tillige er det væsentligt både i sådanne boliger og i rum med minimal tilførsel af udeluft at være opmærksom på om ventilationsluften tilføres de områder i det ventilerede rum, hvor der er brug for luften.

I mekanisk ventilerede rum med indblæsning bør man især være opmærksom på risikoen for kortslutning mellem indblæsnings- og udsugningsåbninger. Kortslutning kan fx opstå, når indblæsnings- og udsugningsarmaturer placeres i loftet, og der indblæses med en temperatur over rumtemperaturen.

Litteratur

- (1) Gunnarsen, L. Tilvænning reducerer ventilationsbehovet. I: VVS, vol. 26, nr. 4, 1990.

- (2) DS 447. "Dansk Ingeniørforenings norm for ventilationsanlæg". Dansk Ingeniørforening. Teknisk Forlag. København 1981.
- (3) Fanger, P.O. The new comfort equation for indoor air quality. I: ASHRAE Journal, oktober 1989.
- (4) Inomhusklimat - Luftkvalitet (NKB-rapport 61). Nordisk Komité for bygningsbestemmelser. Stockholm 1991.
- (5) Bergsøe, N.C. Undersøgelse af ventilationsforhold i nyere boliger. Luftskifte (SBI-rapport 213). Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1991.
- (6) Grænseværdier for stoffer og materialer. (At-anvisning nr. 3.1.0.2.). Arbejdstilsynet. København 1992.
- (7) Christophersen, E. Placering af friskluftindtag og afkastningsåbninger. I: BIM 70. SBI's indeklimatiske undersøgelser. O. Valbjørn; P. Becher; E. Christoffersen. (SBI-rapport 78). Statens Byggeforskningsinstitut. København 1971.

Summary

SBI Report 230: Indoor Climate Exposures

The indoor climate in dwellings and other non-industrial buildings may cause inconvenience and sometimes support the development of disease or symptoms of diseases. Complaints of draught, dry air, noise, mucosal irritation, headache and lethargy are examples.

The report presents the state of the art in a short and popular form concerning the indoor climate exposure and their effects on humans. The report is addressed to architects, consulting engineers and those responsible for studying causes of problems arising in buildings and for remedying the conditions.

The report which has been written by 13 Danish scientists and specialists has the following chapters:

1. Effects of Indoor Climate Exposures
2. Thermal Climate
3. Acoustic Climate
4. Light and Lighting
5. Dust and Microorganisms
6. Gases and Vapours
7. Humidity
8. Airborne Radioactivity
9. Static and Atmospheric Electricity
10. Ventilation

Rapporten er en kort præsentation af forskningsresultater og erfaringer vedrørende indeklimaet og dets indflydelse på mennesker. Den henvender sig i første række til projekterende arkitekter og ingeniører, men kan tillige være en hjælp for de personer i sundhedssektoren og den offentlige forvaltning, som skal medvirke til at udrede årsagerne til forekommende gener og sygdomme, der kan opstå af indeklimaet i boliger og på arbejdspladser.

