

REDIGERET AF THOMAS SCHNEIDER

BASISBOG

TEKNISK ARBEJDSHYGIEJNE

BIND II

ARBEJDSMILJØINSTITUTTET

REDIGERET AF THOMAS SCHNEIDER

BASISBOG

TEKNISK ARBEJDSHYGIEJNE

BIND II

ARBEJDSMILJØINSTITUTTET
KØBENHAVN 1997

Basisbog i Teknisk
arbejdshygiejne, bind II
Redaktør: Thomas Schneider
Grafisk tilrettelæggelse og
tegninger: art Grafik
Omslag: art Grafik
Tryk: Hellas Print ApS
Indbinding: Junckers
Bogbinderi ApS

ISBN: 87-7534-552-8
København 1997

© Arbejdsmiljøinstituttet
Lersø Parkallé 105
DK 2100 København Ø
tlf: 39 29 97 11
fax: 39 27 01 07

Forord

Arbejds miljøarbejdet har været inde i en rivende udvikling, siden basisbogen udkom første gang i efteråret 1986. Derfor var der behov for en nybearbejdelse af stoffet. Arbejds miljøinstituttets formål med denne bog er at sikre, at der findes lettilgængelig og aktuel viden af høj kvalitet til brug ved uddannelse og i det daglige arbejde. Bogen henvender sig til arbejds miljøprofessionelle i bedriftssundhedstjenesten og i Arbejdstilsynet, til rådgivende ingeniører og arbejds miljøkonsulenter. Bogen vil kunne anvendes i ingeniøruddannelserne samt andre grund- og efteruddannelser. Det er forudsat, at læseren har et grundlæggende kendskab til matematik, fysik, kemi og biologi.

Basisbogens mål er at give læseren et sådant overblik, at han/hun bliver i stand til at se relevante faglige sammenhænge, indhente relevant information og søge faglig ekspertise og kunne omsætte den faglige indsigt til kvalificeret problemafgrænsning, valg af undersøgelsesstrategi og "god praksis" samt kunne vælge løsningsmuligheder og forebyggelsesstrategier. De udvalgte arbejds miljøfaktorer beskrives enkeltvis, men læseren må aldrig glemme, at de som regel optræder sammen.

En basisbog kan ikke være dybdeborende på alle områder, hvorfor læseren med sådanne behov henvises til større oversigtsværker, tidsskriftartikler m.m. Som en hjælp er der i slutningen af hvert kapitel anført en række referencer. Effekten af påvirkninger er kun gennemgået så langt, at læseren sættes i stand til at bedømme måleresultater i relation til gældende eller foreslåede grænseværdier. Ønsker læseren mere viden, henvises til basisbog i arbejds medicin. Visse mere specielle emner er ikke medtaget, som for eksempel arbejde under højt tryk. Gensplejsede organisationer er ikke omtalt. Det ydre miljø er kun omtalt, i den udstrækning det vedrører relationerne til arbejds miljøet. Er der behov for viden på disse områder, må læseren søge i speciallitteraturen.

Indholdet i de enkelte afsnit repræsenterer forfatterens egne synspunkter, ordnet i en fælles ramme, og er ikke nødvendigvis Arbejds miljøinstituttets officielle holdning.

Thomas Schneider
Arbejds miljøinstituttet
København

Bind II omhandler termiske faktorer, støj, vibration, stråling samt belysning. Desuden gennemgås metoder til eksponeringsvurdering, indeklima, generelle arbejdspladsvurderinger, personlige værnemidler og belastning af miljøet. Endelig gennemgås planlægning og projektering.*

Kapitel 5

B.W. Olesen

Termiske omgivelser

- 10 Termiske omgivelser
- 10 Menneskets varmebalance
- 12 Vurdering af moderate termiske omgivelser
- 21 Varme omgivelser
- 24 Kolde termiske omgivelser
- 27 Måling af det termiske klima
- 43 Principper for teknisk forebyggelse
- 46 Litteratur

Kapitel 6

*J. Gybel Jensen
P. Lykkeberg*

Støj

- 48 Støj
- 48 Egenskaber
- 54 Kilder og forekomst i arbejdsmiljøet
- 55 Virkninger
- 59 Måling og vurdering
- 68 Forebyggelse
- 77 Litteratur

Kapitel 7

H. Magierkiewicz

Infralyd og ultralyd

- 80 Infralyd og ultralyd
- 80 Infralyd
- 84 Ultralyd
- 88 Litteratur

Kapitel 8

*J. Gybel Jensen
P. Lykkeberg*

Vibrationer

- 90 Vibrationer
- 90 Egenskaber
- 90 Kilder og forekomst
- 91 Virkninger
- 95 Måling og vurdering
- 96 Forebyggelse
- 98 Litteratur

*) Se forfatterfortegnelse side 7

Kapitel 9	Optisk stråling
<i>P. Eriksen</i>	100 Optisk stråling
	100 Egenskaber
	104 Kilder og forekomst
	104 Sundhedseffekter
	107 Måling og vurdering
	110 Forebyggelse
	111 Litteratur
Kapitel 10	Radiobølger og ekstremt lavfrekvente felter
<i>J. Skotte</i>	114 Radiobølger og ekstremt lavfrekvente felter
	114 Egenskaber
	118 Kilder og forekomst
	119 Virkninger
	120 Måling og vurdering
	124 Forebyggelse
	127 Litteratur
Kapitel 11	Belysning
<i>E. Petersen</i>	130 Belysning
	130 Egenskaber
	135 Belysningselementer
	145 Virkninger
	152 Måling og vurdering
	159 Forebyggelse
	173 Litteratur
Kapitel 12	Eksponeringsvurdering, luftforureninger
<i>P. Wilhardt</i>	176 Eksponeringsvurdering, luftforureninger
<i>E. Olsen</i>	177 Trin for trin fremgangsmåden
<i>N.O. Breum</i>	180 Vurderingsmetoder
<i>U. Lucht Møller</i>	195 Målestrategier
<i>P.E. Andersen</i>	213 Indeklimaproblemer
<i>O. Valbjørn</i>	229 God eksponeringsvurderingspraksis (GEVP)
<i>T. Schneider</i>	231 Litteratur

Kapitel 13

*L. Dettloff
B. Arp-Hansen*

Personlige værnemidler

- 236 Personlige værnemidler
- 236 Generelt om personlige værnemidler
- 238 Åndedrætsværn
- 246 Hudbeskyttelse
- 249 Øjenværn
- 250 Høreværn
- 253 Øvrige værn
- 256 Litteratur

Kapitel 14

P. Langaa Jensen

Arbejdspladsvurdering

- 260 Arbejdspladsvurdering
- 261 Lovgrundlaget for arbejdspladsvurderinger
- 265 Arbejdstilsynets anbefaling til APV
- 270 Overvejelser knyttet til arbejdspladsvurdering
- 277 Afslutning
- 278 Litteratur

Kapitel 15

*J.K. Stranddorf
J. Fenger
P. Wilhardt
H.J. Stybr Petersen*

Miljø

- 280 Miljø
- 280 Miljøstyring
- 295 Spredning af forurening
- 304 Livscyklusvurderinger og arbejdsmiljø
- 309 Betydelige risici
- 315 Litteratur

Kapitel 16

*S. Mørch Flagstad
S. Laustsen*

Planlægning og projektering

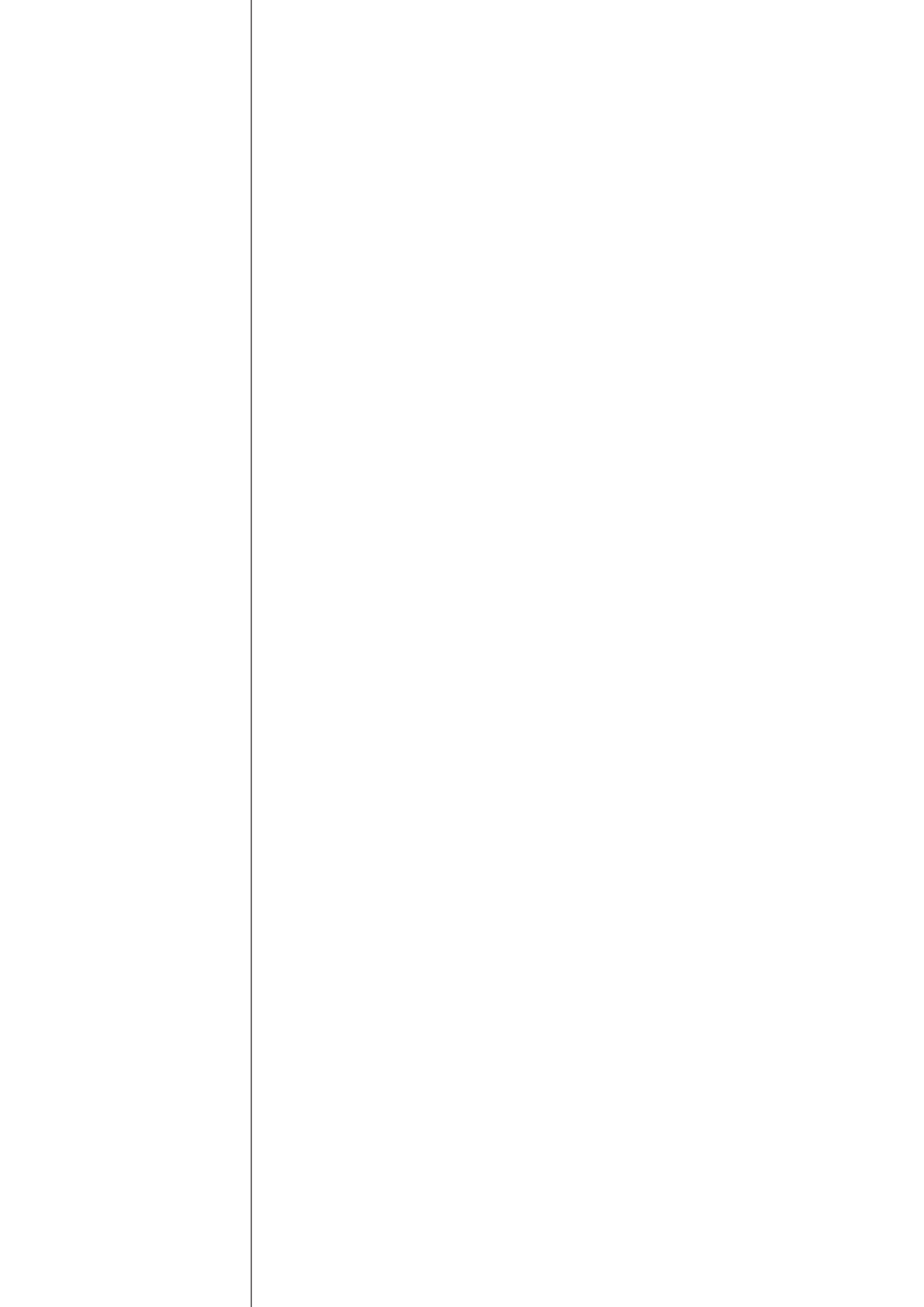
- 320 Planlægning og projektering
- 320 Forebyggelse af arbejdsmiljøproblemer i projekter
- 321 Dataindsamling og erfaringstilbageføring
- 322 Organisering af projekter, rollefordeling
- 324 Faseforløb og tidsplan, rammer
- 328 Helhedssyn i projekter, en planlægningsmodel
- 335 Arbejdsmiljøudvikling
- 336 Arbejdsmiljøgranskning
- 336 Procesevaluering og opfølgning
- 338 Litteratur

339 Stikordsregister - bind I-II

BIND I

Bind I omhandler produktionsprocesser, gasser, dampe, støv og mikroorganismer samt hudforurening. Desuden beskrives kildestyrke, substitution og ventilation.

S. 10 til 46	Ph.D., forskningschef Bjarne W. Olesen, D.F. Liedelt "Velta" Produktion- und Vertrieb GmbH	S. 182 fo til 188 mf	Souschef, dr.med. Ulla Lucht Møller, Arbejdsmiljøinsti- tuttet
S. 48 til 78	Sekretariatschef, civilingeniør Jan Gybel Jensen, Arbejdstilsynet		Cand.scient. Poul Erik Ander- sen, Arbejdsmil- jøinstituttet
S. 80 til 88	Civilingeniør, Ph.D. Peder Lykkeberg, NOISOL/IKAS	S. 213 fo til 229 fn	Civilingeniør, Ph.D. Ole Valbjørn, Sta- tens Byggeforsk- ningsinstitut
S. 90 til 98	Civilingeniør Halina Magier- kiewicz, Direkto- ratet for Arbejdstilsy- net	S. 188 mf til 191 S. 229 fn til 231	Afdelingsleder, cand.scient. Tho- mas Schneider, Arbejdsmiljøinsti- tuttet
S. 90 til 98	Sekretariatschef, civilingeniør Jan Gybel Jensen, Arbejdstilsynet	S. 236 til 257	Civilingeniør Lise Dettloff, Arbejdstilsynet
S. 100 til 112	Civilingeniør, Ph.D. Peder Lykkeberg, NOISOL/IKAS		Kredscheff, civilin- geniør Birthe Arp-Hansen, Arbejdstilsynet
S. 100 til 112	Cand.scient. Paul Eriksen, Dan- marks Meteorologi- ske Institut	S. 260 til 278	Docent, Ph.D, HD. Per Langaa Jensen, Institut for Tekno- logi og Samfund, DTU
S. 114 til 128	Civilingeniør, seniorforsker Jørgen Skotte, Ar- bejdsmiljøinstituttet	S. 280 til 295 mf	Civilingeniør, Ph.D. Johan K. Strand- dorf, Det Norske Veritas
S. 130 til 173	Civilingeniør, Ph.D., seniorforsker Erwin Petersen, Statens Bygge- forskningsinstitut	S. 295 mf til 304 fn	Dr.phil. Jes Fenger, Afd. for Forureningskilder og Luftforurening, DMU
S. 176 til 180 fo	Assist. afdelingsle- der, civilingeniør Peter Wilhardt, Arbejdsmiljøinsti- tuttet	S. 304 fn til 309 fo	Assist. afdelingsle- der, civilingeniør Peter Wilhardt, Arbejdsmiljøinsti- tuttet
S. 180 fo til 182 fo S. 195 til 200 fn	Seniorforsker, civilingeniør Erik Olsen, Arbejdsmiljøinsti- tuttet	S. 309 fo til 315	Lektor, civilingeniør H.J. Styhr Petersen, Institut for Kemi- teknik, Miljøstyrel- sen
S. 192 til 194 S. 200 fn til 212	Dr.med., civilin- geniør Niels O. Breum, Arbejdsmiljøinsti- tuttet	S. 320 til 337	Arkitekt MAA Susanne Mørch Flagstad, DSB BST
			Arkitekt, MAA Susse Laustsen, COWI



KAPITEL 5

Termiske omgivelser

B.W. Olesen

Termiske omgivelser

Arbejdspladsens termiske klimaforhold er et af vores ældste og mest almindelige arbejdsmiljøproblemer. Effekten af de termiske påvirkninger giver sig udtryk på forskellige måder og varierer fra ubehagsfølelser pga træk indendørs til risiko for skader eller kollaps i varme eller kolde omgivelser. Såvel mentale som fysiske præstationer vil almindeligvis påvirkes negativt af unormale klimaforhold.

Forskellige metoder er gennem årene blevet foreslået til at bedømme effekten af de termiske omgivelser på mennesket. Disse metoder har således dannet grundlag for at stille krav til acceptable termiske omgivelser. I de senere år er der blevet publiceret en række nationale og internationale standarder til bedømmelse af arbejdspladsens termiske klima.

De følgende kapitler vil fortrinsvis være baseret på ISO-standarderne. Først gennemgås de anbefalede vurderingsmetoder for neutrale, kolde og varme arbejdspladser. Derefter gennemgås målemetoder til måling af klimaparametrenes lufttemperatur, strålingstemperatur, lufthastighed og fugtighed. Ligeledes beskrives, hvorledes beklædningens varmeisolering samt aktivitetsniveauet vurderes. Til sidst behandles retningslinier for udførelse af målinger.

Menneskets varmebalance

Mennesket fungerer som en maskine, der producerer varme for at kunne udføre et arbejde. Desværre er mennesket en maskine med en ret dårlig effektivitet (10-20%), dvs der produceres 5 til 10 gange så meget varme. Menneskets varmereguleringssystem (blodkredsløb, svedning m.m.) forsøger hele tiden at holde en konstant legemstemperatur på omkring 37°C, hvor de vigtigste kropsdele som hjerte lever, nyrer, tarmkanal osv befinder sig. For

at legemstemperaturen kan holdes konstant, skal varmen, der produceres, være lig med varmen, der afgives til omgivelserne. Dette kan illustreres ved varmebalanceligningen:

$$S = M - W - K - C - R - C_{\text{res}} - E_{\text{res}} - E$$

hvor:

- S = varmeoplagring
- M = aktivitet (metabolisme)
- W = ydre arbejde
- K = varmetab ved ledning (kontakt)
- C = varmetab ved stråling
- R = varmetab ved konvektion
- C_{res} = varmetab ved åndedræt (konvektivt)
- E_{res} = varmetab ved åndedræt (fordampning)
- E = varmetab ved fordampning af sved

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 S være positiv, og kropstemperaturen vil 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). Som det fremgår af de følgende afsnit, er flere af de anbefalede vurderingsmetoder netop baseret på en analyse af varmebalance for kroppen.

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

- Lufttemperatur, t_a
- Middelstrålingstemperatur, \bar{t}_r
- Lufthastighed, v_a
- Luftens fugtighed (vanddamptryk), p_a
- Beklædningens varmeisolering, I_{cl}
- Aktivitetsniveau, M

De fire første faktorer beskriver de termiske omgivelser, hvori mod beklædningen og aktiviteten er tilknyttet personen.

Vurderingen af det termiske miljø sker ofte ved anvendelsen af et indeks, dvs et tal, som er et mål for den termiske påvirkning. Indekset bestemmes ud fra en eller flere af de ovenstående faktorer. Generelt gælder, at jo flere parametre indekset tager hensyn

til, desto mere pålideligt er indekset. To forskellige termiske miljøer med samme indeks vil således medføre samme termiske påvirkning på en person.

Vurdering af moderate termiske omgivelser

For at mennesket skal føle de termiske omgivelser acceptable, er det ikke ligegyldigt, hvordan disse ovenstående parametre kombineres. Et krav er, at mennesket skal være i generel termisk neutralitet, dvs hverken ønsker omgivelserne varmere eller koldere. Dette resulterer ofte i et krav til omgivelsernes temperatur, afhængigt af aktivitet og beklædning. Desuden er det et krav, at mennesket ikke udsættes for en uønsket lokalpåvirkning fra fx træk, kolde vinduer, kolde eller varme gulve, lodrette lufttemperaturforskelle.

Generel termisk komfort · PMV og PPD

Til beskrivelse af generel termisk komfort anvendes PMV-indekset (Predicted Mean Vote - forventet middel votering). Sammen med PMV kan PPD-indekset (Predicted Percentage of Dissatisfied – forventet procent utilfredse) bestemmes. PMV-PPD-indekset medtager indflydelsen af alle seks klimaparametre.

Metoden anvendes til at vurdere moderate termiske omgivelser, dvs omgivelser i temperaturområdet 10-30°C (EN ISO 7730, DS/ISO 7730). PPD-indekset kan anvendes til en kvantitativ angivelse af det antal mennesker, som kan forventes at være utilfredse med et givet termisk miljø.

Det anbefales, at metoden anvendes inden for området $-2 < PMV < 2$ og for de enkelte parametre:

Aktivitet (metabolisme),	M	0,8-4 met
Beklædning (varmeisolering),	I_{cl}	0-2 clo
Lufttemperatur,	t_a	10-40°C
Middelstrålingstemperatur,	\bar{t}_r	10-40°C
Lufthastighed,	v_a	0-1 m/s
Luftfugtighed (vanddamptryk),	p_a	< 2700 Pa

Definition og princip

PMV-indekset forudsiger en gruppe personers gennemsnitlige

vurdering af det termiske klima efter følgende 7-punkts-skala:

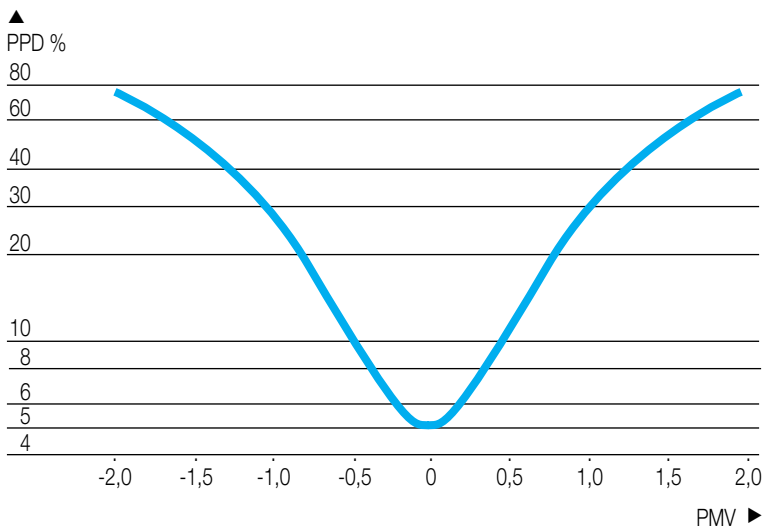
- + 3 hedt
- + 2 varmt
- + 1 let varmt
- 0 neutralt
- 1 let køligt
- 2 køligt
- 3 koldt

På denne skala svarer 0 til termisk neutralitet, dvs at en gruppe personer i middel ikke ønsker omgivelserne varmere eller kolde-re.

PMV-indekset kan bestemmes ved anvendelse af beregnings-formler (EN ISO 7730) eller ved brug af tabellerne 5.1-5.3. Meto-den er baseret dels på en analyse af menneskets varmebalance, dels på forsøg med mere end 1.300 personer, der har afgivet sub-jektive vurderinger af det termiske klima.

I tabellerne anvendes den operative temperatur t_o (se afsnit om operativ temperatur), der sammenvejer indflydelsen af luft- og middelstrålingstemperaturen. Luftens fugtighed har kun en lille indflydelse på en persons termiske tilstand ved temperaturer lavere end 26°C og moderate aktiviteter. En forøgelse af den rela-tive luftfugtighed på 10% vil medføre en øget PMV-værdi på $<0,1$. Den vil have samme effekt på den termiske opfattelse som en forøgelse af den operative temperatur på ca 0,25°C. Det er nød-vendigt at bestemme personernes fysiske aktivitet og varmeisole-ringsevnen (clo-værdien) af den anvendte beklædning.

PPD-indekset angiver for en gruppe personer det forventede



Figur 5.1. Sammenhæng mellem PMV-indekset og PPD-indekset.

antal (i %) utilfredse med hensyn til det termiske miljø. Utilfredshed defineres som en vurdering på PMV-skalaen på ± 2 og ± 3 . PPD-indekset kan bestemmes ved anvendelse af beregningsformlen:

$$PPD = 100 - 95 \exp(-(0,03353 PMV^4 + 0,2179 PMV^2))$$

eller ved aflæsning på fig. 5.1.

Som det ses, kan det altid forventes, at nogle personer er utilfredse. Det optimale opnås for $PMV = 0$, hvor det forventede antal utilfredse er 5%.

Tabel 5.1. PMV-værdier.

Aktivitet: 69,6 W/m ² (1,2 met)													
Beklædning clo	m ² · °C/W	Operativ temperatur °C	Relativ lufthastighed m/s										
			<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00			
0	0	25	-1,33	-1,33	-1,59	-1,92							
		26	-0,83	-0,83	-1,11	-1,40							
		27	-0,33	-0,33	-0,63	-0,88							
		28	0,15	0,50	-0,14	-0,36							
		29	0,63	0,56	0,35	0,17							
		30	1,10	1,01	0,84	0,69							
		31	1,57	1,47	1,34	1,24							
		32	2,03	1,93	1,85	1,78							
		0,25	0,039	23	-1,18	-1,18	-1,39	-1,61	-1,97	-2,25			
				24	-0,79	-0,79	-1,02	-1,22	-1,54	-1,80	-2,01		
25	-0,42			-0,42	-0,64	-0,83	-1,11	-1,34	-1,54	-2,21			
26	-0,04			-0,07	-0,27	-0,43	-0,68	-0,89	-1,06	-1,65			
27	0,33			0,29	0,11	-0,03	-0,25	-0,43	-0,58	-1,09			
28	0,71			0,64	0,49	0,37	0,18	0,03	0,10	-0,54			
29	1,07			0,99	0,87	0,77	0,61	0,49	0,39	0,02			
30	1,43			1,35	1,25	1,17	1,05	0,95	0,78	0,58			
0,50	0,078			18	-2,01	-2,01	-2,17	-2,38	-2,70				
				20	-1,41	-1,41	-1,58	-1,76	-2,04	-2,25	-2,42		
		22	-0,79	-0,79	-0,97	-1,13	-1,36	-1,54	-1,69	-2,17			
		24	-0,17	-0,20	-0,36	-0,48	-0,68	-0,83	-0,95	-1,35			
		26	0,44	0,39	0,26	0,16	-0,01	-0,11	-0,21	-0,52			
		28	1,05	0,98	0,88	0,81	0,70	0,61	0,54	-0,31			
		30	1,64	1,57	1,51	1,46	1,39	1,33	1,29	1,14			
		32	2,25	2,20	2,17	2,15	2,11	2,09	2,07	1,99			

Aktivitet: 69,6 W/m ² (1,2 met)										
Beklædning clo	m ² · °C/W	Operativ temperatur °C	Relativ lufthastighed m/s							
			<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0,75	0,116	16	-1,77	-1,77	-1,91	-2,07	-2,31	-2,49		
		18	-1,27	-1,27	-1,42	-1,56	-1,77	-1,93	-2,05	-2,45
		20	-0,77	-0,77	-0,92	-1,04	-1,23	-1,36	-1,47	-1,82
		22	-0,25	-0,27	-0,40	-0,51	-0,66	-0,78	-0,87	-1,17
		24	0,27	0,23	0,50	0,03	-0,10	-0,19	-0,27	-0,51
		26	0,78	0,73	0,64	0,57	0,47	0,40	0,34	0,14
		28	1,29	1,23	1,17	1,50	1,04	0,99	0,94	0,80
		30	1,80	1,74	1,70	1,67	1,62	1,58	1,55	1,46
		1,00	0,155	16	-1,18	-1,18	-1,31	-1,43	-1,59	-1,72
18	-0,75			-0,75	-0,88	-0,98	-1,13	-1,24	-1,33	-1,59
20	-0,32			-0,33	-0,45	-0,54	-0,67	-0,76	-0,83	-1,07
22	0,13			0,10	0,00	-0,07	-0,18	-0,26	-0,32	-0,52
24	0,58			0,54	0,46	0,40	0,31	0,24	0,19	0,02
26	1,03			0,98	0,91	0,86	0,79	0,74	0,70	0,57
28	1,47			1,42	1,37	1,34	1,28	1,24	1,21	1,50
30	1,91			1,86	1,83	1,81	1,78	1,75	1,73	1,67
1,25	0,194			14	-1,50	-1,50	-1,24	-1,34	-1,48	-1,58
		16	-0,74	-0,75	-0,86	-0,95	-1,07	-1,16	-1,23	-1,45
		18	-0,36	-0,38	-0,48	-0,55	-0,66	-0,74	-0,81	-1,00
		20	0,02	0,01	0,10	-0,16	-0,26	-0,33	-0,38	-0,55
		22	0,42	0,38	0,31	0,25	0,17	0,11	0,07	-0,08
		24	0,81	0,77	0,71	0,66	0,60	0,55	0,51	0,39
		26	1,21	1,16	1,11	1,08	1,03	0,99	0,96	0,87
		28	1,60	1,56	1,52	1,50	1,46	1,43	1,41	1,34
		1,50	0,233	5	-1,09	-1,09	-1,19	-1,27	-1,39	-1,48
14	-0,75			-0,75	-0,85	-0,93	-1,03	-1,11	-1,17	-1,35
16	-0,41			-0,42	-0,51	-0,58	-0,67	-0,74	-0,79	-0,96
18	-0,06			-0,09	-0,17	-0,22	-0,31	-0,37	-0,42	-0,16
20	0,28			0,25	0,18	0,13	0,05	0,00	-0,04	-0,16
22	0,63			0,60	0,54	0,50	0,44	0,39	0,36	0,25
24	0,99			0,95	0,91	0,87	0,82	0,78	0,76	0,67
26	1,35			1,31	1,27	1,24	1,20	1,18	1,15	1,08

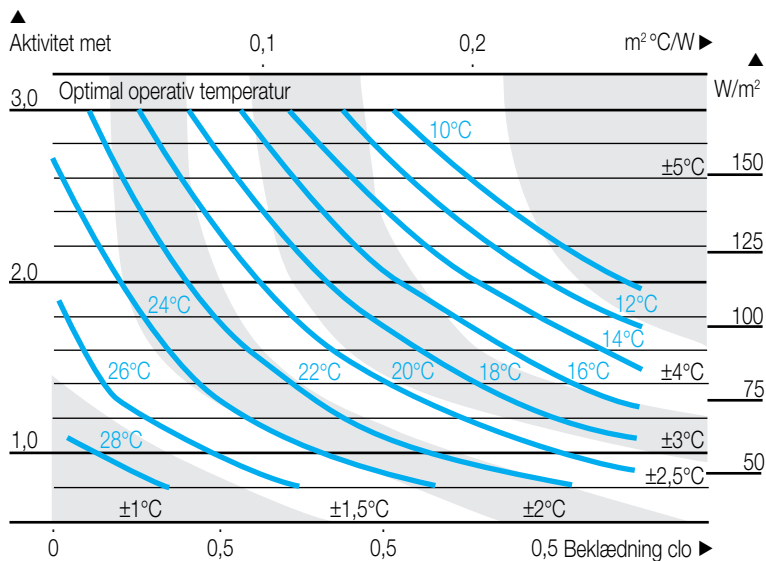
Vurderingsgrundlag

Bestemmelser af PMV-PPD-indekset skal baseres på 1 times mid-
delværdier af de 6 klimaparametre. PMV-PPD-indekset bestem-

mes for kroppen som helhed, dvs 0,6 m over gulvet for en siddende person og 1,1 m over gulvet for en stående person.

Pga forskelle mellem personer er det ikke muligt at angive et termisk miljø i et lokale, som vil tilfredsstille alle. Det er dog muligt at angive et termisk miljø, som kan forventes at være acceptabelt for mindst 90% af personerne i et lokale. Ønskes en anden værdi end 90%, kan et tilsvarende vurderingsgrundlag udarbejdes ved at anvende PMV- og PPD-indekset.

Figur 5.2. Den optimale operative temperatur (svarende til $PMV = 0$) som funktion af aktivitetsniveau og beklædning. De skraverede arealer angiver et komfortområde Δt omkring den optimale temperatur, som vil medføre, at $-0,5 < PMV < 0,5$ ($PPD < 10\%$). Figuren forudsætter, at luft-hastigheden $v_a < 0,10$ m/s og den relative luftfugtighed pga bevægelser $v_{ar} = 0,3$ (M-1) for $M > 1$ met. Den relative fugtighed er antaget at være 50%.



Tabel 5.2. PMV-værdier.

Aktivitet: 82,8 W/m ² (1,6 met)										
Beklædning clo	m ² · °C/W	Operativ temperatur °C	Relativ luftfugtighed m/s							
			<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0	0	23	-1,50	-1,50	-1,29	-1,57				
		24	-0,74	-0,74	-0,93	-1,18				
		25	-0,36	-0,36	-0,57	-0,79				
		26	0,01	0,01	-0,20	-0,40				
		27	0,38	0,37	0,17	0,00				
		28	0,75	0,70	0,53	0,39				
		29	1,11	1,04	0,90	0,79				
		30	1,46	1,38	1,27	1,19				
0,25	0,039	16	-2,29	-2,29	-2,36	-2,62				
		18	-1,72	-1,72	-1,83	-2,06	-2,42			
		20	-1,15	-1,15	-1,29	-1,49	-1,80	-2,05	-2,26	
		22	-0,58	-0,58	-0,73	-0,90	-1,17	-1,38	-1,55	-2,17
		24	-0,01	-0,01	-0,17	-0,31	-0,53	-0,70	-0,84	-1,35
		26	0,56	0,53	0,39	0,29	0,50	-0,02	-0,13	-0,52
		28	1,50	1,06	0,96	0,89	0,77	0,67	0,59	0,31
		30	1,66	1,60	1,54	1,49	1,42	1,36	1,31	1,14

Aktivitet: 82,8 W/m ² (1,6 met)											
Beklædning clo	m ² · °C/W	Operativ temperatur °C	Relativ luft hastighed m/s								
			<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	
0,50	0,078	14	-1,85	-1,85	-1,94	-2,50	-2,40				
		16	-1,40	-1,40	-1,50	-1,67	-1,92	-2,11	-2,26		
		18	-0,95	-0,95	-1,07	-1,21	-1,43	-1,59	-1,73	-2,18	
		20	-0,49	-0,49	-0,62	-0,75	-0,94	-1,08	-1,20	-1,59	
		22	-0,03	-0,03	-0,16	0,27	-0,43	-0,55	-0,65	-0,98	
		24	0,43	0,41	0,30	0,21	0,08	-0,02	-0,10	0,37	
		26	0,89	0,85	0,76	0,70	0,60	0,52	0,46	0,25	
		28	1,34	1,29	1,23	1,18	1,11	1,06	1,01	0,86	
0,75	0,116	14	-1,16	-1,16	-1,26	-1,38	-1,57	-1,71	1,82	2,17	
		16	-0,79	-0,79	-0,89	-1,00	-1,17	-1,29	-1,39	1,70	
		18	-0,41	-0,41	-0,52	-0,62	-0,76	-0,87	-0,96	1,23	
		20	-0,04	-0,04	-0,15	-0,23	-0,36	-0,45	-0,52	0,76	
		22	0,35	0,33	0,24	0,17	0,07	-0,01	-0,07	0,27	
		24	0,74	0,71	0,63	0,58	0,49	0,43	0,38	0,21	
		26	1,50	1,08	1,03	0,98	0,92	0,87	0,83	0,70	
		28	1,51	1,46	1,42	1,39	1,34	1,31	1,28	1,19	
1,00	0,155	12	-1,01	-1,01	-1,10	-1,19	-1,34	-1,45	-1,53	-1,79	
		14	-0,68	-0,68	-0,78	0,87	-1,00	-1,09	-1,17	-1,40	
		16	-0,36	-0,36	-0,46	-0,53	-0,65	-0,74	-0,80	-1,01	
		18	-0,04	-0,04	-0,13	-0,20	-0,30	-0,38	-0,44	-0,62	
		20	0,28	0,27	0,19	0,13	0,04	-0,02	-0,07	-0,23	
		22	0,62	0,59	0,53	0,48	0,41	0,35	0,31	0,17	
		24	0,96	0,92	0,87	0,83	0,77	0,73	0,69	0,58	
		26	1,29	1,25	1,21	1,18	1,14	1,10	1,07	0,99	
1,25	0,194	10	-0,90	-0,90	-0,98	-1,06	-1,18	-1,27	-1,33	-1,54	
		12	-0,62	-0,62	-0,70	-0,77	-0,88	-0,96	-1,02	-1,21	
		14	-0,33	-0,33	-0,42	-0,48	-0,58	-0,65	-0,70	-0,87	
		16	-0,05	-0,05	-0,13	-0,19	-0,28	-0,34	-0,39	-0,54	
		18	0,24	0,22	0,15	0,10	0,03	-0,03	-0,07	-0,20	
		20	0,52	0,50	0,44	0,40	0,33	0,29	0,25	0,14	
		22	0,82	0,79	0,74	0,71	0,65	0,61	0,58	0,49	
		24	1,50	1,09	1,05	1,02	0,97	0,94	0,92	0,84	
1,50	0,233	10	-0,57	-0,57	-0,65	-0,71	-0,80	-0,86	-0,92	-1,07	
		12	-0,32	-0,32	-0,39	-0,45	-0,53	-0,59	-0,64	-0,78	
		14	-0,06	-0,07	-0,14	-0,19	-0,26	-0,31	-0,36	-0,48	
		16	0,19	0,18	0,50	0,07	0,01	-0,04	-0,07	-0,19	
		18	0,45	0,43	0,38	0,34	0,28	0,24	0,21	0,11	
		20	0,71	0,68	0,64	0,60	0,55	0,52	0,49	0,41	
		22	0,97	0,95	0,91	0,88	0,84	0,81	0,79	0,72	

Aktivitet: 116 W/m ² (2,0 met)										
Beklædning clo	m ² · °C/W	Operativ temperatur °C	Relativ lufthastighed m/s							
			<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0	0	18	-2,00	-2,02	-2,35					
		20	-1,35	-1,43	-1,72					
		22	-0,69	-0,82	-1,06					
		24	-0,04	-0,21	-0,41					
		26	0,59	0,41	0,26					
		28	1,16	1,03	0,93					
		30	1,73	1,66	1,60					
		32	2,33	2,32	2,31					
		0,25	0,039	16	-1,41	-1,48	-1,69	-2,02	-2,29	-2,51
18	-0,93			-1,03	-1,21	-1,50	-1,74	-1,93	-2,61	
20	-0,45			-0,57	-0,73	-0,98	-1,18	-1,35	-1,93	
22	0,04			-0,09	-0,23	-0,44	-0,61	-0,75	-1,24	
24	0,52			0,38	0,28	0,10	-0,03	-0,14	-0,54	
26	0,97			0,86	0,78	0,65	0,55	0,46	0,16	
28	1,42			1,35	1,29	1,20	1,13	1,07	0,86	
30	1,88			1,84	1,81	1,76	1,72	1,68	1,57	
0,50	0,078			14	-1,08	-1,16	-1,31	-1,53	-1,71	-1,85
		16	-0,69	-0,79	-0,92	-1,50	-1,27	-1,40	-1,82	
		18	-0,31	-0,41	-0,53	-0,70	-0,84	-0,95	-1,31	
		20	0,07	-0,04	-0,14	-0,29	-0,40	-0,50	-0,81	
		22	0,46	0,35	0,27	0,15	0,05	-0,03	-0,29	
		24	0,83	0,75	0,68	0,58	0,50	0,44	0,23	
		26	1,21	1,15	1,10	1,02	0,96	0,91	0,75	
		28	1,59	1,55	1,51	1,46	1,42	1,38	1,27	
		0,75	0,116	10	-1,16	-1,23	-1,35	-1,54	-1,67	-1,78
12	-0,84			-0,92	-1,03	-1,20	-1,32	-1,42	-1,74	
14	-0,52			-0,60	-0,70	-0,85	-0,97	-1,06	-1,34	
16	-0,20			-0,29	-0,38	-0,51	-0,61	-0,69	-0,95	
18	0,50			0,03	-0,05	-0,17	-0,26	-0,32	-0,55	
20	0,43			0,34	0,28	0,18	0,10	0,04	-0,15	
22	0,75			0,68	0,62	0,54	0,48	0,43	0,27	
24	1,07			1,01	0,97	0,90	0,85	0,81	0,68	
1,00	0,155			10	-0,68	-0,75	-0,84	-0,97	-1,07	-1,15
		12	-0,41	-0,48	-0,56	-0,68	-0,77	-0,84	-1,05	
		14	-0,13	-0,21	-0,28	-0,39	-0,47	-0,53	-0,72	
		16	0,14	0,06	0,00	-0,10	-0,16	-0,22	-0,39	
		18	0,41	0,34	0,28	0,20	0,14	0,09	-0,06	
		20	0,68	0,61	0,57	0,50	0,44	0,40	0,28	
		22	0,96	0,91	0,87	0,81	0,76	0,73	0,62	

Aktivitet: 116 W/m ² (2,0 met)		Operativ temperatur °C	Relativ lufthastighed m/s							
Beklædning clo	m ² · °C/W		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
1,25	0,194	10	-0,33	-0,40	-0,47	-0,56	-0,64	-0,69	-0,86	
		14	0,15	0,08	0,03	-0,05	-0,11	-0,15	-0,29	
		18	0,63	0,57	0,53	0,47	0,42	0,39	0,28	
		22	1,11	1,08	1,05	1,00	0,97	0,95	0,87	
		26	1,62	1,60	1,58	1,55	1,53	1,52	1,47	
1,50	0,233	12	0,15	0,09	0,05	-0,02	-0,07	-0,11	-0,22	
		16	0,58	0,53	0,49	0,44	0,40	0,37	0,28	
		20	1,01	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,97	
		24	1,47	1,44	1,43	1,40	1,38	1,36	1,32	

Som vurderingsgrundlag anbefales:

$$-0,5 < PMV < 0,5$$

$$PPD < 10\%$$

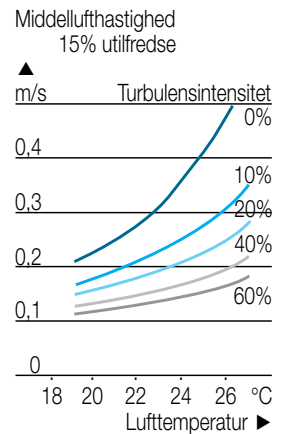
Af ligningen for PMV-indekset kan tilsvarende grænser (fig. 5.2) for den operative temperatur bestemmes som funktion af aktivtetsniveauet og isoleringsevnen af den anvendte beklædning.

For lokaler med fortrinsvis siddende personer (bolig, kontor, skole etc) svarende til 1,2 met, viser tab. 5.4 de anbefalede operative temperaturer for 3 klasser af utilfredshed (PPD) under vinterforhold, beklædning = 1,0 clo, og sommerforhold, beklædning = 0,5 clo.

Lokal termisk komfort

Det foregående afsnit beskrev grundlaget for vurdering af, om temperaturniveauet i et lokale er tilpasset den pågældende aktivitet og beklædning. Selvom ovenstående kriterier er opfyldt, kan der forventes yderligere personer, der er utilfredse. Dette skyldes ubehag fra lokal afkøling/opvarmning på kroppen, som kan være forårsaget af træk (uønskede luftbevægelser), asymmetrisk strålingstemperatur (kolde vinduer, opvarmede lofter), forskelle i lufttemperatur mellem hoved og fødder eller varme og kolde gulve. Derfor må der sættes yderligere vurderingskriterier for disse parametre. Indflydelsen af disse parametre er hovedsageligt undersøgt på siddende personer. De følgende krav er derfor gældende for personer med let, fortrinsvis siddende arbejde. Er kriterierne opfyldt for siddende, vil de også være opfyldt for personer

Tabel 5.3. PMV-værdier.



Figur 5.3. Tilladelige middellufthastigheder som funktion af lufttemperatur og turbulensintensitet, når højst 15% må forventes at blive utilfredse pga oplevelse af træk. I rum ventileret efter opblandingsprincippet er turbulensintensiteten typisk ca 40%. Hvis man ikke kender turbulensintensiteten, kan denne værdi benyttes.

Klasse	PPD %	PMV	Operativ temperatur °C			Lufthastighed m/s	
			Vinter 1 clo	Sommer 0,5 clo	DR%	Vinter	Sommer
A	< 6	-0,2 < PMV < + 0,2	22 ± 1	24,5 ± 1,0	15	0,15	0,18
B	<10	-0,5 < PMV < + 0,5	22 ± 2	24,5 ± 1,5	20	0,18	0,22
C	<15	-0,7 < PMV < + 0,7	22 ± 3	24,5 ± 2,0	25	0,22	0,26

Tabel 5.4. Anbefalede kriterier for PMV-PPD-indekset, den operative temperatur, middellufthastigheden opdelt på tre klasser. For lufthastigheden er der antaget en turbulens på 40%.

med højere aktivitet, da de er mindre følsomme over for de lokale termiske påvirkninger.

Utilfredshed pga af træk er ikke alene afhængig af middellufthastigheden, men også af lufttemperaturen og variationerne i lufthastigheden (standardafvigelse, turbulensintensitet = standardafvigelse/middellufthastighed). Antal utilfredse pga træk kan bestemmes ud fra følgende ligning:

$$DR = (34 - t_a)(v_a - 0,05)^{0,62}(0,37 v_a \times Tu + 3,14)$$

hvor

DR er antal utilfredse som følge af træk (%)

t_a er lufttemperatur

v_a er middellufthastigheden

Tu er turbulensintensiteten

I fig. 5.3 er sammenhængen vist for DR = 15%. Kravene til vertikal lufttemperaturforskel, strålingstemperatursymmetri og gulvtemperatur er vist i tab. 5.5 for tre klasser. I tab. 5.4 er kravene til middellufthastigheden for tre klasser vist. Der er antaget en turbulensintensitet på 40%, hvilket er normalt for ventilerede lokaler.

Tabel 5.5. Anbefalede kriterier for lokal termisk komfort på tre klasser. De angivne %-tal er det forventede utilfredshedsniveau.

Klasse	Vertikal lufttemp.forskel %		Gulvtemperatur °C		%	Strålingstemperatursymmetri °C			
		°C	%	°C		Varmt loft	Kold væg	Koldt loft	Varm væg
A	< 3	< 2	< 10	19 - 29	< 5	< 5	< 10	< 14	< 23
B	< 5	< 3	< 10	19 - 29	< 5	< 5	< 10	< 14	< 23
C	<10	< 4	< 15	17 - 31	<10	< 7	< 13	< 18	< 35

Varme omgivelser

Nogen skarp temperaturgrænse, der adskiller varme omgivelser fra neutrale omgivelser, er der ikke muligt at sætte. Til vurdering af varmebelastning er der blevet udviklet mange forskellige typer af indeks. I det følgende gennemgås et enkelt indeks kaldet WBGT-indekset (ISO 7243, EN 27243, DS 2323), der i de fleste tilfælde er tilstrækkeligt. I specielle tilfælde kan der anvendes et såkaldt analytisk indeks (ISO 7933), som er mere generelt, og som giver en mere analytisk vurdering. Beregningsgangen for denne metode er dog ret vanskelig og vil kun blive omtalt kortfattet. De forholdsvis få varme arbejdspladser, der findes i Danmark, vil som regel kunne bedømmes ved hjælp af WBGT-indekset.

WBGT-varmestressindeks

Indekset WBGT (Wet Globe Temperature - vådføler-globetemperatur) beskriver den varmepåvirkning, et menneske udsættes for på en arbejdsplads. Bedømmelse af varmepåvirkningen med WBGT kræver dels en måling af det fysiske klima, dels hensyntagen til aktivitetsniveauet hos personen.

Sidstnævnte faktor bestemmer den indre varmeproduktion og bidrager dermed til den totale varmebelastning.

WBGT bestemmes ved at måle luftens naturlige våde temperatur (t_{nw} , se afsnit om naturlig våd temperatur) og globetemperaturen (t_g , se afsnit om dette). I visse situationer kræves også en måling af lufttemperaturen (t_a , se afsnit om lufttemperatur).

WBGT bestemmes efter en af følgende formler:

$$\text{WBGT} = 0,7 t_{nw} + 0,3 t_g \quad (1)$$

$$\text{WBGT} = 0,7 t_{nw} + 0,2 t_g + 0,1 t_a \quad (2)$$

hvor

t_{nw} = naturlig våd temperatur, °C

t_g = globetemperatur, °C

t_a = lufttemperatur, °C

Formel 2 anvendes udendørs, hvis der er solstråling.

Det er vigtigt at bemærke, at den psykrometriske våde tempera-

tur ikke kan anvendes direkte i stedet for den naturlige våde temperatur. Den psykrometriske våde temperatur vil altid vise en lavere værdi.

Under måling af de ovenstående faktorer skal der tages hensyn til klimaets variation i tid og rum på den aktuelle arbejdsplads.

Målingernes udførelse

På arbejdspladser, hvor der er væsentlig forskel på temperaturforholdene ved gulv og ved hoved, foretages målingerne i tre forskellige højder over gulvet (hoved, talje, ankel). Middelværdien bestemmes efter følgende formel, idet målingen i taljehøjden får relativt højere indflydelse:

$$\text{WBGT} = \frac{\text{WBGT}_{\text{hoved}} + 2 \text{WBGT}_{\text{talje}} + \text{WBGT}_{\text{ankel}}}{4}$$

Hvis arbejdet finder sted flere steder, bestemmes det tidsvægtede gennemsnit på 1 time. Denne tidsvejning gennemføres efter følgende formel:

$$\text{WBGT} = \frac{t_1 \text{WBGT}_1 + t_2 \text{WBGT}_2 + \dots + t_n \text{WBGT}_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

hvor t_i angiver tidsperiodens længde og WBGT_i den tilsvarende måleværdi ($i = 1, \dots, n$). n er det samlede antal af tidsperioder ($t_1 + t_2 + \dots + t_n = 1$ time).

På samme måde bør aktivitetsniveauet tidsvejes. Hertil anvendes de middelværdier, der er vist i tab. 5.6.

Målingerne skal udføres på det tidspunkt af arbejdstiden, hvor varmebelastningen må forventes at være størst. De målte WBGT-værdier sammenholdes til sidst med de i tab. 5.7 anbefalede retningslinier for det anbefalede niveau.

Analytisk varmestressindeks SW_{req}

Bestemmelse af varmeindekset WBGT muliggør en relativt hurtig og enkel vurdering af varmebelastningen på en arbejdsplads. I situationer, hvor en mere detaljeret analyse af varmebelastningen er krævet, eller resultatet af en måling af WBGT skal uddybes, kan varmeindekset SW_{req} anvendes.

Metoden er anvendelig i alle varme miljøer. Især for anvendelse af beskyttelsesbeklædninger er WBGT ikke velegnet.

Metoden baseres på en beregning af den svedningsintensitet,

Klasse	Stofskifte, M		Eksempler
	Pr kvadratmeter hudareal ¹⁾	Middelværdi W/m ²	
0 Hvile	$M \leq 65$	65	Hvile
1 Let fysisk aktivitet	$65 < M \leq 130$	100	Siddende: let manuelt arbejde (skrivning, maskinskrivning, tegning, syning, bogholderiarbejde); arbejde med hænder og arme (små arbejdsbordsredskaber, inspektion, samling eller sortering af lette materialer); arbejde med arme og ben (kørsel under normale arbejdsbetingelser, betjening af fodkontakt eller pedal). Stående: bore (små dele); fræsmaskine (små dele); spolevikling; bearbejdning med lette værktøjer; rolig gang (indtil 3,5 km/t).
2 Almindelig fysisk aktivitet	$100 < M \leq 200$	165	Vedvarende arbejde med hænder og arme (slå søm i, file), arbejde med arme og ben (fører af lastvogn, traktor eller entreprenormaskine), arbejde med arme og krop (tryklufthammer, samlebandsarbejde, polering, periodevis håndtering af relativt tunge materialer, smedearbejde, lugning, hakning, høstning af frugt eller grøntsager), skubbe eller trække lette trækvogne eller trillebøre, gang med hastighed på mellem 3,5 km/t og 5,5 km/t.
3 Høj fysisk aktivitet	$200 < M \leq 260$	230	Tungt arbejde med arme og krop, bære tunge materialer, arbejde med skovl, forhammer, sav, planering, mejsling, græsslåning med håndklipper, gravearbejde, gang med hastighed mellem 5,5 km/t og 7 km/t. Skubbe eller trække tunge lastede trækvogne eller trillebøre, lægning af fliser.
4 Meget høj fysisk aktivitet	$M < 260$	290	Meget hårdt arbejde udført hurtigt eller med maksimal hastighed, arbejde med økse, hårdt arbejde med skovl eller spade, gå op ad trapper, rampe eller stige, gang hurtigere end 7 km/t.

¹⁾ Baseret på en middelperson med et hudareal på 1,8 m².

som er nødvendig for at opretholde varmebalancen. Den numeriske værdi udgør indekset SW_{req} (Sweat-required).

Herefter sammenlignes den nødvendige svedafgivelsesintensitet med den hudfugtighed og svedafgivelsesintensitet, som det er fysiologisk muligt at opnå og opretholde.

Beregningerne sker i tre trin.

Først bestemmes, hvor meget sved der skal fordampes (E_{req}) for at opretholde varmebalance, dvs

$$E_{req} = M - W - K - C - R.$$

Herefter beregnes, om det er muligt at fordampe den ovenfor beregnede nødvendige svedmængde. Det afhænger af, om omgi-

Tabel 5.6. Opdeling af fysisk aktivitet i klasser.

velserne kan optage den fordampede væske, dvs af luftens vanddampindhold (fugtighed). Til sidst bestemmes, om personen er i stand til at svede så meget.

Kan den nødvendige fordampede svedmængde E_{req} ikke afgives til omgivelserne eller ikke produceres af personen, må arbejdstiden begrænses. Kriterier for, at arbejdstiden må begrænses, kan være en høj svedningsintensitet, hudfugtighedsgrad (dvs den del af kroppen, der er våd og afgiver sved), samlet svedmængde over en periode og endelig varmeoplagringen (stigning af legemstemperaturen). Nogle af de anbefalede kriterier er vist i tab. 5.8.

Disse kriterier er vist for to niveauer: advarsel og risiko. På advarselsniveauet kan arbejdet fortsætte under ekstra påpasselighed over for kroppens reaktioner, idet enkelte personer kan få problemer med at fortsætte. På risikoniveauet bør der holdes pause, og en ny arbejde/hvilerutine udarbejdes.

Tabel 5.7. Anbefalede grænseværdier for en person, der har en til arbejdet passende god fysisk form, er ved godt helbred og iført almindelig beklædning.

Klasse	Stofskifte, M		WBGT-referenceværdi			
	Pr kvadratmeter hudareal W/m ²	Pr totalt hudareal W (1,8 m ²)	Akklimeret person °C		Ikke-akklimeret person °C	
0 (Hvile)	M ≤ 65	M ≤ 117	33		32	
1	65 < M ≤ 130	117 < M ≤ 234	30		29	
2	130 < M ≤ 200	234 < M ≤ 360	28		26	
			Ingen mærkbar luftbevægelse	Mærkbar luftbevægelse	Ingen mærkbar luftbevægelse	Mærkbar luftbevægelse
3	200 < M ≤ 260	360 < M ≤ 468	25		26	22
4	M > 260	M > 468	23		25	18

		Ikke-akklimeret		Akklimeret	
		Advarsel	Risiko	Advarsel	Risiko
Maksimal svedningsintensitet	g/h	520	650	780	1.040
Maksimal svedmængde	g	2.600	3.250	3.900	5.200
Kropstemperaturstigning	°C	1,0	1,2	1,0	1,2

Tabel 5.8. Anbefalede kriterier for den maksimale svedningsintensitet (SW_{max}), maksimal svedmængde (D_{max}) og kropstemperaturstigning.

Beregning af svedmængden i g/h el. g er baseret på en middel person på 1,8 m².

Kolde termiske omgivelser

Et koldt klima kan resultere i en nedkøling af kroppen såvel generelt som lokalt (hænder, fødder). Dermed forringes arbejdspræstationerne, og risikoen for ulykker og kuldeskader øges. Ved generel afkøling kan kroppens varmebalance vanskeligt oprethol-

des, og risikoen øges, for at legemstemperaturen skal falde (hypotermi).

Generel afkøling

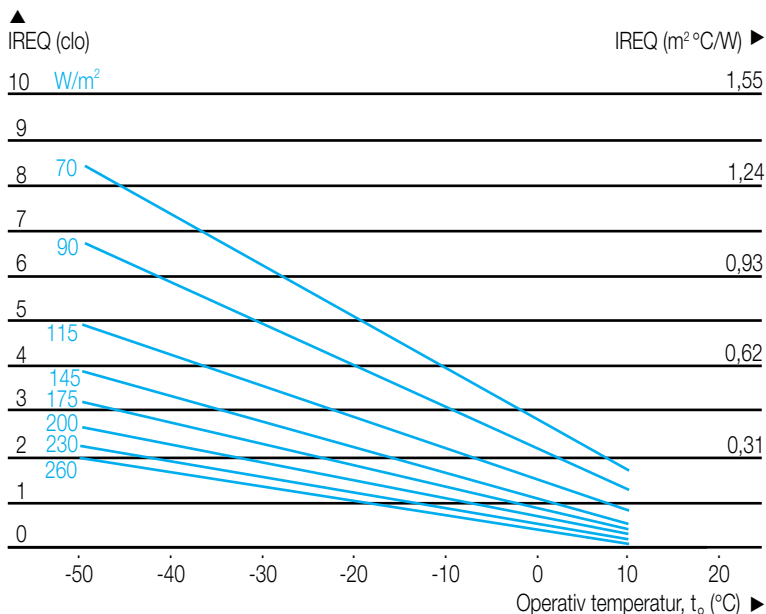
IREQ (ISO-TR11079) er et analytisk kuldeindeks. Det baseres på en analyse af menneskets forudsætning for at opretholde varmebalancen i kolde omgivelser. IREQ er et tal, som angiver behovet for beskyttelse i form af den nødvendige varmeisolering af beklædningen.

IREQ beregnes med en formel på basis af målinger af det termiske klima (lufttemperatur, middelstrålingstemperatur, lufthastighed, fugtighed) og bestemmelse af aktiviteten.

IREQ defineres som den mindste varmeisoleringssevne, en beklædning skal have for at kunne opretholde kroppens varmebalance ved en middelhudtemperatur på 30°C og minimal svedafgivelse.

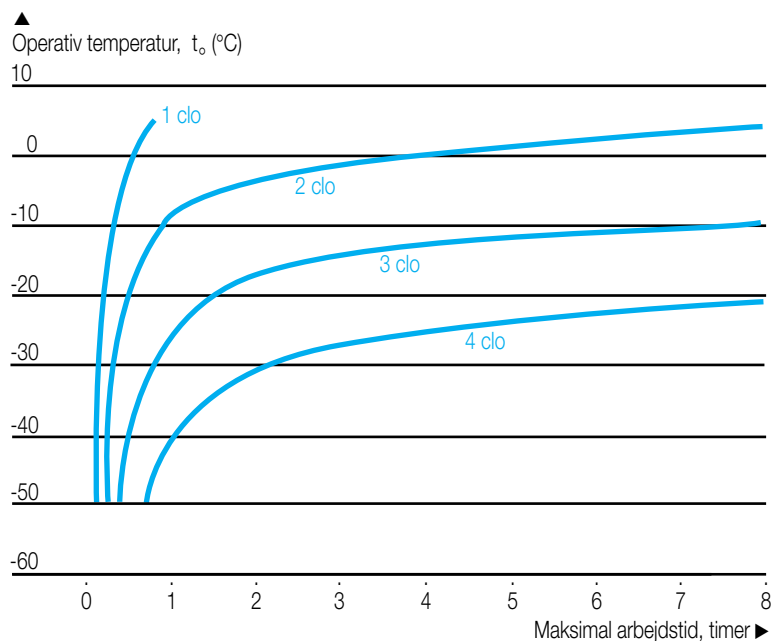
Fig. 5.4 viser et eksempel på sammenhængen mellem operativ temperatur, aktivitet og IREQ.

I meget kolde omgivelser kan den situation opstå, at IREQ bliver så høj, at det ikke er muligt at få en beklædning med den nødvendige varmeisolering. Dette kan skyldes, at det er praktisk umuligt at fremstille en beklædning, som giver en højere varmeisolering end ca 4 clo. Det kan også skyldes, at en beklædning, som har den aktuelle varmeisolering, enten ikke kan skaffes eller



Figur 5.4. IREQ som funktion af operativ temperatur og aktivitetsniveau. Lufthastighed = 0,2 m/s. Relativ fugtighed = 50%.

Figur 5.5. Anbefalet maksimal arbejdstid ved fire beklædningsniveauer og let arbejde, 2 met (115 W/m^2). Lufthastighed = $0,2 \text{ m/s}$. Relativ fugtighed = 50% .



vil gøre det umuligt at udføre det påtænkte arbejde. I disse situationer er det nødvendigt at begrænse den tid, der arbejdes i kolde omgivelser. Metoden gør det muligt at udregne denne begrænsede arbejdstid. Et eksempel herpå er vist i fig. 5.5.

Lokal afkøling

WCI (Wind Chill Index) er et klimaindeks, som har vist sig anvendeligt til at bedømme lokal afkøling og forudsige risikoen for kuldeskader. Det er fortrinsvis beregnet på anvendelse uden dørs til vurdering af risikoen for at få forfrysninger på ubeklædte dele. Gyldigheden for WCI er begrænset til effekten af kulde på ubeklædte kropsdele, såsom ansigt, næse, øre, hænder etc.

WCI bestemmes efter nedenstående formel:

$$\text{WCI} = (10,45 + 10\sqrt{v_{\text{ar}} - v_{\text{ar}}}) (33 - t_{\text{a}})$$

hvor

v_{ar} = relativ lufthastighed, m/s

t_{a} = lufttemperatur, °C

Kuldeeffekten kan også beskrives ved hjælp af "kulde"temperatur (t_{kul}). t_{kul} angiver den lufttemperatur, der ved vindstille giver sam-

me kuldeeffekt som de aktuelle betingelser. Begrebet vindstille er relativt. Ifølge forudsætningerne for WCI svarer vindstille til en lufthastighed på 1,8 m/s. "Kulde"temperatur kan bestemmes ved følgende formel:

$$t_{\text{kul}} = 33 - \text{WCI}/22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

WCI	"Kulde"temperatur	Effekt
1.000	-5	Meget koldt
500	-21	Nøgen hud fryser
1.400	-30	20 min
1.600	-40	15 min
1.800	-49	10 min
2.000	-58	8 min
2.200	-67	4 min
2.400	-76	1 min

Tab. 5.9 angiver de kriterier, der anvendes ved vurdering af lokal afkøling med WCI eller t_{kul} . Tab. 5.10 viser "kulde"temperatur for nogle kombinationer af lufttemperatur og vindhastighed.

Tabel 5.9. WCI, "kulde"-temperatur og kuldeeffekten på huden angivet som den tid, det tager, før forfrysninger opstår.

Tabel 5.10. Vindens køleeffekt på nøgen hud udtrykt ved "kulde"temperatur, dvs den lufttemperatur, som ved "vindstille" giver samme afkøling som de aktuelle betingelser.

Relativ vindhastighed m/s	Lufttemperatur °C	"Kulde"temperatur °C				
		-5	-10	-15	-20	-25
2	-2	-7	-12	-17	-23	-28
7	-11	-17	-25	-32	-38	-45
11	-16	-23	-31	-38	-46	-53
16	-18	-26	-34	-42	-49	-57
20	-19	-28	-36	-43	-52	-59

Måling af det termiske klima

Det termiske klimas indflydelse på en person afhænger, som omtalt i de foregående afnit, af flere faktorer. Ved at måle disse faktorer kan deres betydning analyseres vha de tidligere omtalte vurderingsmetoder (PMV-PPD, WBGT, IREQ, SW_{req}). Dette forudsætter imidlertid, at målingerne er omhyggeligt planlagte og i størst muligt omfang efter standardiserede rutiner. Dermed bliver det lettere at sammenligne målinger fra forskellige tidspunkter og arbejdspladser. For at måleresultaterne skal være repræsentative og kunne generaliseres, skal der tages hensyn til både indre og

ydre faktorer såsom årstid, tid på døgnet, indeklima, processer og opvarmnings- eller ventilationssystemets indflydelse.

Aktiviteten og beklædningen for de personer, der opholder sig i lokalet, skal altid vurderes. I det følgende er vist eksempler på, hvorledes disse faktorer kan vurderes. Derefter beskrives, hvorledes de enkelte klimafaktorer (lufttemperatur, middelstrålingstemperatur, strålingstemperatursymmetri, lufthastighed, fugtighed) måles, og hvilken nøjagtighed der bør være på målingerne.

Målingerne skal udføres på arbejdspladsen, dvs der hvor personen opholder sig. Instrumenterne bør placeres, så de erstatter personen, eller på et sted, hvor påvirkningen for de termiske omgivelser kan antages at være den samme.

Skifter en person mellem flere arbejdspladser, bør der for at opnå en repræsentativ middelværdi måles flere steder i lokalet. Middelværdien for en parameter p bestemmes på følgende måde:

$$p = \frac{t_1 p_1 + p_2 + \dots + t_n p_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

hvor

- p = den tidsvejede middelværdi
- p_i = den målte parameter på arbejdsplads i
- t_i = opholdstiden på arbejdsplads i

I visse tilfælde ønskes middelværdien bestemt for 1-times perioder fx for WBGT- og PMV-indekserne.

Registrering af de enkelte klimafaktorer bør ske samtidig. Ofte er det tilrådeligt at måle, hvorledes klimaforholdene (temperaturniveau, WBGT, PMV) på arbejdspladsen eller et andet repræsentativt sted i arbejdslokalet varierer med det ydre klima og arbejdsforholdene. Målingerne bør ske på de tidspunkter, hvor det utilfredsstillende klima opstår.

Krav til måleudstyrets nøjagtighed kan findes i ISO 7726, CEN 27726.

Målehøjder

Målehøjder er afhængige af klimaet og arbejdsstillingen. I et ensartet klima er det ofte tilstrækkeligt at måle i taljehøjde, som er 0,6 m for en siddende person og 1,1 m for en stående person. I et uensartet klima bør der også måles i hoved- og ankelhøjde. Ligesom tidsmiddelværdier kan også middelværdien for et uensartet klima beregnes vha de vægtningsfaktorer, der er vist i tab. 5.11 sammen med de anbefalede målehøjder.

	Højde af målesonde		Vægtningsfaktor for beregning af vægdet middelværdi		Anbefalet målehøjde	
	Ensartet klima		Uensartet klima		Siddende	Stående
	Neutralt	Ekstremt	Neutralt	Ekstremt		
Hoved			1	1	1,1 m	1,7 m
Talje	1	1	1	2	0,6 m	1,1 m
Fødder			1	1	0,1 m	0,1 m

Instrumenter

Måleinstrumenterne bør være kalibrerede, og brugsanvisningen skal følges. Instrumenterne aflæses først, når de har stabiliseret sig. Indstillingstiden afhænger af instrumenterne og variationen i omgivelserne. Ofte angives instrumentets tidskonstant, der angiver den tid, det tager at nå 63% af en ændring. Indeholder et instrument kun én tidskonstant, vil 90% af ændringen nås efter 2,3 gange tidskonstanten, 95% efter 3 gange og 99% af ændringen efter 4,6 gange tidskonstanten. Ofte er det dog således, at et instrument indeholder flere tidskonstanter, således at fx den første del af ændringen nås meget hurtigt, mens den sidste del af ændringen kan tage meget lang tid. Derfor kan tidskonstanten ofte give et falsk indtryk af den tid, det er nødvendigt at vente, før instrumentet aflæses. I ISO 7726 er det derfor krævet, at indstillingstiden for 90% af ændringen skal angives for instrumentet. Det er også den værdi, der er specificeret for måling af de enkelte klimaparametre i de efterfølgende afsnit. Efter den tid vil instrumentet ofte være så tæt på den endelige værdi, at forskellen er mindre end usikkerheden på instrumentet. Det bør også her understreges, at selvom et instrument har en meget stor opløsning, dvs kan vise flere decimaler, er dette ikke ensbetydende med en god nøjagtighed.

Rapportering og måleprotokol

Måleprotokollen bør indeholde følgende:

1. Navnet på personer, der er ansvarlige for målingerne.
2. Målested: fabrik, afdeling, arbejdssted.
3. Antal personer, alder, køn, fysisk aktivitet (M, met eller W/m^2), beklædningen (I_{cl} , clo).
4. Dato, tidspunkt.
5. Instrument, navn, type, evt fejl.
6. Opvarmnings-, ventilations- og belysningsystemer og deres

Tabel 5.11. Målehøjder og vægtningsfaktorer.

brug og tilstand.

7. Beskrivelse af produktion, maskiner m.m.
8. Måleresultater med angivelse af måleusikkerhed.
9. Tolkning af måleresultater (termiske indekser).

Beklædningens egenskaber (I_{cl})

Beklædningen er en vigtig faktor ved bedømmelse af de termiske omgivelser. For at kunne vurdere komfort, kuldestress og varme-stress er det nødvendigt at kende beklædningens varmeisolering (I_{cl}). Der findes ingen enkelt målemetode, som er direkte anvendelig ved feltbrug. Her beskrives kun, hvordan beklædningens varmeisolering bestemmes ud fra tabeller. Isoleringen angives i "clo" eller i $m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$, hvor $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$.

Tabel 5.12a. Varmeisole-ringsevnen I_{cl} for en række typiske arbejdsbeklædnin-ger.

Arbejdsbeklædning	f_{cl}	clo	I_{cl} $m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$
Underbukser, kedeldragt, sokker, sko	1,25	0,70	0,110
Underbukser, skjorte, bukser, sokker, sko	1,25	0,75	0,115
Underbukser, skjorte, kedeldragt, sokker, sko	1,25	0,80	0,125
Underbukser, skjorte, bukser, jakke, sokker, sko	1,30	0,85	0,135
Underbukser, skjorte, bukser, kittel, sokker, sko	1,40	0,90	0,140
Undertøj m/korte ben og ærmer, skjorte, bukser, jakke, sokker, sko	1,30	1,00	0,155
Undertøj m/korte ben og ærmer, skjorte, bukser, kedeldragt, sokker, sko	1,30	1,10	0,170
Undertøj m/lange ben og ærmer, termojakke, sokker, sko	1,25	1,20	0,185
Undertøj m/korte ben og ærmer, skjorte, bukser, jakke, termojakke, sokker, sko	1,30	1,25	0,190
Undertøj m/korte ben og ærmer, kedeldragt, termojakke + bukser, sokker, sko	1,30	1,40	0,220
Undertøj m/korte ben og ærmer, skjorte, bukser, jakke, termojakke + bukser, sokker, sko	1,35	1,55	0,225
Undertøj m/korte ben og ærmer, skjorte, bukser, jakke, kraftigt foret yderjakke og overalls, sokker, sko	1,45	1,85	0,285
Undertøj m/korte ben og ærmer, skjorte, bukser, jakke, kraftigt foret yderjakke og overalls, sokker, sko, hue og handsker	1,45	2,00	0,310
Undertøj m/lange ben og ærmer, termojakke + bukser, ydre termojakke + bukser, sokker, sko	1,40	2,20	0,340
Undertøj m/lange ben og ærmer, termojakke + bukser, parca m/kraftigt for, overalls m/kraftigt for, sokker, sko, hue, handsker	1,50	2,55	0,395

Bestemmelse af den samlede beklædnings varmeisolering I_{cl}

I tab. 5.12 a og b er angivet varmeisoleringen for en række beklædninger. Alle værdier er baseret på målinger med en stående termisk dukke. Tabellerne kan bruges til at finde en beklædning,

Almindelig beklædning	f_{cl}	clo	I_{cl}	$m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$
Underbukser, T-shirt, shorts, lette sokker, sandaler	1,10	0,30		0,050
Trusser, underkjole, strømpebukser, let kjole, m/ærmer, sandaler	1,15	0,45		0,070
Underbukser, skjorte m/korte ærmer, lette bukser, lette sokker, sko	1,15	0,50		0,080
Trusser, strømpebukser, skjorte m/korte ærmer, nederdel, sandaler	1,25	0,55		0,085
Underbukser, skjorte, lette bukser, sokker, sko	1,20	0,60		0,095
Trusser, underkjole, strømpebukser, kjole, sko	1,20	0,70		0,105
Underbukser, skjorte, bukser, sokker, sko	1,20	0,70		0,110
Underbukser, joggingtrøje + bukser, lange sokker, løbesko	1,20	0,75		0,200
Trusser, underkjole, skjorte, nederdel, tykke knæ sokker, sko	1,30	0,80		0,120
Trusser, skjorte, nederdel, sweater m/rund hals, tykke knæ sokker, sko	1,30	0,90		0,140
Underbukser, undertøje m/korte ærmer, skjorte, bukser, V-sweater, sokker, sko	1,25	0,95		0,145
Underbukser, skjorte, bukser, jakke, sokker, sko	1,30	1,00		0,155
Trusser, strømpebukser, skjorte, nederdel, vest, jakke	1,35	1,00		0,155
Trusser, strømpebukser, bluse, lang nederdel, jakke, sko	1,45	1,10		0,170
Underbukser, undertøje m/korte ærmer, skjorte, bukser, jakke, sokker, sko	1,35	1,10		0,170
Underbukser, undertøje m/korte ærmer, skjorte, bukser, vest, jakke, sokker, sko	1,35	1,15		0,180
Undertøj m/lange ben og ærmer, skjorte, bukser, V-sweater, jakke, sokker, sko	1,35	1,30		0,200
Undertøj m/korte ben og ærmer, skjorte, bukser, vest, jakke, frakke, sokker, sko	1,50	1,50		0,230

der er sammenlignelig med den aktuelle beklædning, hvis varmeisolering ønskes bestemt. Findes der i tabellerne ikke en beklædning, der er direkte sammenlignelig, kan der anvendes interpolation mellem to beklædninger i tabellerne. Tabellerne kan også bruges til at bestemme, hvilken beklædning der skal anvendes for at opnå en bestemt varmeisolering. I tabellerne er også angivet beklædningens arealfaktor, f_{cl} , der angiver forholdet mellem en beklædt persons overfladeareal (A_{cl}) og en nøgen persons overfladeareal (A_n).

$$f_{cl} = A_{cl}/A_n > 1$$

Denne faktor indgår også i bestemmelsen af fx PMW-indekset.

I tab. 5.13 er angivet varmeisoleringen for en række beklædningsdele, I_{clu} . Tab. 5.13 kan også anvendes til bestemmelse af en samlet beklædnings varmeisolering, idet isoleringen for de enkelte beklædningsdele findes i tabellen og derefter adderes

$$I_{cl} = \sum I_{clu}$$

I tab. 5.13 er ligeledes angivet, hvilken ændring i den ønskede

Tabel 5.12b. Varmeisoleringsevnen I_{cl} for en række typiske beklædninger.

operative temperatur for siddende personer de pågældende beklædningsdele medfører. Tager man en normal sweater på (0,28 clo), svarer det til, at man føler omgivelserne 2,4°C varmere.

Indflydelse af aktivitet og lufthastighed

De i tab. 5.12a-b og tab. 5.13 viste værdier er baseret på målinger med en stående termisk dukke. Ved en øget aktivitet kan bevægelserne medføre en større udskiftning af luften i og under beklædningen. Derved kan den resulterende isolering reduceres med 10 til 30%. Indflydelsen af bevægelserne er meget afhængig af beklædningens design og antallet af åbninger. En øget lufthastighed vil have en lignende effekt. Denne reduktion er meget afhængig af tekstilets modstand mod luftgennemtrængning og antallet af åbninger i beklædningen. For aktive personer på industrielle arbejdspladser anbefales det at reducere værdierne i tab. 5.12a-b og 5.13 med 20%.

Aktivitetsniveau (M)

Aktivitetsniveauet (metabolismen) M er en vigtig faktor for vurdering af det termiske klima og for at kunne forudsige indflydelsen af de termiske faktorer på komfort, helbred og arbejdspræstation. Kun en lille del af den energi, der omsættes ved udførelse af et fysisk arbejde, sker i form af ydre arbejde (W). Den største del omsættes til varme. I de fleste arbejdsopgaver er det ydre arbejde lille og kan negligeres. Derfor er aktivitetsniveauet et godt mål for varmeproduktionen i kroppen.

Aktivitetsniveauet M angives enten i enheden met eller i W/m^2 , hvor 1 met = $58 W/m^2$. Overfladearealet af en standardperson er 1,7-1,8 m^2 , således at 1 met svarer til en samlet varmeproduktion på ca 100 watt.

Måling af aktivitetsniveauet er meget vanskelig og kræver hjælp fra specialister. Målingen foretages ved at analysere udåndingsluften og bestemme iltforbruget, der kan relateres til metabolismen. I tab. 5.6 findes en forholdsvis grov opdeling i aktivitetsklasser, som ikke er nøjagtig nok til bestemmelse af PMV, SW_{req} og IREQ-indekserne, men anvendes ved vurdering af WBGT-indekset. I dette afsnit er angivet tab. 5.14 med en række eksempler på aktivitetsniveauet for en række fysiske arbejder. Mere detaljerede værdier kan findes andetsteds i litteraturen (ISO 8996).

Beklædningsdel	Varmeisolering (I_{clu})	Ændring af operativ temperatur
Undertøj	clo	°C
Trusser	0,03	0,3
Bukser, lange ben	0,10	0,8
Trøje u/ærmer	0,04	0,3
Trøje ¼ ærmer (T-shirt)	0,09	0,8
Trøje lange ærmer	0,12	1,0
Trusser + BH	0,03	0,3
Skjorter - bluser	clo	°C
Korte ærmer	0,15	1,3
Lange ærmer, let	0,20	1,7
Lange ærmer, normal	0,25	2,1
Lange ærmer, kraftig	0,30	2,5
Let bluse, lange ærmer	0,15	1,3
Bukser	clo	°C
Shorts	0,06	0,5
Sommer, lette	0,20	1,7
Normale	0,25	2,1
Vinter, kraftige	0,28	2,4
Kjoler - nederdel	clo	°C
Let nederdel	0,15	1,3
Kraftig nederdel	0,25	2,1
Let kjole, korte ærmer	0,20	1,7
Kraftig kjole, lange ærmer	0,40	3,4
Kedeldragt	0,55	3,4
Sweatre	clo	°C
Vest, u/ærmer	0,50	1,0
Let	0,20	1,7
Normal	0,28	2,4
Kraftig	0,35	2,9
Jakker	clo	°C
Let sommerjakke	0,25	2,1
Normal jakke	0,35	2,9
Kittel	0,30	2,5
Termotøj - fiberpels	clo	°C
Kedeldragt	0,90	7,5
Bukser	0,35	2,9
Jakke	0,40	3,4
Vest	0,20	1,7

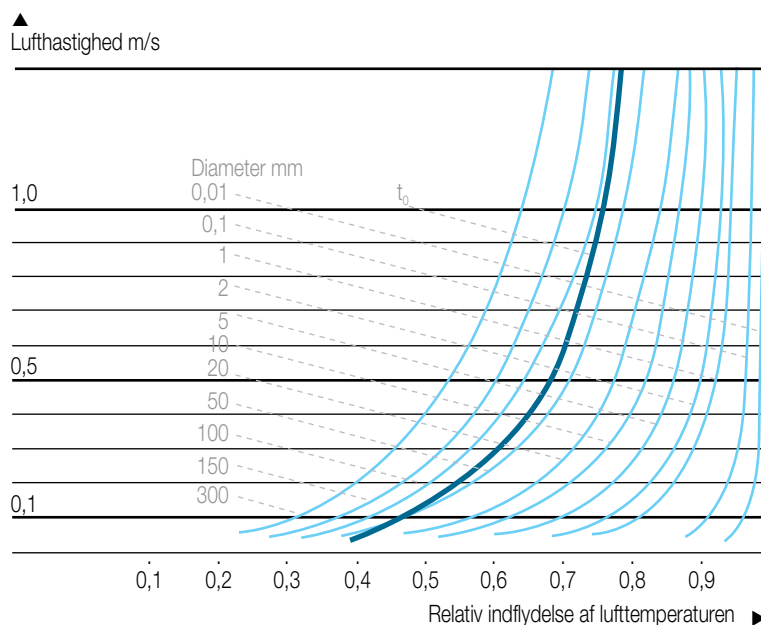
Tabel 5.13. Varmeisole-
ringsevnen I_{clu} for en række
typiske beklædningsdele.

Beklædningsdel	Varmeisolering (I_{cl})	Ændring af operativ temperatur
Overtøj	clo	°C
Frakke	0,60	5,1
Dunjakke	0,55	4,6
Paracoat	0,70	5,8
Overalls, vatterede	0,55	4,6
Diverse	clo	°C
Sokker, lette	0,02	0,2
Sokker, kraftige, korte	0,05	0,4
Sokker, kraftige, lange	0,10	0,8
Nylonstrømper	0,03	0,3
Sko, lette	0,02	0,2
Sko, kraftige, træsko	0,04	0,3
Støvler	0,10	0,8
Handsker	0,05	0,4

Lufttemperatur (t_a)

Lufttemperaturen har indflydelse på menneskets varmeafgivelse ved konvektion. Måling af lufttemperaturen kan virke enkel, men betydelige systematiske fejl kan forekomme, såfremt en række forholdsregler ikke følges. Lufttemperaturen kan måles med man-

Figur 5.6. Figuren viser, hvorledes den relative indflydelse af lufttemperaturen, t_a , i forhold til middelstrålingstemperaturen, \bar{t}_r , på en transducer afhænger af dennes diameter og luftens hastighed, v_a . Er transducere- ren fx 1 mm og lufthastigheden 0,15 m/s, viser den en temperatur $t = 0,85 t_a + (1 - 0,85) \bar{t}_r$, hvor 0,85 aflæses på kurven og er den del, der skyldes lufttemperatu- rens indflydelse. Desuden er indtegnet kur- ven, der er gældende for den operative temperatur, dvs svarende til den sam- menvejning af luft- og mid- delstrålingstemperatur, en person føler.



Aktivitet	W/m ²	met
Hvile		
Liggende	46	0,8
Siddende, afslappet	58	1,0
Stående, afslappet	70	1,2
Arbejde		
Stillesiddende aktivitet (kontor, hjem, skole, laboratorium)	70	1,2
Siddende aktivitet (arm- eller benbevægelser)	80	1,4
Stående let aktivitet (undervisning, tandlæge, forretning, laboratorium, opvask, barbering)	93	1,6
Chauffør		
Personbil, normal trafik	93	1,6
– stærk trafik	116	2,0
Stående aktivitet		
(rengøring, køkken, ekspedient)	116	2,0
Middelstor fysisk aktivitet		
(værksted, maskine, rørsmed, montør, brandmand)	165	2,8
Gående, vandret		
3,2 km/t	116	2,0
4,0 km/t	140	2,4
6,4 km/t	220	3,8
Løbende vandret		
9 km/t	435	7,5
12 km/t	484	8,3
15 km/t	550	9,5

Tabel 5.14. Aktivitetsniveau (metabolisme) for en række typiske aktiviteter.

De angivne værdier repræsenterer stofskiftet under udførelsen af den aktuelle aktivitet. Vha et aktivitetsstudie kan der tages hensyn til pauser og skiften mellem forskellige aktiviteter.

ge forskellige typer af følere (væsketermometer, kviksølvtermometer, bimetaltermometer, termoelementer, termistorer, metaltrådsmodstande). Et måske ofte overset problem ved målingen af lufttemperaturen er indflydelsen af strålingen fra de omgivende flader. Jo større lufthastighed og mindre føler desto mindre indflydelse har temperaturstrålingen, se fig. 5.6. Føleren kan belægges med en blank overflade og/eller forsynes med en strålingsafskærmning, der stadig tillader luftpassage. Det vil under normale forhold gøre målefejlen ubetydelig. I nyere, velisolerede bygninger er der som regel ikke stor forskel på middelstrålingstemperaturen og lufttemperaturen. Dette gør målingen af lufttemperaturen mindre kritisk. I nærheden af varme (radiatorer, sol gennem vinduer) og kolde flader (vinduer) bør problemet med strålingens indflydelse ikke undervurderes.

Strålingstemperatur

Strålingstemperaturerne i et rum har indflydelse dels på menneskets samlede varmeudveksling ved stråling, dels på fordelingen af denne varmeudveksling, dvs om der er store forskelle mellem kropsdelene mht varmeafgivelsen ved stråling. Middelstrålingstemperaturen (\bar{t}_r) har indflydelse på menneskets samlede varmeafgivelse ved stråling og er afhængig af de omgivne fladers temperatur samt personens stilling (stående/siddende) og position i rummet. Middelstrålingstemperaturen (\bar{t}_r) er den ensartede temperatur af de omgivende flader, som medfører samme varmetab ved stråling fra mennesket som i det aktuelle miljø med uensartede overfladetemperaturer.

Bestemmelse af middelstrålingstemperatur (\bar{t}_r) ud fra globetemperatur (t_g)

Den mest almindelige metode til måling af middelstrålingstemperaturen er anvendelse af et globetermometer, der består af en sort kugleskal, hvor temperaturfølerne er placeret i centrum. Globen placeres i de aktuelle omgivelser, hvor middelstrålingstemperaturen ønskes bestemt. Der vil nu indstille sig en ligevægt mellem varmeafgivelsen ved konvektion og varmeafgivelsen ved stråling. I ligevægtstilstanden måles temperaturen t_g i globen, og ved samtidig måling af lufttemperatur og lufthastighed kan middelstrålingstemperaturen bestemmes.

Kuglens overflade skal være mat sort, enten ved elektronisk belægning eller vha mat sort maling. Hermed fås et emissionstal $\epsilon = 0,95$.

Indflydelsen af middelstrålingstemperaturen er afhængig af kuglens diameter. Jo mindre diameter, desto mindre relativ indflydelse har middelstrålingstemperaturen på den målte globetemperatur. Den nøjagtighed, hvormed middelstrålingstemperaturen bestemmes, bliver derfor dårligere, jo mindre diameteren er.

Normalt anvendes en standardglobe af kobber og med diameteren = 0,15 m. Globen placeres på det ønskede målested, og når ligevægtstilstanden er opnået (20-30 min.), aflæses temperaturen (t_g). I samme punkt måles samtidig lufttemperatur (t_a) og middel-lufthastighed (v_a). Middelstrålingstemperaturen, bestemt vha en standardglobe, beregnes vha ligningerne i fig. 5.7.

Ved små forskelle mellem globetemperaturen og lufttemperaturen ($t_g - t_a < 20^\circ\text{C}$) kan det tilnærmede lineære udtryk anvendes. Ved lave lufthastigheder anvendes udtrykket for naturlig konvektion (fig. 5.7).

For naturlig konvektion

$$(v_a < 0,05 \mid t_g - t_a \mid^{0,42})$$

$$\bar{t}_r = ((t_g + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 \mid t_g - t_a \mid^{0,25} \cdot (t_g - t_a)^{0,25} - 273)^\circ\text{C}$$

For tvungen konvektion

$$(v_a \geq 0,05 \mid t_g - t_a \mid^{0,42})$$

$$\bar{t}_r = ((t_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 v_a^{0,6} \cdot (t_g - t_a)^{0,25} - 273)^\circ\text{C}$$

Lineær formel for

$$\mid t_g - t_a \mid < 20^\circ\text{C}$$

$$\bar{t}_r = \sqrt{v_a} (t_g - t_a) + t_g \text{ }^\circ\text{C}$$

Til bestemmelse af WBGT-indekset anvendes også globetemperaturer målt med en standardglobe (diameter = 0,15 m). Måleområdet bør være 20-120°C. I området 20-50°C ønskes en nøjagtighed på 0,5°C, og i området 50-120°C ønskes en nøjagtighed på 1°C.

Fejlkilder

Middelstrålingstemperaturen beregnes ud fra 3 målte størrelser. Dette medfører en ophobning af fejlkilder. I neutralt termisk miljø kan fejlen på \bar{t}_r overstige 2°C og i varme omgivelser med kraftig varmestråling 10°C.

De fleste glober er i dag lavet af en kobberkugle, hvilket medfører en meget lang indstillingstid (20-30 min.). Det er muligt at anvende glober af andre materialer (plast), som dog ikke kan klare høje temperaturer. En yderligere fejlkilde er globens form, idet den ikke har samme vinkelforhold til de afgivende flader som en person. Dette er anskueliggjort i tab. 5.15. vha det projicerede arealforhold i forskellige retninger. Arealforholdet er det projicerede overfladeareal i en retning i forhold til det totale

		Op/ned	Højre/venstre	For/bag
Stående	Person	0,08	0,23	0,35
	Ellipsoide	0,08	0,28	0,28
	Globe	0,25	0,25	0,25
Siddende	Person	0,18	0,22	0,30
	Ellipsoide	0,18	0,22	0,28
	Globe	0,25	0,25	0,25

Figur 5.7. Formler til bestemmelse af middelstrålingstemperaturen vha en standardglobe (diameter = 0,15 m, emissionstal $\epsilon = 0,95$).

Figur 5.15. Det projicerede arealforhold for en person, en ellipseformet føler og en kugle (globe).

overfladeareal. Dette tal er et mål for den relative indflydelse af strålingen fra de forskellige retninger. Det ses, at for en siddende person er overensstemmelsen rimelig, men for en stående person vil en globe overvurdere effekten fra fx et opvarmet loft. I tabellen ses, at en ellipseformet føler ved optimering af forholdet mellem halvakslerne giver en bedre tilnærmelse. Ved høj temperaturstråling (sol, glødende metaller) vil den sorte farve medføre en for stor indflydelse af strålingen i forhold til det, en person føler. En grå eller lyserød farve kan anbefales.

Bestemmelse af middelstrålingstemperaturen vha den plane strålingstemperatur (t_{pr})

Den plane strålingstemperatur (se næste afsnit) angiver strålingstemperaturen i en retning (halvrum) i forhold til en plan flade.

Bestemmes den plane strålingstemperatur i de seks hovedretninger (op/ned, højre/venstre, for/bag), kan middelstrålingstemperaturen beregnes ved at vægte den plane strålingstemperatur i forhold til de respektive projicerede arealforhold (tab. 5.15).

Beregningsformlerne er angivet i fig. 5.8a. Ofte kendes ikke personens position med hensyn til for/bag og højre/venstre. Desuden ændres positionen ofte under arbejdet. Derfor er det som regel tilstrækkeligt at anvende en ensartet vægtningsfaktor og dermed simple beregningsformler (fig. 5.8b).

Figur 5.8a. Beregning af middelstrålingstemperaturen vha den plane strålingstemperatur.

<p>Siddende person:</p> $\bar{t}_r = \frac{0,18(t_{pr.op} + t_{pr.ned}) + 0,22(t_{pr.højre} + t_{pr.venstre}) + 0,30(t_{pr.for} + t_{pr.bag})}{2(0,18 + 0,22 + 0,30)}$
<p>Stående person:</p> $\bar{t}_r = \frac{0,08(t_{pr.op} + t_{pr.ned}) + 0,23(t_{pr.højre} + t_{pr.venstre}) + 0,35(t_{pr.for} + t_{pr.bag})}{2(0,08 + 0,23 + 0,35)}$
<p>\bar{t}_r = middelstrålingstemperatur, °C</p>
<p>t_{pr} = plan strålingstemperatur, °C</p>

Bestemmelse af middelstrålingstemperaturen vha beregning og måling af overfladetemperaturerne

Middelstrålingstemperaturen kan beregnes, når følgende kendes:

- ◆ overfladetemperaturen af de omgivende flader
- ◆ vinkelforholdet mellem en person og de omgivende flader.

$$\begin{aligned} & \text{Siddende person:} \\ \bar{t}_r &= 0,129 (t_{pr.op} + t_{pr.ned}) + 0,186 (t_{pr.højre} + t_{pr.venstre} + t_{pr.for} + t_{pr.bag}) \\ & \text{Stående person:} \\ \bar{t}_r &= 0,060 (t_{pr.op} + 0,220 t_{pr.ned}) + (t_{pr.højre} + t_{pr.venstre} + t_{pr.for} + t_{pr.bag}) \end{aligned}$$

De fleste bygningsmaterialer har et højt emissionstal, og en person er "lille" i forhold til omgivelserne. Det er ofte en acceptabel tilnærmelse at se bort fra refleksion, dvs antage at alle flader er sorte.

Følgende tilnærmede ligning kan anvendes:

$$\bar{t}_r = t_1 F_{p-1} + t_2 F_{p-2} + \dots + t_n F_{p-n}$$

hvor

t_i = overfladetemperatur af flade i

F_{p-i} = vinkelforholdet mellem en person og flade i

$\sum F_{p-i} = 1 (i = 1, \dots, n)$

Strålingstemperaturasymmetri (Δt_{pr})

Klager over indeklimaet kan skyldes, at personerne er udsat for en ensidig strålingspåvirkning fra fx store kolde flader (vinduer) eller varme flader (ovne). Til beskrivelse af dette anvendes strålingstemperaturasymmetrien. Denne angiver forskellen i strålingstemperatur imellem to halvrum.

Strålingstemperaturasymmetrien, Δt_{pr} , er forskellen mellem plan strålingstemperatur på to sider af en lille plan flade.

Plan strålingstemperatur, t_{pr} , er den ensartede temperatur på de omgivende flader, som medfører samme bestråling på den ene side af en lille plan flade, som de aktuelle forskellige overfladetemperaturer giver.

Bestemmelse af strålingstemperaturasymmetri ved direkte måling

Strålingstemperaturasymmetrien kan bestemmes vha et netradiometer, der består af en lille dobbeltsidet plan flade med en varmestrømsmåler imellem. Den resulterende varmestrøm er et mål for forskellen i strålingsudveksling på de to sider af fladen.

Et måleprincip, hvor der anvendes en blank og en sort føler,

Figur 5.8b. Beregning af middelstrålingstemperaturen vha den plane strålingstemperatur. Ensartet vægtningsfaktor.

kan også anvendes. Her udnyttes det forhold, at den blanke føler reflekterer den indfaldne stråle, hvormed den sorte absorberer det meste. Ud fra en temperatur- eller varmestrømsmåling er det muligt at bestemme den plane strålingstemperatur.

En tilnærmet metode er anvendelsen af et globetermometer, hvor der lige bagved anbringes en reflekterende plade (1 x 1 m), fx ren blank aluminium. Globetemperaturen måles med pladen anbragt henholdsvis på den ene og den anden side af globen. Forskellen i globetemperaturen er et mål for temperatrasymmetrien, men den målte forskel er kun ca halvt så stor som strålingstemperatrasymmetrien, Δt_{pr} . Ved denne måling bliver de omgivende overfladetemperaturer dog ikke vægtet i forhold til en plan flade.

Bestemmelse af strålingstemperatrasymmetrien vha beregning og måling af overfladetemperaturerne

På lignende måde som beregning af middelstrålingstemperatur kan også den plane strålingstemperatur for et halvrum bestemmes efter følgende ligning:

$$t_{pr} = t_1 F_{p-1} + t_2 F_{p-2} + \dots + t_n F_{p-n}$$

hvor

t_i = temperaturen på flade i , °C

F_{p-i} = vinkelforholdet fra et lille plant element til flade i

$\sum F_{p-n} = 1 (i = 1, \dots, n)$

Lufthastigheden (v_a)

Lufthastigheden påvirker sammen med lufttemperaturen den konvektive varmeafgivelse og sammen med fugtigheden (vanddamptrykket) varmeafgivelsen ved fordampning. Desuden er for høje lufthastigheder (træk) en af de hyppigste grunde til klager over indeklimaet. Dette er især tilfældet i moderate og kolde termiske omgivelser for personer med fortrinsvis stillestående eller siddende arbejde.

Lufthastigheden kan måles med flere typer af instrumenter (røgampuller, pitotrør, vingehjulsanemometer, opvarmet termistoranemometer, ionanemometer). De hastigheder, der har interesse i moderate termiske omgivelser, ligger i området 0,05-0,50 m/s, og især det lave område 0,05-0,25 m/s er meget vigtigt.

Vanskelighederne ved lufthastighedsmålingerne er de lave hastigheder, retningskarakteristikken, lufttemperaturkompensationen og tidskonstanten. De lave lufthastigheder (< 0,15 m/s) kan

ikke måles med de mere simple instrumenter. Ofte anvendes et opvarmet anemometer. Det er her vigtigt, at overtemperaturen (opvarmingen) i forhold til luften ikke er så stor, at egenkonvektionen vil influere på målingen.

De fleste eksisterende anemometre er mere eller mindre retningsfølsomme. Det er derfor vigtigt hele tiden at sikre sig, at føleren vender "rigtigt". For et varmetrådsanemometer skal tråden være vinkelret på strømningsretningen. Da retningen ved mange indeklima målinger kan skifte meget, er det ønskeligt med en retningsuafhængig føler. For påvirkningen af en person er retningen af mindre betydning. Til vurdering af årsagen til høje lufthastigheder er det derimod en fordel også at kende retningen. Retningen kan let bestemmes ved røgprøver i de kritiske punkter.

For et opvarmet anemometer skal lufttemperaturkompensationen have samme eller mindre tidskonstant som den opvarmede føler. Ellers vil pludselige ændringer i lufttemperaturen, som så ofte kan forekomme i luftkonditioneringsanslæg pga reguleringen, registreres som lufthastighedsvariationer.

Nyere indeklimaundersøgelser har vist, at hurtigt varierende lufthastigheder har en forstærkende indflydelse på trækgener. Det anbefales at måle standardafvigelsen på lufthastigheden som mål for disse hurtige variationer. Det er ønskeligt at kunne måle frekvenser på op til ca 1 Hz, dvs instillingstiden bør være mindre end 1 s. Det er nødvendigt at måle i 3 min. for at bestemme midelværdien og standardafvigelsen med rimelig nøjagtighed.

Luftfugtighed (vanddamptryk p_a)

Luftfugtigheden (vanddamptrykket) i den omgivende luft påvirker menneskets varmeafgivelse ved fordampning (sved). Især i varme omgivelser, hvor den eneste måde at afgive varme på ofte er fordampning af sved, er fugtigheden i den omgivende luft af stor betydning. Luftfugtigheden påvirker også varmeafgivelsen via åndedrættet. Dette er dog oftest helt uden betydning.

Luftfugtigheden kan angives på flere måder:

- ◆ vanddamps partialtryk, p_a , kP_a
- ◆ absolut luftfugtighed, gram vanddamp pr kg tør luft
- ◆ dugpunkt, t_d , °C
- ◆ relativ fugtighed, rh , %, forholdet mellem vanddampens partialtryk og det mættede damptryk ved samme temperatur.

En sammenhæng mellem disse størrelser kan findes i ISO 7726.

Måden, fugtigheden angives på, afhænger af målemetoden. Luf-

tens fugtighed kan måles på mange måder (våd/tør føler, dugpunkt, hårhygrometer, litriumchlorid-hygrometer, elektrisk modstandshygrometer, elektrisk kapacitetshygrometer). For en persons termiske tilstand er det vanddampptrykket, der har betydning. Vha et Ix-diagram (Mollier diagram) er det meget let at omsætte fra én størrelse til en anden (relativ luftfugtighed, dugpunkt, vanddampptryk, absolut fugtighed).

Målingen af luftens fugtighed kræver altså ikke den store nøjagtighed, og da der næsten altid er samme absolutte fugtighed overalt i et lokale, er det tilstrækkeligt at måle ét sted.

Naturlig våd temperatur (t_{nw})

Naturlig våd temperatur (t_{nw}), der anvendes ved bestemmelse af WBGT-indekset, måles med en temperaturføler, der er omgivet af en våd bomuldssok, som er uafskærmet og frit kan omstrømmes af luften. Bomuldssokken skal hele tiden holdes fugtig med destilleret vand. Da måleværdien afhænger meget af følerens størrelse, er det nødvendigt at fastlægge dimensionerne. Føleren skal være cylindrisk, 30 mm (± 5 mm) lang og med en diameter på 6 mm (± 1 mm). Den våde sok skal dække hele føleren samt yderligere ca 20 mm af følerens holder, mens den nedre del af sokken nedsænkes i vandbeholderen. Mellem føleren og vandet skal 20-30 mm af sokken være fri i luften for at forhindre varmeledning mellem føleren og vandet. Måleområdet er 5-40°C, med en nøjagtighed på 0,5°C. Temperaturen er flere minutter om at indstille sig.

Operativ temperatur (t_o)

Den operative temperatur t_o anvendes til at beskrive temperaturniveauet i rummet.

t_o er den sammenvejede værdi af luftens temperatur (t_a) og middelstrålingstemperaturen (\bar{t}_r), der medfører samme varmeafgivelse (ved konvektion og stråling) fra mennesket, som de aktuelle uensartede temperaturer giver.

Som regel bestemmes den efter måling af lufttemperatur og middelstrålingstemperatur. Ved egnet valg af følerstørrelse og form kan den med god tilnærmelse måles direkte.

Bestemmelse af den operative temperatur

Den operative temperatur kan med tilnærmelse sætte lig med middelværdien af luft- og middelstrålingstemperatur $t_o = \frac{1}{2} (t_a + \bar{t}_r)$ i følgende tilfælde:

- 1) Lave lufthastigheder ($< 0,2$ m/s).
- 2) Forskellen mellem middelstrålingstemperatur og lufttemperatur er lille ($< 4^{\circ}\text{C}$).

Ønskes større nøjagtighed, eller er lufthastigheden stor ($> 0,2$ m/s), kan følgende udtryk bruges:

$$t_o = At_a + (1-A)\bar{t}_r$$

hvor værdien for konstanten A findes af tab. 5.16 som funktion af middellufthastigheden:

v_a m/s	$< 0,2$	$0,2 - 0,6$	$0,6 - 1,0$
A værdi	0,5	0,6	0,7

Tabel 5.16. Relativ indflydelse af lufttemperaturen på den operative temperatur.

På fig. 5.6 er indtegnet A-værdierne, dvs den relative indflydelse af lufttemperaturen i forhold til middelstrålingstemperaturen. Kurver for en person samt for en globe med diameter på 150 mm (Standardglobe), 100 mm, 50 mm og 20 mm er indtegnet.

Principper for teknisk forebyggelse

Mht de termiske omgivelser kan det være vanskeligt at give faste retningslinier for teknisk forebyggelse. Det er ofte nødvendigt at vurdere mulighederne fra sag til sag. I det følgende er der kun beskrevet meget generelle principper.

Moderate termiske omgivelser

Det vigtigste i moderate termiske omgivelser er, at temperaturniveauet i lokalet er tilpasset den aktuelle aktivitet og beklædning. Er rumtemperaturen for høj eller for lav, vil der ikke kun være risiko for, at visse personer føler det for varmt eller for koldt. Føler man sig lidt kold, øges tillige risikoen for ubehag pga træk (høje lufthastigheder) og strålingsasymmetri (kolde vægge, vinduer). Føler man sig lidt varm, øges risikoen for ubehag pga strålingsasymmetri (varme lofter). Er omgivelserne for varme, giver dette sig ofte udslag i klager over dårlig luftkvalitet.

Det er vigtigt, at temperaturfordelingen i lokalet (operativ temperatur) bliver så ensartet som muligt. Store kolde eller varme fla-

der er ofte årsag til problemer. Især store vinduesfacader kan skabe problemer, både vinter og sommer. Om vinteren vil personer, der opholder sig i nærheden af store vinduesfacader, føle en lavere operativ temperatur end andre steder i lokalet. Dette skyldes den lavere middelstrålingstemperatur. Desuden er disse personer udsat for en strålingstemperatursymmetri samt tillige lave temperaturer og høje lufthastigheder langs gulvet, som skyldes koldt nedfald. Problemerne bliver mindre for brede, lave vinduer end for høje, smalle vinduer. Desuden formindskes problemerne væsentligt ved at øge isoleringen af vinduet. Om sommeren medfører solindfald gennem de store vinduesfacader, at lokalet overophedes. Bedre isolering hjælper også her, men det mest effektive er udvendig afskærmning. Vinduer mod syd er at foretrække, da de er lettest at afskærme om sommeren (solen står højt) og giver et varmetilskud om vinteren fra solen.

I lokaler, hvor der er mulighed for individuel regulering af rumtemperaturen, er der ofte kun få problemer med indeklimaet. I lokaler, hvor der opholder sig flere personer, vil risikoen for klager derimod være væsentligt større. I samme lokale findes måske personer med forskellige aktiviteter og dermed forskellige ønsker om rumtemperaturen. Dette kan kun klares ved en individuel tilpasning af beklædningen. Det er derfor en god idé at orientere om beklædningens betydning, og hvorledes man individuelt kan kompensere ikke kun for forskelle i aktivitet, men også for de store forskelle, der findes mellem de enkelte personer mht den ønskede rumtemperatur.

Træk er en af de hyppigste årsager til klager i lokaler, hvor man fortrinsvis har stillesiddende arbejde.

Her kan der også opstå en konfliktsituation mellem øget behov for ventilation for at sikre god luftkvalitet og risikoen for høje lufthastigheder i opholdszonen.

Ventilationsanlægget bør derfor dimensioneres rigtigt, og især er placering af indblæsningsåbningerne af stor vigtighed.

Træk behøver ikke altid at være forårsaget af ventilationssystemet. Den kan også skyldes termiske strømninger (koldt nedfald), døre, der går op og i mellem lokaler med forskelligt temperaturniveau, og endelig ved stærk persontrafik forbi en arbejdsplads. Dette kan der tages hensyn til ved en fornuftig placering af arbejdspladserne i et lokale.

Varme omgivelser

Her er det ikke så meget et spørgsmål om komfort, men om at begrænse risikoen for skader på helbredet. Den teknologiske udvikling i dag medfører, at flere og flere af de arbejdsoperatio-

ner, der er meget belastende, bliver overtaget af maskiner, hvis operation styres af operatører, der opholder sig i klimatiserede rum. Men der eksisterer dog stadig en række arbejdspladser, hvor varmelastningen er meget høj, især om sommeren.

På varme arbejdspladser er en planlægning af arbejdets udførelse meget vigtig. De arbejdsoperationer, der stiller de højeste krav til aktivitetsniveauet, bør undgås midt på dagen, hvor varmelastningen fra indeklimaet er højest.

Desuden bør der indføres længere pauser, evt i neutrale omgivelser, på de tider på dagen, hvor varmelastningen er højest.

Ofte kan en forbedring ske ved at anvende afskærmning af arbejdspladsen fra varmestråling, lokalafkøling ved fx en øget lufthastighed på arbejdspladsen og endelig anvendelse af beskyttelsesbeklædninger.

Kolde omgivelser

Beklædningen spiller en meget stor rolle i kolde omgivelser. Det kræver dog ofte en god erfaring for den enkelte person at kunne vælge den rette beklædning.

Det vigtigste er, at den samlede beklædning har den rette varmeisolerings (clo-værdi). Når folk klager over kolde fødder eller hænder, skyldes det ikke altid forkert valg af sko eller handsker, men derimod en samlet beklædning med en for lille varmeisoleringsring. Det resulterer først og fremmest i, at hænder og fødder bliver kolde, og det hjælper ikke meget kun at øge isoleringen på hænder og fødder. Skal arbejdet udføres under skiftende aktiviteter, kan det være vanskeligt at vælge den rette beklædning. Vælges beklædningen, baseret på de koldeste lokaler eller den laveste aktivitet, er der stor risiko for en kraftig svedning ved arbejde ved de højere temperaturer og aktiviteter. Dette medfører, at beklædningen bliver våd, og dermed en reduceret varmeisoleringsring.

Beklædningen skal altså vælges ud fra en slags middelbetragtning. Under pauser (frokost), der bør foregå i lokaler med normale temperaturforhold (20°C), bør beklædningen reduceres.

Under ekstreme kuldebelastninger ved arbejde udendørs eller i frysehuse kan der også blive tale om en begrænsning af arbejdstiden for at undgå for stor nedkøling af kroppen.

Litteratur

- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) standard 55-92: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”, 1992.
- DS 2323. Termisk miljø. Varme omgivelser. Bestemmelse af termisk belastning ved WBGT-indeks. 1. udg. 1986.
- DS/ISO 7730. Termisk miljø. Moderate omgivelser - Bestemmelse af PMV- og PPD-indeks og betingelser for termisk komfort. Dansk Standardiseringsråd, 1986.
- DS 474. Norm for specifikation af termisk indeklima. 1. udg. 1993. Dansk Standard.
- Elnäs S, Holmar I, Olesen BW. Arbetsplatsens klimat. Mätning och bedömning. *Arbete och Hälsa* 1985:43.
- ISO 7243. Hot environments - Estimation of the heat stress on man, based on the WBGT-index.
- ISO 7726 (EN 27726)(DS-forslag). Thermal environments - Instruments and methods for measuring physical quantities, 1985.
- ISO 7933. (DS-forslag). Termisk miljø - Varme omgivelser - Beregning og vurdering af termisk belastning på basis af den nødvendige svedproduktion.
- ISO 8996 (DS-forslag. Ergonomics - Determination of metabolic rate, 1990.
- ISO 9920. Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble, 1995.
- ISO EN 7730. Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, 1994.
- ISO TR-11079. Evaluation of cold environments - Determination of required clothing insulation (IREQ), 1994.
- NKB (Nordisk Komite for Bygningsbestemmelser) “Innomhusklimat” report nr. 40.
- SBI-anvisning nr. 130. Måling af termisk indeklima. SBI, 1983.
- SBI Rapport 230. Indeklimaets påvirkninger. SBI, 1993.

KAPITEL 6

Støj

*J. Gybel Jensen
P. Lykkeberg*

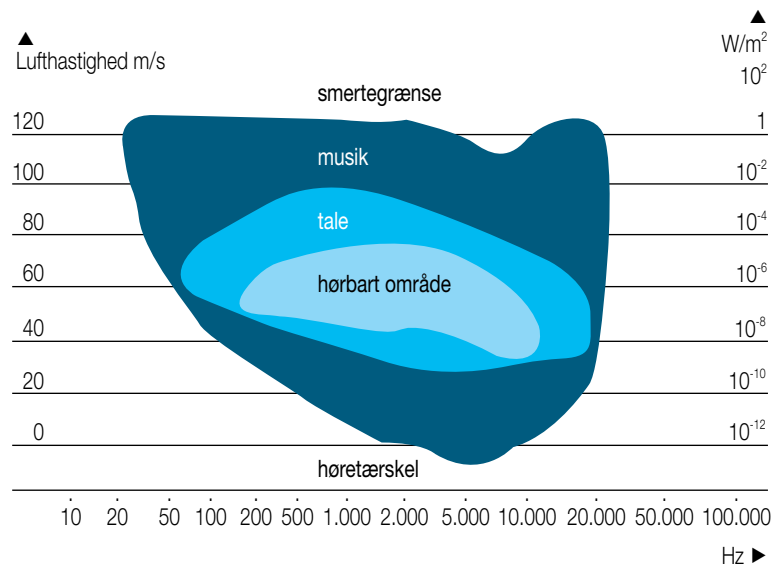
Støj

Egenskaber

Støj defineres som uønsket lyd. Forholdet mellem intensiteten af den svageste lyd, vi kan opfatte, og den kraftigste lyd, øret normalt udsættes for, er så stort som 1 til 10^{14} . En logaritmisk skala klemmer dette enorme dynamikområde sammen til en skala, som strækker sig fra 0 til 14. Enheden kaldes bel efter telefonens opfinder Graham Bell. 1 bel opdeles i 10 decibel (forkortet dB).

Denne skala er praktisk til både målinger og beregninger. dB-skalaen er en relativ skala. Som reference er valgt den svageste lyd, det menneskelige øre kan opfatte. Derved placeres vores høretærskel ved 0 dB. Lyde, der er svagere, end vi kan opfatte, har negative dB-værdier.

Figur 6.1. Høreområdet.



Som følge af den logaritmiske skala kan dB-værdier ikke adderes direkte, men i stedet anvendes formelen:

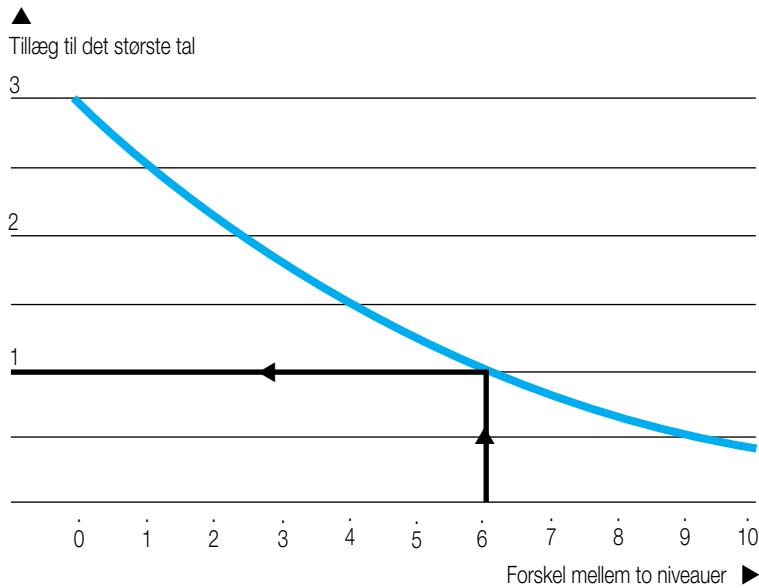
$$L_{\text{total}} = 10 \log_{10}(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots)$$

Man kan også anvende diagrammet i fig. 6.2.

Eksempel:

$$70 \text{ dB} + 70 \text{ dB} = 73 \text{ dB.}$$

$$80 \text{ dB} + 70 \text{ dB} = 80 \text{ dB.}$$



Figur 6.2. Støjniveauer i dB sammenlægges to og to, idet man - vha diagrammet - ud fra forskellen mellem tallene ovenfor finder et tillæg til det største tal.

Eksempel: 88 og 94 dB skal sammenlægges. Forskellen er 6, og vi skal da lægge 1 dB til 94 - resultat 95 dB.

Det gælder generelt, at en fordobling af lydenergien forøger lyd-niveauet med 3 dB.

En anden regel er, at lyde, som ligger mere end 10 dB under den øvrige lyd, ikke bidrager til det samlede niveau. Mange støj-dæmpningsprojekter har været resultatløse, netop fordi man dæmpede en støj kilde, som lå langt under det øvrige støjniveau.

dB-skalaen er også praktisk, fordi vi hører "logaritmisk". Således opfatter vi en vis ændring, fx 10 dB, som lige stor, uanset om den finder sted i en lille stue eller i et støjende værksted. Det er ikke umiddelbart indlysende, idet de 10 dB's ændring svarer til en mange gange større energimængde ved den kraftige støj i værkstedet.

En forøgelse på omkring 10 dB opfattes subjektivt som en fordobling af lydstyrken, se også tab. 6.1.

I en lydbølge er luftpartiklernes svingninger en bestandig vekslen mellem kinetisk energi (partiklernes bevægelsesenergi) og potentiel energi (elastisk energi i under- og overtrykstilstandene).

Tabel 6.1. Oplevelse af ændring af lydniveau.

Ændring af lydniveauet	Således opleves det
1 dB	På grænsen af det opfattede
3 dB	En tydelig, men lille ændring
6 dB	En væsentlig ændring
10 dB	En stor ændring
20 dB	En meget stor ændring

Hvis hele Danmarks befolkning taler i munden på hinanden med almindelig samtalestyrke (70 dB), produceres en samlet lydeffekt på 50 W.

Enheden for lydsvingningerne er antal svingninger pr sekund, hertz (Hz). Vi kan høre lyde fra ca 20 Hz op til knap 20.000 Hz.

Vi opfatter ikke alle frekvenser lige godt. En tone på 100 Hz skal være ca 20 dB kraftigere end en tone på 1.000 Hz, for at den opfattes lige kraftig (100 Hz er frekvensen af den brummetone, der udsendes af transformatorer, der er tilsluttet det offentlige el-net, 1.000 Hz kendes fra fjernsynets prøvebillede). For at tage hensyn til denne varierende følsomhed anvendes ofte den såkaldte A-vægtningsskurve. Lydmålere med indbyggede A-filtre måler direkte lydniveauet i dB(A). Der findes også vægtningsskurver med betegnelserne B, C og D, se fig. 6.3. En måling uden nogen frekvensvægtning kaldes lineær og betegnes dB(lin). dB(A) er efterhånden eneherkende til vurdering af støj og ved fastsættelse af grænseværdier, se dog afsnit om støjdeklarerationer og lydeffekt.

Definitioner

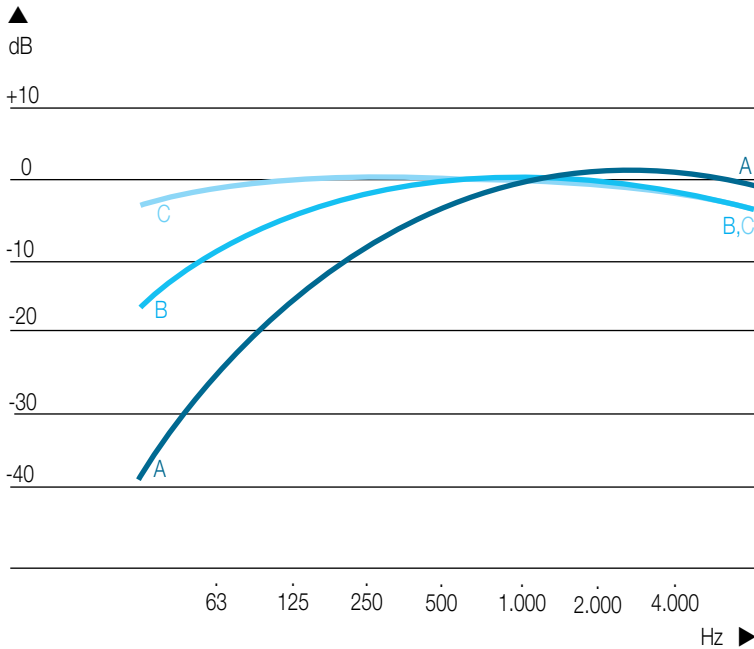
I dette afsnit defineres og forklares - i alfabetisk orden - en række akustiske fagudtryk. Der er i højere grad lagt vægt på forståelighed end på, at definitionerne er videnskabeligt udtømmende.

A-vægtningsskurve. En internationalt standardiseret kurve, som efterligner ørets frekvensafhængige følsomhed.

A-filter. Elektronisk filter svarende til A-vægtningsskurven.

Bel (B). Enheden for en relativ måleskala, der defineres som 10-tals logaritmen til forholdet mellem en størrelse, fx lydtrykket p , og en referencestørrelse p_0 . Resultatet kaldes et niveau. For eksempel er lydtrykniveauet L_p :

$$L_p = \log p/p_0 \quad (B)$$



Figur 6.3. En lydmåler har filtre, som giver en frekvensafhængig korrektion af det, mikrofonen opfanger. Det ses, at når man måler i dB(A), er der en stor dæmpning af lave frekvenser, som altså ikke i særlig grad får lov at påvirke visersudslaget på instrumentet.

Bølgelængden (λ). Afstanden mellem to lydtrykmaksima i en lyd-bølge. Bølgelængden beregnes af lydhastigheden c og frekvensen f :

$$\lambda = c/f$$

dB(A)-værdi. Lydniveau målt eller beregnet i overensstemmelse med A-vægtningskurven.

Decibel (dB). En tiendedel bel. Lydtrykniveauet i dB defineres:

$$L_p = 10 \log p/p_0$$

Effektiv værdi (rms-værdi). Effektivværdien A_{rms} (rms = root mean square) af et signal er proportional med energiindholdet og er derfor et af de vigtigste og oftest benyttede mål for en amplitude.

$$A_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt}$$

hvor T = tidsperiode over hvilken der midles

a = den øjeblikkelige amplitude

Efterklangstid (T). Den tid det tager lydniveauet at falde 60 dB, når en støjkilde pludselig afbrydes.

Energiækvivalent støjniveau (L_{eq}). Det konstante støjniveau, der over en given periode har samme energiindhold (giver samme høreskaderisiko) som den aktuelle varierende støj i samme periode:

$$L_{eq} = 10 \log\left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L(t)/10} dt\right)$$

Frekvens (Hz). Svingninger pr sekund. (1 KHz = 1.000 Hz). Lyde er sædvanligvis sammensat af mange forskellige frekvenser.

Høretærskel. Den svageste lyd, det menneskelige øre kan opfatte. Da der er individuelle forskelle, er der internationalt fastlagt en standardiseret høretærskel på 20 μ Pa ved 1.000 Hz. Høretærsklen varierer med frekvensen, som det fremgår af fig. 6.1.

Impulsstøj. Meget kortvarig støj, fx af den type, der forekommer ved slag af metal mod metal. Impulsstøj er mere skadelig for hørelsen end kontinuert støj med samme energiækvivalente niveau.

Infralyd er lydbølger med frekvens lavere end 20 Hz.

Lin (lineær). Med nogle lydmålere kan foretages en såkaldt lineær måling, hvor der ikke foretages nogen frekvensvægtning. Alle frekvenser tæller lige meget. dB(lin) anvendes som enhed.

Lyd. Svingninger i elastisk materiale. I daglig tale mener man den lyd, som vort øre opfatter, nemlig svingninger i luft (små variationer i lufttrykket).

Lydabsorption. Omdannelse af lydenergi til varme ved gnidning (friktion), fx mellem en lydbølges svingende luftpartikler og en porøs lydabsorbents porer. Materialers egenskab i den henseende karakteriseres ved *absorptionskoefficienten*, som varierer fra mindre end 0,1 for lydhårde flader som stål, beton, murværk og træ til op mod 1 for gode absorbenter som mineraluld, skumplast og tekstiler.

Lydeffekt (W). Lydenergi pr tidsenhed afgivet af en lydkilde, fx en maskine.

Lydeffektniveau (L_w). Lydeffekten udtrykt i dB i forhold til referenceeffekten 10^{-12} W.

Lydbastighed (c). Lyden udbreder sig med en vis hastighed, som i luft er ca 340 m/s ved en temperatur på 20°C. Lydhastigheden i luft stiger langsomt med temperaturen og kan beregnes af:

$$C = 20\sqrt{T} \text{ (m/sek),}$$

hvor T er den absolutte temperatur i °K.

Lydintensitet (I). Lydeffekt pr arealenhed. Enheden er W/m².

Lydintensitetsniveau (L_I). Lydintensiteten udtrykt i dB i forhold til referenceintensiteten I₀ = 2 · 10⁻⁵ W/m²:

$$L_I = 10 \log (I/I_0) \text{ (dB)}$$

Lydtryk (p). Størrelsen af trykvariationerne omkring atmosfæretrykket er et mål for lydets styrke. Lydtrykket defineres som *effektivværdien* (rms-værdien) af trykvariationerne. Lydtryk angives i enheden pascal (Pa) eller N/m².

Lydtrykniveau (L_p). Lydtrykkets niveau i dB med høretærsklen ved 1.000 Hz som referenceværdi. Høretærsklens lydtrykniveau bliver derved 0 dB. Definitionen lyder:

$$L_p = 10 \log (p/p_0) \text{ (dB)}$$

hvor p er lydtrykket, og p₀ er 20 µPa.

Smertegrænsen. Meget høje lydniveauer opleves som en fornemmelse af smerte i ørerne. Smertegrænsen ligger ved 120-130 dB.

Spidsværdi (Peak value). Det maksimale øjeblikkelige lydniveau, almindeligvis udtrykt i dB(A). Anvendes til at beskrive impulsstøj.

Strukturlyd. Når det gælder teknisk kontrol af støj, er det vigtigt at vide, at lyd også transmitteres af faste stoffer. Man taler om strukturlyd eller inden for bygningsakustikken om "bygningsslyd". Også lydtransmission i væsker er af væsentlig støjteknisk interesse, fx ved hydrauliske anlæg.

Støj er uønsket lyd. Støj kan være skadelig, generende eller forstyrrende for mennesker.

Støjbelastning defineres som det energiækvivalente støjniveau, en person udsættes for over en 8 timers arbejdsdag. Støjbelastning er en gennemsnitsværdi.

Ultralud er lydbølger med frekvens over 20 kHz.

Kilder og forekomst i arbejdsmiljøet

Støj er en af de mest almindelige gener på arbejdspladserne og i samfundet i øvrigt.

Op gennem første halvdel af 1990'erne anmeldtes årligt ca. 3.000 høreskader. Hermed er støj den næsthøypigst anmeldte lidelse. Størst andel kom fra jern- og metalindustrien, bygge og anlæg, nærings- og nydelsesmiddelindustrien og offentlige institutioner som militæret og DSB.

I forbindelse med beregningen af de økonomiske konsekvenser ved gennemførelsen af Støjbekendtgørelsen blev det vurderet, at ca. 20.000 ansatte i den danske industri er udsat for en støjbelastning over den gamle grænse på 90 dB(A), mens omkring 40.000 arbejder i støj på mellem 85 og 90 dB(A).

I LO-undersøgelsen (1974) angav 38% at være udsat for støj, så at de måtte hæve stemmen for at tale sammen. 12% oplyste, at de havde så alvorlige hørenedsættelser, at de havde svært ved at føre samtaler. I undersøgelsen blev ingen anden gene nævnt så hyppigt som støj.

I Lønmodtagerundersøgelsen (1992), som omfattede flere funktionærgrupper end LO-undersøgelsen, var der tale om 25% ansatte med støjgener, og i EF-undersøgelsen (1992) var andelen på 27% for hele EF og 26% for Danmark. Størst andel med støjgener finder man i træ- og møbelindustrien, nærings- og nydelsesmiddelindustrien samt sten-, ler- og glasindustrien.

Støjproblemerne begrænser sig langtfra til industrien og andre traditionelt støjende arbejdspladser. Der forekommer også generende og forstyrrende støj på administrative arbejdspladser, i undervisningssektoren samt i social- og sundhedssektoren. Tidligere ansås de fleste sådanne støjproblemer for at være ubetydelige, men i dag er der en voksende erkendelse af, at både medarbejdernes helbred og det udførte arbejdes mængde og kvalitet påvirkes negativt af generende og forstyrrende støj.

I kontormiljøer kommer støjgenerne fra kontormaskiner, edb-udstyr, tekniske installationer, telefonsamtaler og meget andet.

På skoler, i børneinstitutioner og lignende steder har man ofte så alvorlige gener af støj, at det hæmmer eller umuliggør, at arbejdet udføres forsvarligt.

Virkninger

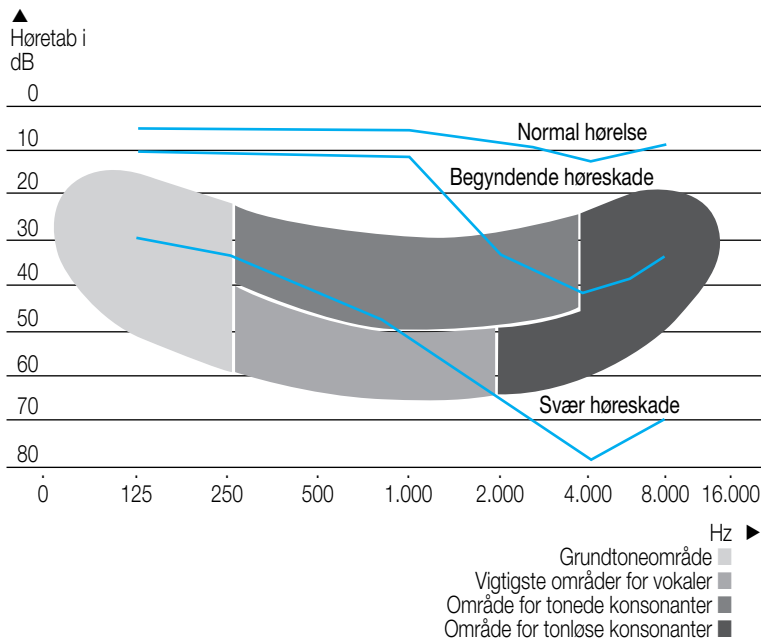
Støj kan skade hørelsen samt give forskellige fysiologiske og psykologiske reaktioner. Foruden direkte skader og gener er der også sociale konsekvenser. Samvær med familie, venner og arbejdskammerater påvirkes både af høreevnen og af den øvrige fysiske og psykiske helbredstilstand. Støj kan også være medvirkende årsag til ulykker.

Støjbettinget hørenedsættelse

Støjbettinget hørenedsættelse kan være midlertidig eller permanent. En permanent støjbettinget hørenedsættelse er en uheldelig beskadigelse af det indre øre.

En begyndende høreskade giver vanskeligheder med at høre højfrekvente lyde, oftest i området 4.000-6.000 Hz (fig. 6.4). Dette nedsætter evnen til at forstå tale. Der er især problemer med at skelne konsonanter. Det bliver særligt vanskeligt at forstå tale, hvis der samtidig er baggrundsstøj. Dette giver typisk problemer ved møder og i selskabelige sammenhænge.

Dertil kommer ringere kvalitet af lydoplevelser ved musik og i naturen.



Figur 6.4. Områderne, som er lagt ind i dette toneaudiogram, viser med tilnærmelse lydniveauet for normal tale på én meters afstand.

Ved fortsat støjpåvirkning bliver hørenedsættelsen værre og rammer efterhånden det egentlige taleområde (fig. 6.4). Den høreskadede vil ofte opleve at være uden for det menneskelige fællesskab og dermed blive mere og mere socialt isoleret. Der er næppe tvivl om, at hørehæmmede personer nu og da forbigås, fordi kommunikationen er vanskeliggjort. Hos nogle medfører dette tendenser til forfølgelsesvanvid (paranoia). En sådan tiltagende mistænksomhed i forhold til andre kan udvikle sig til en regulær psykisk lidelse.

Midlertidig hørenedsættelse er en følge af støj, der ofte undervurderes. Personer, der arbejder i kraftig støj, hører dårligere efter arbejdstid end næste morgen. Samvær med familie og venner finder netop ofte sted i de første timer efter arbejdets ophør, og det kan fx være svært at deltage i snakken ved middagsbordet.

Øresusen (tinnitus) forekommer tit i forbindelse med støjbetingede høreskader. Den kan opleves med varierende styrke og frekvens og kan betyde, at selv mindre høretab giver et betydeligt hørehandikap. Specielt for musikere kan det betyde, at de kan blive tvunget til at forlade deres erhverv.

Støjbetingede høreskader (tunghørhed eller døvhed) opstår som regel ved længere tids påvirkning af kraftig støj over 80 dB(A). Risikoen kan vurderes efter Dansk Standard DS 797:

- ◆ Ved en støjbelastning på 90 dB(A) i 10 år får 11% en alvorlig høreskade.
- ◆ Ved en støjbelastning på 85 dB(A) i 10 år får 4% en alvorlig høreskade.
- ◆ Ved en støjbelastning på 80 dB(A) anses risikoen for høreskader at være meget lille.

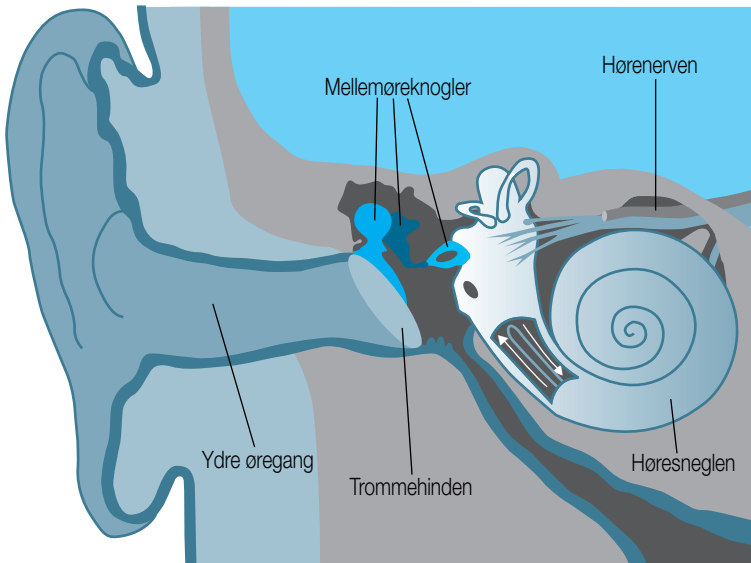
Definitionen på disse "alvorlige høreskader" er, at det gennemsnitlige høretab ved 500, 1.000, 2.000, 3.000 og 4.000 Hz er mindst 20 dB. Dette svarer til et hørehandikap, som i høj grad forringer opfattelseevnen i aktivt dagligliv. Denne definition bygger på rentoneaudiometri, dvs bestemmelse af høretærsklen for rene toner. Imidlertid afhænger den enkeltes hørehandikap ikke entydigt af dette audiometrisk målte høretab. Derfor suppleres med en undersøgelse af evnen til at forstå tale i baggrundsstøj, når en persons hørehandicap skal vurderes, fx i forbindelse med arbejdsskadeerstatninger. Disse høreskadedefinitioner bygger alene på taleforståelighed. De tager ikke hensyn til, at evnen til at opfatte fx lyd i naturen og musik reduceres allerede ved begyndende hørenedsættelse.

I det forebyggende pædagogiske arbejde, bl.a. med lærlinge, elever og andre unge, er det væsentligt at vide, at en høreskade udvikler sig hurtigst i starten. En støjskade nedsætter ofte talefor-

ståeligheden mere end en aldersbetinget hørenedsættelse med samme middelværdi. Støjskader opstået i en yngre alder vil tit senere blive kombineret med en aldersbetinget hørenedsættelse med et forøget hørehandikap til følge.

Kortvarig kraftig støj kan skade hørelsen øjeblikkeligt eller efter ganske få påvirkninger. Det gælder skud, kraftige hammerslag og lignende impulslyde, som fx ofte forekommer i jern- og metalindustrien. Sådanne skarpe lyde forekommer sjældent i naturen, og formentlig derfor opfatter hjernen dem ikke som farlige. Derimod transmitteres impulslydene effektivt gennem det ydre øre og mellemøreknoglerne (fig. 6.5) til det indre øre, hvis sanseceller påvirkes voldsomt. Man regner med, at støj med spidsværdier over 130-140 dB kan give skader efter ganske få påvirkninger. Undersøgelser tyder på, at støj, der indeholder spidsværdier over 110-115 dB, er mere høreskadelig end ikke-impulsholdig støj af samme gennemsnitlige styrke.

Et høreapparat kan langtfra kompensere for en høreskade. Hørehæmmede må ofte opgive at anvende høreapparat, hvor der er baggrundsstøj, fx i trafikken, ved selskaber og i mange andre situationer.



Figur 6.5. Skematisk diagram af øret.

Fysiologiske og psykologiske reaktioner

At støj er defineret som uønsket eller generende lyd, indebærer et subjektivt element: der skal være en person, som opfatter og vurderer det lydbillede, der modtages. Definitionen indebærer også, at den samme lyd kan opfattes som generende (og uønsket) af én person, men ikke af en anden.

I stressforskningen har man identificeret en række karakteristika, der øger sandsynligheden for, at man oplever lyd som støj:

1. *Manglende kontrol.* Hvis man ikke kan bestemme lydstyrken, og hvor længe lyden skal fortsætte, øges tendensen til at opfatte lyden som støj.
2. *Manglende mening.* Lyd, der opfattes som unødvendig og meningsløs, vil oftere opleves som generende, dvs som støj.
3. *Manglende forudsigelighed.* Hvis man ikke ved, hvornår en given lyd vil begynde, og hvor længe den vil vare, vil den være sværere at acceptere for de eksponerede.
4. *Særlige karakteristika ved lyden.* Her spiller lydstyrken, men også en række andre egenskaber (skratten, hvæsen, hvinen etc) en stor rolle.

De vigtigste virkninger

De non-auditive virkninger omfatter såvel helbredsmæssige som adfærdsmæssige reaktioner på støj. Blandt de adfærdsmæssige kan nævnes

- ◆ større fravær
- ◆ større ulykkesrate (opmærksomheden nedsættes, advarselslyde overhøres)
- ◆ større fejlprocent
- ◆ højere forbrug af medicin
- ◆ flere lægebesøg
- ◆ mere uvenlig og aggressiv adfærd.

De helbredsmæssige virkninger er øget stressniveau, irritabilitet, træthed, søvnbesvær, hovedpine, øget blodtryk samt - ifølge nogle undersøgelser - reproduktionsforstyrrelser.

De videnskabelige undersøgelser af non-auditive virkninger omfatter både laboratorieeksperimenter og epidemiologiske observationsstudier. Sidstnævnte undersøgelser drejer sig dels om støj på arbejdspladsen og dels om trafikstøj pga biler, tog eller fly. Især undersøgelser af trafikstøj viser virkninger af støj på ret lave dB-niveauer, hvilket ikke er overraskende.

Undersøgelser har vist perifere kredsløbsforstyrrelser (bleg hud, blegthed i slimhinde i mund og svælg) som følge af støj. Der er påvist sammenhæng mellem støj, blodtryk og puls. Der kan også konstateres ændringer af biokemiske reaktioner, bl.a. øget udskillelse af adrenalin, som er et farehormon. Stort indhold af adrenalin i blodet er en naturlig reaktion i akut belastede situationer,

idet det øger kroppens beredskab. Opretholdes denne tilstand i lang tid, er situationen en anden. Sådanne langvarige reaktioner kan have betydning for udvikling af kredsløbsforstyrrelser.

Det er almindeligt anerkendt, at øget blodtryk - også på niveauer hvor der ikke er tale om hypertension - øger risikoen for blodprop i hjertet og andre hjerte-karsygdomme. Det er skønnet, at udsættelse for støj øger risikoen for hjerte-karsygdomme med 20%, hvilket svarer til 260 dødsfald pr år. Der findes ingen forsøg på at opgøre de samlede non-auditive effekter af støj.

Hoste, hæshed, smerter i halsen og stemmeforandringer er hyppige følger af arbejde i støj, hvor råben og høj tale er nødvendig for at kommunikere.

Kommunikation

Støj kan forstyrre eller ødelægge kommunikation. Dette gælder i højere grad, jo mere koncentreret informationsindholdet i budskabet er. Allerede ved støj på 50 dB(A) kan det være nødvendigt at hæve stemmen for at gøre sig forståelig. På mange arbejdspladser er det nødvendigt at råbe for at blive forstået. I kraftig støj er kommunikation med stemmen helt umulig. Disse forhold er særligt belastende, hvor samarbejde og kommunikation er et nødvendigt led i samarbejdet.

Måling og vurdering

Undersøgelse og vurdering af støjforhold

Hvor støjbelastningen kan være sundhedsskadelig, skal det jævnligt kontrolleres, om forholdene er i orden. De ansatte skal have oplysning om resultaterne af udførte støjmålinger i forbindelse med deres arbejde, herunder om den risiko for høreskade, der kan være forbundet med arbejdet.

Fremgangsmåden ved undersøgelse af støjforhold bør følge principperne i afsnittet om undersøgelse og vurdering af støjforhold. Det er foranstaltningerne, der skal sættes i centrum. Målinger er kun et hjælpemiddel. Det er muligt at give et første skøn over støjniveauet uden at måle ved at følge retningslinierne i tab. 6.2.

Tabel 6.2. Metode til skøn af støjniveau.

Støjfornemmelser på arbejdspladsen	Skønnet støjniveau
Voldsom kraftig: Råb opfattes ikke på ikke på 1/4 m's afstand	> 95 dB(A)
Meget kraftig: Råb opfattes ikke på 1/2 m's afstand	90-95 dB(A)
Kraftig: Forstærket tale opfattes ikke på 1 m's afstand	85-90 dB(A)
Generende: Almindelig tale opfattes ikke let på 1 m's afstand	< 85 dB(A)

Måling af støjbelastning

En orienterende måling skal give en forholdsvis grov kvalitativ oplysning om de beskæftigedes støjeksponering og/eller effektiviteten af trufne foranstaltninger. Orienterende målinger foretaget over korte perioder er i de fleste tilfælde grundlag nok for at afgøre, hvordan støjen skal dæmpes.

Hvis målingerne især skal beskrive støjkilderne, er det vigtigt at angive driftsbetingelserne, fx

Maskinen eller pladsen

- fabrikat
- type
- hastighed
- materiale

Driftstilstand

- typisk
- specielle forhold

Arbejdets udførelse

Foruden støjkilderne beskrives lokalets lydabsorptionsforhold.

Målingerne kan også udføres for at angive de beskæftigedes støjbelastning. Denne defineres som den energimæssige middelværdi af lydniveauet i en given periode. Støjbekendtgørelsen fastsætter støjgrænsen på basis af en 8-timers referenceperiode. Det betyder i princippet, at L_{eq} skal måles med en integrerende lyd-måler over hele 8-timers perioden. I praksis er dette ikke nødvendigt. Hvis den beskæftigede bevæger sig mellem positioner eller udfører job med hver sin støj, kan støjbelastningen bestemmes ved beregning.

Først opdeles arbejdsdagen i perioder, der hver karakteriseres af en L_{eq} -værdi. Opdelingen foretages på grundlag af målinger, iagttagelser og samtaler med de involverede personer. Beregningen følger herefter følgende eksempel:

Tabel 6.3. Eksempel på støjbelastning.

Arbejde	L_{eq}	Varighed pr dag
Mejsling*	94 dB(A)	90 min.
Slibning	90 dB(A)	45 min.
Svejsning	86 dB(A)	150 min.
Montage mv	77 dB(A)	195 min.

* Ved mejsling er støjen "impulsagtig". Spidsværdierne måles til mellem 125 og 130 dB(A). Støjmåleren er af en type, som måler impulserne korrekt. De 94 dB(A) skal derfor korrigeres med + 5 dB(A) til 99 dB(A).

En pladesmed er i løbet af en arbejdsdag udsat for støj angivet i tab. 6.3. Den samlede støjbelastning beregnes ud fra formlen:

$$L = 10 \log\left(\frac{1}{T} [t_1 \cdot 10^{L_1/10} + t_2 \cdot 10^{L_2/10} + \dots + t_n \cdot 10^{L_n/10}]\right)$$

hvor L_i = lydtrykniveau eller L_{eq} -værdien for tidsrummet t_i .
 $T = 8$ timer = 480 min.

For perioder med impulsstøj, hvor spidsværdien gennemsnitlig mindst en gang pr minut overstiger 115 dB(A) eller dB(C), skal der foretages en impulskorrektion ved at lægge 5 dB til det målte lydtrykniveau eller L_{eq} -værdi.

For værdierne i tab. 6.3 fås

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{480} [90 \cdot 10^{(94+5)/10} + 45 \cdot 10^{90/10} + 150 \cdot 10^{86/10} + 195 \cdot 10^{77/10}] \right) = 92$$

Den samlede støjbelastning kan også beregnes ved at udregne støj-point efter Arbejdstilsynets vejledning "Et støjsvagt arbejdsmiljø".

Måling af støjbelastningen skal foretages i de beskæftigedes høreposition. Der måles helst, uden at personen er på selve målestedet, for at undgå lydrefleksioner og lydskygge fra hoved eller bryst. Hvis ikke det er muligt, måles ca 10 cm fra det mest belastede øre. Hvis personer bevæger sig meget rundt og i skiftende støj, kan dosimetre benyttes. Nogle foretrækker dosimetret pga den motivation, der ligger i at inddrage medarbejderne. Det kan være en god indledning til et samarbejde om støjdæmpning. Mikrofonen bør vha et forlænger-kabel placeres så tæt ved øret som muligt fx på en skjortekrave.

Visse dosimetre kan lagre måleværdierne opsamlet i løbet af perioden. Efterfølgende er det derfor muligt at få et indtryk af, hvornår og hvor den væsentligste støjbelastning forekommer.

Detaljerede undersøgelser

For at give grundlag for fx lydteknisk projektering skal man kende støjens frekvensafhængighed. De fleste støjdæmpende tiltag er frekvensafhængige. En simpel frekvensanalyse kan i øvrigt udføres ved at sammenligne dB(A)- med dB(C)-niveauet.

Den groveste egentlige frekvensanalyse består i at måle lydniveauet i oktavnåb. Det hørbare område inddeles i 9 oktavnåb. Frekvensen fordobles for hver oktavnåb, og hvert nåb er karakteriseret ved sin center-frekvens. Oktavnåbene kan underopdeles i 1/3 oktavnåb. Disse målinger kan udføres med let håndterbare, bærbare måleinstrumenter. Skal der udføres endnu mere detaljerede målinger, anvendes mere laboratorieprægede instrumenter. Målesignalet fra lydmåleren kan fx registreres på en båndoptager, til senere analyse.

Denne teknik anvendes sædvanligvis også til måling af efterklangstid. Efterklangstid skal altid analyseres i oktavnåb eller finere.

Beskrivelse af måleapparatur

Lydtrykmålere er efter den internationale norm IEC 651 opdelt i 4 klasser: klasse 0, 1, 2 og 3. Arbejdstilsynet anser ikke klasse 3 for at være af en sådan kvalitet, at en støjmåler eller et dosimeter fra denne klasse kan bruges ved dokumentationsmålinger af støjbelastning. Anvendes en målekæde bestående af flere instrumenter, fx en støjmåler forbundet med en båndoptager, skal kravene opstillet for en klasse 2 støjmåler være opfyldt for den samlede målekæde.

Man må være opmærksom på, at kravene til en klasse 2 støjmåler ikke er ret strenge. Især gælder dette kravene til at kunne måle impulser og høje frekvenser i støjen korrekt. Er der impulser eller særligt høje frekvenser i støjen, bør man derfor undersøge apparatets specifikationer og eventuelt vælge et bedre apparat. Oplysninger om apparatets specifikationer kan gives af leverandøren.

Der sker til stadighed en udvikling inden for måle- og analyseteknikken. Bl.a. kan nævnes lydintensitetsmålinger, FFT- og modalanalyse. Det er værktøjer, som kan anvendes inden for den avancerede maskinakustik, hvis opgave bl.a. er at udvikle støj- og vibrationssvage maskiner og anlæg.

Støjdeklarationer og lydeffekt

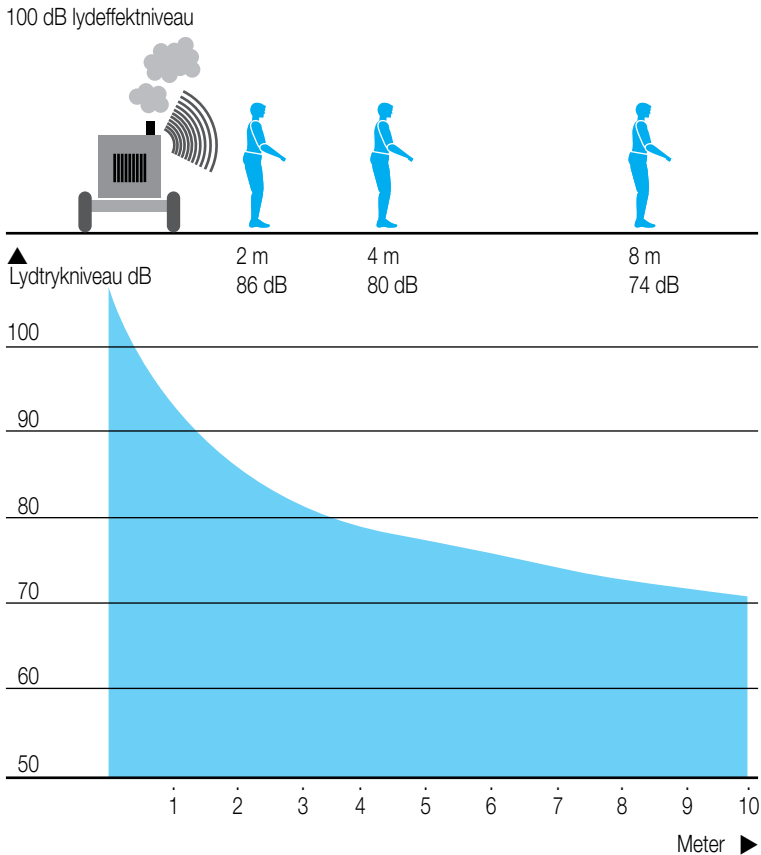
Det er hensigtsmæssigt at kende en maskines støjdata, inden der tages beslutning om at købe den. For det første kan man sammenligne støjdata for maskiner af forskelligt fabrikat, så der - alt andet lige - kan vælges den mindst støjende. Dernæst kan man, med de usikkerheder, som varierende driftsforhold medfører, forhåndsvurdere støjpåvirkningen på arbejdspladsen.

Til alle maskiner skal der være en brugsanvisning. Brugsanvisningen skal oplyse følgende om maskinens lydudstråling:

- ◆ lydtrykniveauet på operatørpladsen, når det overstiger 70 dB(A); ligger det under 70 dB(A), skal dette være anført
- ◆ spidsværdien af lydtrykniveauet, når det overstiger 130 dB(C)
- ◆ lydeffektniveauet fra maskinen, når lydtrykniveauet på operatørpladsen overstiger 85 dB(A).

Brugsanvisningen skal, hvis det er relevant, indeholde oplysning om opstilling og montering med henblik på at mindske støjen. Andre relevante støjdæmpende foranstaltninger som fx indkapsling skal også nævnes, ligesom nødvendig brug af høreværn. Bekendtgørelsen om indretning af tekniske hjælpemidler indeholder nærmere herom. Oplysninger om lydudstrålingen kan man endvidere finde i tekniske datablade, brochurer o.l. for maskinen.

CEN har udarbejdet standarder, der fastlægger, hvordan målingerne for en række maskintyper skal udføres, så resultaterne kan



Figur 6.6. Lydtrykniveauet aftager med afstanden til støjilden. Eksemplet gælder udendørs lydudbredelse i et såkaldt frit felt, dvs uden reflekterende genstande. Her gælder, at lydtrykniveauet aftager 6 dB, når afstanden til støjildens centrum fordobles.

sammenlignes. Både de akustiske og de driftsmæssige forhold beskrives. Findes sådanne standarder ikke, må der anvendes fuldt specificerede driftsbetingelser, som er typiske for maskinens anvendelse, herunder driftsbetingelser, som fastlægger bearbejdningsmateriale, værktøjsopstilling, maskinindstilling osv. Den akustiske side må så dækkes af standarder, som fastlægger fremgangsmåde, måleudstyr, omfang af målinger osv. Her kan henvises til EN ISO 3740-3747 om måling af lydeffekt, og til EN ISO 11200-11204, hvad angår måling af støj på operatørpladsen.

En maskines lydeffekt angiver den totalt udsendte støj fra maskinen. Denne størrelse er uafhængig af maskinens omgivelser, altså en maskinkonstant. Derimod beskriver støjniveauet støjen på et givet sted. Støjen varierer både med afstanden fra støjkilden og med omgivelsernes karakter, fx om der er absorberende flader i nærheden. Lydeffektniveauet kan, ligesom lydniveauet, angives i dB(A). Men de to begreber må ikke forveksles.

Sammenhængen mellem lydeffekt og lydniveau i et simpelt tilfælde fremgår af fig. 6.6. Allerede i 1 meters afstand fra støjkildens "akustiske centrum" er værdien af støjniveauet mere end 10 dB(A) under lydeffektniveauet.

Støjkræfter, støjgrænser mv

Forebyggelse af høreskader

Den 1. januar 1995 trådte bekendtgørelse nr 801: *Støjgrænser på arbejdspladsen* i kraft. De vigtigste bestemmelser heri lyder:

- §3 Ingen person må udsættes for støjbelastning over 85 dB(A) under arbejdet.
- §4 Unødig støjbelastning skal undgås. Støjniveauet, herunder niveauet af infralyd og ultralyd, under arbejdet skal derfor holdes så lavt, som det er rimeligt under hensyntagen til den tekniske udvikling, og de akustiske forhold skal være tilfredsstillende.
- §5 Arbejdsgiveren skal sørge for nedsættelse af støjbelastningen ved
- 1) tekniske foranstaltninger, hvorved støjens opståen, udstråling og udbredelse hindres eller mindskes, eller
 - 2) administrative foranstaltninger i forbindelse med arbejdets tilrettelæggelse, hvor støjreduktionen ikke kan opnås ved tekniske foranstaltninger, eller
 - 3) kombination af tekniske og administrative foranstaltninger.

§6 I de særlige tilfælde, hvor det ikke er muligt ved tekniske og administrative foranstaltninger at nedbringe støjbelastningen til 85 dB(A), må arbejdsgiveren kun lade arbejdet udføre, såfremt der anvendes høreværn.

§7 Hvis støjbelastningen overstiger 80 dB(A), må arbejdsgiveren kun lade arbejdet udføre, såfremt der stilles høreværn til rådighed.

Stk. 2. Hvis støjpåvirkningen i øvrigt er skadelig eller stærkt generende, må arbejdsgiveren kun lade arbejdet udføre, såfremt der anvendes høreværn.

Paragraf 4 og 5 gælder også under grænseværdien på 85 dB(A), såvel for høreskadelig støj som for generende og forstyrrende støj. Dette forudsætter dog, at der kan anvises løsninger, som er "god praksis" på andre tilsvarende arbejdspladser, eller, at det på anden måde kan påvises, at støjen er "unødig".

Det langsigtede mål for forebyggelse af høreskader bør være, at ingen personer på arbejdspladsen udsættes for

- ◆ støjbelastning over 80 dB(A)
- ◆ impulsstøj med spidsværdi over 130 dB(A).

Hvis støjens spidsværdi overstiger 115 dB(A) eller dB(C) mere end én gang i minuttet, skal den målte støjbelastning korrigeres, jf afsnit om måling af støjbelastning.

Generende og forstyrrende støj

Der kan ikke gives faste grænser for, hvornår støj generer. Det afhænger bl.a. af støjens karakter og af lokalernes absorption. Om støj er generende, kan bedst vurderes af dem, der arbejder i den til daglig. En vis vejledning kan fås i de norske bestemmelser:

Arbejdspladser, hvor der stilles store krav til præcision, hurtighed eller opmærksomhed, eller hvor det er vigtigt at kunne tale sammen:

- ◆ Højeste tilladte støjbelastning 70 dB(A).
- ◆ Anbefalet højeste støjbelastning 60 dB(A).

Disse værdier gælder typisk for skrivestuer, bemandede edb-rum, lagerlokaler og visse industrielle montagelokaler.

En anden kategori i de norske bestemmelser er:

Arbejdspladser, hvor der hele tiden stilles store krav til opmærksomhed, eller hvor man skal kunne tale helt uforstyrret sammen:

- ◆ Højeste tilladte støjbelastning 55 dB(A).
- ◆ Anbefalet højeste støjbelastning 45 dB(A).

I ovennævnte bestemmelser medregnes ikke støj fra eget arbejde.

Baggrundsstøj fra tekniske installationer kan være generende, selvom støjniveauet er indtil 30-40 dB(A) lavere end den øvrige støj. Det gælder især, hvor det øvrige støjniveau varierer, og støjkilderne er mennesker, fx på kontorer og i børneinstitutioner.

Baggrundsstøj fra sådanne tekniske installationer bør være højst 35 dB(A). For at undgå ubehag fra lavfrekvent støj bør støjen heller ikke overstige 45 dB(C).

Støjen fra ventilationsanlæg og blæsere fx i kopimaskiner og edb-maskineri generer ofte, selvom støjniveauet er lavt. Støjen herfra bør ikke overstige 40-45 dB(A).

Som eksempel kan nævnes, at et støjniveau på 42 dB(A) fra ventilationsanlægget i en børnehave opfattedes som generende, uanset at der under børnenes leg ofte forekom lyd niveauer på 70-80 dB(A). Arbejdstilsynet forlangte derfor, at støjen skulle nedbringes.

På mere støjende arbejdspladser bør støj fra ventilationsanlæg, spånsugeanlæg o.l. ligge mindst 10 dB(A) under den øvrige støj.

Lavfrekvent støj

Et ofte overset lydproblem er, at større ventilationsanlæg, kompressorer og andre større maskiner udsender kraftig lavfrekvent støj. Lavfrekvent støj kan være meget belastende og især trættende, uden at man lægger særligt mærke til lyden.

Også ved måling er der risiko for at overse den lavfrekvente lyd. Den sædvanligt anvendte dB(A)-skala dæmper de lave frekvenser kraftigt. En god tommelfingerregel er, at hvis en dB(C)-måling overstiger dB(A)-værdien med mere end 5-10 dB, så kan den lavfrekvente støj have gennemæssig betydning.

Rumakustiske forhold

Et lydhardt lokale er ubehageligt at opholde sig i uanset støjniveauet. Dette skyldes, at lyden reflekteres fra rummets hårde begrænsningsflader (vægge, lofter og gulve) næsten uden at dæmpes. Derved bliver efterklangstiden ubehageligt lang. Det medfører også, at lyden når vores ører fra alle sider med næsten lige stor styrke. Lyden er diffus og forvirrer retningssansen.

Det er yderligere belastende, hvis det er nødvendigt at tale sammen i et lydhardt lokale. Det gælder især, hvis der også er baggrundsstøj.

Diffus lyd er altså en stressfaktor. Det gælder især ved arbejde, hvor det er nødvendigt at opfatte lydsignaler fra forskellige steder og uden for synsfeltet. Derfor stilles der i bygningsreglementet ret store krav til lydabsorptionen i børneinstitutioner og i lokaler til særundervisning. Den gennemsnitlige efterklangstid i frekvensområdet 125 til 2.000 Hz må ikke overstige 0,6 sekund. I almindelige klasserum er kravet derimod 0,9 sekund i samme frekvensområde. Erfaringen viser, at de 2.000 Hz er en lav øvre grænse, og det bør tilstræbes, at de angivne efterklangstider overholdes til 3.150 Hz.

I ethvert lokale bør der derfor være en passende lydabsorption. Lydabsorptionen bidrager desuden til nedsættelse af baggrundsstøjen, se afsnit om kontrol af støjens udbredelse.

I At-anvisning nr. 1.1.0.1 om Akustik i arbejdslokaler findes en beskrivelse af de værdier af efterklangstid og ækvivalent absorptionsareal, som Arbejdstilsynet opfatter som tilfredsstillende. Emnet er endvidere behandlet i Arbejdstilsynets: "Et støjsvagt arbejdsmiljø".

Det er en udbredt misforståelse, at gode lydabsorptionsforhold og skærpede krav til de hygiejniske forhold ikke kan forenes.

På Institut for Akustisk Teknologi på Danmarks Tekniske Universitet er udviklet en Pc-baseret metode for beregning af efterklangstid m.m. i rum (ODEON).

Programmet kan beregne den gennemsnitlige efterklangstid i et rum. Herudover kan der i et valgt modtagepunkt foretages en detaljeret beregning af efterklangskurven, og heraf bestemmes ikke alene efterklangstid, men også lydtrykniveau og en række specielle rumakustiske parametre. Reflektionsveje kan vises i 3D-model af rummet, hvilket bl.a. giver mulighed for at identificere ekkoproblemer.

Rummets geometri beskrives vha plane flader defineret ved hjørnepunkter i et koordinatsystem. Alle flader tildeles materialegenskaber i form af absorptionsfaktor, evt hentet fra et materialebibliotek. Lydkilder defineres med position, lydeffekt og retningskarakteristik. Meningsfuld brug af programmet kræver akustisk indsigt hos brugeren.

Forebyggelse

Indledning

I forbindelse med støjbekæmpelse er det vigtigt fra første fase at inddrage de personer, der arbejder med støjkilderne. Megen støj er skabt eller styret af mennesker. Det gælder bl.a. håndteringsstøj og anvendelse af trykluft. Indstilling af maskiner og ikke mindst omhyggelig vedligeholdelse har også stor støjmæssig betydning. Brugere kan bidrage med ideer til støjdæmpningen og kan formulere de krav, der er nødvendige mht betjening, rengøring og vedligeholdelse.

Støjbekæmpelse skal foregå inden for rammerne af virksomhedens sikkerhedsarbejde, evt kan der nedsættes en arbejdsgruppe. Der bør på virksomheden være opnået så megen viden om støj, at det kan vurderes, om udefra kommende samarbejdspartnere er de rette. Især i startfasen kan det være en god ide at få en støjspecialist til kort at undervise en større eller mindre gruppe af medarbejdere. Det kan være nyttigt for teknikere at deltage i egentlige støjdæmningskurser.

Det er praktisk at skelne mellem støjbekæmpelse ved kilden, dæmpning af støjens udbredelse og beskyttelse af støjmodtageren. Det sidste omfatter høreværn, indretning af kontrolrum samt begrænsning af opholdstiden i støjen.

Støjbekæmpelse ved kilden

Bedst er det at undgå støjen ved at købe, konstruere og projektere støjsvage maskiner og redskaber. I forbindelse med indkøb og ved projektering kan professionel bistand være nyttig til at formulere konkrete støj- og vibrationskriterier. Alt for ofte ser man, at øjnene lukkes for fremtidige støjproblemer. Det viser sig gang på gang, at jo senere man tager fat, desto dyrere, besværligere og mindre effektive er mulighederne for at støjdæmpe.

I maskinakustikken opdeles en støjkilde i tre dele:

- 1) Påvirkningen, dvs den lydforårsagende proces.
- 2) Den lydtransmitterende struktur.
- 3) Den lydudstrålende del.

Som eksempel kan nævnes en presse, som stanser i metalplade. Støjen forårsages af stanseprocessen, dvs værktøjets gennembrud af pladen. Værktøjer, opspændingsplaner og pressestativets bærende elementer er den lydtransmitterende struktur, der fører vibrationerne (strukturlyd) til pressens overflade, som udstråler lyden.

De følgende punkter kan betragtes som et "idékatalog". De enkelte principper og eksempler betragtes og uddybes kun lidt. Enkelte principper er helt udeladt, da det ikke er muligt at fremstille dem kort og enkelt. Der henvises til speciallitteraturen.

Valg af anden metode

- ◆ Tryklufttransport af små emner kan erstattes af mekanisk transport.
- ◆ Forhammeren kan erstattes af hydraulik ved retning af stålkonstruktioner.
- ◆ Støjende trykluftrengøring kan erstattes af støvsugning eller andre metoder.

Mindsket påvirkning

- ◆ Smid ikke med jernemner o.l. Tilrettelæg arbejdet, så det er naturligt at "lægge" frem for at "smide". Hjælp hinanden med at udvikle "støjbevidsthed".
- ◆ Ved automatisk emnetransport reduceres faldhøjden.
- ◆ Ved konstruktion af maskiner og værktøjer reduceres "spillerum" mest muligt.

Langsommere påvirkninger

- ◆ Skråtskårne tandhjul er mindre støjende end ligeskårne.
- ◆ Skråtskårne og skråtslebne presseværktøjer støjer mindre.
- ◆ Træbearbejdningskuttere med snoet skær støjer meget mindre.
- ◆ Hydrauliske cylindre støjer mindre end hamre og er ofte bedre til opretningsarbejde.
- ◆ Elastiske mellemlæg dæmper metal/metal sammenstød. Der kan fås gummi- og kunststofmaterialer, som er utroligt holdbare, og under visse forhold mere slidstærke end stål.
- ◆ Støjende stålborde kan belægges med træplanker.

Solidt angrebspunkt

Når en struktur udsættes for vibrationer, overføres der mindre strukturlyd, jo solidere det område er, der påvirkes. Et "solidt" punkt forekommer, hvor konstruktionen er stivest eller har størst koncentration af vægt (masse).

- ◆ Anbring ikke en hydraulikpumpe midt på en tynd plade, men ved kanter, ribber eller andre steder med større stivhed. Placer den helst på konsoller eller andre tunge dele.
- ◆ Placer ikke vibrerende maskiner på en etageadskillelse, specielt ikke hvis der skal være mennesker nedenunder, men solidt på nederste etage, og om muligt på eget fundament.

Afbryd transmissionsvejen

- ◆ Den ideelle vibrationsisolator er luft. Undgå derfor store sammenhængende konstruktioner, hvis det er muligt. Bløde materialer som gummi isolerer svingninger godt. Anvend derfor kompensatorer i rør- og kanalsystemer.
- ◆ Opstil altid maskiner på svingningsdæmpere.

Dæmp klingende flader (resonanser)

- ◆ Ved pladebearbejdning dæmpes med magnetisk antidrøfolie, eller der anvendes små sandsække.
- ◆ Pladesvingninger kan dæmpes ved at påklæbe antidrøfolie eller ved at påføre speciel dæmpemasse.
- ◆ Sandwichplader er meget svingningsdøde. De fås færdige eller kan "skræddersys". Også eksisterende pladedele kan ombygges til sandwichkonstruktioner.

Dæmp lydudstrålingen fra overfladen

- ◆ Undgå forbindelse fra luftstrømme til hulrum. Dæmp evt med lydabsorberende materiale.
- ◆ En perforeret plade er en dårlig højtaler. Et klassisk eksempel er, at en beskyttelseskærm til et remtræk udføres i perforeret plade.
- ◆ Store højtalere er mere effektive end små. Undgå derfor store sammenhængende flader, hvis de påvirkes af vibrationer.

I mange tilfælde vil man kunne beklæde maskinsiderne indvendig med en lydabsorbent. Er pladerne tynde, vil udstrålingen fra dem herved blive dæmpet, og i alle tilfælde vil de komme til at virke som tætsiddende skærme eller som en indkapsling.

Hvor fx emner føres frem gennem rør og slår mod rørvæggen, kan støjen dæmpes med en strålingsmindskende beklædning. Den kan bestå af en skumplast, der limes udvendig på rørvæggen. Uden på skumplasten limes en tung, blød plast, der vil være dårlig til at udstråle lyd.

Nedsæt trykluftstøjen

Der forekommer meget helt unødigt kraftig støj fra trykluft.

- ◆ Nedsæt lufttrykket. Trykluftanlæggets traditionelle 7 bar er kun sjældent nødvendigt.
- ◆ Blæs mindst muligt. Rengøring med trykluft flytter blot støv og snavs.
- ◆ Anvend specielle støjsvage blæsepistoler og mundstykker. De støjer 10 dB(A) mindre for samme blæsekraft.
- ◆ Undgå skarpe kanter i luftstrømme.
- ◆ Sørg for, at alle trykluftafblæsninger er forsynet med lyddæmpere, samt at de udskiftes, når de er defekte.
- ◆ Accepter ikke en forklaring om, at trykluftventilen ikke arbejder hurtigt eller sikkert nok med lyddæmper. Der findes dæmpere med lavt modtryk og dæmpere, som ikke kan stoppe til.

Kontrol af støjens udbredelse

Grundlaget for egentlig projektering af forskellige former for støjdæmpende foranstaltninger omfatter et større antal formler, beregningsmetoder og materialedata. Forsvarlig projektering kræver også en omfattende viden om disse værktøjers anvendelsesområder, begrænsninger og forudsætninger. Det falder derfor uden for rammerne af en basisbog at give mere end en oversigtsmæssig beskrivelse af de forskellige metoder til kontrol af støjens udbredelse.

En vanskelighed ved at dæmpe støjen under dens udbredelse er, at en enkelt overset transmissionsvej, en såkaldt akustisk kortslutning, kan forhindre, at den forventede støjdæmpning opnås. Således kan selv en lille åbning i en indkapsling helt kuldaste det resultat, der er beregnet på grundlag af materialernes isolations- og absorptionsegenskaber. Tilsvarende kan en stiv rør- eller kabelforbindelse ødelægge en ellers perfekt svingningsisolation.

Grænsen mellem støjkilde og støjvej er flydende. Det gælder fx når indkapsling og vibrationsisolering integreres i konstruktionerne.

Indkapsling af støjkilder

Indkapsling af støjilden er ofte en god løsning. Således kan en støjindkapsling kombineret med afsugning også løse andre arbejdsmiljøproblemer, bl.a. beskytte mod støv, dampe, varme, kulde og træk samt skærme bevægelige maskindele og hindre udslyngning af emner, væsker og dampe.

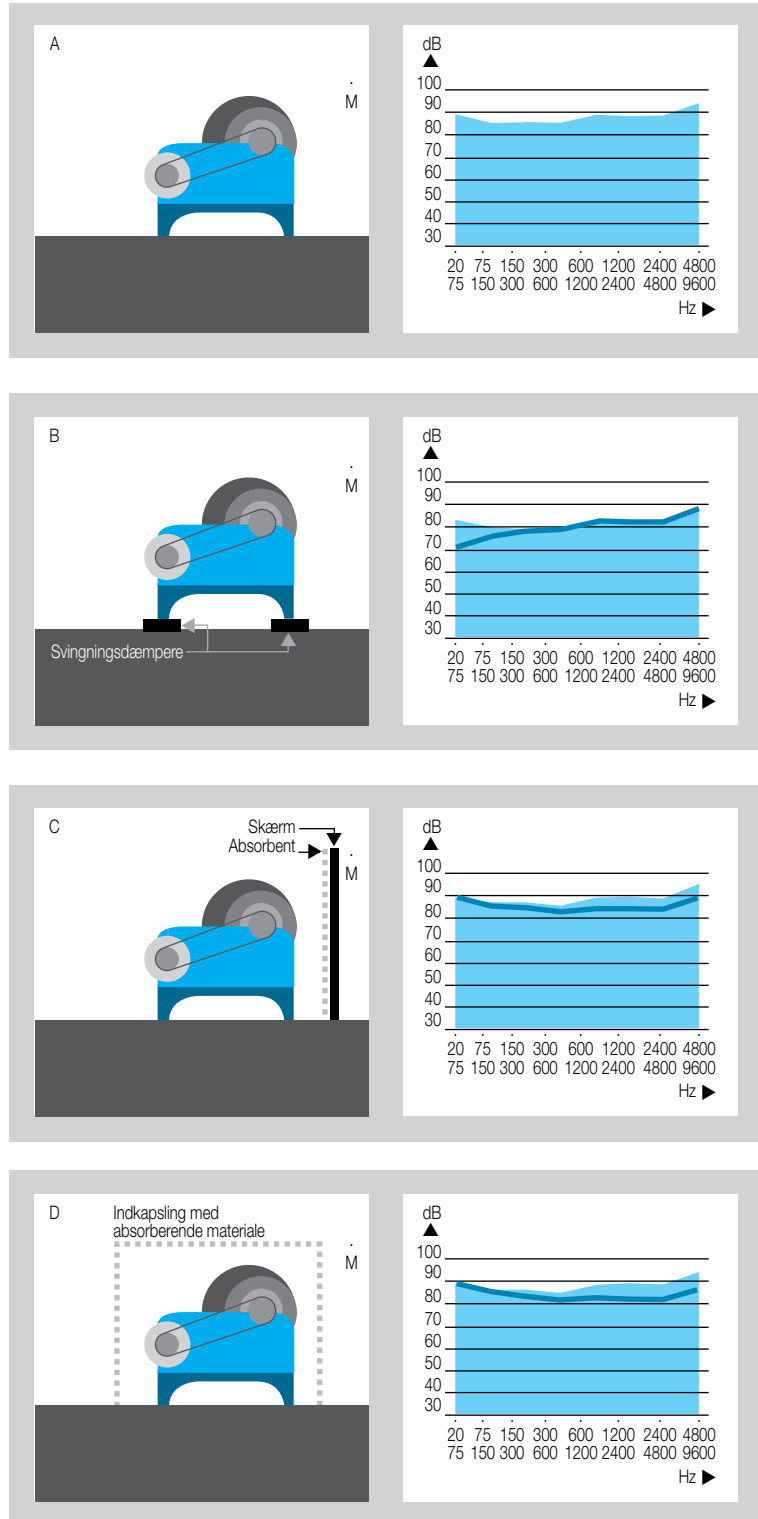
I fig. 6.7 vises den støjdæmpende effekt af indkapslinger. Det

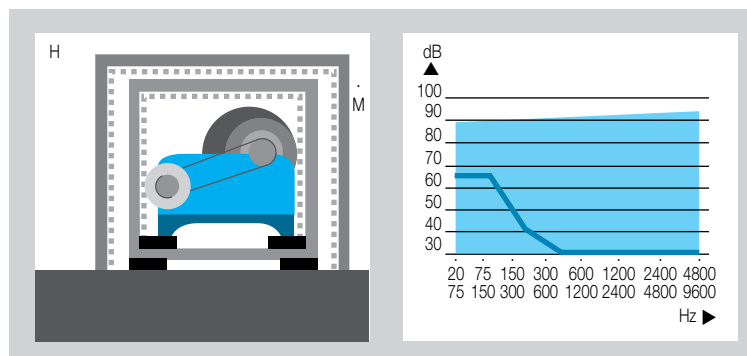
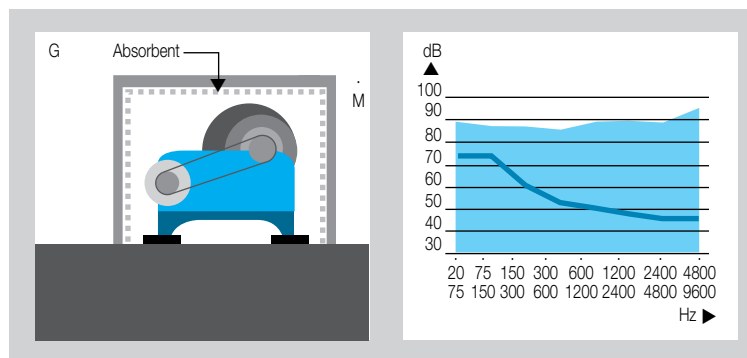
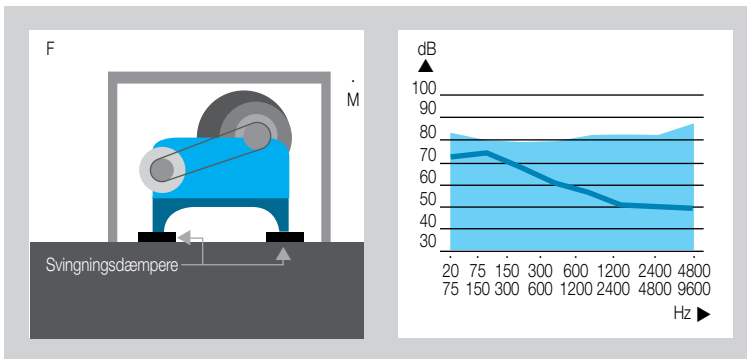
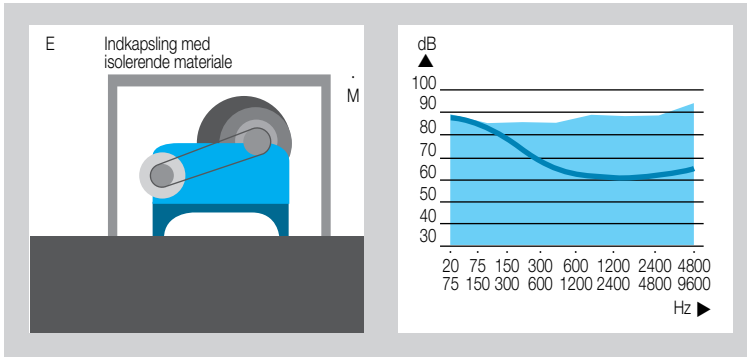
Figur 6.7. Denne efterhånden klassiske figur demonstrerer virkningen af en række lydæmpende foranstaltninger. Selvom der angives konkrete værdier for de opnåede støjæmpningstal, bør disse tal kun betragtes som vejledende. Målemikrofonens placering er mærket M.

Billede A viser den udæmpede maskine og det tilsvarende støjspektrum, mens det i *billede B* demonstreres, at vibrationsisolation kun dæmper støjen ved de laveste frekvenser. Dette er dog en sandhed med modifikationer, idet det ikke så sjældent vil forekomme, at de lavfrekvente vibrationer vil anslå mellem- og højfrekvente resonansfrekvenser for fx konstruktionens pladedele (jf "karosseriklang" i biler).

Billede C viser, at en simpel afskærmning hovedsagelig kun kan reducere højere frekvenser - og det endda kun i forholdsvis ringe grad.

Sammenligning af *billede D* og *E* kan måske medvirke til at aflive den udbredte misforståelse, at der kan opnås en effektiv støjæmpning ved anvendelse af en indkapsling eller skillevæg af et lydabsorberende materiale som skitseret i *billede D*.





En langt mere effektiv støj-dæmpning opnås ved at anvende et ikke-porøst materiale - en isolerende væg. Dennes lydreduktionsstal stiger i øvrigt med væggenes vægt.

Billede F viser, at indkapslingens manglende isolationsvevne ved de laveste frekvenser kan forbedres ved at vibrationsisolere maskinen. Forklaringen på, at dette hjælper, er, at de lavfrekvente vibrationer forhindres i at forplante sig til indkapslingens vægge samt til dækket, hvorpå maskinen er opstillet. Derved undgås, at disse store flader kan fungere som "højtalere".

Billede G viser, at en optimal indkapsling af en støjkilde kan etableres med en vægkonstruktion, som består af et lydisolerende materiale udvendigt og en indvendig beklædning med et lydabsorberende materiale.

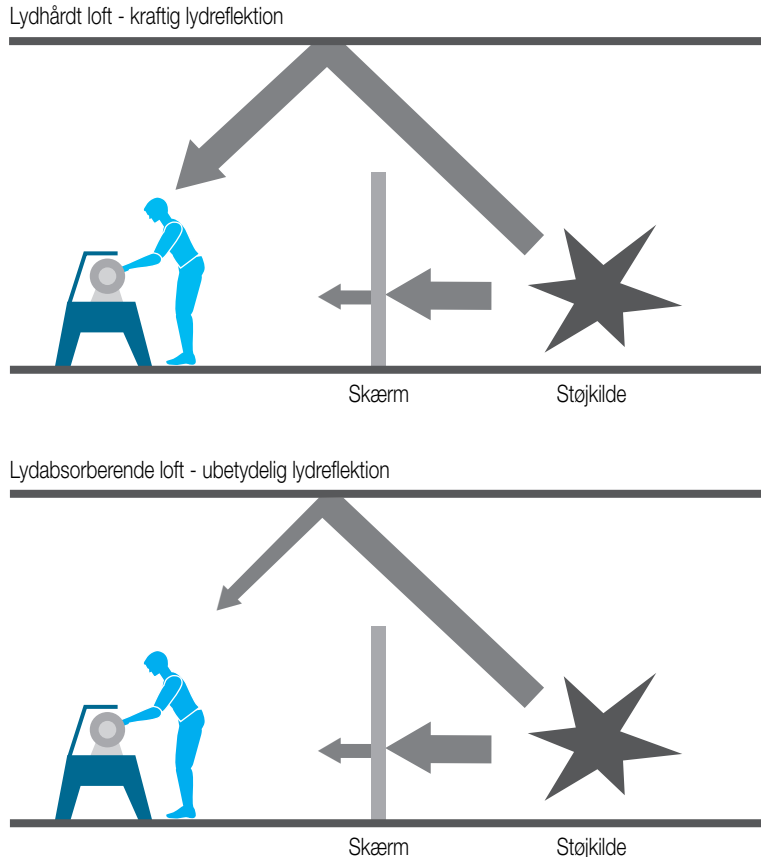
En meget effektiv indkapsling fås ved anvendelse af en dobbeltvægget konstruktion, hvis dele dog skal være effektivt isolerede fra hinanden, som vist i billede H. Det fremgår dog tydeligt, at selv ved denne meget omfattende foranstaltning er virkningen begrænset ved de laveste frekvenser.

fremgår dog ikke, at selv en lille åbning i en lydisolerende flade er en akustisk kortslutning, som stærkt begrænser dæmpningen. De fleste maskiner, der indkapsles, kræver tilgang af materialer eller af luft til køling eller ventilation. De nødvendige åbninger må derfor forsynes med lydsluser eller lyddæmpere. Det kan være nødvendigt at indbygge en ventilator i en af lydsluserne for at sikre en tilstrækkelig luftmængde.

Støjskærme

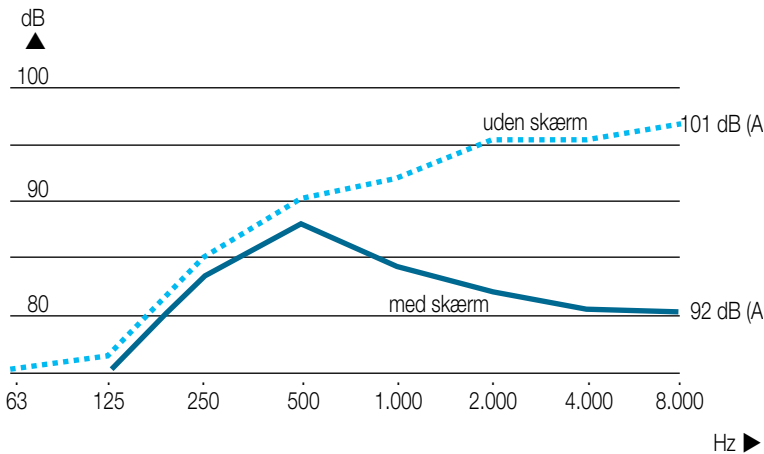
Fig. 6.8 viser, at lydskærme kun er effektive, hvis nærliggende flader ikke reflekterer, dvs at de er lydabsorberende.

Figur 6.8. Lydabsorberende lofter (og eventuelt vægge) er en forudsætning for effektiviteten af lydskærme.



Lydskærme er mest effektive for højfrekvent lyd. Generelt kan lyd betragtes som højfrekvent, når bølgelængden er mindre end skærmens mindste dimension. I fig. 6.9 ses plasticskærmen at være virksom fra ca 1.000 Hz. Dette svarer til en bølgelængde på 0,34 m.

Ikke-absorberende materialer er effektive lydskærme, men de reflekterer lyden med det resultat, at støjniveaue på lydkildesi-



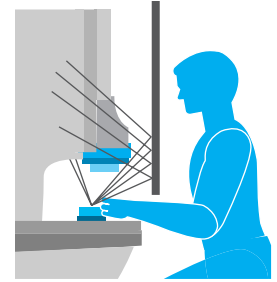
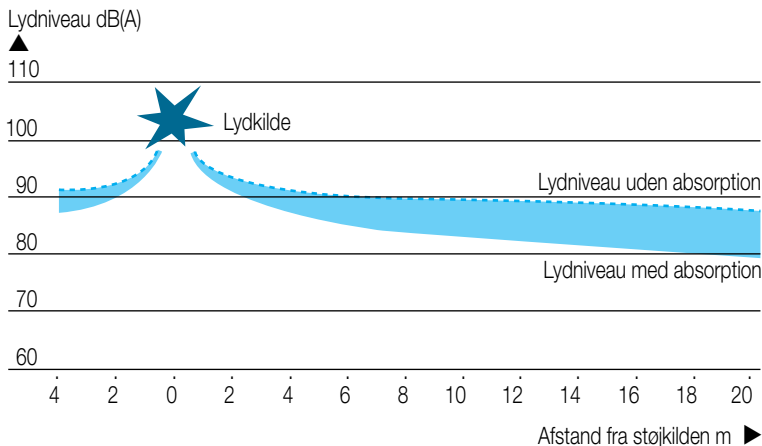
den stiger med indtil 3 dB. Derfor bør skærme, hvor det er muligt, forsynes med en lydabsorbent på den side, der vender mod støjkilden.

Regulering af rumabsorptionen

Forøgelse af et lokales lydabsorption kan sænke det generelle lydniveau i nogen afstand fra støjkilden. Ændringen i lydniveau beregnes af:

$$L - L_0 = L = 10 \log_{10} \frac{T}{T_0} \quad (\text{dB})$$

Fig. 6.10 viser lydudbredelsen fra en enkelt støjkilde i en fabriks-hal, hvor opsætning af et mineraluldsloft har nedsat efterklangstiden fra ca 2,5 sekunder til knap 1 sekund, dvs til omkring 1/3. Ifølge ovenstående formel skulle lyden dæmpes med 5 dB, men da lokalet er langstrakt, opnås op til 9 dB(A) fjernest fra støjkil-



Figur 6.9. Den relativt høffrekvente støj fra bortblæsning af emner på en excenterpresse dæmpes effektivt af en relativt lille akrylskærm. Oktavspektret viser, at frekvenser under 1.000 Hz stort set ikke skærmes.

Figur 6.10. Lydudbredelse indendørs uden og med lydabsorberende loft. Det skraverede område angiver den reduktion af lydtrykniveauet, som forårsages af den øgede rumabsorption.

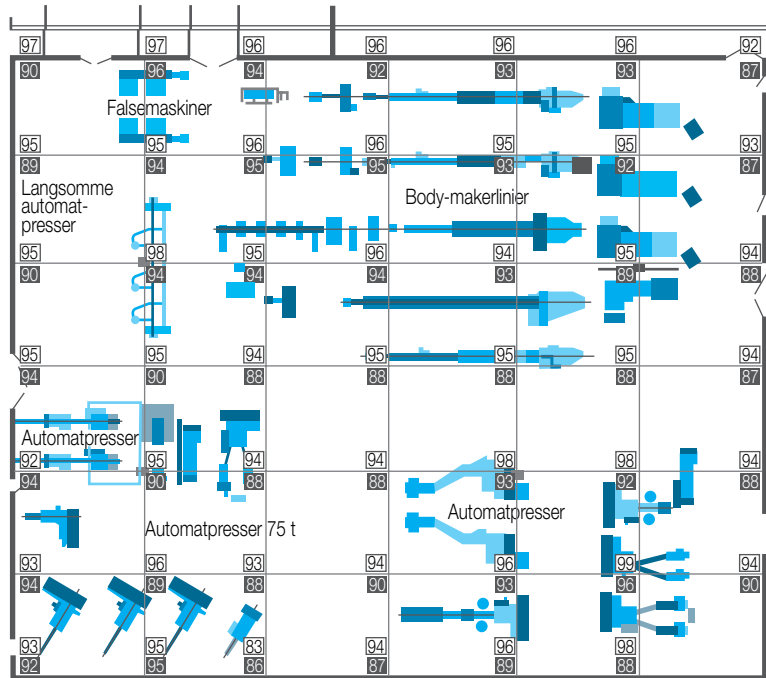
Figur 6.11. "Støjkort" for maskinhal. Denne form for "kvadratkortlægning" giver et overblik over den samlede støjsituation i store lokaler med mange støjkilder. Hvert af de viste felter er 6 x 7,5 m. Det næste skridt i støjkontrollen i denne hal vil være at måle støjniveauet (ækvivalentniveauet, hvis støjen varierer i arbejdsdagens løb) på de enkelte arbejdspladser. På dette grundlag kan der så videre tages beslutning om de støjdæmpende foranstaltninger ved de enkelte støjkilder. Som projekteringsgrundlag for disse lokale støjdæmpende foranstaltninger (skærme, inddækninger, indkapslinger, lyddæmpere, vibrationsisolering, pladedæmpning, maskinændringer etc) vil det ofte være nødvendigt at foretage mere specifikke støj- og vibrationsanalyser.

□□□: Lydniveau dB(A) med lydhårdt loft.

■: Lydniveau dB(A) med lydabsorberende loft.

den. Den direkte lyd dominerer tæt på støjkilden, hvor sænkningen af niveauet begrænser sig til 1-2 dB(A).

Fig. 6.11 viser en kortlægning af støjen i et fabrikslokale, hvor der er runddæmpet som ovenfor beskrevet. Virksomheden er en blikemballegfabrik med mange støjende maskiner. Dæmpningen er 1-2 dB(A) ved de mest støjende maskiner og 5-7 dB(A) i store dele af det øvrige lokale. Eksemplet er typisk for, hvad der kan opnås ved at dæmpe et lydhardt produktionslokale.



Valg af absorbent

Absorptionsegenskaberne skal være i orden. Mineraluldsabsorbenter til runddæmpning skal være mindst 50 mm tykke. Absorbenterne skal helst monteres "nedhængt", dvs i 200-300 mm's afstand fra loft eller væg. Dette er særligt vigtigt, når der er lavfrekvente komponenter i støjen.

Det er meget anvendt at montere akustikplader af mineraluld i nedhængte skinnesystemer. En anden type absorbenter er bafles, der ophænges lodret, hvilket er nyttigt, hvor der skal tages hensyn til eksisterende installationer i loftet.

Absorbenterne bør ikke afgive fibre eller partikler, som kan irritere slimhinder eller hud. Dette krav stilles også for at forebygge slid i lejer og andre maskindele. Mineraluldsabsorbenter bør derfor have overfladen forsejlet med glasvæv, speciel maling, plast eller lignende. Disse overflader må ikke forringe lydabsorptionen

væsentligt. Maling af eksisterende akustiklofter har meget ofte ødelagt lydabsorptionen. Dette kan undgås ved nøje at følge producenternes anvisninger for maling af akustikplader. Til montage i skinnesystemer kan fås særligt kantforseglede mineraluldsplader. Da der som regel finder en vis tilskæring sted, bør de tildannede kanter males. Det er vigtigt også på anden måde at forebygge gener fra fibre ved at gøre rent. Det gælder især efter montagen, fra hvilken der kan være store mængder af skærestøv. Ved støvsugning af akustiklofter skal anvendes specielle mundstykker.

Der må advares imod, at man i bestræbelserne på at undgå mulige gener fra fibre får etableret lokaler, som er akustisk dårlige.

Hvis mineraluldsabsorbenterne kan beskadiges, fx ved berøring, skal de beskyttes med perforeret plade, strækmetal eller lignende. Alternativt kan anvendes de mere robuste skumplastabsorbenter, som ikke afgiver fibre. Man skal dog være opmærksom på, at selv såkaldt brandhæmmet skumplast kan brænde, når temperaturen bliver høj nok.

Af hygiejniske grunde eller fordi opsugning af olie, fugt eller andet skal undgås, kan det være uacceptabelt med porøse overflader. I de senere år er udviklet en række absorbenter forsynet med en ganske tynd "hud", som næsten ikke påvirker lydegenskaberne.

Der er talrige eksempler på hygiejnisk forsvarlige absorberende lofts- og vægbeklædninger og bafler i storkøkkener, i levnedsmiddelindustrien og på medicinalfabrikker.

Der skal, især ved montage af loftsabsorbenter i eksisterende lokaler, tages hensyn til rør, kanaler, sprinklere og andre installationer. Heller ikke lysforholdene må overses. Der skal tages hensyn til armaturer, ovenlys og vinduer.

Ovenstående gælder i stort omfang også absorbenter til skærme, indkapslinger, lydsluser og lyddæmpere.

Litteratur

100 Practical Applications of Noise Reduction Methods, London, HM Factory Inspectorate, 1983.

Anderson J. Akustik & Buller, Stockholm, Ingenjörsförlaget, 1974.

Dansk Standard DS 797: Bedømmelse af støjeksponering på arbejdspladsen med henblik på hørebeskyttelse. Dansk Standard 1986.

EN ISO 3740-3747: Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources. Danish Standards Association.

EN ISO 11200-11204: Acoustics - Noise emitted by machinery and equipment - Determination of sound pressure levels. Danish Standards Association.

Et støjsvagt arbejdsmiljø, Arbejdstilsynet.

Jensen J. Gybel. Støjdæmpning i jern- og metalindustrien, Jernets Arbejdsgiverforening, 1980.

Jørgensen JU. Støjbekæmpelse - principper og praksis, Arbejdsmiljøfondet, 1980.

Sound Solutions - Techniques to reduce noise at work, Health & Safety Executive, 1995.

Branchevejledninger om støj

Almen industri

Støj i træ- og møbelindustrien (nr. 27-29).

Støj og vibrationer i betonindustrien (nr. 18-92).

Det grønne område

Arbejdsmiljø i svinestalde.

Grafisk industri

Støjmåling og støjvurdering (blanketter).

Jernindustrien

Støjvurdering og støjmåleskema.

Støjdeklarering af excenterpresser.

Nærings- og nydelsesmiddelindustrien

Støj skal dæmpes - også i fiskeindustrien.

Støj skal dæmpes - også i konserverindustrien.

Støj skal dæmpes - også i sukkervare- og chokoladeindustrien.

Støj skal dæmpes - også i tobaksindustrien.

Støj skal dæmpes - også i fjerkræslagterierne.

Undervisning

Lyd- og støjforhold på undervisningsområdet.

KAPITEL 7

Infralyd og ultralyd

H. Magierkiewicz

Infralyd og ultralyd

Infralyd

Egenskaber

Infralyd defineres som lydbølger med frekvens under 20 Hz.

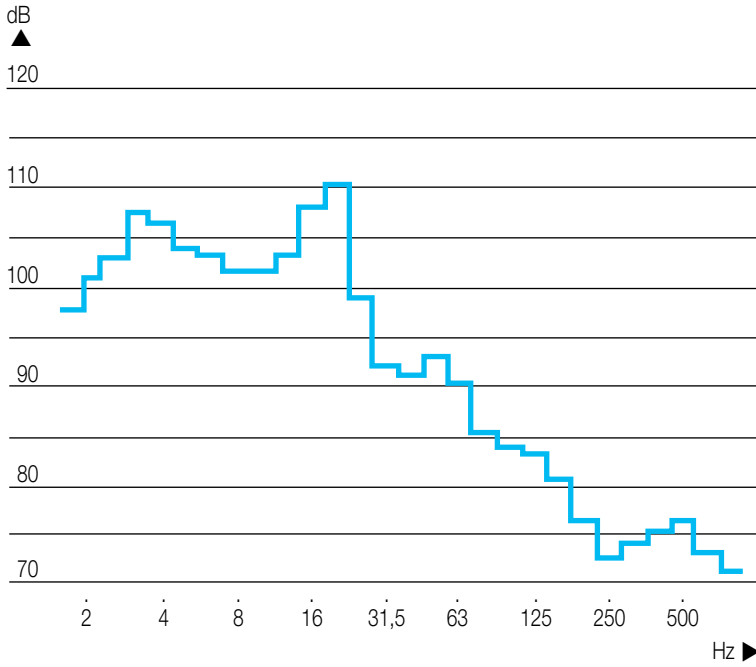
Kilder og forekomst

Infralyd forekommer i naturen ved torden samt i forbindelse med vandfald og havbølger. Menneskabt infralyd skyldes vibrerende flader og strømmende luft.

Vibrerende flader er sjældent årsag til infralyd i arbejdsmiljøet. Det skyldes, at en vibrerende maskindel skal være meget stor for effektivt at udstråle infralyd. Den almindeligste form for infralyd fra flader er bygningsdele eller lignende, som sættes i svingninger af store langsomtgående maskiner. Det er årsagen til, at der forekommer en del infralyd i skibe.

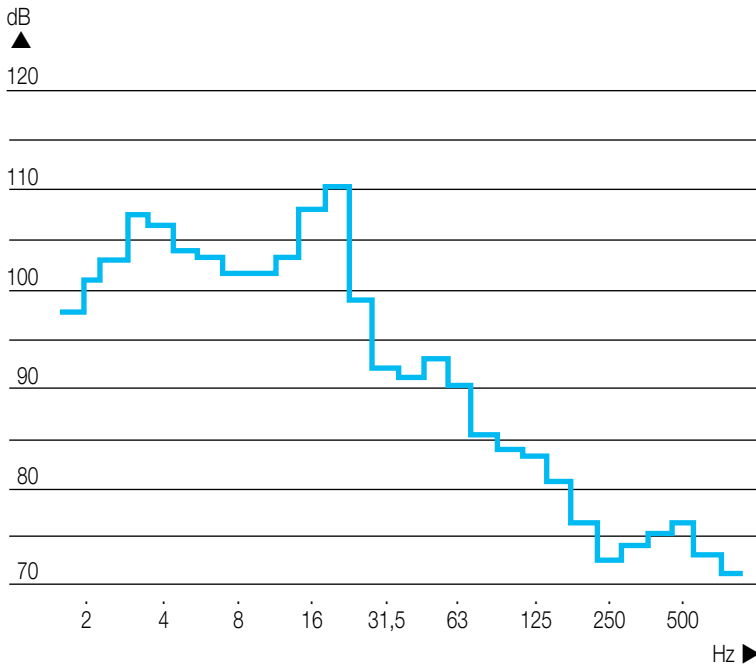
Det er mere almindeligt, at infralyd dannes af strømmende luft. Man skelner mellem infralyd fra turbulent strømning og fra periodiske luftsvingninger. Temmelig kraftig infralyd forekommer i almindelige personbiler, der kører med nedrullet vindue. Infralyden skyldes luftens turbulente strømning forbi det åbentstående vindue, hvorved der opstår en slags fløjtevirkning, som forstærkes af en hulrumsresonans i bilen. Som det fremgår af fig. 7.1, kan der opstå infralyd med niveauer over 100 dB. Tilsvarende kan strømmende luftmængder i skorstene og ventilationsanlæg forårsage kraftig infralyd.

Stempelmotorer og især stempelkompressorer udsender kraftigt pulserende luftstrømme fra stempelbevægelserne i cylindrene. De største af disse maskiner pulserer så langsomt, at de også inde-



Figur 7.1. Frekvensanalyse af infralyd og støj i en almindelig personbil. En forrude er åben, og farten er 110 km i timen.

holder infralyd. Også forbrænding i kedler og ovne kan føre til luftpulsationer i form af infralyd og lavfrekvent lyd (jf fig. 7.2).



Figur 7.2. Frekvensanalyse af infralyd og støj i elektro-stålværk.

Som det antydes af fig. 7.1 og 7.2, forekommer kraftig infralyd så at sige aldrig, uden at der samtidig er kraftig lavfrekvent lyd, dvs lyd fra 20 Hz og op til ca 200 Hz.

Virkninger

En af myterne om infralyd er, at den ikke kan høres. Det er forkert. Hvis lydtrykket bliver stort nok, kan man høre infralyd i hvert fald ned til 2 Hz. Forsøg har vist, at høretærsklen ved 10 Hz er omkring 100 dB, og ved 2 Hz er den 120 dB. Det har vist sig, at infralyden ikke skal ret meget over disse værdier, før den opleves som kraftig og generende.

Man regner med, at infralyd af en styrke over 120-130 dB kan forårsage høreskader. Forsøg har også vist, at infralyd over 130 dB kan påvirke ligevægtsorganet og derved forårsage svimmelhed.

Det har været omtalt, at påvirkning kan give symptomer som hovedpine, hjertebanken og blodtryksændringer. Om årsagen er infralyd alene, er uvist, bl.a. fordi infralyd altid forekommer sammen med andre miljøfaktorer.

Der er næppe tvivl om, at generne af infralyd er meget begrænsede, så snart styrken er under høretærsklen. Mange af de gener, som tilskrives infralyd, er i højere grad forårsaget af samtidigt forekommende lavfrekvent lyd mellem 20 og 200 Hz. Den meget kraftige lavfrekvente støj (og infralyd) i et kompressorrum opleves som en ubehagelig trykken for brystkassen. Lydtrykket er her typisk 110-130 dB i frekvensområdet mellem 5 og 50 Hz.

Måling og vurdering

Måling af infralyd kræver specialudstyr, som kan registrere de lave frekvenser korrekt og vægte dem i overensstemmelse med G-vægtningsskurven. G-vægtningsskurven er fastlagt i DS/ISO 7196 - Frekvensvægtning til brug ved måling af infralyd, 1995. G-kurven vægter infralydfrekvenserne således, at resultaterne giver et billede af ørets opfattelse af infralyd.

En tilnærmelsesvis bestemmelse af det G-vægtede lydtryk-niveau kan opnås ved at måle infralydniveauer i 1/3 oktavniveauer (uden vægtning) og dernæst at korrigere de målte værdier med G-kurvens vægtningsværdier. Disse værdier findes i DS/ISO 7196 i tabelform.

En overslagsmæssig måling kan foretages med en lydmåler med frekvensområde ned til 2 Hz: Hvis dB(lin) overstiger dB(C) med mere end 5-10 dB, er der formentlig en del infralyd til stede

(jf den tilsvarende tommelfingerregel i afsnittet om lavfrekvent støj).

Ved vurdering af, om infralyd i det konkrete tilfælde kan være en skadelig faktor i arbejdsmiljøet, må det erindres, at infralyd næsten altid forekommer samtidig med lavfrekvent støj. Der er en vis overlapning i vores opfattelse af disse påvirkninger, grænsen ved 20 Hz er temmelig tilfældig. Både infralyd og lavfrekvent lyd opfattes af øret og via luftens vibrationer af kroppen.

Grænseværdier

Der er ikke fastsat en egentlig dansk grænseværdi for udsættelse for infralyd. Infralyd er omfattet af Arbejdstilsynets bekendtgørelse nr. 801 af 4. oktober 1993 om støjgrænser på arbejdspladsen, idet støjniveauet og herunder niveauet for infralyd skal holdes så lavt, som det er rimeligt under hensyntagen til den tekniske udvikling.

I At-meddelelse nr. 4.06.4 om Infralyd anbefales 95 dB(G) som en vejledende værdi, der ikke bør overskrides, for en 8 timers daglig udsættelse for infralyd.

Det skal dog bemærkes, at personer med særlig god hørelse for lave frekvenser kan opfatte og være generet af infralyd med niveauer ned til 85 dB(G).

I arbejdssituationer, hvor der samtidigt forekommer anden støj, kan lidt højere niveauer accepteres, idet infralyden som regel er mindre generende, når der samtidigt forekommer anden støj.

I transportmidler som busser og lastbiler vil det ofte være forbundet med store vanskeligheder at reducere infralydniveauet til under 100 dB(G), hvilket må anses for acceptabelt, pga den samtidige forekomst af anden støj.

Forebyggelse

Jo lavere frekvens støj har, jo vanskeligere er den at dæmpe.

Infralyd dæmpes stort set ikke af høreværn, indkapslinger eller skærme. Derfor er man henvist til at dæmpe ved kilden, dvs hindre, at infralyd overhovedet opstår. Principperne for bekæmpelse er som for hørbar lyd og er beskrevet i afsnittet om bekæmpelse af støj. Her skal kort nævnes:

- ◆ Undgå, at vibrationer overføres til store flader, som kan udstråle lavfrekvent støj og infralyd.
- ◆ Undgå, at store luftstrømme passerer skarpe kanter og andre forhindringer, som kan forårsage turbulensstøj. Undgå forstærkende hulrums- og orgelpiberesonanser.

- ◆ Indsugnings- og udstødsstøj fra motorer og kompressorer dæmpes med effektive lyddæmpere.

Principperne er enkle, men det vil ofte kræve bistand fra sagkyndige at gennemføre konkrete, effektive foranstaltninger.

Ultralyd

Egenskaber

Ultralyd er lydbølger med frekvenser over 18.000 Hz. Der forekommer ultralyd med frekvenser langt op i MHz-området.

Man kan høre på mange ultralydapparater, at de arbejder. Det skyldes, at de, foruden ultralyd, også udsender hørbar lyd (subharmoniske svingninger).

Styrken af luftbåren ultralyd måles i dB. I væsker og faste stoffer måles intensiteten i watt pr kvadratmeter.

Når ultralyd rammer grænsefladen mellem to stoffer, vil en del passere over i det andet stof, en smule omdannes til varme (absorberes), og resten reflekteres. Det er denne egenskab, man anvender til ekkolod og andre måleinstrumenter. Jo mere forskellige stofferne er, desto mindre del af ultralyden vil passere grænsefladen. Fra væsker til luft, eller omvendt, vil kun ca 1/1000 af ultralydens energi blive overført. Derfor behøver man ikke at bekymre sig om luftbåren ultralyds indtrængen i væv, men om, hvorvidt påvirkningen sker via øret. Derimod overføres en stor del af ultralydsenergien fra faste stoffer til væsker og omvendt. Således vil ultralyden passere næsten uhindret ind i vævet på en hånd, der fx er neddyppet i væsken i et ultralydrensekar.

Forekomst

Ultralyd forekommer sjældent i naturen. Dog anvender delfiner, flagermus og visse insekter ultralyd til navigation og kommunikation. Det meste ultralyd er menneskeskabt. I de senere år har ultralyd fået stor udbredelse. Den anvendes i industrien, til medicinske formål samt til en række målemetoder. De højeste ultralydstyrker forekommer i forbindelse med processer, som direkte anvender energien i ultralyden. De vigtigste anvendelser af ultralyd er:

- ◆ Rensning af fx metalemner i et kar med væske. Frekvensområdet er normalt 20-40 kHz. Der forekommer ofte også kraftig, højfrekvent, hørbar lyd.
- ◆ Svejsning af plast og metal med ultralyd. Emnerne vibrerer mod hinanden ved et let tryk, hvorved der dannes varme. Frekvensen er normalt ca 20 kHz. Der kan forekomme højfrekvent, hørbar lyd, som kan være generende og i visse tilfælde høreskadelig.
- ◆ Ultralydterapi til behandling af blodansamlinger og andre vævsforandringer, hovedsagelig i muskelvæv. Frekvensen er normalt fra 700 kHz til 3 MHz, og det er så langt over høreområdet, at det ikke følges af hørbar lyd. Ultralydenergien påføres med et ultralydhoved eller via et vandbad.
- ◆ Ultralydscanning til diagnostik.
- ◆ Tandrensning med ultralyd til fjernelse af tandsten og andre aflejringer. Værktøjerne opererer ved frekvenser fra 18 til 20 kHz, og der forekommer derfor højfrekvent, hørbar lyd. Visse hurtigtløbende tandlægebor kan afgive ultralyd.
- ◆ Procesforbedring. Ved at påvirke værktøjerne med ultralyd opnås pænere forarbejdning. Det gælder bl.a. boring, drejning og slibning samt trækning af tråd og rør i metal. Frekvensen er ofte omkring 20 kHz og følges som regel af højfrekvent, hørbar lyd.
- ◆ Måle- og styreprocesser til bl.a. kontrol af materialers og svejsningers kvalitet, flowmåling, niveaumåling, afstandsmåling i luft og væsker (ekkolod) samt til fjernstyring (TV), tyverialarmer og meget andet. Som regel er effekterne så små, at selv direkte forkert brug må formodes at være helt ufarlig for mennesker.
- ◆ Rotteskræmmere. De udsender lyd fra 10 kHz og langt op i ultralydområdet. Sådanne apparater bør være slukket, når der er mennesker til stede.

Virkning

Viden omkring de sundhedsskadelige effekter af udsættelse for ultralyd er stadigvæk temmelig mangelfuld. Dette gælder for såvel luftbåren ultralyd som for ultralyd, der overføres til væv via væske eller faste stoffer. Der er dog en vis international enighed om nogle af disse effekter.

De færreste mennesker kan høre luftsvingninger over 16 kHz. Ultralyd opfanges dog af hørelsen, og forsøg tyder på, at ultralyd lige over det hørbare område fejlagtigt kan opfattes af hjernen som temperaturstigning.

Ved luftbåren ultralyd rapporteres om trykken eller susen for

ørerne, om træthed, hovedpine, svimmelhed og kvalme. Disse symptomer optræder ved 70-115 dB, når ultralydens frekvens er lige over det hørbare område. Ultralyd er ved disse frekvenser meget ofte fulgt af hørbare, højfrekvente, rene toner, som kan være meget generende. Det er derfor sandsynligt, at de nævnte symptomer ofte skyldes de højfrekvente toner eller en kombination af disse og ultralyd. Det formodes, at meget kraftig ultralyd kan give høreskader.

Kraftig ultralyd kan beskadige menneskeligt væv, enten ved kavitation (bobledannelse) eller ved opvarmning. Risikoen er stor, hvis man dypper hånden i et ultralydbad. Også ved berøring af faste legemer kan der overføres store mængder ultralydenergi. En sådan risiko foreligger ikke ved luftbåren ultralyd, idet 99,9% af energien reflekteres, når ultralydbølgen rammer huden.

Måling og vurdering

En tommelfingerregel er, at hvis der ikke er hørbar følgelyd, så er der næppe luftbåren ultralyd af betydning.

Der findes lydsmålere, som er i stand til at måle ultralyd op til 40 kHz. I almindelighed vil det ikke have nogen betydning at kunne måle højere frekvenser, fordi de næsten aldrig forekommer i arbejdsmiljøet.

Det er ikke muligt i praksis at måle den ultralydenergi, som overføres til det menneskelige væv fra væsker eller faste legemer, som vibrerer med ultralydfrekvenser. Det er en af grundene til, at kontakt skal undgås.

Grænseværdier

Der er ikke fastsat danske grænseværdier for udsættelse for ultralyd.

Luftbåren ultralyd er omfattet af Arbejdstilsynets Bekendtgørelse nr. 801 af 4. oktober 1993 om støjgrænser på arbejdspladsen, idet støjniveauet og herunder niveauet for ultralyd skal holdes så lavt, som det er rimeligt under hensyntagen til den tekniske udvikling.

I At-meddelelse nr. 4.06.3/1987 om brug af ultralyd fastsættes vejledende grænseværdier for en 8-timers daglig udsættelse for luftbåren ultralyd:

20 kHz	100 dB
25 kHz	110 dB
31,5 kHz	110 dB
40 kHz	110 dB

De angivne frekvenser er centerfrekvenser for 1/3 oktavnåb.

I At-meddelelsen findes ikke tilsvarende vejledende grænseværdier for ultralyd overført til væv via væske eller faste stoffer, da al berøring/kontakt skal undgås.

Forebyggelse

Luftbåren ultralyd og højfrekvent støj forekommer ofte samtidig. Begge dele er meget nemme at dæmpe ved kendte støjdempningsmetoder (jf afsnittet om bekæmpelse af støj).

Fjerner man sig fra en støjkilde, fås en vis afstandsdem্পning, fordi lydenergien fordeles over et større område. For højfrekvent lyd og især ultralyd aftager lydniveauet kraftigere end denne dem্পning, fordi svingningsenergien omdannes til varme (absorberes) ved sin udbredelse gennem luften. Denne dem্পning øges med frekvensen. Ved 20 kHz er dem্পningen ca 1 dB pr meter, mens den ved 200 kHz er 10 dB pr meter, og i MHz-området er den så stor, at vores øre stort set aldrig udsættes for så højfrekvent ultralyd.

Selv ganske tynde plader vil kunne skærme effektivt mod direkte ultralyd og højfrekvent lyd. Pladerne kan eksempelvis være 1 mm jern, tynde spånplader eller 4-5 mm akryl. Sidstnævnte fås helt glasklare. Skærmvirkningen er stor, fordi ultralyd (og højfrekvent lyd) er meget retningsbestemt, dvs kan betragtes som "stråler".

At lyden er retningsbestemt, har dog også den virkning, at hårde flader (vægge, lofter eller maskindele) reflekterer lyden. Denne "spejleffekt" betyder, at personer kan rammes indirekte af lyd fra ultralydudstyr. Opsætning af lydabsorbenter som mineraluld eller skumplast vil nemt kunne fjerne reflektionerne. Pga lydens meget korte bølgelængde kan absorbenterne være tynde, 10 mm er rigeligt.

Alle typer høreværn er meget effektive over for højfrekvent lyd og ultralyd. Det forudsættes, at betingelserne (jf afsnit om høreværn) for høreværns effektivitet er opfyldt.

Ultralydapparat skal være konstrueret, så ultralyden kun optræder i de dele, hvor funktionen kræver det. Håndtag, skærme og andet, der kan berøres, bør være adskilt eller vibrationsisoleret fra de vibrerende dele. Det er let at gøre.

Ultralydbade o.l. kan forsynes med låg eller på anden måde sikres mod utilsigtet neddykning af hænder mv. Låget bør isoleres, så der ikke optræder ultralyd i dette eller udsendes luftbåren ultralyd. Dette gælder også karrenes sider og bunde. Ultralyd i tynde plader kan dæmpes med antidrønfolier o.l.

Litteratur

Arbejdstilsynets bekendtgørelse om støjgrænser på arbejdspladsen, nr. 801 af 4. oktober 1993.

At-meddelelse om brug af ultralyd nr. 4.06.3/1987.

At-meddelelse om Infralyd, nr. 4.06.4./1987.

DS/ISO 7196 - Frekvensvægtning til brug ved måling af infralyd, 1995.

KAPITEL 8

Vibrationer

*J. Gybel Jensen
P. Lykkeberg*

Vibrationer

Egenskaber

Vibrationer er mekaniske svingninger. Foruden frekvens og styrke skal de - i modsætning til lyd - også beskrives ved deres retning. Som mål for styrken bruges som regel accelerationen, a , som angives i m/s^2 eller i dB i forhold til referenceværdien $10^{-6} m/s^2$. I arbejdsmiljøsammenhæng skelner man mellem lokale vibrationer og helkropvibrationer.

Ved lokal vibrationspåvirkning er det så godt som altid hånd, arme og skuldre, der påvirkes, og derfor bruges betegnelsen hånd-arm vibrationer. På samme måde som man vægter frekvenserne med et A-filter i en lydtrykmåler, kan frekvenserne vægtes med et såkaldt hånd-arm (HA) vægtningsfilter. Resultatet angives i dB(HA).

Helkropvibrationer er betegnelsen for den påvirkning, hele kroppen udsættes for, når en person står, sidder eller ligger på et vibrerende underlag.

Kilder og forekomst

Skadelige hånd-arm vibrationer forekommer i mange erhverv. Nedenstående liste er langt fra komplet.

Betonelementindustri: Stavvibratoren.

Bygge og anlæg: Luftmejsler, slibemaskiner, boreværktøjer (især slagbor), stampere, vibratoren, rat på entreprenørmaskiner.

Jern og metal:	Luftmejsler, møtrikspændere, nitteværktøj, slibere, slibning af emne mod slibesten. Lavere niveauer fra håndfræsere og trykluft-skruetrækkere.
Skovbrug:	Motorkædesave og kratryddere.
Slagterier:	Save.
Tekstil:	Tilskæremaskiner og symaskiner.

Mejselhamre, som anvendes i mange erhverv, fx stenindustrien og i støberier, hører til de kraftigst vibrerende værktøjer. Mange værktøjer er i dag væsentligt mere vibrationssvage end for 10 år siden. Det gælder bl.a. motorkædesave og betonbrækkere. Mange elektriske hobbyværktøjer er også kraftigt vibrerende, men man regner med, at når de kun bruges lejlighedsvis, nedsættes sygdomsrisikoen væsentligt.

Helkropsvibrationer forekommer ved mange transportmidler, entreprenørmaskiner, trucks, traktorer og visse store industrimaskiner som betonstøbemaskiner.

Virksomheder

Hånd-arm vibrationer

Første tegn på sundhedsskadelige vibrationer er snurrende og eventuelt følelseløse fingre. Efter nogen tid (måneder, år) kan der komme anfald af "hvide fingre" ved afkøling. Fingrene bliver "døde", kolde og hvide. Anfaldene skyldes krampe i pulsårenes vægge. Ved fortsat vibrationspåvirkning breder symptomerne sig til flere fingre, eventuelt på begge hænder. Anfaldene udløses af kulde.

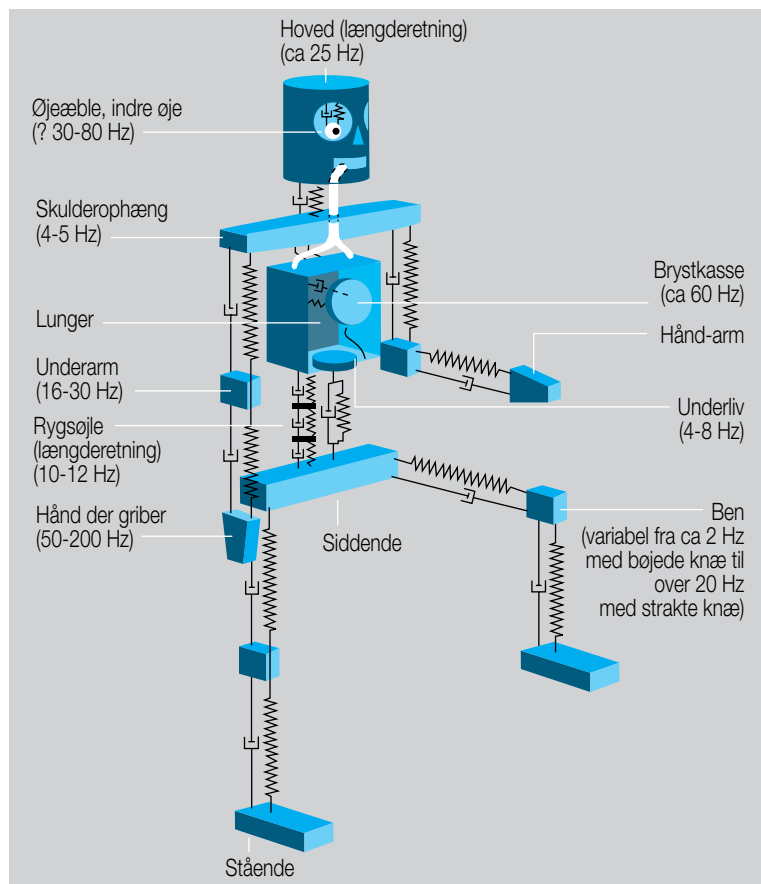
Senere kan der opstå åreforkalkning og nerveskader med ned-

	Hyppighed
Stenhuggere	72%
Stemmere (skibsbygning)	58%
Skovarbejdere	29%
Nittere	28%

Tabel 8.1 En dansk undersøgelse har vist meget høje hyppigheder af "hvide fingre" inden for 4 erhverv.

sat følesans, konstant snurren og nedsat grebekraft. Hvide fingre som følge af vibrationspåvirkning er anerkendt som erstatningsberettiget erhvervs sygdom. Vibrationerne kan - evt i forbindelse med tunge værktøjer - give muskelsmerter og risiko for slidgigt.

Figur 8.1. Svingningsmodel for kroppen, der kan beskrives som et kompliceret system af masser, fjedre og dæmpere. De enkelte kroppsdeles resonansinterval er angivet i Hz.



Helkropsvibrationer

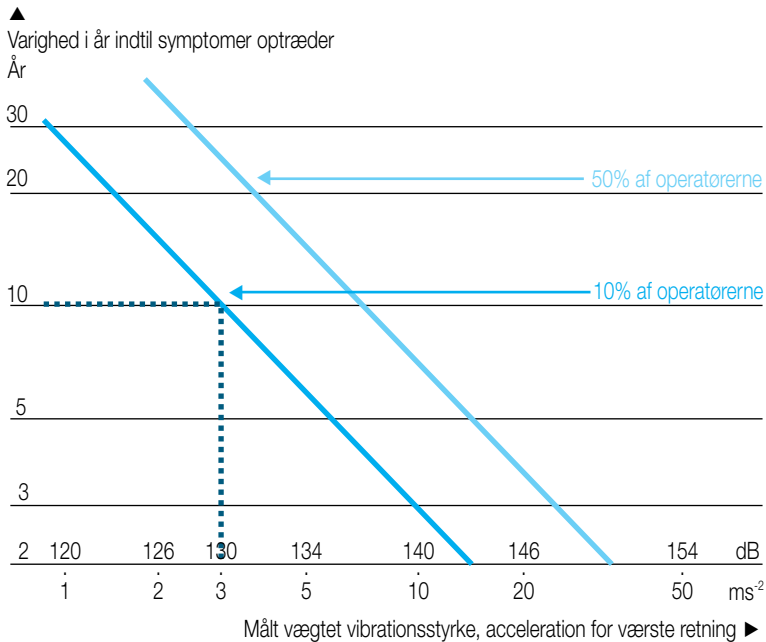
Helkropsvibrationer kan give en række symptomer, men ingen sygdom, der som "hvide fingre" specifikt kan henføres til vibrationspåvirkningen. En af forklaringerne er, at der oftest samtidig er andre påvirkninger, der kan give samme symptomer og sygdomme som vibrationerne. Eksempelvis vil såvel tunge løft som vredne kroppsstillinger og vibrationer kunne give lænderygsbesvær.

Helkropsvibrationer i arbejdsmiljøet forekommer hovedsageligt i området 0,1 til 100 Hz. Lavfrekvente vibrationer indtil 3 Hz kan give køresyge/søsyge i form af kvalme, svimmelhed og almen utilpashed. Ved højere frekvenser bliver symptomerne meget mere diffuse. Kroppen kan betragtes som et kompliceret sving-

ningssystem med en række delresonanser, som det fremgår af fig. 8.1.

Helkropsvibrationer kan give rygskeer, især lænderygsmerter, men også diskusprolaps og tidlig degeneration af rygsøjlen i eksponerede grupper. Højere vibrationsstyrke og længere tids påvirkning øger risikoen, mens hvileperioder nedsætter den.

Undersøgelser peger på helkropsvibrationer som mulig årsag til mave-tarm sygdomme, åreknuder, hæmorroider og øget abort-hyppighed.



Figur 8.2. Varigheden i år, inden en given procentdel af normale operatører får symptomer på "hvide fingre". Fra ISO 5349.

Grænseværdier

Mht hånd-arm vibrationer viser fig. 8.2 sammenhængen mellem vibrationspåvirkning og "hvide fingre". Figuren forudsætter en 8 timers arbejdsdag med de vibrerende værktøjer, hvor selve vibrationspåvirkningen finder sted i 4 timer. Dette er baseret på tidsstudier, som har vist, at man sjældent eksponeres for hånd-arm vibrationer i mere end 4 timer pr dag. Figuren viser endvidere sammenhængen mellem dB og m/s².

Det ses, at ved 130 dB(HA) vil ca 10% få hvide fingre efter 10 år. Denne værdi modsvarer altså risikomæssigt 90 dB(A) for støj. Tilsvarende er risikoen ved 120 dB(HA) meget ringe, svarende til 80 dB(A) for støj.

Arbejdstilsynets praksis er beskrevet i At-meddelelse nr. 4.06.2 og At-cirkulæreskrivelse nr. 7/1990, begge om hånd-arm vibrationer.

Vibrationsbelastninger over 130 dB(HA), 3 m/s², bør søges und-

gået, fx ved foranstaltninger ved værktøjet eller, hvis det ikke er muligt, ved begrænsning af brugstiden. Der kan være tale om at begrænse nettoeksponeringstiden til mellem 1/2 og 2 timer pr dag. Vibrationsbelastninger over 120 dB(HA), 1 m/s^2 , bør søges undgået, fx ved simple foranstaltninger ved maskinen eller ved indførelse af nye processer.

For helkropsvibrationer foreligger der en standard ISO 2631 fra 1985, som er under revision. Der er i standarden defineret vægtningskurver: en kurve, der gælder op-ned, og en kurve, der anvendes sideværts og frem og tilbage. Kurverne giver accelerationsniveau i 1/3 oktav båndbredde. På basis af en frekvensanalyse af vibrationerne, og viden om varigheden af vibrationsudsættelsen, giver kurverne endvidere værdier af vibrationsstørrelsen, som ikke bør overskrides. En af disse kurver er kurven for træthedsbetinget nedsat arbejdsevne. Herudover fastsætter standarden også kurver for komfort og eksposition. Eksponeringsgrænsen fastsættes således 6 dB højere, mens komfortgrænsen fastsættes 10 dB lavere.

Figur 8.3. Grænseværdier for helkropsvibrationer i kroppens længderetning efter ISO 2631.

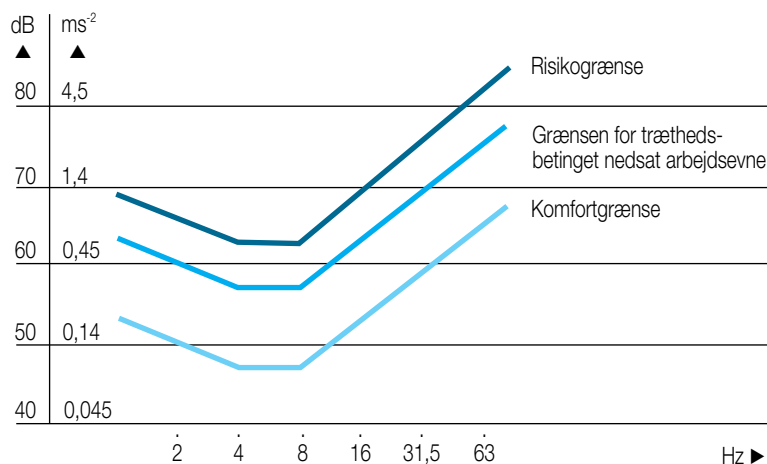


Fig. 8.3 er fra ISO 2631. Figuren angår vibrationer i kroppens længderetning. Ifølge figuren er følsomheden størst ved 4-8 Hz. Arbejdstilsynet skriver i At-anvisning nr. 2.2.0.1 om maskiner og maskinanlæg, kap. 7, note 2: *Som norm for måling og vurdering af helkropsvibrationer henvises til International Standard ISO 2631, hvor kurverne for træthedsbetinget nedsat arbejdsevne ikke bør overskrides under arbejde.*

I stedet for at lave en frekvensanalyse af støjen kan måling foretages med et tilsvarende frekvensfilter indskudt. Resultater på 110 dB(helkrop) eller $0,315 \text{ m/s}^2$ svarer omtrent til, at kurven for træthedsbetinget nedsat arbejdsevne ikke er overskredet for en arbejdsdag.

Måling og vurdering

Vibrationsmålinger er generelt mere komplicerede og behæftet med større usikkerhed og flere fejlmuligheder end støjmålinger. Der kan foretages frekvensanalyser eller vægtede målinger som for støj. Måleudstyret består sædvanligvis af et accelerometer, der registrerer vibrationerne, og et vibrationsmeter, hvor signalet fra accelerometeret behandles, og resultaterne aflæses.

For *hånd-arm vibrationer* bør accelerometeret ikke veje mere end et par gram, da det - i reglen - er for følsomt og derfor bliver overstyret eller direkte ødelagt ved måling på gængse værktøjer. Accelerometer og fastgøringsanordning bør tilsammen ikke veje over ca 20 gram, da større vægt kan påvirke måleresultatet. Ved måling af meget kraftige niveauer med slagindhold må anvendes et særligt chok-accelerometer, som kan tåle høje slagpåvirkninger.

Accelerometeret fastgøres på den vibrerende overflade (fx værktøjshåndtaget) så tæt som muligt ved den håndflade, der udsættes for vibrationer. De almindeligst anvendte fastgøringsmidler er lim, spændebånd eller specialhåndbøjle. Fastgørelse med voks og magnet er ikke tilstrækkeligt ved måling af hånd-arm vibrationer. Undersøgelser har også vist, at brug af håndbøjle kan påvirke måleresultatet. Hvis håndtaget er beklædt med et blødt materiale, kan accelerometeret monteres på et passende underlag, eksempelvis en tynd formbar metalplade anbragt mellem hånden og det elastiske materiale. Måleusikkerheden må dog forventes at stige ved denne type måling.

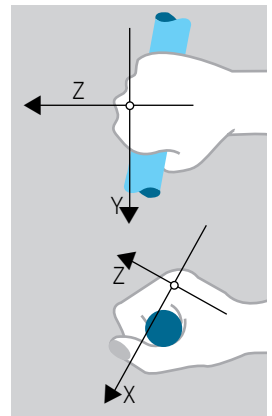
Skaderisikoen vurderes ud fra måleresultatet for den værste retning. Har man sikker erfaring for, i hvilken retning værktøjer vibrerer kraftigst (fx slagretningen ved mejselhamre), er det tilstrækkeligt at måle i denne. Ellers må der måles i alle 3 retninger for at finde den kraftigste. Måleretningerne benævnes x, y og z og er orienteret som vist på fig. 8.4.

Hånd-arm vibrationsbelastning beregnes ved at bruge L_{eq} -princippet. Der kan benyttes samme formel som i kapitlet om støjs helbredsmæssige virkninger, idet dog $T = 4$ timer og L angives i dB(HA).

ISO 5349 er under revision. Det forventes, at den reviderede standard vil foreskrive vurdering af vibrationer på basis af vektorsummen af vibrationsstyrken i alle 3 retninger, og at vibrationsbelastningen skal normeres til en 8-timers arbejdsdag, ligesom man gør for støj.

Til måling af *helkropsvibrationer* findes der også vibrationsmestre, hvormed det er muligt at foretage vægtede målinger. Disse er dog i nogle henseender mere komplicerede end tilsvarende

Figur 8.4. Måleretninger ved greb om cylindrisk værktøj.



hånd-arm målinger. Ved hånd-arm målinger anvendes kun én vægtningskurve, hvor man ved helkropvibrationer opererer med flere forskellige vægtningskurver for måling i kroppens længderetning og tværrretning.

Hertil kommer, at beregning af belastning for helkropvibrationer ikke anvender det samme L_{eq} -princip, som benyttes ved hånd-arm- og støjmålinger. ISO 2631 angiver kurver, der bruges til at vurdere betydningen af varigheden af vibrationsudsættelsen. Kortvarige og længerevarende hændelser vurderes forskelligt.

Også ISO 2631 er under revision. I skrivende stund (sommer 1996) er der vedtaget en ny tekst, som er ved at blive oversat inden endelig udgivelse.

Hovedpunkterne i den nye standard er følgende:

Frekvensområdet er udvidet i den dybe ende til 1/2 Hz mod tidligere 1 Hz, medmindre det konkret kan vises, at området mellem 1/2 og 1 Hz ikke er relevant. Samtidig er forløbet af kurven, der anvendes til måling af lodrette vibrationer, ændret.

Samme princip for sammenhæng mellem tid og styrke, som anvendes ved støj og hånd-arm vibrationer (L_{eq} -princippet), anvendes nu også for helkropvibrationer. Kraftige bump skal herudover vurderes med en indstilling, der svarer til "slow" på en lydmåler, eller efter en metode, hvor signalet opløftes til 4. potens. For nuværende findes der dog stort set ingen instrumenter, der kan måle efter sidstnævnte metode.

I informative annekser vejledes om vibrationers indflydelse på sundhed og på komfort og perception. Begrebet træthedsbetinget nedsat arbejdsevne findes ikke længere i standarden.

Forebyggelse

Typiske vibrationsstyrker for håndværktøjer er:

Motorkædesave	125-140 dB(HA)
Mejselhamre	135-145 dB(HA)
Større håndslibere	135-140 dB(HA)
Små håndfræsere og skruetrækkere	120-135 dB(HA)

Arbejdstilsynet har udsendt oversigter over sammenlignende målinger på nogle vibrerende håndværktøjer.

Til alle maskiner skal der være en brugsanvisning. Brugsanvisningen skal oplyse følgende om maskinens vibrationsforhold:

- ◆ Hånd-arm vibrationsstyrken skal oplyses, når den overstiger $2,5 \text{ m/s}^2$, 128 dB(HA). Når den er under, skal dette være oplyst.
- ◆ Helkrop vibrationsstyrken skal oplyses, når den overstiger $0,5 \text{ m/s}^2$, 114 dB. Også her skal det være oplyst, når den er under.

Bekendtgørelsen om indretning af tekniske hjælpemidler indeholder i bilag 1, punkt 2.2 og 3.6.3 nærmere herom.

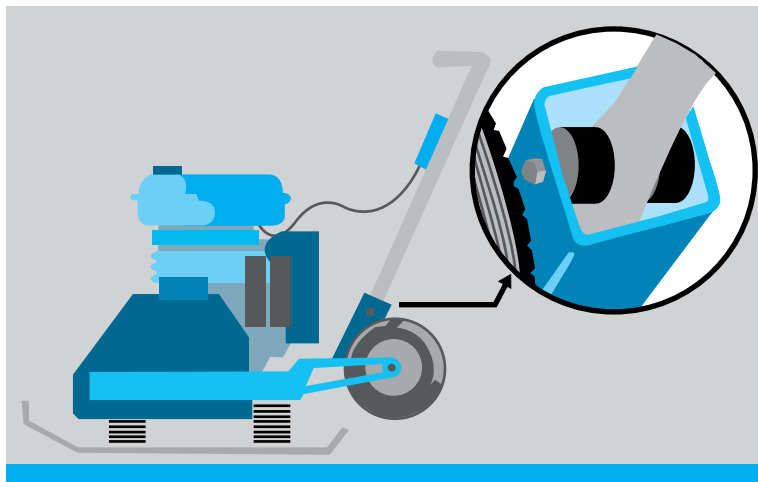
Ovenstående oplysninger kan man endvidere finde i tekniske datablade, brochurer o.l. for maskinen.

CEN har udarbejdet standarder, der fastlægger, hvordan målingerne for en række maskintyper skal udføres, så resultaterne kan sammenlignes. Både de vibrationsmæssige og de driftsmæssige forhold beskrives.

Foranstaltninger til forebyggelse af hånd-arm vibrationer:

- ◆ Undersøg, om helt andre arbejdsmetoder kan anvendes i stedet for de vibrerende. Et eksempel er at anvende skæremaskiner i stedet for traditionel ophugning af asfalt med mejselhamre.
- ◆ Nedsæt ekspositionstiden mest muligt. En halvering af tiden giver samme reduktion af skaderisikoen, som hvis der anvendes et værktøj, der vibrerer 3 dB mindre.
Det tilrådes også at holde hyppige pauser, idet skadevirkningen formodentlig er mindre, hvis påvirkningen fordeles over længere tid.
- ◆ Ved køb af maskiner og værktøj er der gode muligheder for at forebygge, ved at udvælge de mest vibrationssvage. Man kan også prøve forskellige typer og vælge den bedste.
- ◆ Vedligeholdelse af lejer, gummiisolatorer og skær, afbalance-ring mv har stor betydning for vibrationsstyrken, ofte 10 dB eller mere (gælder i øvrigt også for støjen).
- ◆ Isolering af vibrationskilden fra de dele, der berøres, vil ofte være enkelt, se fig. 8.5.
- ◆ Der findes vibrationsisolerende håndtag, men erfaringen viser, at den bedste virkning opnås, hvis de anvendes af fabrikanten som en integreret del af konstruktionen.
- ◆ Rigtigt greb om værktøjet er vigtigt. Et hårdt, krampagtigt greb vil overføre flere vibrationer til hånden end et afslappet. I den forbindelse kan det på faste arbejdspladser være nyttigt at ophænge tunge værktøjer. Det giver også andre ergonomiske fordele.
- ◆ Vibrationsisolerende handsker, der ifølge CEN-standarden for måling af handsker kan reducere vibrationsstyrken i m/s^2 omtrent til det halve, er ved at komme på markedet.

Figur 8.5. På den viste pladevibrator er styrestangen monteret elastisk til rammen. Herved mindskes vibrationsstyrken i håndtagene.



Styrken af helkropsvibrationer i et køretøj afhænger af en række parametre, herunder bl.a. hastighed, terræn, egensvingninger i hjul og dæk, motorvibrationer, egensvingninger i sæde eller kabine, vibrationer fra hidraulikpumper eller andet. Det vil være nødvendigt at ændre på en eller flere af disse parametre for at reducere styrken af helkropsvibrationer.

Litteratur

- pr EN 1032. Mechanical vibration - testing of mobile machinery in order to determine the whole-body vibration emission value, 1995.
- EN 1033. Hand-arm vibration. Laboratory measurement of vibration at the grip surface of hand-guided machinery, 1995.
- International Standard ISO 2631. Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements, 1985.
- International Standard ISO 5349. Mechanical Vibration - Guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibration. 1986.
- Vibration at work, INRS, Paris 1989.
- EN 28662-1. Handheld portable power tools - measurement of vibrations at the handle - Part 1-14.
- pr EN ISO 10819. Mechanical vibration and shock - Hand-arm vibration - Method for the measurement and evaluation of the vibration transmissibility of gloves at the palm of the hand, 1995.
- Hånd-arm vibration, Health & Safety Executive, 1994.

KAPITEL 9

Optisk stråling

P. Eriksen

Optisk stråling

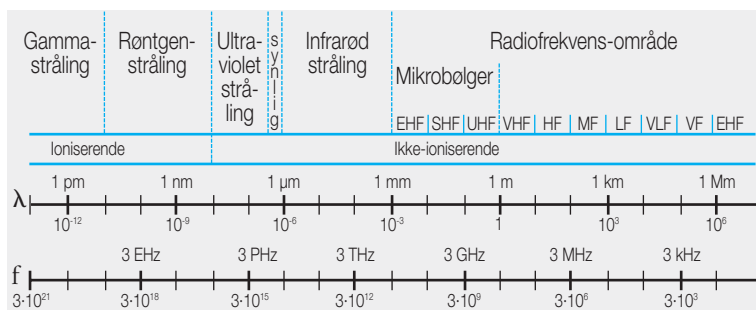
Egenskaber

Det elektromagnetiske spektrum

Ikke-ioniserende stråling er en fælles betegnelse for en række forskellige typer af elektromagnetiske svingninger, som ikke er i stand til at ionisere et atom, da energiindholdet i svingningerne er for lille til at løsrive en elektron fra atomet. Elektromagnetiske svingninger eller felter kan, afhængigt af frekvensen, ordnes i et frekvensspektrum (fig. 9.1), hvor frekvensområdet under 300 GHz (bølgelængder over 1 mm) er radiofrekvensområdet, og området over 300 GHz (bølgelængder ca 200 nm - 1 mm) er det optiske område. Frekvens f og bølgelængde λ sammenknyttes ved relationen $f \times \lambda = 3 \times 10^8$ m/s. Elektriske eller magnetiske felter, der ikke varierer tidsmæssigt (frekvens ~ 0 Hz), betegnes statiske felter. Terminologien og frekvensinddelingerne er dog i nogle sammenhænge ikke helt fast.

Det er vigtigt at skelne mellem de forskellige former for ikke-ioniserende stråling, da dosimetri-forhold, måleteknik og biologiske virkninger er forskellige.

Figur 9.1. Det elektromagnetiske spektrum med frekvens- (f) og bølgelængde- (λ) skala.



Egenskaber

Optisk stråling er elektromagnetisk stråling og karakteriseres normalt ved strålingens bølgelængde, som angives i nano-meter (nm), for infrarød stråling dog oftest i mikro-meter (μm). Mennesket er i stand til at se en meget lille del denne stråling, nemlig stråling med bølgelængder mellem ca 400 og 750 nm, dvs lys. For monokromatisk synlig stråling afspejler lysets farve direkte dets bølgelængde (fig. 9.5). Hvidt og gråt lys består af en blanding af alle farver, men kan opspaltes i sine farvebestanddele ved en spektralanalyse. Øjet er mest følsomt for gulgrønne farver. Stråling med bølgelængder mellem 200 og 400 nm kaldes ultraviolet (UV) stråling, mens stråling med bølgelængder på mere end 750 nm kaldes infrarød (IR) stråling, men kendes også som varmestråling.

I biologisk og medicinsk litteratur underinddeles både UV- og IR-stråling ofte som vist i tab. 9.1. Underinddelingerne har historisk baggrund, men er ikke altid relevante i arbejds hygiejnisk sammenhæng. De fleste har mødt betegnelserne i dagligdagen, fx om sammenhængen mellem UV-B-stråling og hudkræft, om UV-A-stråling fra solarier, og om fotografiske optagelser om natten vha IR-stråling.

Stråling	Underinddeling	Bølgelængde
Ultraviolet (UV)	UV-C	100-280 nm ¹
	UV-B	280-315 nm
	UV-A	315-400 nm
Synlig	lys	400-750 nm
Infrarød (IR)	IR-A	750-1.400 nm
	IR-B	1,4-3,0 μm
	IR-C	3,0-1.000 μm
¹ UV-stråling med bølgelængder kortere end ca 200 nm absorberes næsten fuldstændigt af luftens ilt, derfor regnes UV-C-området oftest for området 200-280 nm. 1 μm = 1.000 nm = 0,001 mm.		

Tabel 9.1. Underinddeling af UV- og IR-stråling.

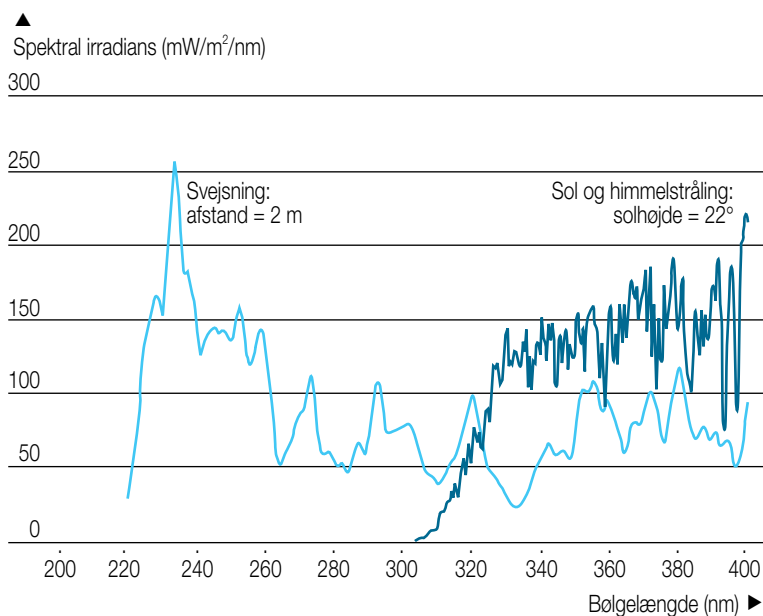
Laserstråling er også optisk stråling, om end en lidt speciel type i teknisk forstand. I modsætning til almindelige strålingskilder (lyskilder), fx en husholdningspære, er en laser speciel ved oftest kun at udsende stråling med en bestemt bølgelængde (farve), og strålingen er koncentreret i en meget veldefineret retning, i et snævert og næsten parallelt strålebundt. Det betyder, at laserstrålingen har mange tekniske muligheder, men betyder samtidig potentielle sundhedsmæssige risici.

I arbejds hygiejnisk sammenhæng er det stråling med bølge-

længder mellem 200 og 1.400 nm, der er mest relevant, fordi stråling med disse bølgelængder kan forårsage skader, selv når strålingens styrke er forholdsvis lav. Skadeeffekten afhænger af strålingens bølgelængde, strålingens styrke og eksponeringstiden.

Irradians, eller *bestrålingsstyrke*, E , beskriver bestrålingen af en overflade (øjne, hud) og angives i W/m^2 . *Eksponering*, eller *strålingsdosis*, eller blot *dosis*, H , beskriver bestrålingen af en overflade ved den modtagne energi pr arealenhed (J/m^2). Såfremt irradiansen, E , er konstant i eksponeringstiden t (s), kan eksponeringen (dosis) beregnes som $H = E t$. For ikke-laserstråling er den *spektrale irradians*, E_λ , en fundamental størrelse ved vurdering af skadeeffekter. E_λ angiver, hvorledes irradiansen er fordelt efter bølgelængde, og måles i $\text{W}/\text{m}^2/\text{nm}$. Eksempler på målinger af E_λ er vist i fig. 9.2. Integralet af den spektrale irradians over alle bølgelængder giver irradiansen: $E = \int E_\lambda d\lambda$.

Figur 9.2. Eksempler på målinger af den spektrale irradians i UV-området: en svejsning i en afstand på 2 m, og sol- og himmelstrålingen på en skyfri dag med en solhøjde på 22 grader. Strålingen fra svejsningen er rig på UV-stråling, også UV-C-stråling, mens strålingen fra solen og himlen ikke indeholder UV-C-stråling. Det ses også tydeligt, at den spektrale opløsning i sidstnævnte måling er størst.



Til vurdering af, hvorvidt stråling kan forårsage skader på øjets nethinde, kan det være nødvendigt at kende en strålingskildes radians. Øjets linse danner et billede af kilden på nethinden, og irradiansen på nethinden er proportional med kildens radians. *Radiansen*, L , beskriver udstrålingen fra en strålingskilde og er uafhængig af afstanden til kilden. Den måles i $\text{W}/\text{m}^2/\text{sr}$ og angiver, hvor stor effekt (W) kilden udsender pr kildeareal (m^2) og pr rumvinkelenhed (sr) i en bestemt retning. Den spektrale udstråling fra en kilde beskrives ved den spektrale radians, L_λ , som er analog med den spektrale irradians. L_λ angives i

$W/m^2/sr/nm$, og $L = \int L_\lambda d\lambda$. Det er meget vanskeligt at måle L_λ , så den måles oftest indirekte.

For laserstråling er det forholdsvis enkelt at vurdere potentielle sundhedseffekter, fordi der oftest kun er én bølgelængde (farve), og fordi enhver laser skal være klassificeret, hvilket indikerer laserens potentielle farlighed (se senere). Til vurdering og beregning af eksponeringen anvendes for kontinuert strålende lasere bølgelængden, lasereffekten, strålens divergens (spredning), eksponeringstiden og afstand fra laseren. For pulsede lasere indgår i stedet for laser-effekten pulsvarigheden, pulsenergien og (pulsrepetitions-)frekvensen. Ved vurderinger indgår altid bestrålingsgeometrien. Man skelner mellem eksponering for den direkte laserstråle eller fra en spejlende refleksion af den direkte laserstråle, og eksponering via en diffus refleksion (fx fra en mat overflade).

For ikke-laserstråling er situationen mere problematisk fordi strålingen indeholder flere bølgelængder. En given eksponeringssituation kræver bestemmelse af:

- ◆ strålingens *spektrale* fordeling og absolutte styrke
- ◆ hvilke afstande og stråleretninger der er relevante for eksponeringen (geometrien)
- ◆ om strålingskilden er en punkt-kilde eller en "udstrakt" kilde.

I mange eksponeringssituationer er strålingskilden en punkt-kilde, dvs en kilde, hvis lineære udstrækning er meget lille sammenlignet med afstanden til kilden (i praksis skal kilden ses under en vinkel på mindre end $0,63^\circ$). For punkt-kilder dannes med lys og IR-A-stråling et minimalt billede af kilden (diam. ca 20 μm) på øjets nethinde, og irradiansen på øjets nethinde kan beregnes ud fra irradiansen på øjets hornhinde. I disse tilfælde er det derfor *eksponeringen* (dosis), dvs *irradians* og *eksponeringstid*, der bestemmer strålingens potentielle skadelighed. For ikke-laserstråling fra punkt-kilder aftager irradiansen med kvadratet på afstanden fra kilden. For (direkte) laserstråling er irradiansen i strålen næsten uafhængig af afstanden fra laseren, fordi divergensen (spredningen) af en laserstråle er meget lille.

I nogle situationer møder man en arealmæssigt stor kilde, en såkaldt "udstrakt" kilde, dvs situationer, hvor kilden ikke kan karakteriseres som en punkt-kilde. For lys og IR-A-stråling dannes et billede af kilden på øjets nethinde, som er større end det mindste billede, der kan dannes (minimalt billede, ovenfor), og irradiansen på nethinden kan beregnes ud fra kildens radian. I disse tilfælde er det derfor kildens *radians* (nethindeskader) og *eksponeringen* af vævet (hornhindeskader og hudskader), der bestemmer strålingens potentielle skadelighed.

Kilder og forekomst

Vigtige industrielle processer, som frembringer optisk stråling, er fx svejsning, skæring og smeltning. Svejsprocesser, såsom manuel lysbuesvejsning med beklædte elektroder og beskyttelsesgas-svejsning (MIG, MAG, TIG), frembringer meget intens UV- og synlig stråling, med stor risiko for øjen- og hudskader. Ved nogle svejsprocesser overskrides den vejledende grænseværdi ved eksponeringstider under et sekund. Skæreprocesser, såsom flammeskæring og plasmaskæring, frembringer kraftig, synlig og infrarød stråling, med stor risiko for øjen- og hudskader. Smelteprocesser (smelteovne til glas eller stål) frembringer ligeledes kraftig, synlig og infrarød stråling, også med risiko for øjen- og hudskader. Skære- og smelteprocesser er gode eksempler på temperaturstrålere. En relateret proces er plasmaprøjtning, der bl.a. anvendes til hærkning af metaloverflader. Til tørring af fx lakker anvendes tørreovne eller anlæg bestående af infrarøde glødelamper. Her er især risiko for grå stær.

Laseren har utallige anvendelsesmuligheder. Den anvendes i bygge- og anlægssektoren til afstandsmåling, nivellering og som sigtemiddel. Den anvendes i metalindustrien til materialebearbejdning såsom boring, skæring og svejsning. Med "medicinske lasere" menes lasere, der anvendes i lægevidenskaben: i oftalmologien til behandling af øjenskader, i dermatologien til behandling af hudproblemer. I underholdningsindustrien anvendes den til lysshow's og til specialeffekter, i den grafiske industri til gravering, ætsning, skandering og i printere. Den anvendes til kommunikation (lysledere til telefonnet, hybridnet). I butikksbranchen anvendes lasere som scannere (stregkodelæsning). Endelig anvendes laseren ikke mindst i undervisning og forskning samt i militæret.

Sundhedseffekter

Optisk stråling kan forårsage en række biologiske skader, som optræder, når eksponeringen i nogle spektralområder overstiger en vis grænse. Der kan opstå foto-kemiske eller termiske skader. De mest almindelige skader er fotokemiske skader, fx solskoldning (fig. 9.3). En vigtig pointe ved fotokemiske skader er, at en vis tærskeldosis skal overskrides (i løbet af en arbejdsdag), men det er uden betydning, om denne tærskeldosis modtages i løbet

af 1 minut eller i løbet af 8 timer. Dvs skaden kan opstå selv med lille irradians, blot eksponeringstiden er tilstrækkelig lang. Termiske skader er mulige, men sjældne. For termiske skader gælder, at irradiansen skal overstige en vis tærskelværdi, før skaden indtræffer - der skal "blus på lampen". For langt de fleste skader gælder, at skadeeffekten afhænger af strålingens bølgelængde, irradiansen på vævet og eksponeringstiden.

CIE-BÅND	UV-C	UV-B	UV-A	LYS	IR-A	IR-B	IR-C	
λ (nm)	200	280	315	400	760	1.400	3.000	10 ⁶
Skader	Fotokeratitis				Nethindeskader		Hornhindeskader	
				Katarakt				
	Erythem		Nethindeskader					
	Hudkræft							
Mekanisme	Fotokemisk				Termisk			

Figur 9.3. Oversigt over øjen- og hudskader.

Hudskader

Hudskader omfatter erythem (solskoldning), termiske forbrændinger og eventuel udvikling af hudkræft. Erythem forårsages især af UV-C- og UV-B-stråling. Erythem-effekten skyldes en fotokemisk reaktion og optræder oftest mange timer efter eksponeringen. UV-C- og UV-B-stråling kan ligeledes fremkalde hudkræft - UV-A-stråling kun i *meget* store doser - men man kender ikke de præcise omstændigheder ved udvikling af hudkræft. Meget tyder på, at udvikling af det maligne melanom (modermærkekræft) skyldes udsættelse for meget intens skadelig UV-stråling (fx solskoldning) i en tidlig alder, mens udvikling af de godartede hudkræfttyper (basalcelle- og pladeepithelcelle-kræft) skyldes den samlede dosis af skadelig UV-stråling, som modtages gennem hele livet. Hudskader skyldes oftest ikke-laserstråling med et stort indhold af UV-stråling. Skader, der skyldes UV-stråling, er lokaliseret i de øverste hudlag, idet UV-stråling kun trænger ca 0,2 mm ned i huden. Lys og IR-A-stråling trænger dybere ned i huden (5-10 mm) og kan forårsage forbrænding (termisk effekt) ved intens bestråling, men sådanne skader er sjældne.

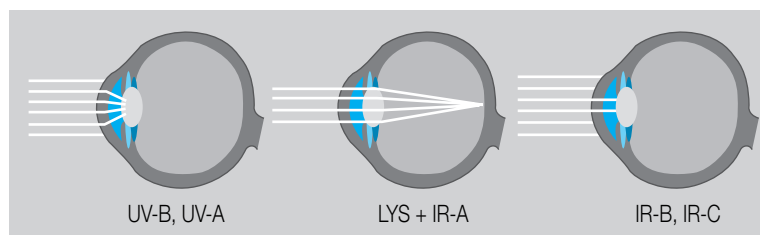
Øjensskader

Øjensskader omfatter skader på bindehinden (conjunctiva), hornhinden (cornea), regnbuehinden (iris) og linsen, samt skader på nethinden (retina). Skader på linsen og nethinden er de alvorligste, da de kan medføre permanente synstab.

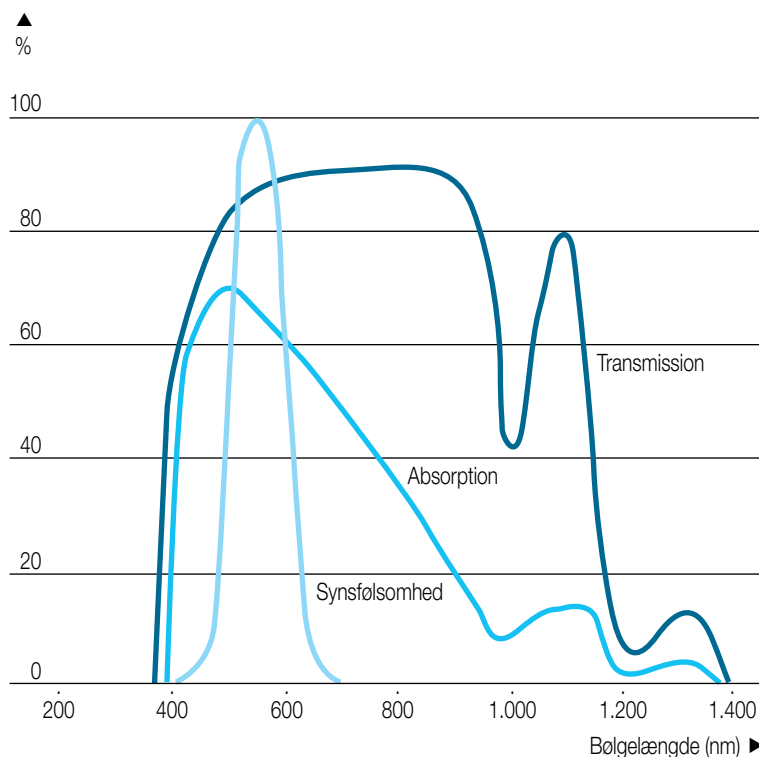
Kortbølget UV-stråling med bølgelængder kortere end 350 nm,

samt IR-stråling med bølgelængder længere end 1.400 nm, absorberes af bindehinden og hornhinden. UV-C- og UV-B-stråling kan således fremkalde bindehinde- og hornhindekatar (svejsøjne), kendt som keratitis, conjunctivitis eller keratoconjunctivitis. Efter eksponering er der en vis latenstid uden symptomer (flere timer), hvorefter bindehinden rødmer, man får stærk tåreflod og bliver overfølsom for lys, og man har fornemmelsen af at have sand i øjnene. Behandling kan ske med øjensalve eller bedøvende (!) øjendråber. Skaden er fotokemisk og heles i løbet af 1-2 dage.

Regnbuehinden og linsen har høj absorption af UV-B- og UV-A-stråling. Store doser UV-B-stråling, og muligvis også UV-A-stråling, kan fremkalde katarakt i linsen (grå stær), hvorved der dannes en ugenomsigtig hinde på linsens forside. Katarakt kan



Figur 9.4. Transmission frem til nethinden, absorption i nethinden samt øjets følsomhed for lys.



også dannes, hvis linsen bestråles med kraftig IR-stråling, og er kendt som glasblæser-stær.

Stråling med bølgelængder mellem ca 400 nm og ca 1.400 nm når frem til nethinden, men vi kan kun opfatte stråling med bølgelængder mellem ca 400 og ca 750 nm (fig. 9.4).

Skader på nethinden omfatter termiske, fotokemiske og fotoakustiske skader. Ved termiske skader overstiger nethindens temperatur en vis grænse (ca 45°) som følge af bestrålingen (stor irradians), og der brændes et hul på nethinden med deraf følgende (delvis) synstab. Fotokemiske skader indtræffer især, når nethinden bestråles med blå lys (400-500 nm). Effekten kendes som "blå-lys-effekten", og skaderne kan opstå selv med lave irradianser (men lang eksponeringstid), fordi en vis tærskel-dosis skal overskrides, før skaden indtræffer. Skaden medfører delvis synstab. Fotoakustiske skader indtræffer, hvis nethinden bestråles med laserstråling i korte og energirige pulser. Nethindelagene løsnes, fordi der dannes kraftige akustiske bølger i øjets indre, og skaderne resulterer i kraftigt sløret syn.

Øjet har en naturlig forsvarsmekanisme, når det udsættes for kraftig belysning. Den kaldes aversionsresponsen og omfatter blink-refleksen: udsættes øjet for stærk belysning, lukkes øjenlågene, og hovedet drejes bort fra lyskilden. Det sker i løbet af ca 0,25 s, som derfor er en naturlig øvre grænse for eksponeringstid for kraftige lyskilder. Indtagelse af medicin og alkohol sløver denne respons. Øjet har til gengæld ingen naturlige forsvarsmekanismer mod usynlig stråling (UV og IR). I den forbindelse er det vigtigt at erindre (fig. 9.4), at IR-stråling med bølgelængder mellem 750 og 1.400 nm trænger frem til nethinden og kan forvolde skade, men vi kan ikke se strålingen, og vi har ingen naturlige forsvarsmekanismer imod den. Af denne grund regnes bl.a. Nd:YAG lasere (1.064 nm) for meget farlige, fordi der ofte er tale om lasere med stor udstrålet effekt.

Langbølget IR-stråling (IR-B og IR-C) kan udtørre og i værste fald forbrænde hornhinden, men man vil ofte fornemme varmen fra strålingen og derfor naturligt forsøge at undgå den.

Måling og vurdering

Måling og målestrategi

Til måling anvendes radiometre og spektrometre. Et radiometer består typisk af 1) en input-enhed, fx en cosinus forsats til

irradiations-målinger, 2) en bredbåndsdetektor og 3) en udlæsningsenhed og har størrelse som en belysningsmåler. Spektroradiometre har indbygget en monokromator/spektrograf og detektor i stedet for radiometrets bredbåndsdetektor. Radiometre er simple og forholdsvis billige, mens spektroradiometre er relativt store og kostbare. Radiometre er begrænset til måling af lasereffekt, idet der endnu ikke er fremstillet radiometre med en spektralrespons, der blot nogenlunde svarer til S_λ eller B_λ i fig. 9.5. Derimod har der længe kunnet fremstilles radiometre med en spektralrespons svarende til V_λ , nemlig luxmetre og luminansmetre. Radiometre og spektroradiometre har typisk måleusikkerheder på mindre end 10%. Det er vigtigt at kalibrere instrumenterne jævnlige, afhængigt af målehyppigheden, samt at kunne dokumentere et instruments kalibrering (sporbarhed). Det er lige så vigtigt, at de personer, der betjener instrumenterne, kender dem i detaljer, og i særdeleshed kender instrumenternes begrænsninger.

Før der foretages målinger, er det vigtigt at være sikker på, at det er nødvendigt at måle. Dernæst er det vigtigt at have en målestrategi, således at alle nødvendige strålingsstørrelser måles med alle relevante kildeparametre og for alle relevante eksponeringssituationer. Alle detaljer omkring målingerne bør dokumenteres.

For laserstråling er det sjældent nødvendigt at foretage målinger for at vurdere strålingens skadelighed. Laserklassifikationen betyder, at der kun skal anvendes sikkerhedsforanstaltninger ved arbejde med klasse 3B og klasse 4 lasere. Laserens klasse er således ofte den eneste nødvendige oplysning, der er behov for, mens vurdering af egnede sikkerhedsforanstaltninger kræver oplysninger om bølgelængde, lasereffekt mv.

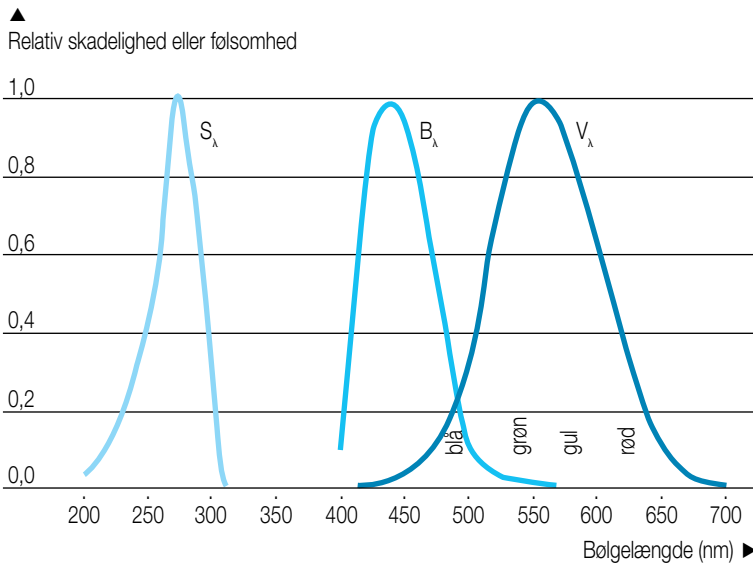
For ikke-laserstråling kan det, pga den teknologiske udvikling, være nødvendigt med målinger, hvis der ikke i forvejen findes oplysninger om en bestemt strålingskilde og eksponeringssituation.

Grænseværdier

Til vurdering af UV-strålings skadepotentiale anvendes i arbejds-hygienisk sammenhæng en såkaldt vægtfunktion (S_λ i fig. 9.5), der angiver strålingens relative skadelighed som funktion af bølgelængden. Den anvendes til vurdering af risici for både hud- og øjenskader. Som det fremgår af fig. 9.5, er det især UV-stråling med bølgelængder omkring 270 nm, der er skadelige. Monokromatisk stråling ved 270 nm kan forårsage øjen- og hudskader, hvis eksponeringen overstiger 30 J/m^2 . For at få et samlet mål for UV-strålingens skadelighed i almindelighed, med en bredspektret

bestråling (fx et af eksemplerne i fig. 9.2), vægtes (multipliceres) den spektrale irradians med vægtfunktionen S_λ (bølgelængde for bølgelængde), og arealet under den resulterende kurve bestemmes. Den resulterende størrelse kaldes for den effektive (eller skadelige) UV-irradians, E_{eff} , der angives i W/m^2 . Matematisk kan det udtrykkes ved $E_{\text{eff}} = \int E_\lambda S_\lambda d\lambda$. For konstant E_{eff} kan den effektive dosis beregnes som $H_{\text{eff}} = E_{\text{eff}} t$, hvor t er eksponeringstiden i sekunder. Den vejledende grænseværdi for UV-stråling er en effektiv dosis på $30 \text{ J}/\text{m}^2$. Hvis man kender E_{eff} , kan den højeste tilladte *daglige* eksponeringstid beregnes ud fra relationen $t \text{ (s)} = 30 / E_{\text{eff}} \text{ (W}/\text{m}^2)$.

Til vurdering af risici for nethindeskader pga "blå-lys-effekten" anvendes vægtfunktion B_λ vist i fig. 9.5. Analogt med vurdering af UV-strålingens samlede skadelighed (den effektive UV-irradians), anvendes B_λ til beregning af blå-lys-irradiansen, E_B , der angives i W/m^2 og giver en samlet vurdering af strålingens potentielle skadelighed. For punkt-kilder gælder en vejledende grænseværdi for blå-lys-eksponeringen (produktet af E_B og eksponeringstid for konstant E_B) på $100 \text{ J}/\text{m}^2$. For en udstrakt kilde er vurderingerne mere komplicerede (se litteraturlisten).



Figur 9.5. Vægtfunktionerne S_λ og B_λ til vurdering af skadeligheden af hhv UV-stråling og blåt lys, samt øjets følsomhed for lys (farvesyn), V_λ .

Laserstråling

For laserstråling anvendes vejledende grænseværdier i den Europæiske Norm 60825 (EN 60825), som er identisk med dokument 825 fra den Internationale Elektrotekniske Kommission (IEC 825). Grænseværdierne for laserstråling afhænger på kompliceret vis af bølgelængde, eksponeringstid og geometrien ved eksponeringen, og der henvises derfor til litteraturlisten. Som det simpleste

eksempel kan nævnes, at grænseværdien for synlig laserstråling, ved direkte bestråling af øjet fra en kontinuert strålende laser, og hvor strålen fuldt ud kan trænge gennem øjets pupil, er en effekt på 1 mW. For at lette brugerens muligheder for at vurdere laserstrålingens skadelighed er alle lasere klassificerede:

- ◆ *Klasse 1 lasere* er lav-effekt lasere, hvor den udstrålede effekt er fastsat således, at grænseværdierne ikke for nogen eksponeringssituation kan overskrides. Klasse 1 lasere er ufarlige.
- ◆ *Klasse 2 lasere* omfatter kun lasere, der udsender synlig stråling (lys). De kan ikke forårsage hudskader, og øjets aversionsrespons beskytter mod øjenskader. Klasse 2 lasere er ufarlige, medmindre øjets aversionsrespons undertrykkes, fx ved indtagelse af medicin eller alkohol. Der kan i så fald opstå øjenskader, men kun ved lang tids eksponering (minutter). For kontinuert strålende lasere må udgangseffekten højst være 1 mW.
- ◆ *Klasse 3A lasere* omfatter lasere, hvor der tillades en udstrålet effekt på op til 5 gange den udstrålede effekt for klasse 2 lasere for synlig stråling, hhv 5 gange den udstrålede effekt for klasse 1 lasere for usynlig stråling. For synlig stråling er strålelens irradians imidlertid samtidig begrænset til 25 W/m^2 , således at der højst kan trænge 1 mW ind i øjet, svarende til en klasse 2 laser (største pupildiameter er 7 mm). Øjets aversionsrespons beskytter dermed mod øjenskader, og klasse 3A lasere er dermed normalt ufarlige.
- ◆ *Klasse 3B lasere* er middel-effekt lasere med en udgangseffekt på højst 0,5 watt. Ved direkte eksponering kan klasse 3B lasere give øjenskader, i visse tilfælde hudskader. Der kræves normalt sikkerhedsforanstaltninger ved arbejde med klasse 3B lasere.
- ◆ *Klasse 4 lasere* er høj-effekt, høj-risiko lasere med udgangseffekt på mere end 0,5 watt. Strålingen kan forårsage både øjen- og hudskader. Selv diffust reflekteret stråling kan give øjenskader, men normalt ikke hudskader. Der kræves altid sikkerhedsforanstaltninger ved arbejde med klasse 4 lasere.

Forebyggelse

Eksponering for unødigt stråling skal så vidt muligt altid undgås. Derfor bør alle apparater eller arbejdsprocesser, som frembringer skadelig stråling, så vidt muligt være indkapslede således, at hverken operatør eller forbi passerende eksponeres for skadelig

stråling. Såfremt dette ikke er teknisk muligt eller økonomisk forsvareligt, skal styrken af skadelig stråling begrænses til et uskadeligt niveau vha tekniske eller administrative beskyttelsesforanstaltninger eller, som en sidste udvej, vha personlige værnemidler. Ved tekniske beskyttelsesforanstaltninger forstås alle former for mekaniske, elektriske, optiske eller andre anordninger, der kan forhindre, at personer udsættes for skadelig optisk stråling, såsom indkapsling af strålingskilde og bearbejdningsområde, afskærmning af kilden, sikkerhedsspærreanordninger (fx lysfælde) m.m. Ved administrative beskyttelsesforanstaltninger forstås regler, vejledning og instruktion, som skal forhindre eksponering for skadelig stråling. Det kan være checklister, der gennemgås før opstart af apparatur, at personer kun tillades adgang til områder med skadelig stråling, såfremt der anvendes personlige værnemidler, advarselsskiltning, der præciserer, hvilke forholdsregler der skal tages ved anvendelse af apparater eller maskiner. Såfremt eksponering for skadelig stråling ikke kan forhindres på anden måde, skal godkendte personlige værnemidler være tilgængelige og anvendes. Når de anvendes, skal de sikre, at strålingen reduceres til et uskadeligt niveau. Personlige værnemidler omfatter øjenværn, hoved- og ansigtsskærm og beklædningsdele (fx handsker).

Ved anvendelse af lasere er der mange tekniske og administrative foranstaltninger, der påhviler fabrikanten. Andre foranstaltninger skal i videst muligt omfang foretages af brugeren. AMI-rapport 30/1990 giver flere eksempler på foranstaltninger, der påhviler fabrikanten, og foranstaltninger, der bør foretages af brugeren. Øjenværn til brug ved laserstråling er tilpasset en enkelt lasertype og kan normalt kun bruges til denne, hvorimod øjenværn til ikke-laserstråling er anvendelig til mange arbejdsprocesser. AMI-rapport 30/1990 og 31/1991 giver beskrivelser af og eksempler på valg af øjenværn.

Litteratur

- ACGIH. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold Limit Values and Biological Indices 1988-89. Cincinnati: ACGIH, 1988. (eller seneste udgave).
- AMI-rapport Nr. 30/1990. Laserstråling. København: Arbejdstilsynet, 1990.
- AMI-rapport Nr. 31/1990. Lys, ultraviolet og infrarød stråling. København: Arbejdstilsynet, 1990.

Environmental Health Criteria 14: Ultraviolet radiation. World Health Organization (WHO), Geneva, 1979.

Environmental Health Criteria 23: Lasers and Optical Radiation. World Health Organization (WHO), Geneva, 1982.

IEC 825 (EN60825). Radiation safety of laser products, equipment classification, requirements and user's guide. Geneva: International Electrotechnical Commission, 1984.

Sliney D, Wolbarsht M. Safety with lasers and other optical sources. Plenum Press, New York, 1980.

Radiobølger og ekstremt lavfrekvente felter

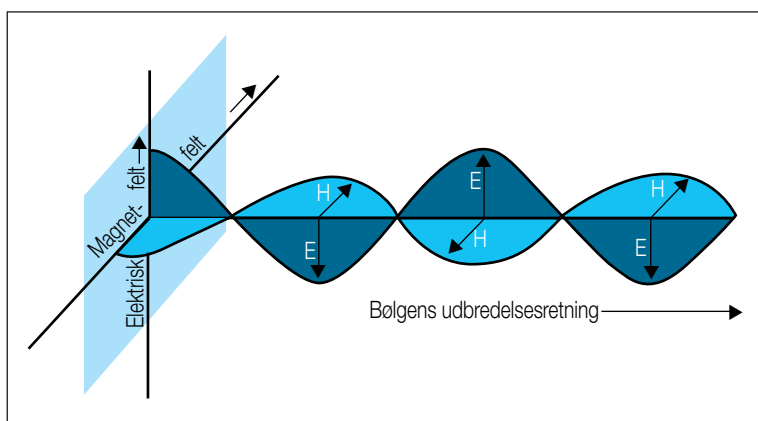
J. Skotte

Radiobølger og ekstremt lavfrekvente felter

I fig. 9.1 er vist en oversigt over det elektromagnetiske spektrum med forskellige delområder. I dette kapitel omtales frekvensområdet under 300 GHz med flg delområder: ekstremt lavfrekvente (ELF) felter med frekvenser under 300 Hz, radiofrekvensområdet (RF) 3 kHz - 300 GHz og mikrobølgeområdet 300 MHz - 300 GHz, som er en del af radiofrekvensområdet. Den følgende beskrivelse skal kun opfattes som en kort introduktion til et specielt område, hvor der findes en mængde speciallitteratur.

Synonymt med ordet "felter" bruges tit ordene stråling, svingninger eller bølger. I forbindelse med eksponering af mennesker bør ordet stråling kun bruges i forbindelse med elektromagnetiske felter med frekvens over ca 300 MHz, da felter med lavere frekvens ikke kan beskrives som "stråler" i almindelig forstand.

Figur 10.1. Udbredelse af en plan elektromagnetisk bølge.



Egenskaber

Kilden til elektriske og magnetiske felter er elektriske ladninger og strømme. En elektrisk ladning vil altid frembringe et elektrisk

felt i nærheden, og tilsvarende bevirker en elektrisk strøm, som er ladninger i bevægelse, et magnetfelt. Stationære forhold, dvs elektriske ladninger, der ikke bevæges, og strømme, der ikke varierer i styrke, frembringer statiske felter i kildens nærhed. Varierer de elektriske ladninger eller strømme tidsmæssigt, fremkommer varierende felter, og disse giver anledning til udsendelse af energi fra kilden i form af elektromagnetiske felter.

Hurtigt varierende (RF) elektriske og magnetiske felter (svingninger) er altid nært sammenknyttede. Et varierende magnetisk felt inducerer et elektrisk felt i de nærmeste omgivelser. Tilsvarende frembringer et varierende elektrisk felt et magnetfelt i de nærmeste omgivelser. Enhver ændring i et elektrisk eller magnetisk felt vil derfor inducere yderligere felter, som forplanter sig videre.

Ved langsomt varierende (ELF) felter kan de elektriske og magnetiske felter i praksis betragtes som uafhængige, og normalt ses helt bort fra en bølgeudbredelse i forbindelse med disse felter.

De elektriske felter (E-felter) og magnetiske felter (H-felter) er vektorielle størrelser og skal således beskrives både ved deres størrelse og retning. E-feltet har enheden volt/meter (V/m) og magnetfeltet ampere/meter (A/m). Magnetfelter kan tillige karakteriseres ved den magnetiske fluxtæthed B med enheden tesla (T). For magnetfelter i luft og biologisk materiale er feltstyrken H og fluxtætheden B proportionale: $B = \mu_0 \times H$, hvor $\mu_0 = 1,257 \times 10^{-6}$ henry/m (1 A/m svarer til 1,257 μ T). Fluxtætheden anvendes især i forbindelse med ELF-magnetfelter. Meget ofte skelnes her ikke mellem de to begreber feltstyrke og fluxtæthed for magnetfeltet.

Elektriske og magnetiske felter aftager altid i styrke med voksende afstand fra kilden - hvor hurtigt afhænger af kildens egenskaber (størrelse, frekvens, afstande m.m.). Felter aftager med afstanden r fra kilden som r^{-n} , hvor $1 < n < 3$.

Radiofrekvente felter

Fjernfelt

For en plan, homogen elektromagnetisk bølge er det elektriske og det magnetiske felt indbyrdes vinkelrette og samtidig begge vinkelrette på bølgens udbredelsesretning (fig. 10.1). Samtidig er forholdet mellem E- og H-feltstyrkerne konstant:

$$E/H = \sqrt{(\mu/\epsilon)} = Z$$

hvor μ = permeabiliteten og ϵ = permittiviteten af det medium, hvori bølgen forplanter sig. For vakuum (eller luft) gælder

$$\mu = \mu_0 = 1,257 \times 10^{-6} \text{ henry/m og } \varepsilon = \varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ farad/m.}$$

Forholdet $Z = E/H$ har dimension af impedans og betegnes udbredelsesmediets karakteristiske impedans. For vakuum (eller luft) er $Z_0 = E/H = 377 \text{ ohm}$.

Bølgens udbredelsehastighed er givet ved

$$v = 1/\sqrt{\mu\varepsilon}$$

I vakuum (eller luft) er $v = \text{lysets hastighed} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

En plan bølge repræsenterer en energitransport, hvor energi-strømtætheden er givet ved

$$S = E^2/Z = Z \times H^2$$

Enheden for energistrømtæthed er W/m^2 . Det er den energi, der pr tidsenhed og pr arealenhed passerer en flade, som er vinkelret på energistrømmens retning. Ofte benyttes den afledte enhed mW/cm^2 ($1 \text{ mW/cm}^2 = 10 \text{ W/m}^2$). Betegnelsen effekttæthed anvendes hyppigt i stedet for energistrømtæthed.

Ovenfor er beskrevet nogle egenskaber for en plan bølge, der udbreder sig i et homogent medium fjernt fra de kilder, der frembringer feltet. I nærheden af kilden kan feltet normalt ikke karakteriseres som en simpel plan bølge, men har en mere kompleks natur. Betragtes en ideel punktformet kilde, udbreder bølgerne sig ligeligt i alle retninger med kugleformede bølgefronter. Her ved bliver effekttætheden omvendt proportional med kvadratet på afstanden til kilden. Betegner P effekten fra den udstrålede kilde og r afstanden til kilden, er energistrømtætheden fra denne kilde givet ved

$$S = P/4\pi r^2$$

En kilde, der udstråler ligeligt i alle retninger, kaldes isotrop.

Praktisk forekommende kilder (fx en radarantenne, en mobiltelefon eller en lækage fra kanten af en mikrobølgeovn) er ikke punktformede, men har en vis udstrækning og er ikke isotrope. I nogen afstand fra sådanne kilder vil effekttætheden med god tilnærmelse aftage med kvadratet på afstanden. Dette område af strålingsfeltet kaldes fjernfeltet. Betragtes kun et lille afgrænset område i dette fjernfelt, kan bølgefronterne betragtes som tilnærmelsesvis plane, hvorfor bølgeudbredelsen kan beskrives som ovenfor.

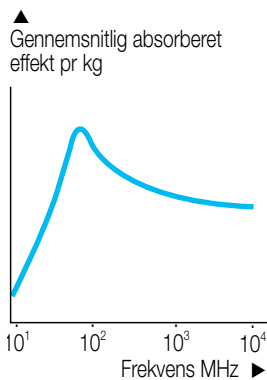
Nærfelt

I umiddelbar nærhed af kilden, i nærfeltet, er forholdene mere komplicerede. Feltet har her reaktive komponenter, som ikke bidrager til energiudstrålingen, men som kan give anledning til stærke E- og H-felter. Samtidig er E- og H-feltet normalt ikke indbyrdes vinkelrette, og forholdet E/H ikke konstant. I nærfeltet vil der ofte forekomme store variationer. Det skyldes, at strålingsbidrag fra forskellige dele af kilden har forskellig fase og derfor afstedkommer interferensfænomener. Nærfeltet kan derfor ikke på samme måde som fjernfeltet tillægges en energistrømtæthed. Praktiske eksponeringssituationer er næsten altid karakteriseret ved, at eksponeringen foregår i et nærfelt. Ved afstande under en bølgelængde fra en kilde er der tale om et nærfelt. Hvis kilden er stor i forhold til bølgelængden, strækker nærfeltet sig ud til omkring $2 D^2/\lambda$, hvor D er kildens største udstrækning og λ bølgelængden.

Dosimetri

Når en elektromagnetisk bølge rammer en metaloverflade, dvs et materiale med god elektrisk ledningsevne, bliver bølgen næsten fuldstændigt reflekteret af metaloverfladen, og kun en forsvindende lille del trænger ind i metaloverfladen. Ved en grænseflade mellem luft og biologisk væv (kroppen) er forholdene mere komplicerede. En del af felterne reflekteres fra overfladen, og resten transmitteres ind i kroppen, hvor de mere eller mindre absorberes (varmeafgivelse) eller gennemtrænger kroppen. Hvor stor en del af feltet der transmitteres ind i kroppen, hvor meget og hvor det absorberes, afhænger af en lang række faktorer: felttype (magnet-/elektrisk felt), frekvens, kroppens størrelse og facon, felternes retning i forhold til kroppen og omgivelsernes elektriske egenskaber. Felter med lav frekvens har større evne til at trænge ind i kroppen end høje frekvenser. Eksempelvis absorberes felter med frekvens over 10 GHz næsten helt i kroppens yderste lag, mens frekvenser i området 10-100 MHz trænger helt i dybden. ELF-magnetfelter trænger næsten helt upåvirket gennem menneskekroppen. Selvom felter med meget lave frekvenser har større evne til at trænge ind i kroppen, har de mindre evne til at afsætte energi i form af varme end høje frekvenser. Radiofrekvente felter under 1 MHz har således ringe og ELF-felter forsvindende evne til at afsætte varme i menneskekroppen. Generelt er der således en meget kompleks sammenhæng mellem de ydre (og målbare) felter og de interne felter og strømme i kroppen, som den ydre påvirkning fremkalder.

Kroppens indre eksponering beskrives ved to mål: Ved høje



Figur 10.2. Kvalitativt forløb af gennemsnitlig absorberet effekt pr kg (W/kg) for den menneskelige krop ved en indfaldende plan bølge med E-felt parallelt med kroppens længdeakse.

frekvenser, hvor felterne har en varmeafgivende effekt, anvendes den specifikke absorptions hastighed (SAR: Specific Absorption Rate) målt i W/kg, som er et mål for afsat effekt pr kg. Ved lave frekvenser, hvor felterne har ubetydelig opvarmende effekt, anvendes den internt inducerede strømtæthed målt i A/m².

Et eksempel på, hvordan menneskekroppens gennemsnitligt absorberede effekt varierer med frekvensen, er vist i fig. 10.2. Den effekt, der afsættes i kroppen, fordeler sig normalt meget ujævnt. "Hot-spots" med 5-10 gange større absorption end gennemsnittet for hele kroppen kan forekomme. Omgivelsernes elektriske egenskaber kan have væsentlig betydning for den interne eksponering. Fx kan den interne eksponering for en person, der står på et ledende gulv (metalgulv, armeret beton), være betydeligt højere end på et trægulv, selvom eksponeringskilden er den samme.

Kilder og forekomst

ELF

Enhver frembringelse, transport og anvendelse af elektrisk energi er forbundet med forekomsten af elektriske og magnetiske ELF-felter primært med frekvensen 50 Hz. Eksponering for ELF-felter finder sted ved en række arbejdsopgaver på elforsyningsområdet og for beboere tæt ved højspændingsledninger. Andre kilder til ELF-felter er svejseanlæg, elektrovarmeanlæg, eltog m.m., men der findes et stort antal 'små' kilder, som, afhængigt af brugen, kan medføre eksponering (fx elektriske håndværktøjer). Almindeligt forekommende baggrundsniveauer for 50 Hz felter er af størrelsesorden 10 V/m og 0,1 µT og tæt ved elektriske apparater og anlæg fx 100-200 V/m og 1-10 µT. Tæt ved højspændingsanlæg kan findes elektriske felter på 1-20 kV/m. Ved alm. svejsearbejde forekommer øjeblikksniveauer i området 5-500 µT og ved punktsvejsning mT-niveauer.

RF

Kilder til radiofrekvente felter findes i stort antal på telekommunikationsområdet, fx radiosendere, mobiltelefoner, radarsendere. Mobiltelefoner har i løbet af ganske få år fået en meget stor udbredelse (1/2 mio, 1994). Der er industrielle anvendelser som fx højfrekvens plastsvejsning af regntøj, kontorartikler, medicinske artikler m.m., limhærdning af faconpresset finer til møbler m.m. samt terapeutisk kortbølgediathermi, men der findes mange kilder til en række specielle formål. I hjemmet og i restaurations-

virksomheder findes et stort antal mikrobølgeovne. Plastsvejsning og i mindre omfang limhærdning og kortbølgediatermi giver anledning til eksponering på niveau med eller over internationalt anbefalede værdier. Anvendelse af mobiltelefoner kan ligeledes bevirke en eksponering på niveau med foreslåede grænseværdier.

Mikrobølgeovne, industrielle højfrekvensanlæg, diatermiapparater o.l. arbejder normalt ved bestemte frekvenser, de såkaldte ISM-bånd (Industrial-Scientific-Medical). De mest brugte ISM-frekvenser er 13,56, 27,12 og 2.450 MHz.

Virkninger

Der er generelt stor usikkerhed om biologiske virkninger af elektromagnetiske felter. Det er vanskeligt at omsætte resultater fra dyreforsøg til mulige humane effekter, og desuden viser mange undersøgelser modstridende resultater eller er blevet betegnet som mangelfulde.

ELF

Både elektriske og magnetiske ELF-felter frembringer svage indre strømme i kroppen. Ved strømtætheder over 10 mA/m^2 er fundet akutte virkninger ved dyreforsøg (adfærdsændringer) og hos mennesker (kunstige synsindtryk ved magnetfeltspåvirkning). Der skal høje ydre feltstyrker til for at frembringe en intern strømtæthed på 10 mA/m^2 - for 50 Hz felter en elektrisk feltstyrke over 10-20 kV/m eller et magnetfelt på flere mT. Eksponering for magnetfelter på mT-niveau forekommer særdeles sjældent i praksis. Elektriske feltstyrker på 10-20 kV/m kan fremkalde et sanseindtryk som følge af, at den elektriske kraftpåvirkning kan bevæge hoved/kropshår.

Svage ELF-magnetfelter med niveauer over 0,2-0,3 μT er mistænkt for at kunne medvirke til udvikling af kræft. Den grundlæggende virkningsmekanisme, hvormed magnetfelter kan påvirke biologisk væv, er ikke kendt, og det er ikke afklaret, om der kan være en årsagssammenhæng mellem magnetfeltsudsættelse og kræft.

RF

Absorption af radiofrekvente elektromagnetiske felter bevirker en termisk energiafsættelse, som kan fremkalde en biologisk virkning. Ved dyreforsøg med en eksponering, hvor den gennemsnitlige interne effektafsættelse (absorptions hastighed) overstiger ca 4 W/kg , er fundet skadelige biologiske virkninger i form af

adfærdsændringer, effekter på immun-, metabol-, endokrin-, kardiovaskulære og reproduktive systemer. Resultater fra undersøgelser over human eksponering for RF-felter er meget divergerende. Mange af undersøgelserne fremviser modstridende resultater. Fx er svage elektromagnetiske felter fra dataskærme blevet mistænkt for reproduktive påvirkninger, men af et større antal undersøgelser har langt hovedparten ikke fundet belæg for denne mistanke.

Indirekte virkninger

Berøring af uafskærmede højfrekvensledende metaldele som elektroder og tilledninger i fx RF plastsvejse- og limtørreanlæg medfører forbrænding på kontaktstedet for berøringen. Metallkonstruktioner, der befinder sig i kraftige elektriske felter, bliver opladet af feltet, og ved berøring fremkaldes en elektrisk udladning, der kan give overraskelses- eller chokreaktioner (fx en kran i nærheden af en radiobølgesender). Pacemakers normale funktion kan påvirkes af ELF- eller RF-felter. Dataskærme kan forstyrres af relativt svage ELF-magnetfelter.

Måling og vurdering

Måling

Måling af ELF eller RF elektromagnetiske felter kan være en måleteknisk og vurderingsmæssig problematisk opgave. Måleudstyret skal være tilpasset den aktuelle type af måling, og feltkildens egenskaber skal almindeligvis kendes på forhånd. Afhængigt af felttype (E, H) og frekvensområde skal anvendes forskellige typer af instrumenter eller komponenter. I nogle tilfælde optræder der en vekselvirkning mellem det elektromagnetiske felt, måleinstrumentet, personer og andre objekter i nærheden, der komplicerer målingen. Yderligere er der et mangelfuldt grundlag mht viden om de biologiske virkninger og deraf afledte eksponeringsnormer til at vurdere konkrete måleværdier.

ELF

ELF-magnetfelter kan i princippet måles med en spole, hvori magnetfeltet inducerer en spænding, der registreres på et viserinstrument. Oftest anvendes måleenheden μT ($1 \text{ A/m} \sim 1,26 \mu\text{T}$). Praktiske instrumenter indeholder desuden frekvensfiltre, signalbehandlingskredsløb m.m. Der findes registrerende udstyr (dosimetre), som med korte mellemrum aflæser og gemmer målevær-

dier til senere overførsel til en computer. Elektriske ELF-felter kan i princippet måles ved at måle den elektriske forskydningsstrøm, som feltet frembringer mellem to metalplader. I praksis er det mere kompliceret at måle elektriske felter end magnetfelter, da det elektriske felt påvirkes kraftigt af personer, måleapparat og omgivelserne i øvrigt. Der findes udstyr, som er designet specielt til måling af felter fra dataskærme.

RF

Eksposering for RF elektromagnetiske felter med frekvens under ca 300 MHz beskrives ved måling af elektriske og magnetiske felter samt evt inducerede strømme og kontaktstrømme. De ydre elektriske og magnetiske felter er i nogle eksponeringssituationer et utilstrækkeligt mål til at beskrive den indre eksponering i kroppen. Derfor bør tillige måles, hvor store strømme der induceres gennem fødderne og evt gennem hænderne ved berøring af maskindele m.m.

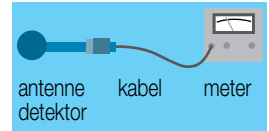
Måling af de elektriske og magnetiske felter foregår med en sensor bestående af en antenne, som er følsom over for det elektriske eller magnetiske felt, i forbindelse med en detektor, som videregiver et signal, der er proportionalt med E , E^2 , H eller H^2 . Et kabel forbinder sensoren med en signalbehandlings- og udlæseenhed (viserinstrument) (fig. 10.3). I praksis består E-felt sensoren af 2 eller 3 ortogonale, korte (længde 0,5-5 cm) dipolantennener, og H-felt sensoren består af 2 eller 3 ortogonale loop-antennener (diameter typisk 5-10 cm). Som detektor kan benyttes en diode eller forskellige former for termiske detektorer, fx en termistor eller et thermoelement. Til nærfeltmålinger er et almindeligt metalkabel uegnet, da det vil forstyrre målefeltet og/eller samle uønskede signaler op. I stedet benyttes højresistive ledninger eller optiske bølgeledere.

Til måling af inducerede strømme og kontaktstrømme findes specielle strømmålere, men de praktiske erfaringer hermed er endnu utilstrækkelige.

Ved eksponering for elektromagnetiske felter over ca 300 MHz (mikrobølger) måles kun det elektriske felt, idet eksponeringen ofte vil foregå under fjernfeltlignende forhold. Den elektriske feltstyrke kan da omregnes til en strålingsstrømtæthed (jf afsnit om radiofrekvente felter). Normalt er måleapparatets skala derfor direkte kalibreret i W/m^2 eller mW/cm^2 .

Et almindeligt lysstofrør kan bringes til at lyse, hvis det anbringes i et tilstrækkeligt kraftigt elektrisk felt. Dette fænomen er dog helt uegnet til en egentlig måling af elektrisk feltstyrke, men det benyttes ofte i praksis som en indikator for, om en højfrekvens-generator er i drift.

Den praktiske måleprocedure afhænger helt af den aktuelle kil-



Figur 10.3. Instrument til måling af radiofrekvente elektromagnetiske felter.

de - fx radarantenne, mikrobølgeovn eller højfrekvensvejseanlæg. Det er nødvendigt at have forhåndsoplysninger om frekvenser, tidsvariationer, effektforhold m.m. samt et detaljeret kendskab til det anvendte måleudstyrs egenskaber og begrænsninger i relation til den aktuelle kilde.

Grænseværdier

Der er ikke i Danmark fastsat grænseværdier for eksponering for elektromagnetiske felter, men der kan henvises til anbefalinger fra internationale organisationer. I det følgende omtales anbefalinger fra ICNIRP (tidligere IRPA, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), som har foreslået grænseværdier for eksponering for ELF-felter (50/60 Hz) og for RF-felter.

ELF

Basiskriteriet er, at inducerede strømtætheder i hoved og kropstamme, fremkaldt af eksponering for elektriske eller magnetiske 50 Hz felter, ikke bør overstige 10 mA/m^2 . Grundlaget for denne værdi er, at der ikke har kunnet påvises signifikante effekter ved korterevarende (dage, få uger) laboratorieforsøg med eksponeringer medførende inducerede strømtætheder af denne størrelse. Kriteriet er fastsat ud fra kendte eller muligt forudsigelige akutte effekter. ELF-feltternes evt rolle i forbindelse med udvikling af cancer er ikke inkluderet, idet den tilgængelige viden på dette område er vurderet som usikker og helt utilstrækkelig som grundlag for fastsættelse af normer. Ud fra basiskriteriet for inducerede strømme på 10 mA/m^2 er opstillet grænser for ydre elektriske og magnetiske feltstyrker i tab. 10.1.

For personer med pacemakere anbefaler ACGIH maksimale eksponeringer på hhv 1 kV/m og $0,1 \text{ mT}$.

Tabel 10.1. ICNIRP's anbefalede maksimalværdier for eksponering for 50/60 Hz felter i arbejdsmiljøet.

Eksponering	Elektrisk feltstyrke, kV/m	Magnetisk fluxtæthed, mT
Hele arbejdsdagen	10	0,5
Kort tid	30	5,0
Arme og ben	-	25,0

RF

De første forslag til normer for udsættelse for radiobølger fremkom omkring midten af 1950'erne (amerikanske). Maksimalværdien var her slet og ret 100 W/m^2 (10 mW/cm^2) for alle mikrobølgefrekvenser og var primært møntet på mikrobølgestråling ved militære radaranlæg. De nyeste eksponeringsnormer er meget komplekse, men bygger grundlæggende på at hindre, at eksponerin-

gen ikke medfører højere SAR-værdier end 0,4 W/kg som gennemsnit for hele kroppen og lokale spidsværdier på typisk 10 W/kg for hver 1 g, 10 g eller 100 g væv. Dette udgangspunkt inkluderer altså en "sikkerhedsfaktor" på 10 gange i forhold til 4 W/kg, hvor der ved dyreforsøg er fundet akutte effekter ved korterevarende eksponeringer (jf afsnittet om virkninger).

Da det i praktiske eksponeringssituationer ikke er muligt direkte at måle hverken gennemsnit eller lokale SAR-værdier for kroppen, angiver normerne desuden værdier for en række ydre målbare størrelser. Der er en kompliceret sammenhæng med mange variationsmuligheder mellem den interne absorption, de ydre felter og eksponeringsomstændigheder i øvrigt. Standarderne går derfor ud fra en "worst case" eksponeringssituation og angiver værdier for de ydre feltpåvirkninger, som sikrer, at basisværdierne for den interne absorption ikke overskrides. Det anføres derfor normalt også, at de ydre feltstyrker må overskrides, hvis en nærmere dosimetrisk undersøgelse af den konkrete eksponeringssituation kan godtgøre, at basisgrænserne for den interne absorption ikke overskrides.

Ud over felternes størrelse angiver standarderne tillige grænser for de strømme, der induceres gennem fødder og hænder, og kontaktstrømme gennem hænderne ved berøring af metaldele. Formålet med en grænse for den inducerede strøm gennem ekstremiteterne er at sikre, at den maksimale SAR-værdi lokalt ikke overskrides i håndled og ankler, hvilket grænserne for den elektriske feltstyrke i visse tilfælde ikke sikrer imod. Formålet med grænser for kontaktstrømme ved berøring af metalgenstande er dels at undgå lokale forbrændinger ved berøring og dels at nedsætte risikoen for chok- og overraskelsesreaktioner, som kan medføre anden fare.

IRPA's grænseværdier for radiobølgeeksponering dækker frekvensområdet 100 kHz - 300 GHz og er angivet i tab. 10.2 for arbejdsmiljøet. Ud over maksimalværdierne, som gælder for de uforstyrrede rms feltstyrker midlet (middel af kvadraterne på feltstyrkerne) over enhver 6-minutters periode gennem en arbejdsdag, må den inducerede strøm gennem ekstremiteterne ikke overstige 200 mA. For at undgå risiko for forbrændinger og chok ved berøring af højfrekvensledende metalgenstande bør kontaktstrømme over 50 mA undgås.

For pulserende felter angives, at spidsværdien ikke bør overskride 1.000 gange værdien for midleffekt-tæthed. For nærfeltseksponeringer i frekvensområdet 10-100 MHz, hvor eksponeringen kan domineres af en af felttyperne alene, må værdierne i tab. 10.2 overskrides, såfremt flg ulighed er opfyldt

$$\frac{1}{6}(E^2/377) + \frac{1}{6}(377H^2) \leq 10 \text{ W/m}^2,$$

Tabel 10.2. IRPA's maksimalværdier for arbejdsmiljøet.

hvor E og H er elektrisk og magnetisk feltstyrke. Dette indebærer i praksis, at den maksimale magnetfeltstyrke kan være op til 2,5 gange højere end i tab. 10.2 ved nærfeltseksposeringer, hvor magnetfeltet dominerer eksponeringen.

Frekvens f, MHz	Elektrisk feltstyrke V/m	Magnetisk feltstyrke A/m	Ækvivalent effektæthed W/m ²
0,1-1	614	1,6/f	-
1-10	614/f	1,6/f	-
10-400	61	0,16	10
400-2.000	3f ^{0,5}	0,008f ^{0,5}	f/40
2.000-300.000	137	0,36	50

Forebyggelse

Strategier

I afsnittet om måling og vurdering er omtalt grænseværdier, der kan tjene som et naturligt udgangspunkt i forbindelse med forebyggelse af uønsket eksponering for elektromagnetiske felter især i RF-området. Ved svage ELF-felter, hvor det pga utilstrækkelig viden ikke har været muligt at opstille grænseværdier, findes visse forslag til forsigtighedsprocedurer, som evt kan anvendes, hvis man vil agere på en mulig risiko ved svage ELF-felter. Således har det svenske Strålskyddsinstitut formuleret en forsigtighedsstrategi ved eksponering for ELF-felter gående ud på, at man

- ◆ ved nybygning af højspændingsledninger og andre anlæg, som kan medføre høje ELF-eksponeringer, bør søge løsninger, som giver lave eksponeringer, hvis dette ikke indebærer store ulemper eller omkostninger
- ◆ mindsker eksponeringer, som med en titalsfaktor overstiger normalværdier, hvis det kan ske til rimelige omkostninger
- ◆ venter med kostbare ombygninger af eksisterende installationer, såfremt eksponeringen højst er en titalsfaktor over normalværdier.

Denne svenske anbefaling tager udgangspunkt i "normalværdier" for eksponering for ELF-felter. Gennemsnitseksposeringer i området 0,1-0,2 μ T er almindeligt forekommende, hvilket betyder, at eksponeringen skal over nogle få μ T for at falde i kategorien "en titalsfaktor over normalværdier".

Teknisk forebyggelse kan i relation til kilden til elektromagnetiske felter i princippet finde sted på 3 måder: afstandsførelse,

afskærmning eller konstruktionsmæssige ændringer. Desuden er der i nogle specielle situationer mulighed for personlige beskyttelsesforanstaltninger. En kortlægning, der beskriver kilden, driftsomstændigheder samt de elektromagnetiske felters karakter og styrke, er et vigtigt redskab til at minimere eksponeringen for elektromagnetiske felter gennem administrative forholdsregler.

Afstandsforøgelse

Som nævnt i afsnittet om egenskaber aftager styrken af elektromagnetiske felter med afstanden r til kilden som r^n , hvor $1 < n < 3$. En forholdsvis ringe afstandsforøgelse kan derfor ofte give en stor eksponeringsreduktion. I mange tilfælde vil en afstandsforøgelse være det eneste tiltag, som brugeren selv har mulighed for at gennemføre uden særlig teknisk bistand. Ændringer af arbejds-gange og lokaleindretninger kan ofte medføre betydelige reduktioner i eksponering og kan især på et tidligt planlægningsstadium være lette at gennemføre.

Ved industrielle højfrekvensanlæg til plastsvejsning m.m. kan den energi, som kroppen absorberer fra højfrekvensfeltet, være stærkt afhængig af gulvets elektriske beskaffenhed. Hvis gulvet yder god højfrekvensmæssig jordforbindelse (fx metalgulv, armeret beton), reduceres feltets kobling til kroppen betydeligt, hvis der er 5-10 cm's afstand mellem gulvet og fødderne.

Afskærmning

Elektrisk ledende materialer, dvs metaller, har stor evne til at afskærme elektromagnetiske felter. Den afskærmende effekt afhænger generelt af flere forhold: materialets elektriske/magnetiske egenskaber, tykkelse og praktiske udformning, felternes retning, type (elektrisk/magnetisk felt) og frekvens. Højfrekvente felter er lettere at afskærme end lavfrekvente felter. Elektriske felter er lettere at afskærme end magnetfelter. Et ganske tyndt metalfolie er i stand til næsten fuldstændigt at afskærme for både høj- og lavfrekvente elektriske felter. Den mest effektive afskærmning opnås, hvis kilden helt omslutes af metalskærmen.

For RF-felter er de elektriske egenskaber af almindelige metalplader (fx 2-3 mm aluminium), metalfolier og metalnet næsten altid tilstrækkelige til at give en meget stor afskærmende effekt. Den effektivt opnåede afskærmning afhænger derfor i højere grad af den praktiske udformning af konstruktionen, som fx om kilden kun delvist kan afskærmes, eller evt om forskellige afskærmningsdele har god elektrisk forbindelse. Små åbninger i en afskærmning har kun ringe effekt på afskærmningseffektiviteten. Et metalnet eller metalgitter kan have stor afskærmende effekt; det afgørende er, at hullerne i nettet er meget mindre end felternes bølgelængde. I fx en mikrobølgeovn (bølgelængde 12

cm) er ovndøren forsynet med et finmasket metalnet, som giver en dæmpning af mikrobølgerne på omkring 1.000-10.000 gange. Det er meget vigtigt, at samlinger mellem forskellige dele af en afskærmning har god elektrisk kontakt. En dårlig elektrisk forbindelse mellem to plader vil kunne have samme effekt som en lang spalteformet åbning, der kan give en stor udstråling og dermed i betydelig grad nedsætte afskærmningseffektiviteten af hele konstruktionen.

ELF-magnetfelter er vanskelige at afskærme effektivt. Her har både metalmaterialets tykkelse, elektriske og magnetiske egenskaber samt magnetfeltets retning betydning. Både godt ledende metaller - fx kobber og aluminium - og jern er i stand til at dæmpe ELF-magnetfelter, men forskellige virkningsmekanismer spiller ind. En aluminiums- eller kobberplade har en dæmpende effekt pga. dannelsen af hvirvelstrømme og dermed et modsat rettet magnetfelt i pladen; virkningen er størst over for et magnetfelt vinkelret på pladen. En jernplade har en dæmpende effekt pga. jernets evne til at tiltrække og bortlede magnetfeltet, men også her er feltets retning af betydning. Samling af flere aluminiumsplader skal ske ved svejsning for at give den bedst mulige elektriske forbindelse. Det er muligt med 5 mm aluminiumsplader på gulv/loft/vægge at dæmpe et 50 Hz magnetfelt fra fx en transformatorinstallation i et naborum med omkring 10-20 gange. Effekten kan evt. forbedres lidt ved anvendelse af både aluminiums- og jernplader.

Kildeindgreb

Helt afhængigt af den aktuelle kilde kan der være muligheder for ved direkte indgreb i kilden at reducere uønsket eksponering. Eksempler:

- ◆ Et radaranlæg, hvor antennen måske unødvendigt kan udstråle i horisontal retning, kan give anledning til eksponering af mennesker i nærheden. Installation af en spærreanordning i antenne/sendeanlægget kan forhindre en sådan udstrålingsmulighed.
- ◆ Et højfrekvensanlæg til limhærdning af træfinér med manuel justering kan forsynes med en automatisk regulator, så manuel justering, hvorunder operatøren er tæt på anlægget, undgås.
- ◆ Ikke-jordede maskinkonstruktioner og metaldele, der befinder sig i elektriske felter, kan jordes for at undgå risiko for store kontaktstrømme ved berøring.
- ◆ I et transformatoranlæg kan afstanden mellem faseledere måske mindskes, så magnetfelterne reduceres (lille afstand mellem kabler med modsatrettede strømme mindsker det resulterende magnetfelt).

Personlig beskyttelse

I specielle situationer kan der være mulighed for personlige beskyttelsesforanstaltninger. Der er således udviklet tekstiler med indvævede metal fibre, der har en afskærmende effekt ved mikrobølger, og som derfor kan anvendes til beskyttelsesdragter. Sådanne personlige foranstaltninger kan være relevante i særlige tilfælde ved militære anlæg og næppe andre steder.

Litteratur

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Threshold limits values, 1994-1995.
- Forsgren PG, Berglund A, Mild KH. Reduktion av lågfrekventa magnetiska fält i nya och befintliga anläggningar för eldistribution. Undersökningsrapport 1994:35, Arbetsmiljöinstitutet, Umeå.
- International Non-ionising Radiation Committee of the International Radiation Protection Association (INIRC/IRPA). Guidelines on limits of exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 100 kHz to 300 GHz. *Health Physics* 54(1);115-23:1988.
- International Non-ionising Radiation Committee of the International Radiation Protection Association (INIRC/IRPA). Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields. *Health Physics* 58(1);113-22:1990.
- National Council on Radiation Protection and Measurement (NCRP). A practical guide to the determination of human exposure to radiofrequency fields. NCRP report No. 119. Bethesda, Maryland, 1993.
- SEIIS rapport No. 1: Rapport om risiko for kræft hos børn med bopæl eksponeret for 50 Hz magnetfelter fra højspændingsanlæg. Sundhedsstyrelsen 1993.
- SEIIS rapport No. 2: Rapport om risiko for kræft ved udsættelse for ekstremt lavfrekvente magnetfelter i arbejdet. Sundhedsstyrelsen 1993.
- SEIIS rapport No. 3: Sundhedsmæssige risici ved eksponering for elektromagnetiske felter i radiofrekvensområdet. Sundhedsstyrelsen 1994.
- Skotte J. Udstråling fra industrielle højfrekvensanlæg. AMI rapport nr. 22/1986, Arbejds miljøinstitutet.
- Statens Strålskyddsinstitut. Elektriska och magnetiska fält från 50 Hz elkraft. Vad vet vi om möjliga skaderisker? Information i 93-01. SSI, Stockholm.

The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. C91.1-1991, New York 1992.

KAPITEL 11

Belysning

E. Petersen

Belysning

En væsentlig forudsætning for et godt arbejdsmiljø er, at belysningen er tilpasset arbejdets art og den enkelte persons behov. Detaljerne i arbejdsopgaven skal kunne opfattes præcist af øjet, således at synsindtrykket let kan blive viderebearbejdet i hjernen. Gode lysforhold fås ved et samspil mellem styrken af det anvendte lys, dets placering og retning samt dets evner til at gengive former, farver og strukturen i overfladerne. Desuden skal belysningen i lokalet uden for det egentlige arbejdsfelt være indrettet således, at synsevnen ikke generes eller hæmmes, og således at man ubesværet kan orientere og bevæge sig i lokalet.

Egenskaber

Inden for belysningsteknikken anvendes forskellige begreber, som man må være bekendt med for at forstå, hvorledes forholdene omkring lys beskrives, og hvorledes lyset kan fremhæve detaljerne i synsopgaven.

Lystekniske begreber og deres betydning

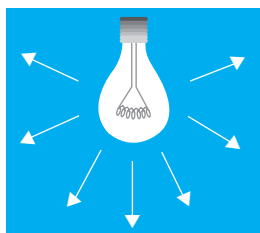
De vigtigste lystekniske begreber er:

- ◆ lysstrøm
- ◆ lysstyrke
- ◆ belysningsstyrke
- ◆ luminans
- ◆ refleksion

Lysstrøm

En lyskilde, fx en glødelampe, udsender energi i form af stråling i

Figur 11.1. Lysstrøm Φ .



alle retninger, og en del af denne stråling kan sanses som lys. Den synlige energi pr tidsenhed betegnes lysstrømmen og måles i lumen (lm). Lysstrømmen er således et mål for, hvor meget lys der udsendes fra en lyskilde (fig. 11.1).

Lysstyrke

Strålingen fra lyskilden er nødvendigvis ikke lige stor i alle retninger. Lysstrømmen i en retning inden for en lille rumvinkel betegnes som lysstyrken i denne retning, og den måles i enheden candela (cd). Lysstyrken er således et mål for, hvor meget lys der udsendes i en bestemt retning (fig. 11.2).

Belysningsstyrke

Når en flade rammes af en lysstrøm, bliver den belyst, og størrelsen af lysstrømmen pr arealenhed (antal lm pr m^2) angives som belysningsstyrken, og den måles i enheden lux.

Belysningsstyrken er således et mål for, hvor meget lys der rammer en overflade (fig. 11.3), og er derfor et meget anvendt begreb, når der skal stilles krav til belysningsforholdene.

Luminans

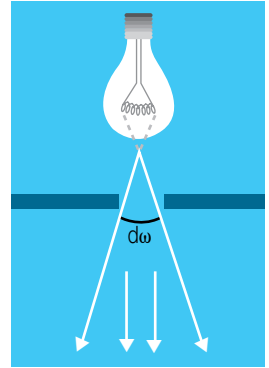
Øjets opfattelse af den belyste flades udseende er ikke alene afhængig af belysningsstyrken, men også af, hvor meget og hvorledes lyset reflekteres fra overfladen. Et hvidt og et sort stykke papir på en bordflade opfattes helt forskelligt, selvom belysningsstyrken er den samme på de to flader. Det hvide papir reflekterer mere lys mod øjet end det sorte. Som et mål for, hvor meget lys der udsendes fra en flade mod øjet, anvendes begrebet luminans, og enheden for denne er candela pr m^2 (cd/m^2).

Luminansen alene siger ikke noget om, hvor lys fladen er, men sammenholdt med luminanserne af de øvrige flader i synsfeltet er den et udtryk for, hvor lys fladen opfattes (fig. 11.4). Det er derfor et vigtigt begreb inden for arbejdsbelysningen, da det giver et mål for, hvad øjet "ser".

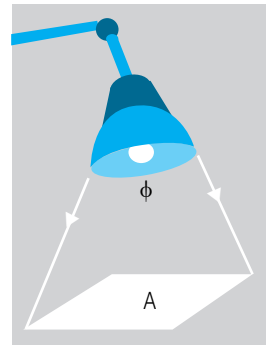
Reflektans

Når lys rammer en overflade, vil en del tilbagekastes (reflekteres), en anden del opsuges (absorberes), og en tredje del gå igennem fladen (transmitteres) (fig. 11.5). For uigennemskinnelige flader forekommer naturligvis kun de to første dele. Det er fladens evne til at reflektere lyset, der bevirker, at den kan ses, hvis den ikke selv lyser. Som mål for fladens evne til at reflektere lyset anvendes begrebet reflektans. Reflektansen er forholdet mellem den reflekterede lysstrøm og den lysstrøm, der rammer fladen.

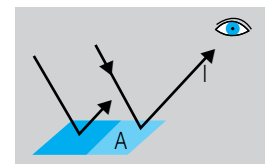
Lyset reflekteres på forskellig måde afhængigt af fladens struktur. En blankpoleret metalflade virker som et spejl, og denne



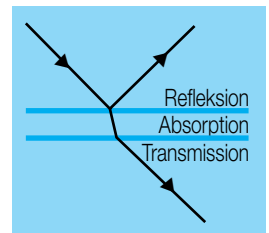
Figur 11.2. Lysstyrke
 $I = d\Phi/d\Omega$.



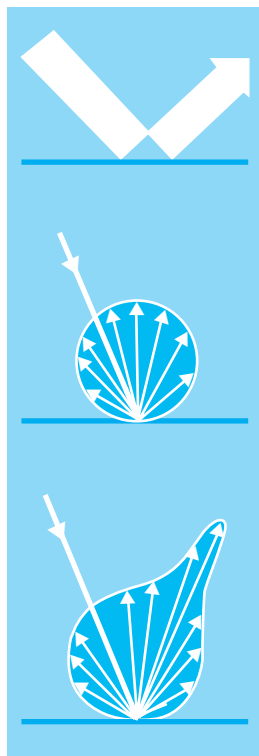
Figur 11.3. Belysningsstyrke
 $E = \Phi/A$.



Figur 11.4. Luminans
 $L = I/A$.



Figur 11.5. Refleksion, absorption og transmission.



Figur 11.6.
a) Ideel spejlende,
b) ideel diffus,
c) blandet refleksion.

Tabel 11.1. Eksempler på størrelsesordenen af nogle lystekniske begreber for forskellige lyskilder.

form for refleksion benævnes som "spejlende". Ved en ideel spejlende refleksion er lysets udfaldsvinkel lig indfaldsvinklen (fig. 11.6a). Set i udfaldsretningen er fladens luminans lig lyskildeluminansen gange reflektansen. I andre retninger er luminansen 0, dvs fladen er sort.

En helt mat overflade vil reflektere lyset, så det spredes i alle retninger. Fladen vil ses lige lys, uanset fra hvilken retning den betragtes. Ved en ideel diffus refleksion vil luminansen L af den belyste flade hverken afhænge af lysets indfaldsretning eller observationsretningen (fig. 11.6b). Luminansen af fladen kan beregnes af $L = r \cdot E/\pi$, hvor r er fladens reflektans og E belysningsstyrken på fladen.

De fleste flader har både en spejlende og en diffus refleksion. Ved en blandet refleksion vil luminansen af den belyste flade være afhængig af både lysets indfaldsretning og observationsretningen (fig. 11.6c).

Sædvanlige størrelsesordener af nogle lystekniske begreber er angivet i tab. 11.1.

Lyskilders kvalitet

Lys kan opstå på mange forskellige måder, men i alle tilfælde opstår lysudsendelsen ved, at der i en eller anden form tilføres atomer energi, der ændres til en energiudsendelse i form af stråling, hvoraf en del er lysstråling. Den del af strålingens spektrum, som giver en følelse af lys, ligger i bølglængdeområdet 400-700 nm.

Lysstrøm	Cykellygte	10 lumen
	60 W glødelampe	710 lumen
	58 W lysstofrør	5.200 lumen
	250 W kviksvøvlampe	14.200 lumen
Lysstyrke	Stearinlys	1 cd
	60 W glødelampe	60 cd
	58 W lysstofrør	500 cd
	250 W kviksvøvlampe	10.000 cd
Belysningsstyrke	Ved fuldmåne	0,2 lux
	Vejbelysning	10 lux
	Almenbelysning i kontor	200 lux
	Udendørs, overskyet	20.000 lux
	Udendørs, solskin	100.000 lux
Luminans	Vejbelægning på belyst vej	1 cd/m ²
	Papir på skrivebord (500 lux)	100 cd/m ²
	Månen	2.500 cd/m ²
	58 W lysstofrør	13.500 cd/m ²
	60 W glødelampe	80.000 cd/m ²
	250 W kviksvøvlampe	100.000 cd/m ²
	Solen	1.600.000.000 cd/m ²

Energiltilførslen, som resulterer i en lysudsendelse, kan ske på forskellige måder, hvoraf de almindeligste er:

- ◆ ved opvarmning (temperaturstråling)
- ◆ ved bombardement med elektroner (luminescensstråling).

Lysfarve

Lys udsendt fra et glødende legeme indeholder lys i hele spektrets område, mens dampplamper (luminescensstrålere) hovedsageligt udsender lys i bestemte bølgelængdeområder og en mindre del i et kontinuert spektrum. Lyskildens spektrum er afgørende for, hvilken farve lyset har (varmt eller koldt), og hvorledes lyset er i stand til at give genstandes farver.

Lyskildens farve angives vha en farvetemperatur med enheden kelvin (K). Lyskildens farvetemperatur bestemmes ved en sammenligning med farven på et glødende legeme. Farvetemperaturen er den temperatur, det glødende legeme skal have, for at det med øjet opfattes som lysende med samme farve som lyskilden. Lyskilder med farvetemperaturer under 3.500 K opfattes almindeligvis som en varmvid farve, mellem 3.500 og 5.000 K ses farven hvid, mens farven synes blåhvid (kold) ved farvetemperaturer over 5.500 K. Eksempler er givet i tab. 11.2.

Tabel 11.2. Oversigt over lyskilders egenskaber.

Lyskilde	R _a op til	Farvetemperatur K	Lysudbytte lm/W	Levetid timer
Glødelamper	99	2.600 - 2.900	10 - 15	1.000
Halogenglødelamper	99	2.900	16 - 21	2.000
Energisparelamper	82	2.700 - 4.000	45 - 70	8.000
Lysstofrør				
primære de Luxe	95	2.700 - 5.000	65 - 85	9.000
primære	85	2.700 - 6.000	75 - 95	9.000
sekundære	55	2.900 - 4.100	55 - 65	8.000
Højtryksskviksøvlampe				
standard	35	3.900	55	16.000
comfort	55	3.500	40 - 60	16.000
Metalhalogen	80	2.600 - 6.000	70 - 100	16.000
Højtryksnatriumlampe				
standard	25	2.000	85 - 150	16.000
farvekorrigeret	65	2.200	85	10.000
speciel type	83	2.500	45	10.000
Induktionslamper	80	2.700 - 4.000	65	60.000

Farvegengivelse

Lyskildens farvegengivende egenskaber angives vha farvegengivelsesindekset R_a , som kan antage værdier op til 100. Fastlæggelsen af en lyskildes farvegengivelsesindeks sker ligeledes ved en sammenligning med lys med en spektralfordeling svarende til et glødende legeme (referencelyskilde). Otte standardiserede farveprøver belyses dels med den undersøgte lyskilde og dels med en referencelyskilde med samme farvetemperatur som lyskilden. Farveprøverne sammenlignes, og jo bedre overensstemmelse, der er mellem farverne i de to belysningssituationer, jo nærmere 100 ligger farvegengivelsesindekset. Som hovedregel gælder, at der bør anvendes lyskilder med R_a -værdier ikke under 80 i lokaler, hvor mennesker opholder sig i længere tid ad gangen.

I tilfælde, hvor der stilles store krav til farvebedømmelsen, må der evt foretages en individuel bedømmelse. Lyskilder med samme farvetemperatur behøver ikke nødvendigvis have samme farvegengivelsesindeks, ligesom lyskilder med samme farveindeks ikke altid giver alle farver på samme måde.

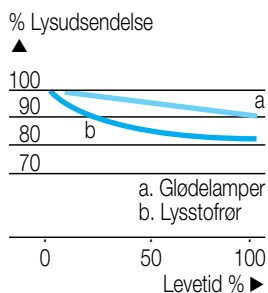
Lysudbytte

Lyskildernes evne til at omsætte den tilførte energi til lys er meget forskellig. Hele den tilførte energi omsættes til varme, men en del udsendes dog først som lys. Det tilstræbes derfor, at så meget som muligt af energien omsættes til lys. En lysgivers evne til at omsætte den tilførte energi til lys angives med lysgiverens lysudbytte, og den udtrykkes i udsendt lysstrøm pr tilført watt (lm/W). Lyskilder med det største lysudbytte har dog mindre gode egenskaber mht lysfarve og farvegengivelse. Ved valg af lyskildetype må de forskellige egenskaber derfor afvejes mod hinanden. Lyskildernes egenskaber er beskrevet i de enkelte lyskildedefabrikanters kataloger. En oversigt over forskellige lyskildetyper er givet i tab. 11.2. Lysudbyttet aftager gennem levetiden, som det ses af fig 11.7.

Flimmer

Flimmer er den fornemmelse, som fremkaldes af pulserende lys, og som består i, at det direkte kan iagttages, at lyset ikke er konstant. Det pulserende lys fås fra lyskilder, der drives ved vekselstrøm.

Ved 50 Hz vekselstrøm vil strømmen være nul 100 gange i sekundet. I hvilken grad denne variation i strøm giver sig udslag i variationer i lysudsendelse, afhænger af lyskildens "træghed" eller "efterglød". Større glødelamper har lang efterglød og dermed en nogenlunde jævn lysudsendelse, mens damp-lamper generelt har en lille efterglød. Eftergløden og dermed flimmervirkningen er afhængig af det anvendte lysstofpulver.



Figur 11.7. Lysudsendelsen aftager med levetiden.

Flimmer kan give anledning til et ubehag, som bl.a. afhænger af flimmerfrekvensen og lyskildens placering i forhold til øjet, og som i høj grad er afhængig af den enkelte persons påvirkelighed.

Flimmervirkningen kan reduceres ved at fordele lyskilderne på to eller tre faser eller ved at anvende en speciel kobling (LC) for lyststofrør, der ikke giver maksimum af lys på samme tid. Nye anlæg, hvor der anvendes højfrekvent belysning (30.000 Hz), er helt uden generende flimmer.

Belysningselementer

Lyskilder

Dagslys

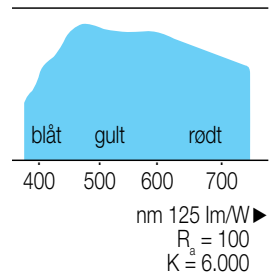
Solen svarer til et glødende legeme med en overfladetemperatur på ca. 6.000 °C, og spektret indeholder derfor lys af alle bølglængder (fig. 11.8). De farvegengivende egenskaber er ideelle, og da ca. halvdelen af energien ligger i det synlige område, er lysudbyttet stort (100-150 lm/W). Lyset, som kommer fra den blå himmel, er "koldt" med en farvetemperatur på 7.000-10.000 K.

Glødelamper

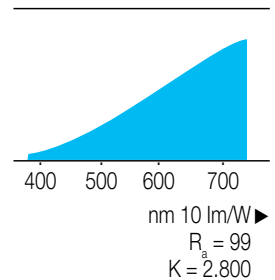
Lysudsendelsen fra en glødelampe sker fra en kraftig glødende tråd med en temperatur på ca. 3.000°C, dvs. spektret indeholder lys af alle bølglængder (fig. 11.9). De farvegengivende egenskaber er derfor gode ($R_a = 0,99$). Lysudbyttet er derimod lavt, dvs. varmeafgivelsen i forhold til lysudsendelsen er stor, hvilket forårsager et stort energiforbrug og en stor varmebelastning i lokaler, hvor der i udstrakt grad anvendes glødelys. Anvendt som punkt-belysning på enkelte arbejdspladser betyder denne varmebelastning på lokalets termiske indeklime sjældent noget, men hvis lyskilden er tæt på personen, kan varmestrålingen være generende i en arbejdsituation. Skal belysningsniveauet i hele lokalet tilvejebringes ved glødelys, kan der let opstå varme problemer.

Halogenglødelamper

Halogenglødelampen er en videreudvikling af glødelampen, hvor gasfyldningen i glaskolben er tilsat et halogen, fx jod. Denne teknik sammen med, at der anvendes specielt glas, der kan modstå høje temperaturer, bevirker, at driftstemperaturen kan hæves, hvorved lysudbyttet forøges. I de senere år er der især sket en udvikling af miniatureudgaver til lavvoltage (6-12-24 V), som bl.a.



Figur 11.8. Spektral effektfordeling for dagslys.



Figur 11.9. Spektral effektfordeling for glødelys.

har fundet anvendelse i "utraditionelle" belysningsanlæg. Det meget rettede lys fra disse lyskilder og den høje temperatur kan indebære en øget varmepåvirkning og evt en brandrisiko ved let-antændelige materialer. Da der anvendes kvartsglas som kolber, tilbageholdes UV-strålingen fra lyskilden ikke i samme grad som af almindeligt glas.

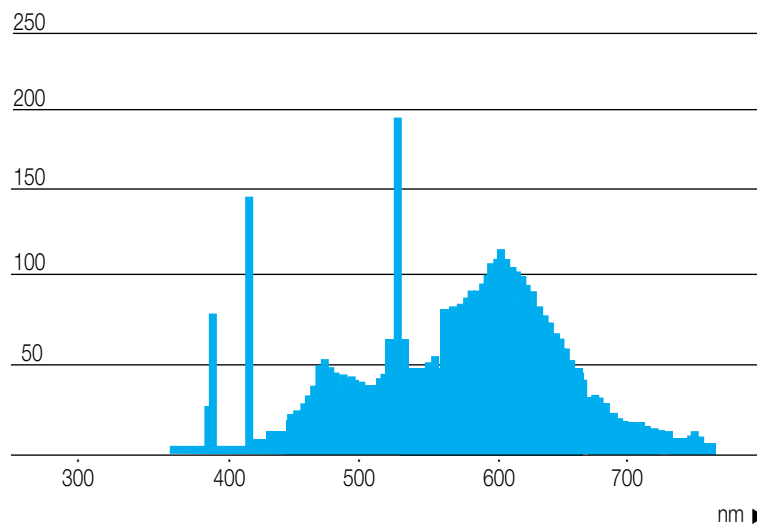
Lysstofrør

Lysudsendelsen fra lysstofrør fremkommer, ved at ultraviolet lys rammer et lyspulver på rørets indvendige side og derved omdannes til synlig stråling (luminescens). Det ultraviolette lys dannes, ved at en strøm af elektroner sendes gennem røret, som er fyldt med kviksølv damp. Lyspulveret er afgørende for spektralfordelingen for det udsendte lys og dermed lyskildens farvetemperatur og de farvegengivende egenskaber (fig. 11.10). Lysstofrørene opdeles i tre hovedgrupper efter deres lyskvalitet, som er bestemt af, hvor mange lag lyspulver rørene er belagt med:

- ◆ sekundære rør (1-pulver-rør)
- ◆ primære rør (3-pulver-rør)
- ◆ primære de luxe rør (5-pulver-rør).

Da de sekundære rør er billigst i indkøb (men dyrest i drift), er de meget anvendt, på trods af deres dårlige R_a -tal, som det fremgår af tab. 11.2. Inden for hver hovedgruppe findes der typer

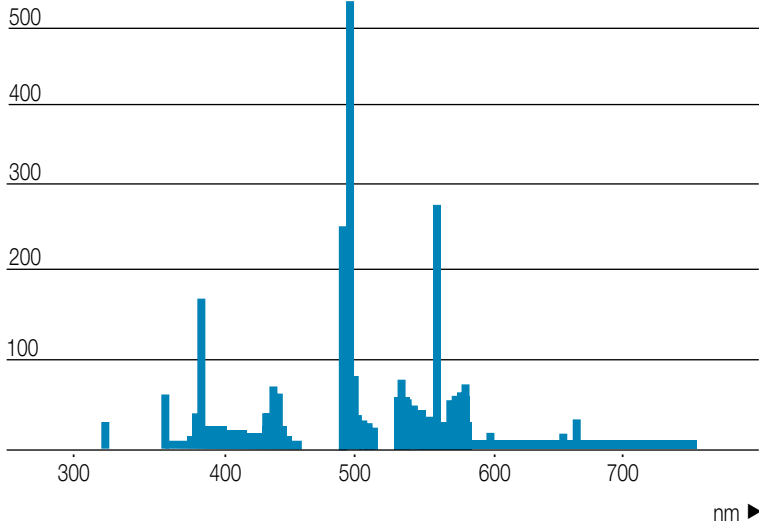
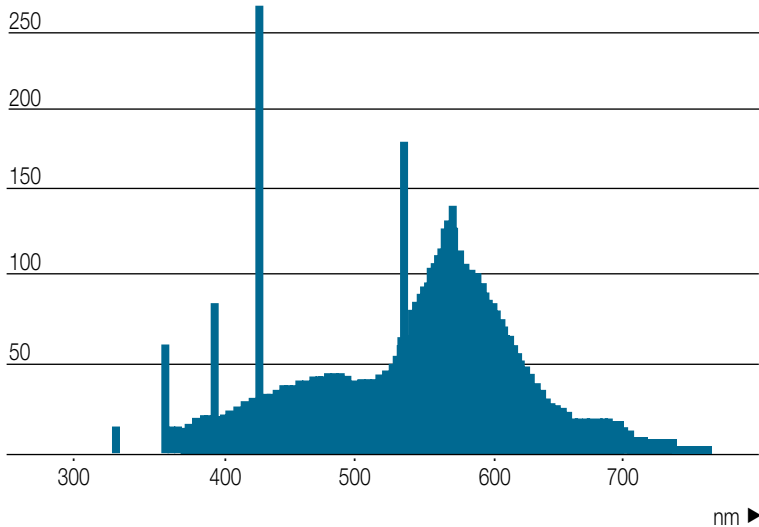
▲
TLD/93 Primær de Luxe
 Farvegengivelse $R_a = 95$
 Farvetemperatur $K = 3.000$



Figur 11.10. Spektral effektfordeling for 3 typer lysstofrør.

med forskellige farvetemperaturer fra “varmt” lys svarende til glødelys til “koldt” lys svarende til dagslys.

Valg af lysstofrør må ske ud fra kravet til R_a -værdi og farvetemperatur i den pågældende arbejdsituation.

**TLD/83 Primær**Farvegengivelse $R_a = 85$ Farvetemperatur $K = 3.000$ **TLD/33 Sekundær**Farvegengivelse $R_a = 66$ Farvetemperatur $K = 4.200$ 

Kompaktlysstofrør

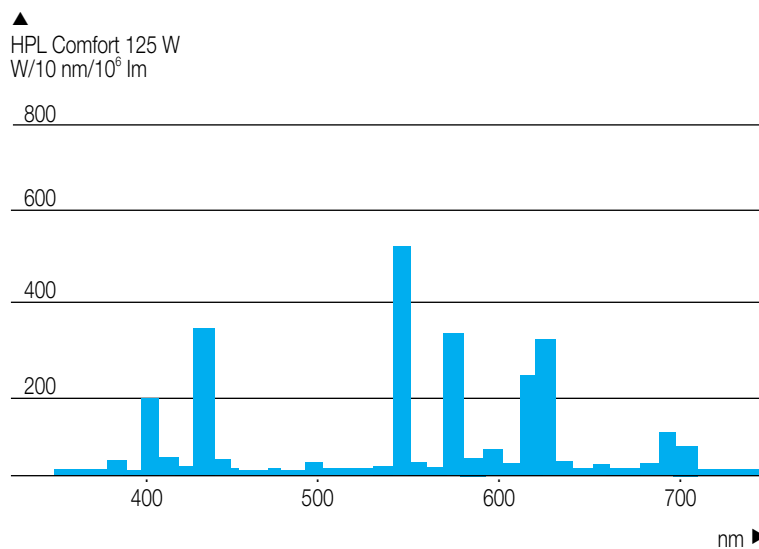
Kompaktlysstofrørene, også kaldet energisparepærer, er lysstofrør, der er foldet sammen, så dimensionerne bliver forholdsvis små. De har opnået stor udbredelse de senere år som erstatning for almindelige glødelamper pga det lavere energiforbrug og den længere levetid.

Højtrykskviksøvlamper

En kviksøvlampe er sammensat af et udladningsrør fyldt med kviksølv damp under højt tryk, som er dækket af en ydre glaskolbe, der er belagt med et lyspulver. Selve udladningsrøret udsender UV-stråling og blågrønt lys, der omdannes til lys, når det rammer den pulverbelagte glaskolbe (fig. 11.11). Glaskolben beskytter således personer mod bestråling af UV-stråler. En lampe med knust kolbe kan stadig brænde; den vil derfor udgøre en risiko for øjnene pga UV-strålingen og skal derfor straks udskiftes.

Kviksøvlamper har en farvegengivelse, der ikke er særlig god, og de er derfor kun udbredt i fabrikshaller med stor loftshøjde eller lignende, da lysstrømmen pr lampe er stor. Selve arbejdsstedet bør i disse situationer have en supplerende belysning med en bedre R_a -værdi.

Figur 11.11. Spektral effektfordeling for højtrykskviksøvlampe.

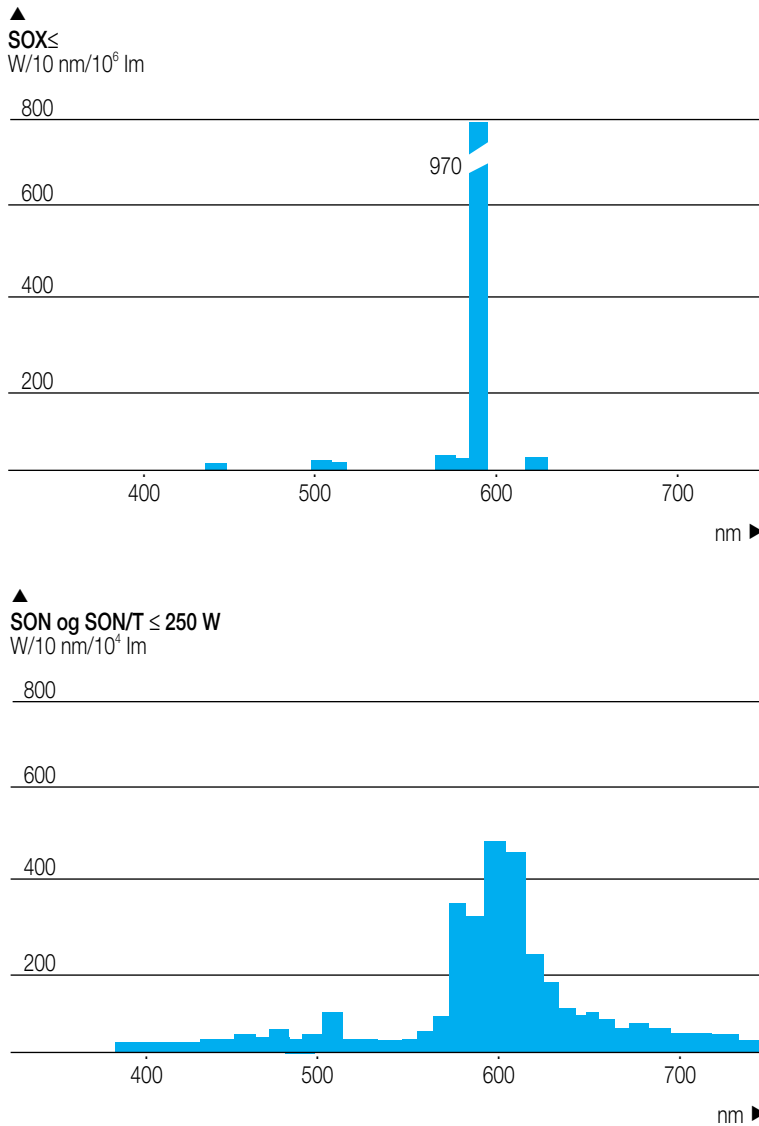
*Metalhalogenlamper*

I metalhalogenlampen er der tilsat forskellige inaktive gasser og metalhalogener til kviksølv dampene i udladningsrøret. Vha forskelligt valg og blanding af metalhalogener er det muligt at opnå lysudbytter på omkring 70 lm/W, farvetemperaturer mellem 2.600 og 6.000 K og en R_a -værdi på 60-95.

Natriumlamper

Der findes to grupper af natriumlamper, lavtryks og højtryks. Lavtrykslampen udsender et gult lys inden for et meget lille bølglængdeinterval (fig. 11.12) og kan kun gengive gule farver. Alle andre farvede flader er grå/gule. Lyskilden er derfor uegnet til arbejdsbelysning.

Højtryksnatriumlampen afgiver lys i hele spektret, med en kraftig lysudsendelse i det gul-orange område. Lysudbyttet er stort, men de farvegengivende egenskaber er ikke gode. Da lyset er varmt og den menneskelige hudfarve gengives nogenlunde,



Figur 11.12. Spektral effektfordeling for lavtryksnatriumlampe (øverst) og højtryksnatriumlampe (nederst).

foretrækkes denne lyskilde i visse tilfælde frem for en kviksølv-lampe med et koldt lys. Højtryksnatriumlampen er videreudviklet i de senere år og fremstilles nu i varianter med R_a -værdier større end 80.

Armaturer

Armaturets opgave er at fordele lyset fra lyskilden og hindre blænding. Et godt armatur er karakteriseret ved:

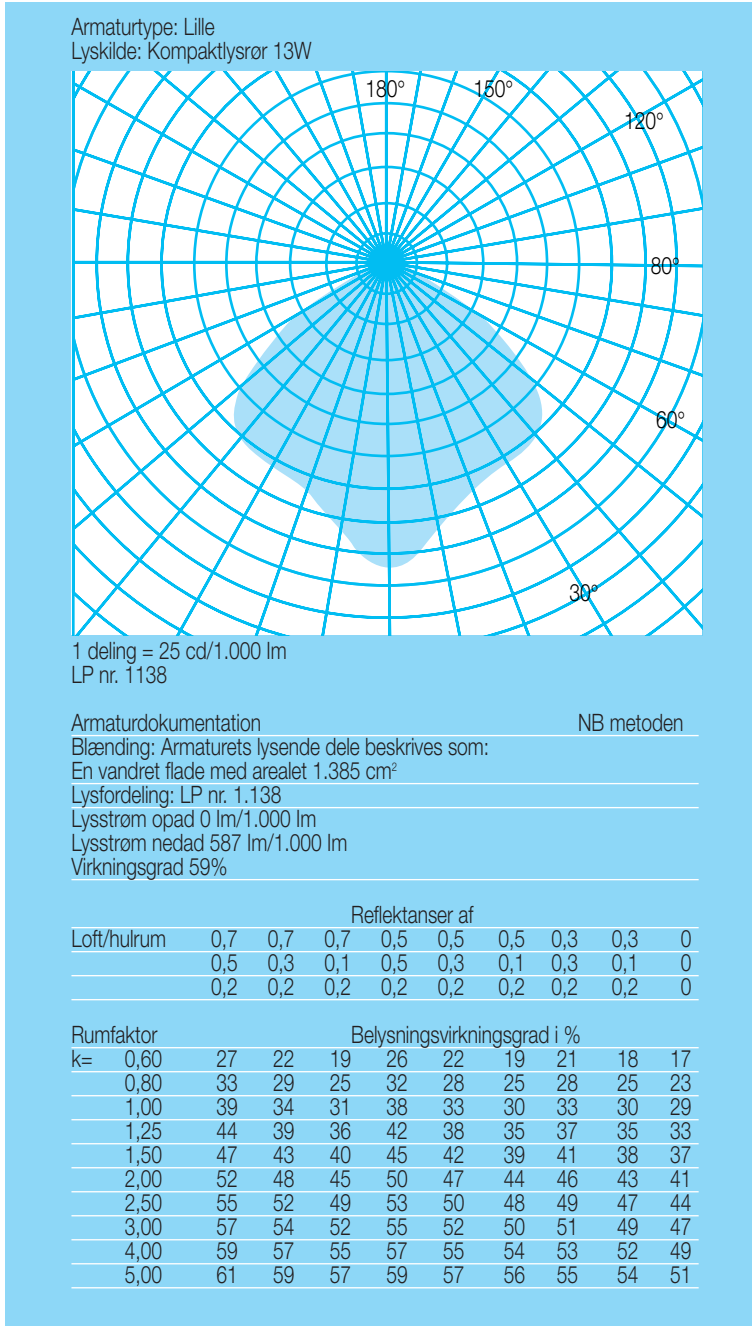
- ◆ at det har en lysfordeling, hvor lysets retning og styrke passer til synsopgaven
- ◆ at blænding fra armaturet ikke overskrider de anbefalede grænser
- ◆ at det har en høj virkningsgrad
- ◆ at dets konstruktion og robusthed er afpasset efter arbejdspladsens karakter
- ◆ at det er let at vedligeholde.

Lysfordeling

Et armaturs lysfordeling opgives normalt af fabrikanten i dennes dokumentation af armaturets egenskaber. Lysfordelingen angives normalt vha en lysfordelingskurve, af hvilken man kan aflæse, i hvilke retninger lyset udsendes fra armaturet, og størrelsen af lysstyrken i de forskellige retninger (fig. 11.13). Vha forenkede håndberegningsmetoder eller mere avancerede EDB-beregninger kan belysningsstyrker, blændingstal og luminanser i et lokale beregnes, når armaturets lysfordeling er kendt. Valg af armaturtype ud fra dets lysfordeling kan ske enten ud fra et krav om, at det skal give den bedste kontrast i arbejdsobjektet og/eller give en god almenbelysning i lokalet. Armaturets lysfordeling har meget stor indflydelse på luminansfordelingen og dermed rumoplevelsen af lokalet.

Afskærmning

Da lyskildens luminans er meget høj, vil den give anledning til ubehagsblænding, hvis den er synlig. Armaturerne forsynes derfor med gitre, der dels afskærmer lyskilden og i nogle tilfælde dels dirigerer lyset i de ønskede retninger. Afskærmningen påvirker således i høj grad lysfordelingen. Der findes to hovedtyper af afskærmninger. Den ene type har en lysspredende flade eller lameller, som mere eller mindre spreder lyset diffust, og armaturet vil derfor kunne ses som en lysende flade på loftet. Den anden type har spejlende lameller, som reflekterer lyset nedad, og armaturet vil fra nogle retninger se ud, som om det er slukket



Figur 11.13. Et armatures lysfordelingskurve og tabel over belysningsvirkningsgrad.

(fx lavluminansgitre). Sidstnævnte type anvendes, hvis man ønsker at undgå, at armaturerne giver generende spejlinger i dataskærme.

Virkningsgrad

En del af den lysstrøm, der udsendes fra lyskilden, absorberes af armaturet og når ikke ud i lokalet. Forholdet mellem den lysstrøm, der afgives fra armaturet og fra selve lyskilden, betegnes som virkningsgraden. Afskærmningens type har stor indflydelse på virkningsgraden.

Da refleksioner i lokalets overflader påvirker belysningsfordelingen og dermed, hvor meget lys der rammer arbejdsfladen, opgiver fabrikanten en tabel over belysningsvirkningsgraden, som tager hensyn til lokalets dimensioner og overfladernes reflektanser (se fig. 11.13). Af figuren kan direkte aflæses, hvor meget af lyset fra lyskilden der rammer et vandret plan 0,85 m over gulv. En høj belysningsvirkningsgrad giver et mindre energiforbrug og en mindre varmebelastning af lokalet, men der vil være stor risiko for generende blænding i visse synsretninger.

Blændingstal

Ubehagsblændingen fra et belysningsanlæg er afhængig af armaturernes luminans, baggrundens luminans, størrelsen af den rumvinkel, hvorunder armaturernes lysende flade ses, samt antallet af armaturer. Ubehagsblændingen er karakteriseret ved et blændingstal. Der findes forskellige metoder til beregning af belysningsanlægs blændingstal.

Belysningens ydeevne mht begrænsning af ubehagsblænding angives med et maksimalt blændingstal. Blændingstal angives på en skala, som i praksis går fra 13 til 28, hvor det største blændingstal angiver den kraftigste blænding.

Vedligeholdelse

Støv og snavs, som sætter sig på lyskilder og reflektorer og lokalets overflader, nedsætter belysningsvirkningsgraden og dermed belysningsstyrken. Armaturernes konstruktion skal derfor vælges afhængigt af, hvor meget snavs arbejdsprocessen producerer, og hvor let det er at rengøre armaturet. Da lyskilderne også skal udskiftes med bestemte intervaller, bør adgangen til armaturer og lyskilder være let. Der bør forefindes en vedligeholdelsesrutine for anlægget svarende til den vedligeholdelsesfaktor, der er anvendt i projekteringsberegningerne.

Belysningsanlæg

Belysningsanlægget har flere opgaver, nemlig:

- ◆ at skabe de rette synsbetingelser for synsopgaven i lokalet
- ◆ at belyse lokalets flader, således at luminansfordelingen svarer til de anbefalede
- ◆ at skabe et rum med et tilfredsstillende miljø, som ikke generer eller hæmmer synsevnen, og således at man ubesværet kan orientere sig i lokalet.

Belysningsanlægget kan opdeles i to kategorier:

- ◆ almenbelysning
- ◆ særbelysning.

Almenbelysning

Almenbelysningen har til opgave at belyse rummets flader, således at disse får en passende luminans i forhold til arbejdspladens nærmere omgivelser og arbejdsobjektet. I et kontor, hvor der er 500 lux på arbejdsopgaven, fx hvidt papir, vil luminansen af dette være ca 125 cd/m². Omgivelsernes luminans skal da ikke være mindre end ca 12 cd/m² (10:1). I tilfælde, hvor almenbelysningen samtidig udgør arbejdsbelysningen, skal armaturer og arbejdspladser placeres således i forhold til hinanden, at kontrasten bliver bedst mulig. Endvidere skal anlægget belyse gang- og færdselsarealer, således at der skabes den fornødne sikkerhed for trafikken.

Almenbelysningen skal desuden sikre, at der kan udføres arbejde uden for de egentlige arbejdspladser. Endelig skal belysningen være tilstrækkelig til rengøring af lokalet, og i nogle tilfælde kan det være nødvendigt med supplerende rengøringsbelysning.

Almenbelysningen er ofte armaturer, der er opsat i et regelmæssigt mønster på loftet. Valg af lyskildetype og armaturer er afhængige af synsopgaverne samt kravene til belysningsforholdene i lokalet. I store haller, hvor arbejdsopgaven stiller mindre krav til blænding, og hvor der ikke indgår blanke overflader i synsarbejdet, er det fx muligt at anvende kviksølvlamper o.l. med en stor lysstrøm. Såfremt R_a-værdien for almenbelysningen er mindre end den anbefalede, må særbelysningen kunne kompensere for dette.

Lysfordelingen for armaturerne har stor betydning for luminansfordelingen i lokalet. Armaturer, som er afskærmet således, at de fortrinsvis sender lyset mod gulvet (dybtstrålende armaturer), vil ofte give en dårlig luminansfordeling, fordi vægfladerne ikke belyses. Denne type armaturer anvendes fx i lokaler, hvor

man vil undgå generende refleksioner i lodrette blanke flader (dataskærme). I sådanne tilfælde kan luminansfordelingen forbedres ved anvendelse af armaturer, der både lyser opad og nedad. En del af det udsendte lys rammer loftet og reflekteres mod lokalets øvrige flader. Vægfladerne kan fx også belyses med specialarmaturer.

Særbelysning

Ved mange arbejdsopgaver er det ikke muligt at opnå en korrekt arbejdsbelysning alene vha almenbelysningen, og arbejdspladsen må da have en særbelysning. En særbelysning kan være en arbejdslampe, en indbygget specialbelysning, eller et armatur (evt med en til arbejdsopgaven særlig velegnet lysfordeling) nedhængt over arbejdspladsen.

Der findes mange forskellige typer arbejdslamper, og valget må afpasses efter synsopgaven og arbejdspladsens indretning. Som lyskilder anvendes glødelamper, halogenglødelamper, energisparelamper eller små lysstofrør. Glødelamper kan umiddelbart kobles sammen med en lysdæmper, mens særbelysning af lysstofrørstypen skal have lysdæmpningen indbygget i systemet.

Der stilles følgende krav til særbelysningen:

- ◆ den skal kunne indstilles til belysning af arbejdsopgaven uden at genere arbejdsprocessen
- ◆ belysningen skal fremhæve synligheden af arbejdsopgaven
- ◆ den må ikke blænde andre personer i lokalet
- ◆ varmeudviklingen må ikke være generende
- ◆ konstruktionen skal være så robust, at den kan holde til de påvirkninger, som den kan komme ud for i den normale arbejdsituation
- ◆ arbejdslampen skal være let at rengøre, især på arbejdspladser med snavset arbejde.

En særbelysning kan monteres på mange forskellige måder, og i praksis ser man ofte en forkert placering af særbelysningen. Det er derfor nødvendigt, at brugeren får den fornødne instruktion i brugen af særbelysningen.

Virkninger

Lyset og mennesket

Belysningen på arbejdspladser må planlægges ud fra kendskabet til menneskelige normer. Der kan imidlertid ikke gives nogen nøjagtig definition af et normalt tilfælde, da de fleste personer vil afvige mere eller mindre fra en gennemsnitsværdi af et stort antal undersøgte tilfælde. Ved de krav, der er opstillet til arbejdsbelysningen, skal man derfor være opmærksom på, at de for nogle personer ikke nødvendigvis er tilstrækkelige til at give de optimale synsbetingelser. Alderen vil således præge synsfunktionen og fx bevirke, at kravet til belysningsstyrken vil stige med alderen.

Langt de fleste ældre mennesker har behov for briller til nærbrug. Med sådanne briller ser man imidlertid kun klart i en bestemt afstand, og arbejdsafstanden bliver mere og mere fikseret, jo ældre man bliver. Det er ikke altid, at konstruktion af maskiner og indretning af arbejdspladser og belysning tilgodeser disse krav.

En belysning, der gør synsarbejdet vanskeligt, vil ikke alene nedsætte synspræstationen og øge ulykkesrisikoen, men også give anledning til ubehag i form af træthed, hovedpine og øjenkatar og til en følelse af utilstrækkelighed. En tilstrækkelig belysningsstyrke er derfor vigtig for en persons velbefindende. Der er foretaget flere undersøgelser af, hvilke belysningsstyrker der af hensyn til komfort og velbefindende er at foretrække. Disse undersøgelser har gjort det klart, at belysningsstyrker, der giver optimale arbejdspræstationer, også opfattes som de komfortmæssigt bedste.

En meget vigtig faktor, som gør synsarbejdet lettere, og som derfor også har betydning for velbefindendet, er belysningens evne til at give gode kontraster mellem en detalje og dens baggrund i et arbejdsobjekt.

Desuden har helheden af rummets belysning stor betydning for de påvirkninger og den synsoplevelse, man får. Ud over central-synet, som anvendes til at se skarpt på genstande, og som er koncentreret til en mindre plet på nethinden, anvendes resten af øjets nethinde til perifersynet, som giver et helhedsindtryk af de omgivelser, man opholder sig i. Det drejer sig således om rumdimensioner og form, rumatmosfære, materialer, farver og lysfordelinger. Fortolkningen af informationerne fra perifersynet gøres lettere, når der er en varieret lysfordeling, som kan give skygger, der fremhæver former i rummet, og gøres vanskeligere, hvis

belysningen er jævn og monoton. Centralsynet arbejder fuldstændigt sammen med perifersynet, så det er vigtigt for synsevnen og velbefindendet, at der ikke udelukkende fokuseres på belysningen af arbejdsobjektet, men at omgivelsernes belysning også tilgodeses.

Af andre aspekter ved belysningen, som påvirker komforttilstanden, kan nævnes store luminansspring, ubehagsblænding, flimrer og lysfarver.

Synsfunktionen

Øjets følsomhedsområde er meget stort, idet det kan registrere luminanser fra 1/1.000.000 til over 10.000 cd/m². Nethindens følsomhed vil indstille sig på et niveau svarende til den lysstrøm, som slipper igennem pupillen.

Befinder man sig indendørs, vil man typisk have luminansvariationer mellem 1 og 100 cd/m², og i dette luminansområde vil luminanser mindre end 1 cd/m² være meget mørke, mens luminanser større end 100 vil være meget lyse. Går man ud i det fri, hvor der er meget mere lys med luminanser, der er 100 gange større, vil øjet indstille sig til et nyt niveau. Denne evne kaldes adaptation, og det niveau, som øjet indstiller sig efter, kaldes adaptationsniveauet. I dette tilfælde, hvor luminansniveauet er 100 gange større, vil luminanser mindre end 100 cd/m² være meget mørke, mens luminanser større end 10.000 cd/m² vil være meget lyse.

Bratte overgange fra lave til høje luminanser eller omvendt vil give anledning til ubehag. Dette fænomen optræder hyppigt på en arbejdsplads, hvor der arbejdes med dataskærm. Når øjet ser på manuskriptet, indstilles det (adapterer) efter papirets ret høje luminans. Når øjet skifter synsretning fra papir til dataskærm, skal det omstille sig til skærmens lavere luminans. Er der stor forskel på de to luminansniveauer, medfører det en synsnedsættende virkning, som først forsvinder, når øjet har indstillet sig til det nye luminansniveau. Hyppige skift mellem høje og lave luminanser medfører en anspændelse og dermed øget træthed, fordi teksten ikke kan ses tydeligt umiddelbart efter hvert skift.

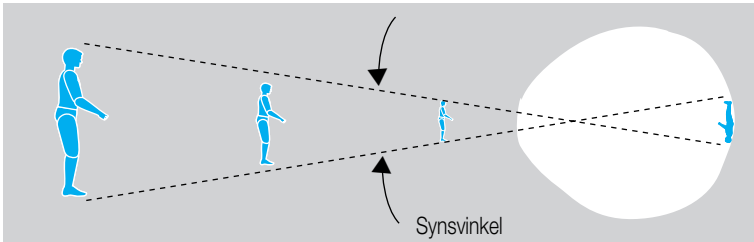
Øjets evne til at udføre et synsarbejde er afhængig af følgende fire hovedfaktorer:

- ◆ detaljens størrelse
- ◆ kontrastens størrelse
- ◆ objektets luminans
- ◆ øjets tilstand.

De tre første faktorer er indbyrdes afhængige og har en nedre grænseværdi, som skal være opfyldt. Hvis blot en af faktorerne er

tæt ved grænseværdien, kræves der uforholdsmæssigt meget af de øvrige faktorer, for at synsbetingelserne kan blive rimelige.

En betingelse for, at øjet kan se en detalje, fx åbningen i bogstavet c, er, at billedet på nethinden af detaljen er så stor, at den kan skelnes af sansecellerne på nethinden (nethindens opløsningsevne). Det er synsvinklen, der bestemmer detaljens størrelse på nethinden, se fig. 11.14.

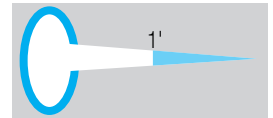


Figur 11.14. Synsvinklen bestemmer størrelsen af billedet på nethinden.

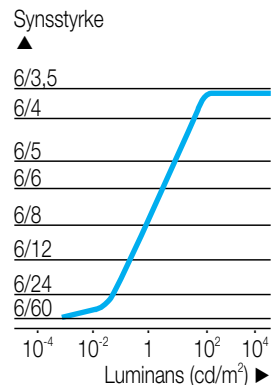
Nethindens opløsningsevne angives vha synsstyrken. Den mindste afstand på nethinden af et billede af 2 punkter, der lige netop kan adskilles, er et udtryk for en persons synsstyrke. Afstanden eller den kritiske detalje, fx åbningen i c, fig. 11.15, angives i bueminutter, og en normal person vil kunne se detaljen ved ét bueminut ($1'$). Synsstyrken angives som en brøk, hvor tælleren angiver afstanden i meter til synsprøvetavlen, og nævneren er afstanden i bueminutter for den kritiske detalje gange afstanden til tavlen. Den reciprokke brøk angiver synsstyrken i bueminutter. Synsstyrken $6/6$ betyder altså, at prøven er udført i 6 m's afstand, og synsstyrken er $6/6 = 1/1$ dvs $1'$. Er en persons synsstyrke $6/24$, betyder det, at en kritisk detalje ikke kan ses under en synsvinkel, der er mindre end $4'$, idet brøken kan forkortes til $1/4$. Nethindens opløsningsevne er afhængig af luminansen af synsobjektet (fig. 11.16). En detalje, som netop kan ses, fx et bogstav på et stykke hvidt papir, skal være dobbelt så stor, hvis den skal kunne ses ved 5 lux. En belysningsstyrke på 500 lux på hvidt papir giver en luminans af papiret på ca 125 cd/m^2 . Ved højere luminanser stiger synsstyrken kun ganske svagt. Den bedste synsstyrke, en person kan opnå, er bestemt af nethindens struktur og kan ikke forbedres yderligere, selvom belysningsstyrken mangedobles.

Belysningsstyrke

Der er foretaget mange undersøgelser for at bestemme, hvilke belysningsstyrker der er optimale for en given synspræstation. Disse undersøgelser viser, at når synsopgaven kan betegnes som vanskelig, udføres arbejdet optimalt ved belysningsstyrker på 1.000 til 5.000 lux. Den nødvendige belysningsstyrke på synsopgaven er afhængig af detaljens størrelse og reflektansen af over-



Figur 11.15. Synsvinklen for åbningen i bogstavet C.



Figur 11.16. Synsstyrken som funktion af luminansen.

fladen. Jo mørkere flader er, jo større skal belysningsstyrken være, for at man kan opnå en passende luminans. Øjets synsstyrke er som tidligere nævnt afhængig af luminansen. Jo mindre kontrasten er mellem detaljen og baggrunden, jo større skal belysningsstyrken være, da øjets kontrastfølsomhed stiger med luminansniveauet.

Ved farvevurdering kræver øjet ligeledes høje belysningsstyrker ud over en lyskilde med en virkelig god farvegengivelse. De nødvendige belysningsstyrker til forskellige arbejdsopgaver er angivet i DS 700. En tilstrækkelig belysningsstyrke giver ikke i sig selv en tilstrækkelig synlighed. Lysets geometri skal også fremhæve kontrasten. Individuelle forhold hos iagttageren kan endvidere øge kravet til belysningsstyrken, fx alder, træthed eller behov for bedre briller.

Kontrasten, som er et udtryk for luminansforskellen mellem en detalje og dens baggrund, er i sig selv uafhængig af belysningsstyrken, men øjets evne til at skelne kontrasten er afhængig af luminansniveauet og dermed belysningsstyrken. Man skal være opmærksom på denne sammenhæng mellem kontrast og belysningsstyrke, idet selv en beskedne forbedring af kontrasten tillader en stor reduktion i belysningsstyrken, mens omvendt en moderat reduktion af kontrasten kræver meget lys som kompensation. Eksempelvis kræver læsning af en tekst på et stykke papir en mangedobling af belysningsstyrken, hvis kontrasten af teksten er forringet, fordi en del af lyset kommer fra den spejlede retning.

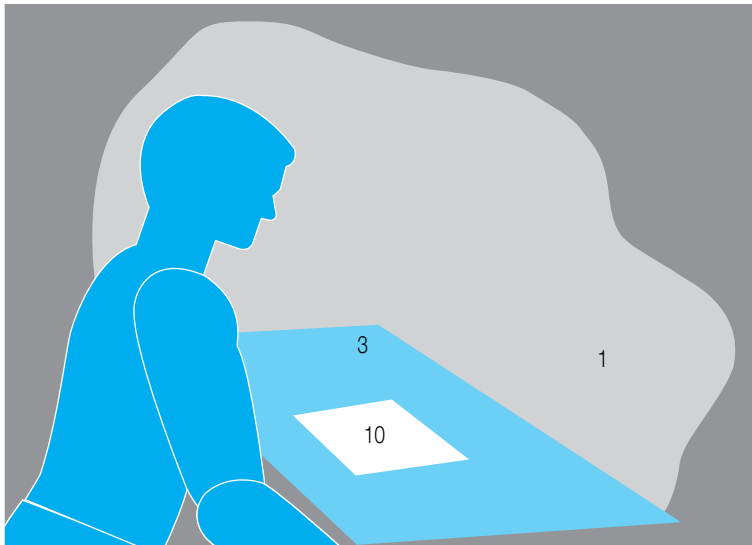
Individuelle forhold ved en persons øjne kan spille en stor rolle i synsarbejdet. Et menneske kan fra naturens hånd være dårligt udrustet til synskrævende arbejde, og det er ikke altid, at sådanne mangler kan afhjælpes fx med briller. Endvidere er de pågældende mennesker ikke altid opmærksomme på deres mangel. Mange moderne arbejdsprocesser stiller krav om at kunne skelne ganske små detaljer under ikke helt ideelle kontrastforhold gennem en lang arbejdstid. Under sådanne forhold vil en del mennesker generes af en let synsnedsættelse, en dårlig dybdeopfattelse eller en anden form for funktionsnedsættelse, som slet ikke har været bemærket før. Også periodiske øjenlidelser som fx øjenkatar kan give synsvanskeligheder gennem kortere eller længere tid. Øjenkatar er lige så hyppig som alm. forkølelse.

Belysningsstyrken har ikke alene betydning for synsarbejdet, men også for synskomforten. Belysningsstyrken i lokalet skal være så høj, at luminansfordelingen mellem synsobjektet og omgivelserne er tilfredsstillende. Da øjet tiltrækkes af de lysere områder, skal arbejdsopgaven så vidt muligt fremtræde lysere end omgivelserne, og niveauet skal helst aftage, efterhånden som blikket bevæger sig væk fra arbejdsstedet.

Klager over for meget lys i et lokale skyldes ikke en for høj belysningsstyrke, men blænding, generende reflekser eller en ubehagelig luminansfordeling. Belysningsstyrken i det fri på en mørk gråvejrsgang er mange gange større end de belysningsniveauer, der frembringes af den kunstige belysning i lokalerne. Klager over for lidt lys skyldes ofte uhensigtsmæssig placering af lyskilder, manglende særbelysning, dårlig vedligeholdelse af belysningsanlæg, generende skygger fra maskindele, inventar eller person, dårlig kontrast i synsopgaven, samt individuelle forhold hos iagttageren.

Luminansfordeling

Både for den enkelte arbejdsplads og i lokalet som helhed er det vigtigt for synskomforten, at luminansvariationerne holdes inden for visse grænser. Som tommelfingerregel angives, at forholdet mellem luminanserne af arbejdsobjektet, de nærmere og de fjernere omgivelser, ikke må overstige 10:3:1 (fig. 11.17). På den anden side vil især det perifere syn have behov for, at der er luminansvariationer i lokalet, der kan karakterisere rum og former.



Figur 11.17. Luminansfordeling 10:3:1.

Luminansvariationer, der er for store og bratte, kan give anledning til ubehag og bør undgås. For tilstødende flader med en vis udstrækning, og hvor der forekommer en brat overgang fra den ene luminans til den anden, bør springet mellem luminanserne ikke være større end 1:3. For bløde luminansovergange kan der accepteres væsentligt større luminansvariationer. Ved færdsel fra et rum til et andet med meget store forskelle i luminansniveauet går der en tid, inden øjet har indstillet sig til et andet niveau. Hvis

springet er for stort, kan der i visse arbejdssituationer skabes en ulykkesrisiko (fx ved truckkørsel mellem inde og ude).

Blænding

Ubehagsblænding er den fornemmelse af distraktion og irritation, der fremkaldes af en lysgiver med høj luminans på en mørkere baggrund. Den er alene karakteriseret ved fornemmelse og benævnes undertiden som psykologisk blænding. Den er afhængig af nogle fysiske størrelser, nemlig lysgiverens luminans, rumvinklen, hvorunder lysgiveren ses, og positionen i forhold til synsretningen samt middelluminansen af lysgiverens omgivelser. Den eneste måde at undersøge ubehagsblændingen på er at benytte mennesket som måleapparat, idet man går ud fra, at de samme påvirkninger vil fremkalde det samme ubehag. Der vil dog være en betydelig spredning på resultaterne, når et større antal personer skal vurdere ubehagsblændingen.

Størrelsen af blændingen angives vha et blændingstal, og det største blændingstal giver det største ubehag. For de fleste personer gælder det, at der skal være en forskel på blændingstallet på 3, for at forskellen i blændingen kan fornemmes. I DS 700 er der for forskellige arbejdstyper angivet, hvor stor en ubehagsblænding der kan tolereres fra en belysning. En del ældre anlæg opfylder ikke disse krav, og man skal være opmærksom på, at de nye armaturer med høj virkningsgrad (spejlende reflektorer) kun opfylder kravet til blænding i nogle synsretninger. Det betyder, at armaturophængning og arbejdspladsplacering skal indrettes efter hinanden.

Synsnedsettende blænding opstår, når lyset fra en lysgiver nær synsretningen spredes på vej ind gennem øjet og giver et slør, der hæver adaptationsluminansen og nedsætter øjets kontrastfølsomhed. Denne blændingsform benævnes undertiden fysiologisk blænding og fås fx ved arbejde ved et lysbord, hvor synsopgaven er små detaljer på en sort film, og hvor det lysende areal omkring filmen har en høj luminans. Generende synsnedsettende blænding optræder som regel kun i specielle arbejdssituationer som ovennævnte, og den kan som regel ændres ved en hensigtsmæssig ændring af forholdene omkring arbejdsprocessen. Den synsnedsettende blænding kan beregnes og karakteriseres med et tal, men der stilles ingen krav til dette tal i de eksisterende standarder.

Flimmer

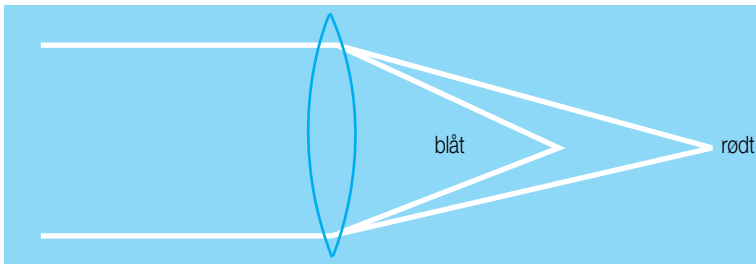
Periodiske pulsationer i lyset kan fremkalde to virkninger, nemlig den direkte observerbare flimmer af lyset samt stroboskopeffekten. For kraftig flimmer giver anledning til en ubehagsfornemmelse, der bl.a. er afhængig af flimmerfrekvensen. Øjets følsomhed

for flimrer er afhængig af det lysende felts størrelse og luminansen. En dataskærm med lys baggrund vil ofte give anledning til flimrer, såfremt billedfrekvensen ikke hæves så meget, at billederne smelter sammen (større end 70 Hz). Øjet er mest følsomt for flimrer i det perifere synsfelt, men følsomheden er i øvrigt forskellig fra person til person.

Stroboskopeffekten beror på, at en genstand, der bevæger sig i pulserende lys, afbildes på nethinden som enkeltbilleder. Når en roterende genstand belyses med pulserende lys, kan man opnå et tilsyneladende stillestående eller langsomt roterende billede af genstanden, således at hastigheden fejlbedømmes med fare for sikkerheden. Stroboskopeffekten forsvinder ikke, selvom frekvensen hæves over flimrergrænsen. Risikoen for stroboskopeffekten kan elimineres ved at gå over til højfrekvent drift eller ved brug af specielle koblinger i forbindelse med lyskilderne.

Farver

I lokaler, hvor der stilles store krav til farvevurdering, fx kontrol af flerfarvetryk eller sortering efter farvenuancer, kræves der lyskilder med et højt farvegengivelsesindeks (R_a -værdi) og en høj farvetemperatur.



Figur 11.18. Lysets brydning i øjelinsen.

Farvet lys, som udsendes fra dataskærme eller et digitalt display, kan øge kravet til øjet, især når bølgelængden for lyset befinder sig i yderkanten af spektret (rødt og blå). Rødt lys brydes ikke så kraftigt som blå lys i øjets linsesystem, dvs man kan ikke indstille øjelinsen, således at der samtidig dannes et skarpt billede af den røde og blå detalje (fig. 11.18). I tilfælde, hvor en person skal benytte briller for at korrigere for den aldersbetingede langsynethed, vil tekst med rødt lys give problemer, når teksten skal læses i normal synsafstand, medmindre der anvendes briller med ekstra korrektion.

Ved valg af lyskilder til et lokale bør man afpasse disses farvetemperatur efter belysningsniveauet. Lavere farvetemperaturer (varmt lys) foretrækkes sædvanligvis ved lavere belysningsniveauer, hvor helt hvidt eller svagt blåligt lys virker ubehageligt koldt. Ved høje belysningsniveauer foretrækkes derimod det koldere lys med høj farvetemperatur.

UV-stråling

Den kendsgerning, at der anvendes lyskilder, hvor lysudsendelsen sker vha UV-stråling, kan på en arbejdsplads frembringe en usikkerhed om, hvorvidt der er fare for de ansattes sundhed. Der er imidlertid ingen grund til at antage, at UV-stråling fra sædvanlige belysningsanlæg frembyder nogen helbredsmæssig risiko for personer, der arbejder i den kunstige belysning. Sædvanlige belysningsanlæg udsender ikke UV-stråling, som ikke også findes i dagslyset, og i reglen mange gange mindre end i det fri. Armaturets og afskærmningens overflader absorberer ligesom lokalets overflader det meste af den udsendte UV-stråling. De moderne halogenglødelamper, der ikke er forsynet med beskyttelsesglas, kan som nævnt i afsnittet om lyskilder ved ekstremt høje belysningsstyrker og lange eksponeringstider forårsage, at det er nødvendigt at tage nogle forholdsregler over for skadepåvirkninger.

Måling og vurdering

Der findes forskellige typer instrumenter til måling af belysningsforholdene på en arbejdsplads. Med et luxmeter måles belysningsstyrken på en flade. Luxmetret kan ligeledes anvendes til vurdering af en flades reflektans eller transmittans. Der findes mange forskellige typer luxmetre, og prisniveauet for disse er fra 1.000-15.000 kr.

Med et luminansmeter måles luminansen af en flade, og instrumentet kan endvidere anvendes til bestemmelse af en flades reflektans eller transmittans. Udbuddet i forskellige typer luminansmetre er begrænset, og prisniveauet er 20.000 kr. og opefter.

Et belysningsanlægs evne til at gengive kontrasterne i en trykt tekst på papir kan måles med et kontrastmeter. Det eneste kontrastmeter på markedet (Brüel og Kjær) er imidlertid ikke længere i produktion, og anvendelsen af kontrastmålinger har ikke fundet nogen videre udbredelse i praksis. Det har endvidere resulteret i, at afsnittet om kontrastgengivelsesklasser i DS 700 er udgået i den reviderede udgave (1996).

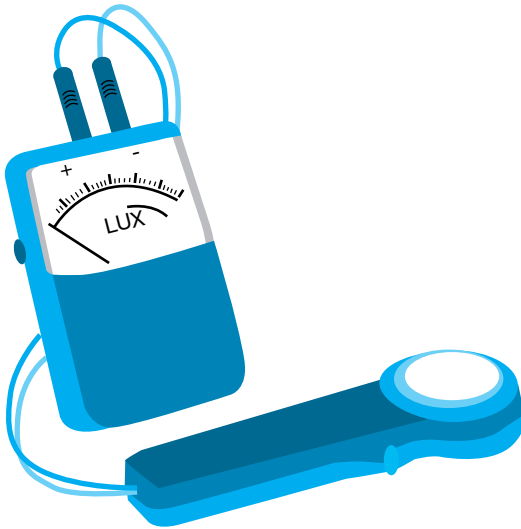
Belysningsstyrke

Et luxmeter består af en fotocelle, som omsætter lysenergien til elektrisk energi, og et måleinstrument, som viser størrelsen af lux-værdien enten på en skala eller et digitalt display. Da fotocellen selv producerer energi, behøver instrumentet ikke et batteri for at kunne arbejde. Et moderne luxmeter er forsynet med en forstærker og har derfor en strømforsyning. Batteriets tilstand i

disse instrumenter skal altid kontrolleres inden brugen.

Normalt vil fotocellen og måleinstrumentet være adskilte og kun forbundet med en ledning (fig. 11.19). Dette gør det muligt at placere fotocellen på arbejdsplanet og aflæse instrumentet, uden at man skygger for lyset. Da de belysningsstyrker, der er behov for at måle, strækker sig fra nogle få lux til 100.000 lux (dagslys), er det nødvendigt at opdele måleområdet i flere intervaller. For måleinstrumenter med manuel indstilling af måleområderne skal det klart fremgå, hvilken måleværdi fuldt udslag svarer til. Nogle viserinstrumenter har flere forskellige måleområder, mens måleværdien på nogle instrumenter fremkommer ved multiplikation med en faktor, svarende til det valgte måleområde. Hvis instrumentet skal benyttes ofte, og der skal foretages mange aflæsninger, vil et instrument med digital visning lette aflæsningerne og reducere antallet af fejl aflæsninger.

Den målte belysningsstyrke vil være behæftet med fejl, hvoraf



Figur 11.19. Luxmeter.

nogle er afhængige af luxmetret. Et luxmeter kalibreres ved lys, der falder vinkelret ind på fotocellen. Ved skråt indfaldende lys reflekteres en større del af lyset i fotocellens overflade, således at instrumentet vil vise for små belysningsstyrker. Dette kaldes instrumentets cosinus-fejl. Fejlen kan delvis korrigeres ved den geometriske udformning af fotocellen. Ved store indfaldsvinkler er det imidlertid vanskeligt at opnå en nøjagtig korrektion. Ved en vurdering af usikkerheden på måleresultatet bør lysets hovedretning og dermed indfaldsvinkel tages i betragtning. Med luxmetret bør følge en kurve eller tabel for cosinusfejlen som funktion af indfaldsvinklen.

Ved måling af belysningsstyrken fra loftsbelysningen på en

vandret flade vil cosinusfejlen normalt være lille, mens den kan være betydelig, når belysningsstyrken fra dagslys gennem sidevinduer måles på en vandret flade pga den store indfaldsvinkel.

Fotocellens spektrale følsomhedskurve adskiller sig temmelig meget fra øjets, dvs instrumentet vil registrere "lys", som øjet ikke kan se. Fotoceller er derfor farvekorrigeret vha filtre, således at de så godt som muligt får samme følsomhedskurve som øjet. En fotocelle, som er korrigeret meget præcist i forhold til øjet, er imidlertid meget kostbar. Et godt luxmeter kan derfor have en fejlvisning på +/- 5% pga farvefejlen. Fejlens størrelse er afhængig af lyskildens spektralfordeling (lysstofrør, kviksløvlamper, dagslys m.m.).

Luxmetret kalibreres ved glødelampelys (normlys A) og behøver således ingen korrektion for farvefejl ved måling med glødelys. Ved måling af belysningsstyrker i anlæg med andre lyskildetyper er der en farvefejl, hvis størrelse varierer med typen, og som normalt angives i specifikationerne for instrumentet.

Nogle (ældre) typer fotoceller kan ved langvarig lyseksponering vise forkert pga "træthed", ligesom følsomheden kan ændres med tiden. Et luxmeters virkning i de forskellige måleområder bør derfor kontrolleres med mellemrum, evt ved sammenligning med andre luxmetre. Det skal bemærkes, at selvom et instrument er ny-kalibreret, kan det godt have en stor fejlvisning på den målte værdi, idet en kalibrering består i udmåling af fejlens størrelse i de forskellige måleområder. Fejlens størrelse angives med en kalibreringstabel, som skal følge instrumentet.

Luminans

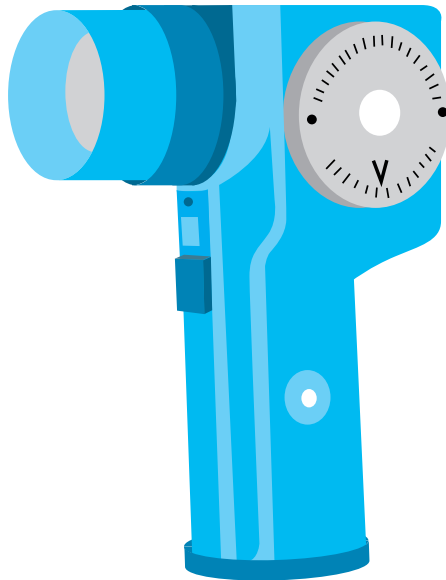
Måleprincippet i et luminansmeter er helt forskelligt fra et luxmeter. Luminansmetret indeholder en "kikkert", vha hvilken man kan sigte mod et område, hvis luminans man ønsker at måle (fig. 11.20). Målevinklen er lille (1°), således at man er i stand til på stor afstand at måle luminansen af et relativt lille areal. Luminansen af det areal, der ses i målefeltet i kikkerten, kan direkte aflæses på en skala eller et digitalt display, som afbildes i kikkertens synsfelt. Fladen, hvis luminans ønskes målt, skal dække hele målefeltet, hvilket dog kan være vanskeligt, hvis en lyskildes luminans måles på stor afstand.

Billedet af måleområdet skal dannes skarpt på instrumentets fotocelle, dvs "kikkerten" skal indstilles til et skarpt billede. Ved målinger på tæt hold kan det være nødvendigt at anvende forsatslinser. Der skal da korrigeres for det ekstra lystab, der sker pga forsatslinsen. Fotocellen i luminansmetret er korrigeret således, at dens følsomhedskurve er meget nær ved øjets, og der foretages normalt ingen korrektion for farvefejl.

Ved fotografering anvendes et spotmeter (fig. 11.21), der i prin-



Figur 11.20. Luminansmeter.



Figur 11.21. Spotmeter.

cippet fungerer som et luminansmeter med en lille målevinkel (1°), men da fotocellen ikke er korrigeret efter øjets følsomheds-kurve, men tilpasset filmens følsomhed, fås en fejlmåling, hvis spotmetret anvendes som luminansmeter. Det er især galt i spek-trets røde og blå område, hvor den målte værdi kan afvige en faktor 10 fra den rigtige. Den målte størrelse angives i "lysværdi-er", som kan omregnes til luminanser vha en tabel. Da der er en logaritmisk sammenhæng mellem lysværdien og luminansen, er korrektionen ikke særlig god. Et spotmeter koster ca 1/10 af et

luminansmeter, men benyttes det til luminansmålinger, skal det anvendes med omtanke.

Til nogle luxmetre fås en linseforsats til fotocellen, således at denne tilnærmelsesvis kan anvendes som luminansmåler. Åbningsvinklen er stor (ca 16°), hvilket betyder, at der kun kan måles middelluminansen af større områder. Den målte størrelse aflæses på luxmetrets skala og omsættes til en luminans ved multiplikation med en omsætningsfaktor. Det er en meget billig løsning, der kan anvendes til måling af større fladers luminanser, hvilket ofte er tilstrækkeligt ved undersøgelser af mange arbejdspladser.

Blændingstal

Blændingstallet er en meget kompleks størrelse, og det er endnu ikke lykkedes at fremstille et instrument, som kan måle dette direkte. De enkelte faktorer, der indgår i blændingstallet, kan måles, men det er meget tidsrøvende, da der indgår mange størrelser. Foruden lyskildens luminans skal der måles rumvinklen til de enkelte lyskilder, lyskildens placering i forhold til synsretningen vha en azimuth og højdevinkel, samt baggrundsluminansen.

Blændingstallet kan beregnes efter forskellige formler, hvor den seneste benyttede er UGR-metoden:

$$UGR = 8 \log_{10} \frac{0,25}{L_b} \sum_s \frac{L_s^2 \cdot \omega_s}{P_s^2}$$

hvor

- L_s : den enkelte lysgivers luminans
- ω_s : de enkelte lysgiverens størrelse, målt ved den rumvinkel, som de ses under
- L_b : baggrundsluminansen, defineret ved den indirekte belysningsstyrke på øjet divideret med π
- P_s : positionsfaktoren for hver enkelt lyskilde bestemt af azimuth- og højdevinkel.

Reflektans

En flades luminans er bestemt af to størrelser, nemlig belysningsstyrken og fladens refleksionsegenskaber (reflektans). Ved vurdering af luminansfordelinger og evt muligheder for at forbedre disse er det hensigtsmæssigt at kunne måle de størrelser, der indgår heri. For en mat overflade gælder, at:

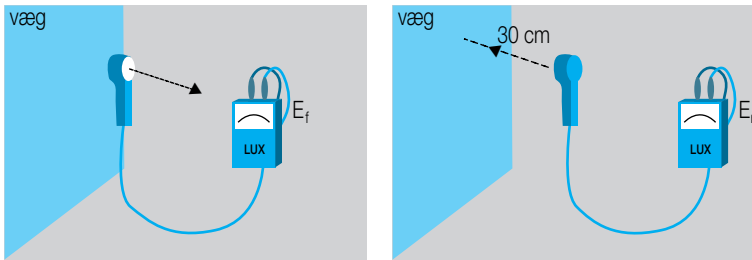
$$L = E \cdot r/\pi$$

hvor

- L : luminans
 E : belysningsstyrke
 r : reflektansen for fladen.

Reflektansen kan bestemmes ved flere forskellige målemetoder, ved brug af et luxmeter, et luminansmeter eller en kombination af disse to instrumenter. Reflektansen af en mat flade kan med tilnærmelse bestemmes vha et luxmeter (fig. 11.22). Først måles belysningsstyrken E_f på den flade, hvis reflektans ønskes bestemt. Derefter måles belysningsstyrken E_r af det reflekterede lys på fotocellen, når denne holdes 10-30 cm fra overfladen og rettet mod denne. Reflektansen er da forholdet mellem de to målte belysningsstyrker

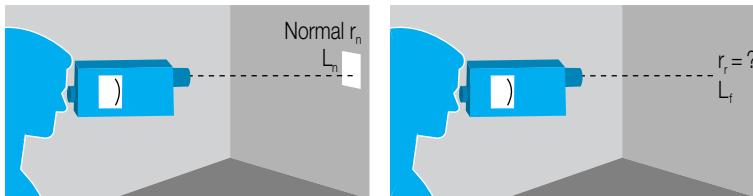
$$r = E_r/E_f$$



Figur 11.22. Måling af reflektans $r = E_r/E_f$.

Belysningsstyrken på fladen skal være jævn, og fladens areal må ikke være for lille (udstrækning 4 gange afstanden mellem flade og fotocelle). Ved måling af E_r skal man passe på ikke skygge for belysningen.

En flades reflektans kan også bestemmes ved anvendelse af et luminansmeter, og metoden er nødvendig, hvis fladens udstrækning er lille. Som hjælpemiddel benyttes en refleksionsnormal eller en anden flade med en kendt reflektans r_n (fig.11.23).



Figur 11.23. Måling af reflektans $r = L_f \cdot r_n/L_n$.

Først måles luminansen af L_f i det punkt på overfladen, hvis reflektans ønskes bestemt. Derefter placeres prøven med kendt reflektans i samme punkt, og dens luminans L_n måles. Reflektansen er da bestemt af forholdet

$$r = L_f \cdot r_n / L_n$$

Fladens reflektans kan også bestemmes ved en kombineret måling af belysningsstyrken og luminansen. Først måles belysningsstyrken på fladen E_f og derefter luminansen L_f af fladen i samme punkt. Reflektansen er da bestemt ved

$$r = L_f \cdot \pi / E_f$$

Måleprocedure

Inden målingerne påbegyndes, kontrolleres batteriets tilstand på instrumentets batteriindikator. Instrumentets 0-punkt kontrolleres og justeres. Det kan være forskelligt ved de enkelte måleområder.

Instrumentet indstilles på et måleområde, der er så stort, at instrumentet ikke overbelastes. Ved aflæsning af måleværdien skal noteres både instrumentets visning og indstilling af område og evt andre korrektioner.

Et måleinstrument til belysningsmålinger kan komme ud af justering af flere årsager, og dets visning bør jævnligt kontrolleres, evt ved sammenligning med et andet instrument. Fotoceller og linsesystemer skal beskyttes og holdes rene.

Standarder og bestemmelser

Der findes en række krav og anbefalinger til belysningen på arbejdspladsen, og anerkendte normer og standarder, som har sikkerhedsmæssig og sundhedsmæssig betydning, skal følges. Der er planlagt en CEN-standard for arbejdsbelysning, som dog ikke vil erstatte en dansk standard inden for en overskuelig årrække. Den danske standard er derfor revideret i 1995, da der i Bygningsreglementet fra 1995 er anført, at belysningsanlæg skal udføres på grundlag af DS 700.

DS 700 "Retningslinier for kunstig belysning i arbejdslokaler" indeholder retningslinier for og krav til den kunstige belysning i arbejdslokaler i industri- og håndværksvirksomheder, kontorer, skoler mfl. Standardens formål er at give anvisning på en forsvarlig udformning af belysningen for en lang række forskellige typer af arbejdsopgaver. Standarden sigter både på at støtte og lette arbejdsprocesserne og at fremme de beskæftigedes sikkerhed, sundhed og trivsel. Standarden beskriver de generelle krav og de grundlæggende egenskaber, et belysningsanlæg må opfylde. Nogle af disse kan helt eller delvist beskrives med en tal-størrelse, mens andre beskrives verbalt. DS 700 indeholder bl.a. en tabel over, hvor stor belysningsstyrken skal være på synsobjektet på de forskellige arbejdssteder, blændingsgrænsen samt farvegengivelse, R_a -indeks. For forskellige synsopgaver med særlige krav til belysningsformen er der angivet, hvilken der er den bedste.

I Bygningsreglementet (1995) er det under afsnit 4.4.2 "Arbejdsrum" stk. 5 anført, at "arbejdsrum skal have en sådan tilgang af dagslys, at rummene er velbelyste", og i stk. 6, at "arbejdsrum skal forsynes med vinduer, der er anbragt, så personer i rummet kan se ud på omgivelserne". Kravet til dagslys kan dog fraviges, hvis det vil betyde en afgørende ulempe for virksomhedens drift (stk. 7). I kap. 12.9 stk. 3 er endvidere anført, at belysningsanlæg skal udføres på grundlag af DS 700-serien.

Arbejdsministeriets Bekendtgørelse nr 1163 af 16. december 1992 "Bekendtgørelse om faste arbejdssteders indretning" medtager ligeledes forhold omkring belysningen. I kap. 5.25 er der stillet krav om tilstrækkelig dagslysadgang, blænding og udsyn til omgivelserne, og i kap. 9 stilles der de overordnede krav til den kunstige belysning. Ved en bedømmelse af, om el-belysningen er passende, går Arbejdstilsynet frem efter denne bekendtgørelse og de retningslinier, der er angivet i DS 700.

Ved bedømmelsen af dagslysadgangen bruges Bygningsreglementets krav til dagslysadgang i arbejdsrum som vejledende. Dagslysadgangen vil normalt være tilstrækkelig, når vinduesarealet ved sidelys svarer til 10% af gulvarealet eller ved ovenlys mindst 7% af gulvarealet. I Arbejdstilsynets interne retningslinier for administrationen af disse regler er bl.a. anført, at ved en evt reduktion af lysgennemgang eller lysets adgang til vinduerne må arealet forøges i forhold til reduktionen i lysgennemgangen. Dagslysfaktorer på mindre end 2% på den enkelte arbejdsplads godtages som regel ikke.

Forebyggelse

En analyse af belysningsforholdene på en arbejdsplads danner udgangspunktet for en forbedring. En del af de forhold, der indgår i synsbetingelserne på en arbejdsplads, er ikke målelige med et instrument. Øjet er imidlertid det bedste 'instrument' til vurdering af synsbetingelserne og det visuelle miljø. De værdier, der kan måles, kan derefter i tal dokumentere det, øjet har set. Den resulterende bedømmelse af belysningsforholdene og synsbetingelserne fås da som en sammenfatning af det sete og målingerne. Analysen af belysningsforholdene kan ske under tre forskellige situationer, nemlig:

- ◆ med kunstlys alene
- ◆ med dagslys alene
- ◆ med kunstlys og dagslys.

Hvilken situation der skal måles i, må overvejes i hvert enkelt tilfælde, afhængigt af hvornår lokalet benyttes, og hvor stor indflydelse dagslyset har på arbejdsbelysningen. Ved en analyse af den kunstige belysning bør denne ske, når der ikke er dagslys, da en differensmåling mellem situationerne kunstlys + dagslys og dagslys alene kan være usikker. Ved en differensmåling bør dagslyset maksimalt andrage 10% af belysningsniveauet for både kunst- og dagslys.

Ved en analyse af belysningsforholdene opdeles denne i

- ◆ forholdene i lokalet som helhed
- ◆ forholdene på de enkelte arbejdspladser.

Almenbelysningen har til formål at belyse arbejdslokalet som helhed, mens særbelysningen er specielt indrettet til at belyse arbejdsfeltet eller synsobjektet på den enkelte arbejdsplads og således supplere almenbelysningen på arbejdspladsen.

Ved måling af almenbelysningen skal alle fast monterede armaturer med central tænding være tændt. Fast monterede armaturer med individuel tænding fra en arbejdsplads skal være tændt, hvis de almindeligvis er tændt, når der arbejdes i lokalet. Bevægelige armaturer på arbejdspladser skal være slukket. Ved måling af belysningen på de enkelte arbejdspladser skal alle fastmonterede armaturer samt arbejdspladsens egne bevægelige armaturer være tændt. Bevægelige armaturer på omkringliggende arbejdspladser skal være slukket, hvis de bidrager til belysningen på den arbejdsplads, der undersøges. I belysningsanlæg, hvor man permanent har slukket en del af anlægget, fx ved at fjerne lyskilderne eller afbryde den elektriske forbindelse til armaturerne, foretages målingerne med anlægget i denne tilstand, idet der registreres, hvilke armaturer der er slukket permanent. Hvis man derimod pga gener, fx blænding fra en bestemt del af belysningsanlægget, normalt undlader at tænde denne del, foretages målingen dels med hele anlægget tændt og dels, som det normalt benyttes.

Lysudsendelsen fra lysstofrør og andre luminescensstrålere er afhængig af temperaturforholdene. Inden målingerne påbegyndes, bør armaturerne have været tændt så længe, at temperaturniveauet har stabiliseret sig (ca 1 time). Såfremt ventilationen har indflydelse på temperaturen i armaturerne (ventilerede armaturer), bør ventilationen være som normalt under arbejdet. I anlæg, hvor der er skiftet til nye lyskilder, foretages der først målinger, efter at lyskilderne er indbrændte (ca 100 timer). Lysudsendelsen er afhængig af netspændingens størrelse, og den bør derfor måles. Hvis undersøgelsen foregår uden for den normale arbejdstid, kan netspændingen ofte afvige fra den, der normalt forefindes i arbejdstiden.

Til en analyse af belysningsforholdene hører en beskrivelse af lokalet og belysningsanlægget, herunder armaturtype og afskærmning, lyskilder, ophængningsprincip og evt særbelysning. Betingelserne for dagslysadgangen til lokalet beskrives ved vinduesplaceringer, størrelser og evt afskærmninger eller forhindringer, der reducerer dagslystilgangen. Registrering af lokalet i form af fotos kan være til stor hjælp ved en efterfølgende vurdering af målingerne.

Lysets geometri

Ved analysen af belysningsforholdene for såvel synsopgaven som lokalet som helhed skal man være opmærksom på lysets geometri, dvs retningen og karakteren af det lys, som falder på arbejdsobjektet og rummets flader. Formen af rummelige objekter, objekternes indbyrdes placering og karakteren af overflader og materialer opfattes i kraft af, at lyset ikke falder lige kraftigt ind fra alle retninger. Lyset kommer dels fra armaturer og vinduer og dels fra belyste flader, der reflekterer lyset. De enkelte 'lysgivere' er karakteriseret ved deres luminans, rumvinklen hvorunder lysgiveren ses samt dens placering i forhold til objektet.

Disse oplysninger beskriver tilsammen lysets geometri i en belysningssituation og er bestemmende for størrelsen af lysstrømmen, der rammer objektet, dvs belysningsstyrken. Lysets retningsforhold har væsentlig betydning for de informationer, øjet får ved iagttagelse af en genstand, nemlig genstandens tredimensionale form og dens overfladestruktur. Formen af tredimensionale genstande viser sig især gennem skyggedannelser og fortoninger i lyset og ved iagttagelse af, hvorledes reflekser fordeler sig på overfladen. Denne effekt opnås, når det indfaldende lys har en dominerende retning, som fx kan fås fra et vindue, et enkelt armatur eller en anden flade i omgivelserne med en høj luminans.

Materialekarakteren er på tilsvarende måde afhængig af skyggedannelsen, men nu i ganske små elementer i overfladen, samt glansforhold, som kun kan opfattes, hvor der er tydelig forskel på lyse og mørke områder i omgivelserne.

Man skelner ofte mellem to forskellige former for belysning:

- ◆ rettet lys
- ◆ diffust lys.

Ved rettet, nær parallelt lys vil lyset på tredimensionale genstandes flader variere stærkt med indfaldsretningen, og der vil kastes dybe skygger med skarpe konturer, som kan virke generende. Ved diffust lys kommer lyset fra alle retninger, så alle flader på en genstand bliver omtrent lige kraftigt belyst fra alle sider. Formen vil derfor kun kunne opfattes svagt og usikkert. Normalt vil man

befinde sig et sted mellem disse yderpunkter. Ved rettet lys vil der være en diffus andel reflekteret fra rummets flader, der vil oplyse skyggen. Er den dominerende lyskilde yderligere af en vis udstrækning, får man en blødere overgang fra lys til skygge, som er mere naturlig. På samme måde vil glansindtrykket være afhængigt af lysets geometri og blive forstærket af rettet lys.

Såvel skygger som spejlinger kan være for svage eller for overdrevne, alt afhængigt af geometrien. Til et godt belysningsanlæg hører derfor valget af en gunstig geometri, dels for rumbelysningen og dels i forhold til opgavens art og synsobjektets karakter. De hyppigste fejl viser sig at være punktformede reflekser eller skygger med skarpe konturer fra punktformede lysgivere eller for svag skyggevirkning ved for diffust lys.

Synsopgave og synlighed

Inden der kan foretages en måling og vurdering af belysningsforholdene på en arbejdsplads, må man fastlægge, hvor synsobjekterne er placeret. På nogle arbejdspladser fremgår det umiddelbart, fx på et skrivebords arbejdsfelt. Anderledes forholder det sig med mange arbejdspladser i industrien. Her er der ofte et helt kompleks af synsopgaver, som det kan være vanskeligt at rangordne efter disses betydning for arbejdets udførelse på den pågældende plads uden at have et indgående kendskab til det pågældende arbejde. Ofte kan det desuden være vanskeligt at lokalisere synsopgaver på arbejdspladser, fordi personerne, der er beskæftiget på de pågældende pladser, ikke er sig bevidst, hvilke ting de skal se for at udføre deres arbejde. I disse situationer må man gennem samtale med personen fastlægge, hvad der er synsopgaven.

Når synsopgaven er fastlagt, analyseres den, således at den kan klassificeres efter, hvad der er væsentligt for kontrastdannelsen mellem en detalje og baggrunden. Synsopgaverne kan opdeles i følgende 4 hovedgrupper, efter hvad der er bestemmende for kontrastdannelsen:

- a. Kontrastdannelsen er i det væsentlige bestemt af forskelle i reflektanser eller farver.
Eksempel: Kontorarbejde med læsning, syning, vævning med farvemønstre.
- b. Kontrastdannelsen er i det væsentlige bestemt af spejlende refleksioner i objektets overflade.
Eksempel: Bearbejdning af metaller ved drejning eller fræsning. Opmærkning og gravering i blanke flader. Aflæsning af skalaer på metal. Buler i blanke flader ved pladeopretning.

- c. Kontrastdannelsen er i det væsentlige bestemt af skyggedannelse på eller omkring objekterne.
Eksempel: Ujævnheder i fortrinsvis matte overflader, fx træ og støbegods. Strygning af tekstiler. Vævning. Vikling af spoler med tråd.
- d. Kontrastdannelsen er i det væsentlige bestemt ved egen lysudsendelse eller transmitteret lys.
Eksempel: Betragtning af dataskærme eller TV-skærme. Aflæsning af lysende digitalinstrumenter. Lysborde.

Lysets betydning for kontrastdannelsen

I praksis vil alle overgangsformer mellem disse 4 typiske grupper kunne forekomme. Derefter undersøges, om kontrasten mellem detalje og baggrund er tilstrækkelig, eller om den kan forbedres ved en ændring af belysningen:

- ◆ Er det pga belysningen nødvendigt at foretage uønskede bevægelser af hovedet eller arbejdsobjektet for at se alle væsentlige detaljer?
- ◆ Kan væsentlige detaljer i arbejdsobjektet kun ses, hvis hovedet holdes i en bestemt stilling?
- ◆ Forekommer der generende spejlinger i dele af arbejdsobjektet?
- ◆ Medvirker skygger på eller umiddelbart omkring arbejdsobjektet til at sløre væsentlige detaljer?
- ◆ Er der skygger fra arbejdsobjektet selv, maskindele, skillevægge, reoler o.l. eller personen selv, som nedsætter synligheden?
- ◆ Skønnes belysningsstyrken at være tilstrækkelig?

Såfremt synsbetingelserne er uacceptable, undersøges, hvorledes de konstaterede fejl kan afhjælpes. Løsningerne vil være afhængige af, hvilke belysningsprincipper der fremhæver kontrasten.

Kontrastdannelse bestemt af forskel i reflektanser

Visse objekter som fx papir med bogtryk eller håndskrift er karakteriseret ved, at både objektet (papiret) og detaljerne (bogstaverne) har en diffus refleksion med mere eller mindre udpræget retningsvirkning. I dette tilfælde er kontrasterne - og dermed synligheden - bestemt både af karakteren af refleksionsegenskaberne og af belysningsanlæggets udformning, især af hvor armaturerne er placeret i forhold til objektet og betragtningepunktet. I mange tilfælde vil bogstaver have en refleksion, der er mere spejlende end papiret, og hvis dette belyses netop fra spejlingsretningen, vil bogstavernes luminans kunne blive lige

så stor eller større end papirets. Kontrasten mellem bogstaver og baggrund bliver derved lille eller kan endog skifte, så bogstaverne stedvis ses lysere end papiret. De resulterende kontraster, specielt ved meget blankt (glittet) papir, er meget stærkt afhængige af vinklerne mellem lysets indfaldsretning og observationsretningen, og man vil kunne finde betydelige kontrastvariationer inden for det normale arbejdsfelt på et skrivebord.

I en arbejdsituation vil det som regel være muligt at fastslå, hvor gode kontraster det under gunstige belysningsforhold er muligt at opnå i et bestemt objekt, ved enten at flytte eller vippe objektet eller ved at flytte hovedet. Hvis kontrasterne ved de normale arbejdsbetingelser er mærkbart ringere end de bedst mulige, føles belysningen som utilstrækkelig, også selvom kontrasterne i og for sig er store nok til at tillade en rimelig synspræstation.

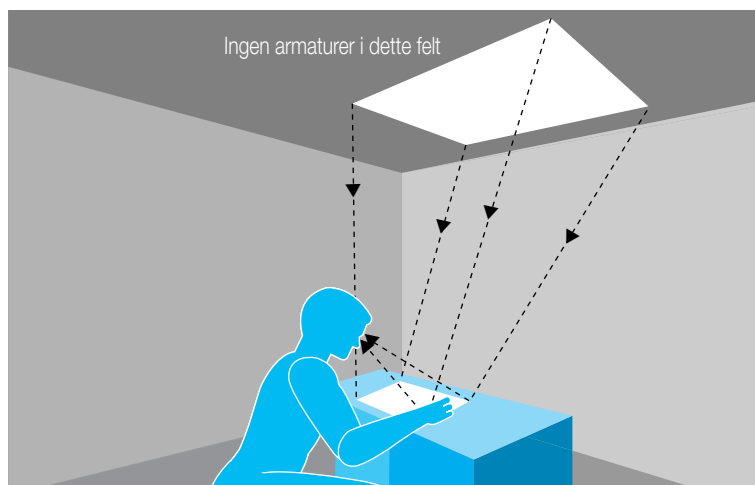
Som tommelfingerregel kan angives, at der ikke må befinde sig lyskilder i forhold til iagttageren og arbejdsfladen, således at disse kan spejle sig i arbejdsobjektet (fig. 11.24). Dette kan i praksis let undersøges ved at anbringe et lommespejl på fladen. Er der en lyskilde i den spejlende retning, må den så vidt muligt fjernes, eller retningen på det udsendte lys fra lyskilden ændres, fx ved at forsyne armaturet med et asymmetrisk gitter.

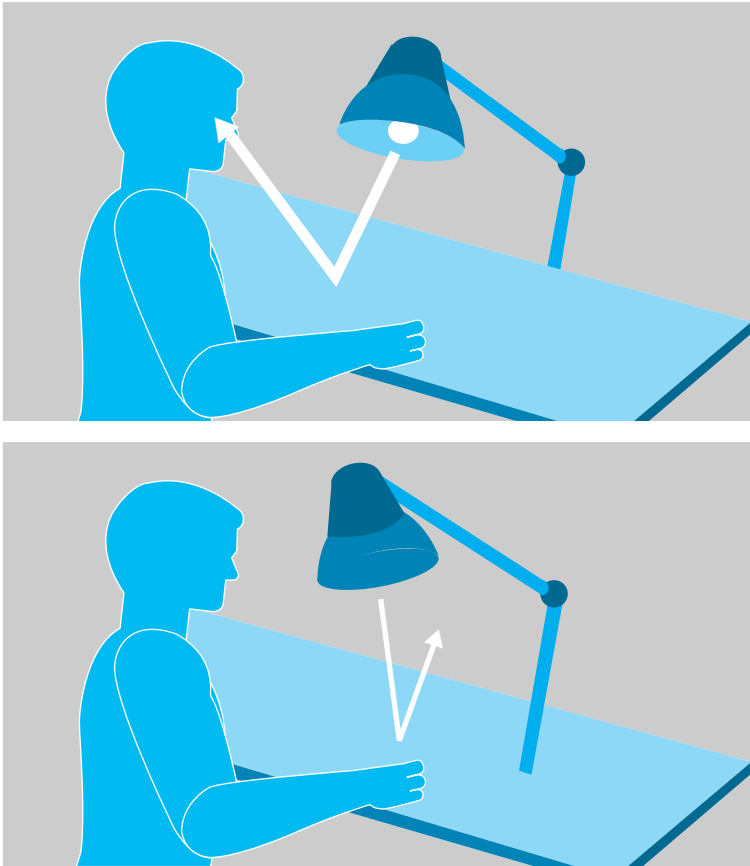
Den generende virkning kan også reduceres, hvis hovedparten af lyset på arbejdsobjektet kommer fra andre retninger. En arbejdslampe på et skrivebord bør derfor placeres således, at lyset kommer skråt ind fra siden (fig. 11.25). Hvis armaturplaceringen ikke kan ændres, kan arbejdspladsens placering eller indretning evt ændres.

Kontrastdannelse bestemt af spejlende refleksion

Synligheden af detaljer i blanke flader, fx opmærkningslinier eller

Figur 11.24. Spejling af armatur i arbejdsfelt.





Figur 11.25. Generende reflekser giver dårlig kontrast. Lys skråt bagfra giver god kontrast.

fejl (ridser, buler), vil være meget afhængig af de lysende flader, som spejler sig i arbejdsstykkerne. Det er vigtigt, at disse flader har en luminans, der er høj nok til at give en god synlighed af sådanne detaljer, men på den anden side ikke så høj, at der opstår blænding. Samtidig må der i den lysende flade ikke være en struktur (fx et lamelgitter), hvor spejlbilledet af dette kan nedsætte synligheden af de vigtige detaljer. Undtagelsesvis vil et regelret mønster i den lysende flade være en hjælp, hvis den blanke flade skal undersøges for bløde buler.

Det vil ofte være at foretrække, at den flade, der spejles i arbejdsstykket, er et armatur med en jævn og ikke for høj luminans, et såkaldt storfladearmatur. Betegnelsen storfladearmatur må opfattes på den måde, at armaturets spejlbillede dækker de væsentlige dele af objektet. Samtidig bør dets udstrækning være begrænset hertil, idet kontrasten opstår ved, at dele af overfladen spejler områder med mærkbart lavere luminans uden for storfladearmaturet.

I andre tilfælde kan det være ønskeligt, at det er en mørk flade,

der spejles i det blanke arbejdssemne, således at denne fremstår som en mørk flade. Hvis arbejdsopgaven fx består i at kontrollere fladen for støvpartikler, ses disse bedst, hvis pladen samtidig belyses med stærkt rettet lys. Man må sikre, at dét armatur, der giver den rettede belysning, ikke spejles i retning mod øjet. I elektronikindustrien, hvor synsarbejdet ofte omfatter metalliske, blanke flader (kontrol af loddesteder), er der udviklet specielle belysningsprincipper, der fremhæver synligheden.

Kontrastdannelse bestemt af skygger

Hvis det er overfladestrukturen af objekter, der skal observeres, vil det være skyggedannelsen i overfladen, der betinger synligheden. I sådanne tilfælde bør belysningen indeholde en mere eller mindre rettet komponent med en hensigtsmæssig hovedretning. Det betyder normalt, at der skal anvendes en særbelysning med et rettet lys, som dog ikke må være for kraftigt i forhold til den diffuse andel, da skyggerne i så fald kan blive for fremtrædende. Normalt fås gunstige forhold, når den rettede andel af belysningsstyrken ikke er mindre end 1 gang og ikke større end 5 gange den diffuse andel. Retningen af den rettede andel må afgøres i hvert enkelt tilfælde.

Det kan imidlertid også tænkes, at væsentlige detaljer i et objekt med synlig struktur ikke skyldes strukturen, men enkeltheder med forskellige refleksionsegenskaber eller farver. I så fald vil for kraftig skyggedannelse i strukturen nedsætte synligheden af de væsentlige detaljer. Belysningen bør da være diffus og kan komme fra et 'storfladearmatur' nær objektet, fx et særbelysningsarmatur.

Kontrastdannelse ved egen lysudsendelse eller gennemlysning

I tilfælde, hvor kontrasten i arbejdsobjektet skabes ved egen lysudsendelse (fx en dataskærm), skal belysningsstyrken af objektet afpasses efter, hvor kraftig lysudsendelsen er. Af hensyn til kontrasten og luminansfordelingen må belysningsstyrken hverken være for stor eller for lille. Da denne type arbejdsobjekter ofte har en spejlende overflade, skal belysningsanlægget eller arbejdspladsens indretning udføres således, at generende spejlinger undgås.

Ved gennemlysning af arbejdsobjektet vil de største gener være store luminansspring i synsfeltet, som nedsætter synligheden. Disse skal undgås, fx ved afmaskning af det gennemlyste område (fx lysborde) eller ved en udjævning af luminansovergangene.

Belysningsstyrke

Almenbelysningsstyrken måles i et vandret plan 0,85 m over gulv, hvis andet ikke er specificeret. Belysningsstyrken varierer mere

eller mindre i lokalet og ofte med langt mere end den regelmæssighed, der er specificeret i projekteringsgrundlaget, pga skygger fra inventar. Dårlig vedligeholdelse kan også medvirke til en større uregelmæssighed. Ved måling af middelbelysningsstyrken bør der derfor måles i et net af punkter. Antallet af målepunkter er afhængigt af forholdene mellem lokalets længde, bredde og højde. Hvis det ikke er en kontrol af, om anlægget opfylder de krav, der er specificeret i projekteringen, men krav vedr. tilstrækkelig belysningsstyrke til arbejdsprocessen, kan antallet af målepunkter reduceres og koncentreret om de områder, der er væsentlige.

Belysningsstyrken fra almenbelysningen skal være så stor, at man kan færdes sikkert i lokalet, og kravene til luminansfordelingen er opfyldt. Kravet til almenbelysningen er derfor afhængigt af belysningsstyrken på synsobjektet og arbejdsfeltet. I DS 700 er angivet niveauet for belysningsstyrken i lokalet ved forskellige belysningsstyrker på arbejdsobjektet (tab. 11.3).

Da synsopgaverne på de enkelte arbejdspladser kan være meget forskellige, er det ikke muligt at give enkle eller generelle specifikationer for, hvorledes belysningsstyrker på den enkelte arbejdsplads skal måles.

Belysningsstyrke på synsobjekt og arbejdsfelt	Belysningsstyrker i rummet	
	På arbejdsfeltets nærmere omgivelser	På fjernere omgivelser og færdselsareal
200 lux	200 lux	50 lux
500 lux	200 lux	100 lux
1.000 lux	300 lux	100 lux

Tabel 11.3. Retningsgivende belysningsstyrke i rummet (DS 700).

Inden målingen af belysningsstyrken på en arbejdsplads kan foretages, må stederne for synsarbejdet derfor fastlægges. På komplicerede arbejdspladser kan det være nødvendigt at foretage denne lokalisering i samarbejde med den person, der er beskæftiget på arbejdspladsen.

Når synsobjekterne er lokaliseret, kan det plan, belysningsstyrken skal måles i, bestemmes. For plane arbejdsobjekter (fx en bordflade eller lodret flade på en reol) vil disse som regel være veldefinerede. For rumlige arbejdsobjekter foretages målingen i et plan med en orientering svarende til et tangentplan til synsobjektets overflade.

På mange arbejdspladser er der flere synsopgaver, som alle ikke er lige væsentlige for arbejdets udførelse. Bl.a. kan der være stor forskel i varigheden af den enkelte synsopgave. Disse forhold medtages i vurderingen af, om belysningsstyrken er rimelig.

Belysningsstyrken på en arbejdsplads påvirkes af den person, som befinder sig ved arbejdspladsen, først og fremmest ved den skygge, vedkommende giver. Personens størrelse og arbejdsstilling vil normalt kun have mærkbar virkning på belysningsstyrken, hvis denne netop afskærer for lyset fra et enkelt eller nogle få dominerende armaturer. I så fald må man vælge det ugunstige tilfælde og lade personen bøje sig så meget fremover, at der skygges helt for lyset fra de pågældende armaturer.

Belysningsstyrken, som skal være til stede, er afhængig af synsopgaven. I DS 700 er der for forskellige arbejdsarter angivet de belysningsniveauer, der kan anbefales som rimelige under langt de fleste forhold. Der er en tolerance på tabelværdien på 25%, idet belysningsstyrken aldrig må blive lavere end tabelværdien minus 25%. Er tabelværdien eksempelvis 500 lux, er minimumsværdien 400 lux, og det må sikres, at denne belysningsstyrke er til stede til enhver tid i driftsforløbet. Da der pga ældning af lyskilder, armaturernes overflader, rummets flader osv til stadighed sker en gradvis nedgang i belysningsstyrken, skal denne være større end minimumsværdien.

De anbefalede belysningsstyrker er fastsat med henblik på personer med normal synsfunktion i en alder op til 50 år. For personer med nedsat synsfunktion kan det være nødvendigt at tilpasse belysningsforholdene efter forholdene.

Luminansfordeling

På en arbejdsplads kan der optræde et meget stort antal variationer i luminanserne, men det er ikke meningen, at der skal foreta-

Figur 11.26. Luminansmetret placeres i personens øjestilling og synsretning.



ges en detaljeret måling af alle disse luminanser. Formålet med målingerne er derimod at kortlægge de dominerende luminanser, og udvælgelsen af disse må ske på grundlag af en vurdering af forholdene.

De luminansmetre, som almindeligvis bruges, har en målevinkel på 1° , og målefeltet dækker derfor kun en lille del af en flade. På 1 m's afstand er diameteren af målefeltet mindre end 2 cm. Større fladers middelluminans må derfor skønnes ud fra en 'scanning' af fladen med luminansmetret.

Målingen skal besvare spørgsmålene:

- ◆ Er luminansfordelingen mellem synsobjekt, de nærmere og fjernere omgivelser tilfredsstillende (10:3:1)?
- ◆ Er der generende store spring i luminanser mellem sammenstødende større flader (1:3)?
- ◆ Er der generende spejlbilleder af lyskilder i blanke flader?

Luminansen af en flade, der ikke er mat, er afhængig af lysets indfaldsretning og synsretningen til fladen. Ved måling af luminanser på en arbejdsplads skal luminansmetret derfor være i det punkt, personen normalt har sit øje under arbejdet (fig. 11.26). Ved måling af luminanser af små felter på arbejdsobjekter kan det være nødvendigt at anbringe instrumentet på et stativ.

En uheldig luminansfordeling kan forbedres ved

- ◆ at ændre fladens reflektans
- ◆ at ændre belysningsstyrken på fladen
- ◆ at undgå for brat overgang mellem betydende flader med store luminansforskelle
- ◆ at fjerne eller afskærme lyskilder eller deres spejlinger, når disse har en generende høj luminans.

Blænding

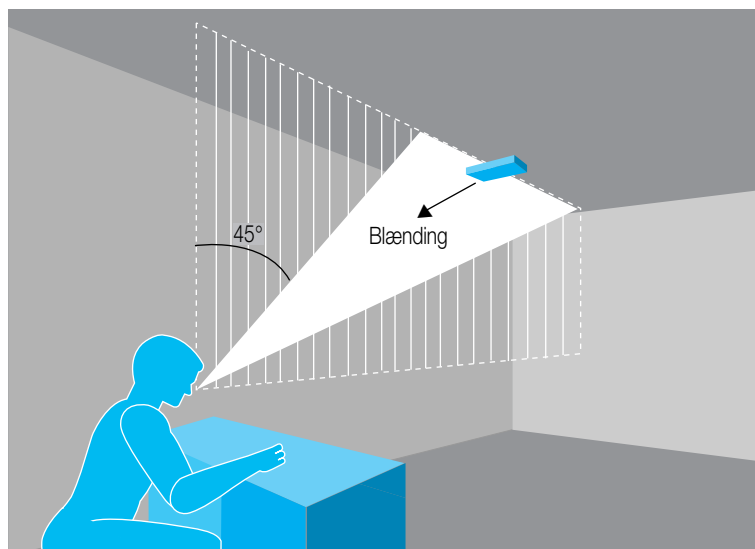
Blændingen kan ikke måles direkte, men beregnes i et aktuelt tilfælde om end med besvær (se afsnittet om måling og vurdering). Ubehagsblændingen fra almenbelysningen vurderes for lokalet som helhed fra en persons position ved væggen og med en synsretning vandret ud i lokalet. Endvidere vurderes blændingen på den enkelte arbejdsplads.

Ubehagsblændingen er den fornemmelse af ubehag, der fremkommer, når der findes lysgivere med høj luminans i blikfeltet. En vurdering af, om der er ubehagsblænding, og størrelsen af denne sker lettest ved med hånden at forhindre lyset fra armaturerne i at ramme øjnene. Sammenlignes situationen med og uden afskærmning med hånden, kan fornemmelsen af ubehag let registreres. Ved vurderingen kan benyttes følgende skala for blændingen:

- ◆ ikke erkendelig
- ◆ erkendelig
- ◆ acceptabel
- ◆ ubehagelig
- ◆ uudholdelig.

Den største blænding har man som regel, når armaturet befinder sig i synsretningen i en vinkel 45° over vandret (fig. 11.27). Armaturer med høj virkningsgrad (energibesparende) vil ofte have en meget uensartet lysfordeling, således at lysstyrken i nogle retninger er meget større end i andre. Dette gælder især armaturer med reflektorer. Blændingen kan derfor variere meget fra sted til sted i lokalet. Selvom belysningsanlægget som helhed opfylder kravet til blændingstallet, kan der være steder i lokalet med et for højt blændingstal, hvor der ikke bør placeres varige arbejdspladser. En eventuel blænding fra et armatur kan reduceres ved at afskærme armaturets lysudsendelse mod øjet. Blændingen kan ligeledes reduceres, hvis baggrundsluminansen hæves, ved at øge fladernes reflektans og/eller øge belysningsstyrken på fladerne.

Figur 11.27. Vinkelområde, hvor armaturet giver størst blænding.



Den synsnedsættende blænding vil sjældent være et problem ved normale belysningsanlæg. En vurdering af, om der er synsnedsættende blænding, sker ved med hånden at afskærme lyset fra lysgiveren, som kan fremkalde blændingen. En evt forringelse af synligheden af detaljen, som skal ses, kan da vurderes ved en sammenligning med og uden afskærmning.

Flimmer

Flimmer i belysningsanlæg kan forebygges ved at koble lyskilderne skiftevis til hver sin fase, således at den maksimale lysudsendelse ikke sker samtidig fra alle lyskilder. I armaturer med flere lysstofrør kan dette ske vha en LC-kobling. Flimmer fra en lyskilde, fx et lysstofrør, kan også skyldes, at det er 'udbrændt'. Selvom levetiden angives til 8.000 timer, holder røret ikke op med at lyse som fx en glødelampe, der brænder over. Lysudsendelsen bliver blot stadig aftagende, og der kan opstå øget flimmer. Flimmer kan helt undgås, hvis der anvendes højfrekvente (HF) anlæg. Da de samtidig er energibesparende og har andre fordele, bør nye eller renoverede anlæg fremover være HF-anlæg.

Flimmer fra dataskærme kan forebygges ved at hæve frekvensen for elektronstrålen på skærmen. Dette kan dog ikke gøres på eksisterende skærme, men skal være indbygget fra begyndelsen.

Lysets farver

Lysets farve skal tilpasses det valgte belysningsniveau og de anvendte farver i lokalet. Kombineres dagslys og kunstig belysning, kan der opstå en disharmoni mellem lysfarverne, hvis den kunstige belysning er for 'varm'. Ved valg af lyskilde må man dog ikke glemme, at lokalet også bruges i tidsrum, hvor der ikke er dagslys.

Lysets karakter

Lysets fordeling og retning (lyssets geometri) kan fremhæve eller helt udviske lokalets og materialernes form og overfladestruktur. En helt diffus belysning af rummet, med en jævn luminans på alle overflader og uden nogen skyggedannelse, giver et kedeligt rum uden 'grænser'. Et belysningsanlæg, som har et meget rettet lys, kan til gengæld give nogle meget hårde og ofte flerdobbelte skygger, der virker generende.

Lysets karakter vurderes bedst ved dels at betragte lokalet som helhed og dels betragte en persons ansigt og skyggedannelsen af en hånd på en bordflade. Vurderingen kan besvares med tilfredsstillende/utilfredsstillende, evt suppleret med kommentarer.

En utilfredsstillende almenbelysning kan bevirke, at brugeren slukker denne, hvilket er uheldigt, da synsbetingelserne antagelig samtidig bliver forringet. En utilfredsstillende belysningsform kan afhjælpes ved ændring af armaturplacering og/eller anvendelse af belysningsarmaturer med en anden lysfordeling, fx udskiftning til gitre, der giver en asymmetrisk belysning.

Støj

Støj i belysningsanlæg kan forekomme i form af en brummen. Dette skyldes som regel en reaktor af dårlig kvalitet (en reaktor

er en komponent i et armatur til damplamper). Støjen kan forstærkes af armaturets bundplade eller loftet, der kan virke som klangbund. Støjen forebygges ved udskiftning af de dårlige komponenter.

UV-stråling

Der er UV-stråling i alt lys, der udsendes fra en lyskilde. Da glas og alm. bygningsoverflader absorberer en stor del af UV-strålingen, vil indholdet af UV-strålingen, der rammer en person, være forsvindende. I tilfælde, hvor der installeres halogenglødelys uden beskyttelsesglas, og hvor personer udsættes for ekstremt høje belysningsstyrker og lange eksponeringstider, kan der tages forholdsregler mod skadepåvirkninger fra UV-stråling, ved at forsyne lyskilden eller armaturet med et beskyttelsesglas eller et UV-filter.

Dagslysbelysning

Dagslyset giver ofte et væsentligt bidrag til lokalets almenbelysning og har en kvalitet, som sjældent opnås ved kunstig belysning. En måling og vurdering af dagslysforholdene besværliggøres af, at lysets styrke og retning varierer meget. Forholdene på observationstidspunktet kan være meget forskellige fra det typiske. Et skøn over, hvor stor en del af arbejdstiden dagslys alene kan tilfredsstille et ønsket belysningsniveau, kan bestemmes ved at måle dagslysfaktoren. Dagslysfaktoren i et punkt er forholdet mellem belysningen i punktet og den samtidige belysning udendørs på et vandret plan, belyst af en fuld himmelhalvkugle, når himlen er helt ensartet overskyet. Dagslysfaktoren er således helt uafhængig af, hvor høj belysningsstyrken er i det fri. Kender man til gengæld belysningsstyrken i det fri, kan man beregne belysningsstyrken i punktet inde i lokalet.

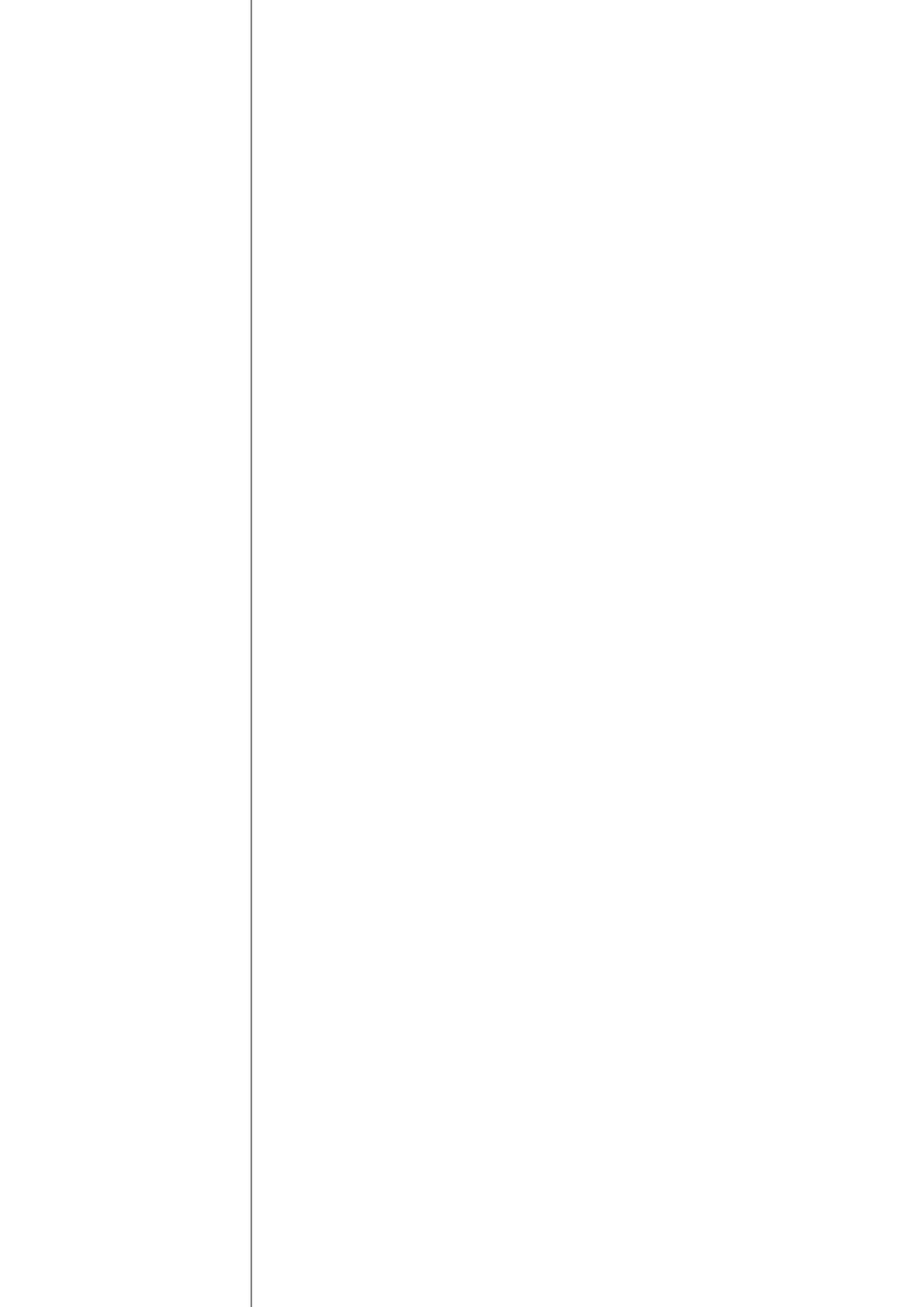
Dagslys kan, ligesom den kunstige belysning, give anledning til gener i form af blænding, kontrastreduktion og for store luminansspring. Det er især situationer med direkte sol, der giver problemer. Eventuelle gener fra dagslys vurderes som ved kunstig belysning. Det er især arbejdspladser med dataskærme, der kan generes af dagslyset, dels fordi belysningsniveauet fra dagslys kan blive meget højt, dels fordi der optræder meget høje luminansniveauer i forhold til dataskærmen og ikke mindst pga reflekser i skærmen. Pladser med dataskærme bør derfor ikke placeres nær vinduerne.

En passende solafskærmning for vinduerne kan ofte afhjælpe problemerne. Ved valg af solafskærmning skal udsynet gennem vinduerne så vidt muligt tilgodeses. Dette kan gøres ved valg af en afskærmning, som er transparent for udsyn, eller en bevægelig afskærmning. Et gardin, der bevæges op/ned, er eksempelvis

bedre end et gardin, der bevæges til siden, da det førstnævnte kan parkeres i passende mellemstillinger, der bevarer noget af udsynet og samtidig yder en tilstrækkelig afskærmning.

Litteratur

- At-meddelelse nr. 1.01.6. Kunstig belysning på faste arbejdssteder. Arbejdstilsynet, 1995.
- Bekendtgørelse nr. 1108 om arbejde ved skærmterminaler. Arbejdstilsynet, 1992.
- Bekendtgørelse nr. 1163 om faste arbejdssteders indretning. Arbejdsministeriet, 1992.
- Blændingsberegning i verdensmålestok. Kaj Sørensen. Lys nr. 1 1992.
- Dansk Standard 700. Retningslinier for kunstig belysning i arbejdslokaler. Dansk Standardiseringsråd.
- Det betaler sig at se på lyset - hvordan? Lysteknisk Selskab, 1987.
- Elektriske Lyskilder. Lys og belysning. Lysteknisk Selskab, 1993.
- God og energirigtig kontorbelysning. Lysteknisk Selskab.
- God og energirigtig skolebelysning. Lysteknisk Selskab.
- God og energirigtig industribelysning. Lysteknisk Selskab, 1995.
- Godt lys på arbejdspladsen. Arbejds miljøfondet, 1982.
- Indeklima-LYS, ATV - Akademiet for de tekniske videnskaber, 1975.
- Kunstig belysning ved skærmterminaler. Særtryk af LAMPETTEN, nr. 4, 1983, Lysteknisk Selskab.
- Lys, Vinduer, Varme. Særtryk af LAMPETTEN, nr. 1, 1974, Lysteknisk Selskab.
- Lys og Belysning. 6 hæfter. Ib Ovesen, mfl. Lysteknisk Selskab, 1967-71.
- Måling af belysningsstyrker og luminanser i belysningsanlæg. Rapport nr. 32. Lysteknisk Laboratorium, 1982.
- Ultraviolet stråling fra belysningsanlæg og dens virkninger. Rapport nr. 33. Lysteknisk Laboratorium, 1982.



Ekspone- rings- vurdering, luftforureninger

*P. Wilhardt
E. Olsen
N.O. Breum
U. Lucht Møller
P.E. Andersen
O. Valbjørn
T. Schneider*

Eksponeringsvurdering, luftforureninger

Vurdering af de beskæftigedes eksponering for luftforurening på arbejdspladsen er en udfordrende opgave. Det er nødvendigt først at *identificere de potentielle eksponeringer* (se vurdering af eksponeringsfaktorer), derefter at *indbente data vedrørende de arbejdspladsfaktorer*, der kan have indflydelse på arten og mængden af luftforureningen. Her tænkes specielt på sammensætning og mængde af de anvendte stoffer og materialer (se scoresystemer), kildestyrker og spredning af luftforureningen (se bind I, side 114ff) og andre influerende arbejdspladsfaktorer såsom procesbetingelser, ventilationskarakteristikker, afstand til kilder, dag-til-dag variationer og meteorologiske variationer (se afsnit om central og lokal registrering). Mange af disse faktorer vil være beskrevet og vurderet ved en evt foretaget *arbejdspladsvurdering* (se kapitel 14).

Der findes en lang række metoder og værktøjer til eksponeringsvurdering:

- ◆ register over stoffer og produkter
- ◆ databaser
- ◆ scoresystemer
- ◆ modelberegninger
- ◆ laboratorieforsøg
- ◆ fuldskala simulering
- ◆ arbejdspladsmålinger.

Udvalgte metoder og værktøjer beskrives i de efterfølgende afsnit.

Hovedvægten er lagt på arbejdspladsmålinger (afsnit om målestrategier), der kan være nødvendige, hvis der skal foretages en repræsentativ eksponeringsvurdering. En arbejds-hygienisk luftforureningsmåling kan have følgende formål:

- 1) At bestemme arten og mængden af luftforureninger, de beskæftigede udsættes for.

- 2) At bedømme forskellige proces- og operationsparametres indflydelse på luftforureningen.
- 3) At undersøge effekten af forskellige tekniske foranstaltninger til bekæmpelse af luftforureningen.

Når der skal foretages en eksponeringsvurdering, vil det fortrinsvis være 1), der benyttes.

Trin for trin fremgangsmåden

I dette afsnit gives en oversigt over en trinvis fremgangsmåde for eksponeringsvurdering. Den europæiske standard EN 689: *Workplace atmospheres - Guidance for the assessment of exposure by inhalation to chemical agents for comparison with limit values and measurement strategy* anbefaler fremgangsmåden, som er vist skematisk i fig. 12.1. Som det ses af fig. 12.1, er det ikke nødvendigt at gennemføre alle trin, hvis det ved et af de foregående trin vurderes, at eksposeringen overskrider eller ligger væsentligt under de relevante grænseværdier.

Indledende vurdering

På basis af de indhentede oplysninger om anvendte materialer, arbejdspladsfaktorer mv foretages en indledende eksponeringsvurdering. Der er flere variable, der har indflydelse på koncentrationen af luftforurening i de beskæftigedes åndingszone. En evt indflydelse af følgende faktorer bør indgå i vurderingen:

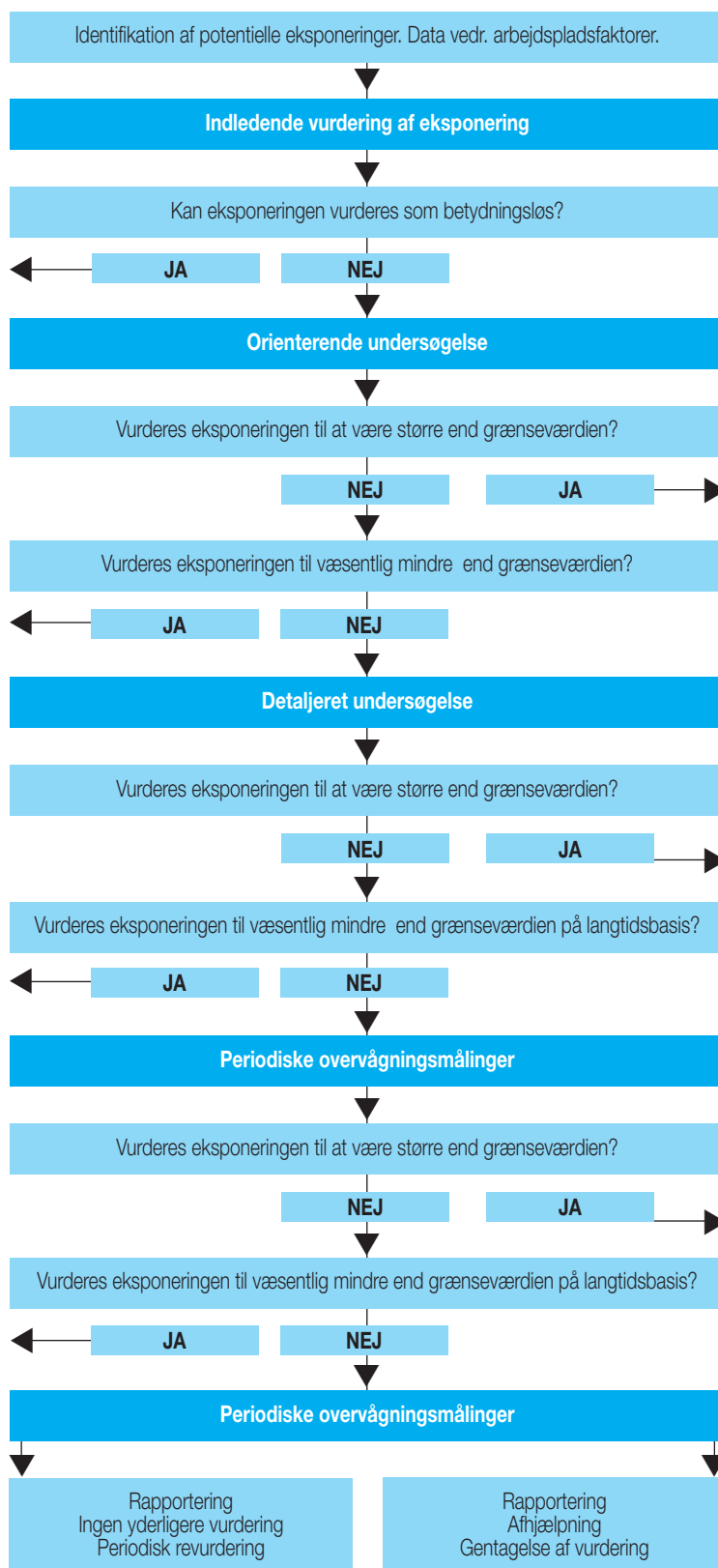
- ◆ antallet af luftforureningskilder
- ◆ produktionsrate i forhold til produktionskapacitet
- ◆ frigørelshastigheden af luftforureningen fra kilderne
- ◆ type og position af kilderne
- ◆ opblanding af luftforureningen pga luftbevægelser
- ◆ type og effektivitet af ventilationssystemer
- ◆ de beskæftigedes afstand til luftforureningskilderne
- ◆ de beskæftigedes opholdstid i procesområdet
- ◆ de beskæftigedes arbejdspraksis.

Hvis denne indledende vurdering viser, at eksposeringen for en luftforurening ikke kan betragtes som betydningsløs, fortsættes med en orienterende undersøgelse.

Orienterende undersøgelse

En orienterende undersøgelse skal give en mere kvantitativ vur-

Figur 12.1. Trin for trin fremgangsmåde ved eksponeringsvurdering.



dering af eksponeringen. Ved en orienterende undersøgelse fokuseres især på de arbejdsprocesser og -steder, hvor eksponeringen vurderes til at være størst, "worst case". Mulige informationskilder til eksponeringsvurderingen er:

- ◆ tidligere arbejdshygiejniske målinger
- ◆ måleresultater fra tilsvarende processer og type virksomheder
- ◆ beregninger baseret på relevante kvantitative data
- ◆ enkelte foretagne "worst case" målinger.

Hvis man ved eksponeringsvurderingen finder, at der bør foretages en afhjælpning af forholdene, bør man efter afhjælpningen foretage en ny orienterende undersøgelse. Orienterende undersøgelser giver et godt grundlag for evt efterfølgende detaljerede undersøgelser.

Detaljeret undersøgelse

En detaljeret undersøgelse omfatter fortrinsvis målinger, der giver den detaljerede beskrivelse af eksponeringen i forhold til grænseværdien. Ved en detaljeret undersøgelse er det af største vigtighed, at der anvendes den rigtige målestrategi (se afsnittet om målestrategier) og det rigtige måleudstyr (se bind I). Med hensyn til detaljerede undersøgelser henvises også til:

- ◆ At-meddelelse nr. 4.30.1, april 1993
- ◆ At-anvisning nr. 4.3.0.1, oktober 1993
- ◆ At-anvisning nr. 3.1.0.2, juli 1994
- ◆ AMI-vejledning nr. 5/1990.

Periodiske overvågningsmålinger

Formålet med periodiske overvågningsmålinger er at checke, at de trufne foranstaltninger fortsat er effektive. Hvis resultaterne fra periodiske målinger viser stigninger eller ændringer i eksponeringsmønstret, har man således mulighed for at gribe ind, før eksponeringerne bliver for store. For at resultaterne fra et periodisk overvågningsprogram er anvendelige, er det af største vigtighed, at man med forholdsvis stor sikkerhed kan sammenligne de på hinanden følgende måleresultatsæt. Dette kræver en rigtigt planlagt prøvetagningsstrategi. Tidsrummet imellem prøvetagningerne er bl.a. afhængig af følgende faktorer:

- ◆ procescyklus
- ◆ effektivitet af proceskontrol
- ◆ konsekvenser af kontrolsvigt
- ◆ tid der anvendes til reetablering af proceskontrol

- ◆ variationen over tid af måleresultaterne
- ◆ eksponeringens nærhed på grænseværdier.

Som det bl.a. ses af ovennævnte faktorer, vil de periodiske arbejds-hygieniske målinger ofte med fordel kunne koordineres, sammenkobles eller erstattes med den løbende proces- og kvalitetskontrol.

Vurderingsmetoder

Vurdering af eksponeringsfaktorer

Under forberedelsen af en arbejdspladsundersøgelse har man mulighed for at bedømme evt eksponeringer på forhånd, både kvalitativt og "semikvantitativt". På selve arbejdspladsen findes der oplysninger, som kan anvendes til vurdering af de enkelte eksponeringsfaktorer. Hvis der er tale om svejsning, er svejse-elektroderne mærkede. Hvis der er tale om kemiske produkter, er de fleste mærkede med den såkaldte MAL-kode, som angiver den mængde luft, der skal tilføres for at fortynde dampene fra 10 g af produktet ned til grænseværdien. Når der anvendes kemiske produkter, skal der forefindes et datablad, som angiver produktets kvalitative indhold af stoffer, hvis koncentration overstiger 5 vægtprocent.

Hvis man kender sammensætningen af produkterne, kan deres SUBFAC-indeks beregnes. Et produkts SUBFAC-indeks angiver den relative risiko for at overskride grænseværdierne, når man bruger produktet. SUBFAC-indekset er defineret som:

$$\text{SUBFAC}_{iA} = \frac{R_{iA}}{\text{STD}_i}$$

hvor SUBFAC_{iA} er værdien af SUBFAC-indekset for komponent i i produktet A; R_{iA} er fordampningshastigheden ($\text{mg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) af komponent i, og STD_i (mg m^{-3}) er den gældende standard for luftkvaliteten. Der findes modeller til beregning af fordampningshastigheder (bind I, side 36ff). Luftkvalitet-standarder kan være grænseværdier i arbejdsmiljøet, de såkaldte no observed effect level (NOEL), etc. Det er klart, at en stor fordampningshastighed og en lav grænseværdi medfører, at grænseværdien let overskrides.

SUBFAC-indekset for hele produktet bliver:

$$\text{SUBFAC}(A) = \sum_{i=1}^n \text{SUBFAC}_{iA}$$

SUBFAC-indekset er ikke en absolut værdi, men en værdi, der skal ses i relation til andre stoffer eller produkter.

Med kendskab til, hvilke produkter virksomheden bruger, kan man søge oplysninger i Produktregistrets database PROBAS. PROBAS kan naturligvis ikke oplyse om produkternes sammensætning, som er fortrolige, men for fordampelige produkter kan PROBAS oplyse den relative risiko for at overskride grænseværdierne, både for enkeltstoffer, som er angivet på sikkerhedsbladet, og for blandingsforureninger. Det sker i form af SUBFAC-indekset. Oplysningen om SUBFAC-indekset er ikke konfidentiel, da det ikke er nødvendigt samtidig at give kvantitative sammensætningsoplysninger.

Analogt kan opstilles et støvningsindeks. Dette kan ikke beregnes, men må måles i laboratoriet (bind I, side 92). Produktregistret kan ikke i dag oplyse om støvningsindeks for produkter.

Vurdering af arbejdspladsfaktorer

Når et stof er blevet luftbåret, er der en række faktorer, der bestemmer, hvilken koncentration(er) den beskæftigede udsættes for, og hvordan eksponeringen varierer. Nogle af disse faktorer er vist i tab. 12.1.

Faktor	Eksempler på årsag til variation i eksponeringen
Fordampningshastighed	Dag-til-dag variation i temperatur og lufthastigheder Variation i luftfugtighed. Variation i statisk opladning.
Støv, røg, dråber, bioaerosoler Fordampningsareal	Forskellige arbejdsemner
Adskillelse mellem kilde og person	Personens arbejdsmonster
Volumen af arbejdspladsen	Flytbare sektioner
Ventilation	Dag-til-dag ændringer i ventilationssystemet
Træk	Arbejde udendørs eller ud for åbne porte, døre eller vinduer
Personens arbejdsvaner	Variation i arbejds måde fra dag til dag eller fra person til person
Produktionshastighed	Større fordampningsarealer, når flere personer arbejder i det samme rum
Arbejdsmonster	Ændringer i arbejdsmonstret fra dag til dag
Baggrundsforurening	Kollegers aktivitet

Tabel 12.1. Nogle faktorer, der kontrollerer eksponeringskoncentration og -variation.

Disse faktorer har på de fleste arbejdspladser afgørende indflydelse på eksponeringsniveauet, men kun nogle af dem har indflydelse på variationen af eksponeringen fra dag til dag.

Vurderingen af disse faktorer indflydelse fra arbejdsplads til arbejdsplads er arbejdshygiejnikerens opgave, og denne kunst kan kun opøves med erfaringer fra mange målinger på forskellige virksomheder.

Central og lokal registrering af erhvervsmæssigt anvendte stoffer og produkter

Som en del af den teknologiske udvikling tages der flere hundrede nye kemiske forbindelser i brug hvert år. Den eksplosive vækst i kemikalieforbruget har ført til politiske tiltag og ny kemikaliregulering både nationalt og internationalt. Kemikalielovgivningen regulerer brugen af kemiske stoffer og medfører en omfattende oplysningspligt, dels på etiketter og brugsanvisninger, dels i form af en systematisk registrering af stoffer og produkter i et centralt register.

Produktregistret, der er et fælles register for Arbejdstilsynet og Miljøstyrelsen, har siden 1980 foretaget den centrale registrering af data om kemiske stoffer og produkter, der anvendes i Danmark. Data indgår i registrets database PROBAS.

EU's krav om risikovurdering af såvel nye som eksisterende kemikalier har siden øget behovet for adgang til oplysninger om kemiske stoffer og produkter. En registrering på EU-niveau er gennemført i databasen IUCLID, indtil videre dog kun af stoffer på EINECS (European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances).

Registrering af kemikaliedata foregår også lokalt, fx på virksomheder. Disse aktiviteter er ikke direkte lovbestemte, men for at opfylde de omfattende krav på kemikalieområdet bl.a. om brugsanvisninger, substitution, arbejdspladsvurderinger og miljøgodkendelser, må de betragtes som nødvendige på områder, hvor et større antal kemikalier er i brug.

Formålet med registrering af erhvervsmæssigt anvendte stoffer og produkter, centralt såvel som lokalt, er at få et overblik over den mulige eksponering i arbejdsmiljø og ydre miljø og dermed skabe grundlag for risikovurdering samt en videnskabeligt forebyggende indsats mod kemiske belastninger. Yderligere giver en registrering hurtig adgang til enkeltdata.

Datakilder

Informationer om stoffer og produkter, der anvendes i arbejds-

miljøet, stammer hovedsagelig fra producenter og importører.

Produktregistret informeres om farlige stoffer og produkter via obligatoriske anmeldelser med angivelse af bl.a. mængder, anvendelsesområde og fuldstændige sammensætningsoplysninger. Der findes dels generelle regler for anmeldelse af farlige kemikalier i Arbejdsministeriets Bekendtgørelse nr. 540, 1982, dels specielle regler for grupper af stoffer og produkter, fx epoxyharpikser og isocyanater (Arbejdsministeriets Bekendtgørelse nr. 199, 1985), kræftfremkaldende stoffer og materialer (Arbejdsministeriets Bekendtgørelse nr. 535, 1990) og bekæmpelsesmidler (Miljøministeriets Bekendtgørelse nr. 584, 1993). Også for produkter, der ikke er omfattet af anmeldelsespligt, har Produktregistret indsamlet betydelige datamængder i forbindelse med forsknings- og undersøgelsesopgaver. Når producenter og importører ved frivillig anmeldelse indgiver produktoplysninger og forpligter sig til at holde dem ajour, får også disse produkter et PR-nr. PR-nr. for alle produkter er ofte et udtalt brugerønske ved indkøb af kemikalier.

Producenten/importøren informerer arbejdsmiljøprofessionelle/arbejdstagere om stoffers/produkters farlighed via leverandørbrugsanvisninger (sikkerhedsdatablade). Kvaliteten af disse har hidtil været meget varierende, og de angivne sammensætningsoplysninger er utilstrækkelige til en risikoidentifikation. Den information, der ligger i PROBAS om produkternes sammensætning, kan arbejdsmiljøprofessionelle generelt ikke få fra fx brugsanvisninger eller ved direkte henvendelse til producenter/importører. Det er dog muligt, at de nyligt skærpede regler om brugsanvisninger fremover vil gøre disse mere informative.

Den toksikologiske viden om de enkelte kemiske stoffer er normalt offentligt tilgængelig i håndbøger, anden litteratur og databaser (RTECS, IUCLID mfl), men kan først udnyttes fuldt ud til vurdering af produkternes farlighed, når produkternes sammensætning er kendt.

For arbejdsmiljøprofessionelle kan PROBAS fungere som datakilde til viden om farlige stoffer og produkter, der anvendes lokalt. Data formidles dels gennem publikationer, dels ved direkte kontakt til registret. Af ca 1.300 opkald i 1995 til "Kemiservice", Produktregistrets telefoniske rådgivning, kom 50% fra virksomhedsansatte (personer med sikkerhedsopgaver), 15% fra BST og 9% fra konsulenter. Den største viden kan indhentes fra produkter med PR-nr. (obligatoriske og/eller frivillige), hvor alle indgående stoffer er oplyst og ajourført.

Central registrering

Produktregistre har til opgave systematisk at indsamle oplysninger om kemiske stoffer og produkter, og betjene de myndigheder

og institutioner, der har opgaver på området. I Danmark er reglerne om produktregistrering knyttet til Arbejds miljøloven og en særlig arbejdsministeriel bekendtgørelse (nr. 466, 1981). Der vil i det følgende blive fokuseret på det danske produktregister, som pr januar 1996 havde data om ca 137.000 stoffer, 88.000 produkter og 15.000 firmaer. Disse tre kategorier er de "grundsten", databasen er bygget over. Et produkt er her en handelsvare, bestående af et eller flere stoffer og knyttet til et eller flere firmaer, fx producent, importør, leverandør, anmelder og i nogle tilfælde bruger. Et stof er betegnelsen for et grundstof eller den enkeltstående kemiske forbindelse.

Omkring denne kerne er etableret en omfattende viden om:

- ◆ hvilke stoffer og produkter der anvendes
- ◆ hvor de anvendes, til hvilket formål og i hvilke mængder
- ◆ stoffers og produkters egenskaber, herunder produkternes kemiske sammensætning og mulige sundheds- og miljømæssige virkninger.

Netop sammenhængen mellem en bestemt vare, leveret eller produceret af et bestemt firma og sammensat af en række entydigt beskrevne kemiske stoffer i en given koncentration, er kernen i produktregistrenes viden. Registrering af sammensætningsoplysninger er en central opgave af flere grunde. Mange produkter er sammensat som et system af kinesiske æsker, hvor en optrævling gennem alle led af råvarer kræver en stor korrespondance. Kun et centralt register med omfattende sikkerhedsforanstaltninger kan sikre, at oplysningerne fortroligholdes gennem så mange led. Yderligere har mange myndigheder krav på forskellige kemikalieoplysninger, hvorfor en central registrering er den enkleste løsning for de firmaer, der skal levere oplysningerne.

I henhold til registerbekendtgørelsen er brugere af PROBAS-data primært sundheds- og miljømyndigheder og institutioner, der varetager opgaver på området, bl.a. Arbejdstilsynet, Miljøstyrelsen, Sundhedsstyrelsen, Levnedsmiddelstyrelsen, Beredskabsstyrelsen og Giftinformationscentralen, men andre med opgaver på området, herunder forskere, kan også bruge data i registret.

Oplysninger om de enkelte stoffer og produkter bruges ved kontrol af mærkning og brugsanvisninger, forslag til substitution og målestrategi, indsats ved større ulykker, behandling af forgiftninger samt almindelig rådgivning og vejledning. Det tværgående overblik, der bygger på sammenstilling af data om mange stoffer og produkter, bruges til overordnet eksponeringsovervågning, målrettet regulering, risiko- og livscyklusvurdering i forbindelse med renere teknologi samt i undersøgelses- og forskningssammenhænge.

Produktregistrets data har vist sig brugbare til screening af potentielle kemiske risici i arbejdsmiljøet, og koblet til viden om biologiske effekter også til vurderinger af mulige helbredsrisici for arbejdstagere. Hypotesen er, at brug af produkter, der indeholder farlige stoffer, rummer en risiko for, at arbejdstagerne eksponeres for disse stoffer.

Myndigheder og arbejdsmiljøprofessionelle kan sammen med Produktregistret foretage to typer undersøgelser baseret på produktregisterdata. I den første er det primære formål at foretage en identifikation og vurdering af en potentiel eksponering og kortlægge, hvilke farlige stoffer der er i anvendelse. Problemprodukter og brancher identificeres ud fra parametrene: farligt stof, antal produkter og forbrugt mængde, og der gives et overblik over de kemiske belastninger i de enkelte brugerbrancher og forslag til stof- og produktsubstitution. I den anden type undersøgelse kobles det registerbaserede eksponeringsmål til helbredsskader fra sygdomsregistre (epidemiologisk undersøgelse) eller patientoplysninger (case study). Ved at koble kemikaliedata til data om erhvervsbetingede sygdomme kan mulige årsagssammenhænge mellem anvendelse af kemiske stoffer og produkter og arbejdsbetingede lidelser påvises.

Dækningsgraden af produkter i PROBAS i forhold til alle produkter på det danske marked varierer meget mellem produkttyper og afhænger af forskellige anmeldeordninger på området. I gennemsnit er 50-60% af produkterne registreret, men det kan på specielle områder variere fra 21% til 82%.

Da der hele tiden sker en livlig udvikling på kemikaliemarkedet, er det vigtigt, at oplysningerne holdes ajour. Der er ajourføringspligt for alle oplysninger om produkter med udleveret PR-nr., men da ajourføringen ikke sker i det forventede omfang, arbejdes der på en forbedring af dette punkt. Specielt mængdeoplysninger er følsomme for svigt i ajourføringen, bl.a. fordi den stigende opmærksomhed på farlige stoffer har ført til en hurtig udfasning af bl.a. kræftfremkaldende stoffer og organiske chlorforbindelser. Den samme følsomhed gælder i nogen grad nye stoffer og produkter, hvor mængdeoplysningerne bygger på producentens/importørens forventninger til omsætningen.

Lokal registrering

Ved lokalt at registrere oplysninger om kemikalier skaffer man sig en lettilgængelig viden og et overblik, der muliggør målrettede arbejdsmiljøforbedringer. I virksomheder, bedriftssundhedstjenester, Arbejdstilsynets kredse og kommuner registreres virksomhedernes kemikalieforbrug i varierende omfang. I det følgende belyses de muligheder, der ligger i et lokalt kemikalieregistreringssystem på virksomheden.

En lokal registrering, hvor der indgår oplysninger om virksomhedsspecifikke produktions- og eksponeringsforhold, kan give miljøforbedringer som:

- ◆ udfasning af unødvendige stoffer og materialer
- ◆ substitution af farlige kemikalier enten ved produktsubstitution eller ved en produktfremstillers stofsubstitution
- ◆ beskyttelse af personer mod påvirkning fra stoffer og materialer fx ved omlægning/indkapsling af arbejdsprocesser, udsugning samt brug af personlige værnemidler.

Ved en lokal kemikalieregistrering bør også evt problemer, gener og symptomer ved omgangen med kemikalier (farlige såvel som ufarlige) optegnes. På denne måde opsamles erfaringer, som kan bruges ved substitutionsovervejelser. Et lokalt kemikalieregistreringssystem vil yderligere gøre det lettere at administrere kontakten til leverandører af produkterne, holde øje med kvaliteten af leverandørbrugsanvisningerne og lave arbejdsgiverbrugsanvisninger.

Ved en systematisk kemikalieregistrering af såvel farlige som ufarlige stoffer/produkter vil det ofte vise sig, at der bruges et alt for stort antal kemikalier, som let kan nedbringes ved i første omgang at sanere blandt forskellige stoffer og produkter til samme anvendelse.

Lovgivningens krav til lokal registrering er diffuse og indirekte og gælder kun farlige stoffer og produkter. Arbejdsministeriets Bekendtgørelse nr. 540, 1982, om stoffer og materialer kræver fx kun udfærdigelse af arbejdsgiverbrugsanvisning og, hvor det er muligt, substitution af farlige stoffer.

At-bekendtgørelse nr. 300, 1993 om foranstaltninger til forebyggelse af kræft- og kræftfarlige stoffer ved arbejde med stoffer og materialer mv, kræver for visse af stofferne skriftlig dokumentation for arbejdsprocesser mv, og af Bekendtgørelse nr. 867, 1994 om arbejdets udførelse fremgår, at visse typer virksomheder skal godkendes og bl.a. skriftligt oplyse om art og forbrug af råvarer og hjælpestoffer. Miljøministeriets Bekendtgørelse nr. 520, 1990 om vurdering af sikkerheden i forbindelse med risikobetonede aktiviteter kræver udfærdigelse af en sikkerhedsrapport for risikofyldt produktion. Relativt få virksomheder omfattes dog af denne bekendtgørelse. I Miljøstyrelsens Bekendtgørelse nr. 794, 1991, om godkendelse af listevirksomheder gives retningslinier for, hvad disse virksomheder skal registrere, men kravene til detaljeringsniveau varierer kommunerne imellem. Der skal bl.a. gives oplysninger om art og forbrug af råvarer, mikroorganismer og hjælpestoffer samt oplysninger om intern transport og oplagring. For de største af de godkendelsespligtige listevirksomheder (Bekendtgørelse nr.

975, 1995) er der desuden krav om udfærdigelse af grønne regnskaber, der skal være offentligt tilgængelige.

Et kemikalierregistreringssystem er et nyttigt redskab til sikring af, at disse forpligtelser bliver overholdt.

Ud over de tiltag til kemikalierregistrering, der ligger i Arbejdsministeriets og Miljøministeriets bekendtgørelser, medfører også interessen for miljøcertificering en lokal dataregistrering (se kapitel 15).

EU's krav om eksponeringsvurderinger og arbejdspladsvurderinger og behovet for en optimal udnyttelse af alle kemikaliedata øger behovet for en standardiseret registrering af virksomhedernes forbrug og anvendelse af kemikalier. Der foreligger flere EDB-systemer til administration af en virksomheds kemikalier, og forsøgsvis arbejdes der på at udbygge EDB-systemet "KemSys" til indsamling af data til eksponerings- og risikovurdering. Dette kemikalierregistreringssystem gør det muligt for virksomheden at opfylde Arbejdstilsynets krav om en relevant arbejdsgiverbrugsanvisning og at følge op på vedtagne beslutninger om kemikaliehåndteringen. Systemet indeholder bl.a. oplysninger om kemiske produkters anvendelse (anvendelsesmåde, hyppighed, årligt forbrug, begrænsninger), forholdsregler (værnemidler) og observationer om gener ved brug. "KemSys" søges udbygget med yderligere oplysninger om eksponeringsforhold som varighed, håndtering, kemikaliers tilstandsform, hudkontakt og antal beskæftigede ved processen. For en kemisk virksomhed vil et sådant system være et væsentligt element i en arbejdspladsvurdering.

Værdien af en lokal kemikalierregistrering er ligesom den centrale registrering meget følsom for ajourføring; en god idé er at lade bogholderiafdelingen overtage ansvaret for ajourføring.

Samkøring af PROBAS-data med data fra lokale virksomhedsregistre

Et enkeltstående register som PROBAS kan ikke i praksis holdes ajour med alle relevante kemikaliedata. I det omfang, forskellige registre har fælles nøgler, fx CAS-nr., PR-nr. og diverse koder, kan de samlede ressourcer udnyttes ved registersammenkøring.

I forbindelse med større undersøgelser er der allerede gennemført sammenkøring mellem centrale registre. Herudover arbejdes der på sammenkøring mellem PROBAS og lokale registerdata.

Når data for potentiel eksponering på arbejdspladsen er indsamlet, findes flere modeller til simpel vurdering af graden af eksponering (fx ingen, lav, middel, høj). Til praktisk risikovurderingsarbejde ved udnyttelse af lokale registre kan de tilvejebragte data omsættes til score ved at benytte et valideret scoresystem, se næste afsnit. Scoresystemer kan også bruges til frasortering af

produkter uden at foretage en egentlig risikovurdering.

Produktregistret kan som led i et samarbejde ved kobling til data i lokale kemikalieregistre levere arbejdsmiljørelevante data om enkeltstående produkter eller hele arbejdspladser. Der kan fx oplyses om tilstedeværelse af EU-klassificerede stoffer, stoffer med grænseværdi og KRAN-stoffer. Den største information kan fås for produkter med PR-nr. (obligatoriske og/eller frivillige), hvor alle indgående stoffer er oplyst.

På basis af sammensætningsoplysninger fra PROBAS kan der for aktuelle produkter beregnes en SUBFAC-værdi (se afsnit om vurdering af eksponeringsfaktorer) til vurdering af risikoen for overskridelse af gældende grænseværdier. Der vil yderligere kunne udfærdiges prioriterede lister over stoffer, produkter eller arbejdsområder, som virksomheden/branchen bør satse på at substituere eller forbedre.

Ved at sammenkoble oplysninger om eksponering og emission fra lokale registre med PROBAS-data vil et forbedret grundlag for opfyldelse af EU's krav om eksponeringsvurderinger for kemiske stoffer være nået.

For også at skabe mulighed for sammenkøring af data fra forskellige europæiske produktregistre har der i nogle år været arbejdet på at udvikle fælles codesystemer for alle de EU-lande, der har eller agter at få produktregistre. Sammenstilling af kemikaliedata fra mange lande vil på europæisk plan kunne skabe et virkelig effektivt grundlag for overvågning af hvert enkelt kemisk stof og forebyggelse mod uønskede virkninger på mennesker og miljø.

Scoresystemer

Ved at give såvel graden af eksponering som alvoren af sundhedseffekten point (score), kan der opstilles en risikomatrix, der kan anvendes som prioriteringsredskab. Til hver "risikograd" i matrixen kan der knyttes specifikke tiltag. Der er et stigende behov for sådanne systemer. Et simpelt eksempel er givet i kapitel 15, tab. 15.2.

Graden af eksponering kan ofte bedømmes indledningsvis ved en struktureret vurdering af enkeltfaktorer, der tilsammen giver anledning til den givne eksponering. Tab. 12.2 og 12.3 viser en metode, der har vist sig brugbar, men forudsætter godt kendskab til den type produktion, der vurderes. Eksponeringsvurderingen gennemføres ved først at opstille en tidsprofil for et job, udtrykt som tidsandel, t_i , tilbragt i hver af arbejdsopgaverne (fx sækketømning, omrøring), som andel af hele arbejdsdagen. For hver arbejdsopgave vurderes eksponeringen ud fra 3 faktorer, som

Eksponeringsfaktor		Betydning
Talværdi	Beskrivelse	
Potentiel kildestyrke		
10,0	Meget høj	Meget støvende, højt damptryk eller høj temperatur
3,0	Høj	Støvende materiale osv
1,0	Moderat	Noget støv eller nogle dampe dannes ved håndtering
0,3	Lav	Lidt støv dannes ved håndtering osv
0,1	Meget lav	Meget lidt støv og dampe dannes
0	Ingen	Forurening kan ikke undslippe
Fysisk påvirkning (håndtering/proces)		
10,0	Meget høj	Høj energi i påvirkning, knusning osv. Fordampning fra aerosol
3,0	Høj	Brække, fald 0,5-2 m. Bobling i væske
1,0	Moderat	Fald fra under 0,5 m. Hælde med plasken
0,3	Lav	Løfte, stable, hælde
0,1	Meget lav	Forsigtigt løft osv
0	Ingen	Ingen håndtering eller påvirkning
Teknisk forebyggelse		
1,0	Ingen	Ingen kontrolforanstaltninger
0,3	Nogle	Lokaludsugning installeret eller andre former for kontrolforanstaltninger
0,1	Effektiv	Godt designet og vedligeholdt lokaludsugning eller andre kontrolforanstaltninger
Passive (sekundære) kilder, fx spild af pulver og væske		
0	Ingen	Ingen passive kilder
0,1	Nogle	Nogle kilder, fx støvet gulv eller mindre læk for væsker
0,3	Mange	Meget dårlig orden og renhold, hyppige læk osv
Tid kilden er aktiv		0-100%
Fortynding		
1,0	Ringelille rum	Små lokaler og dårlig almen ventilation
0,3	Moderat	Store lokaler og dårlig ventilation eller små lokaler og god ventilation
0,1	God/stor	Store lokaler og god almen ventilation
Brug af personlige beskyttelsesmidler		
1,0	Ingen	Bruges ikke
0,3	Noget	Dårlig kvalitet af programmet, fx hensigtsmæssigt udstyr, men ingen træning eller kontrol
0,1	God	Tilstrækkeligt program

relaterer til aktiv emission, opdelt i nær- og fjernfelt kilder. Yderligere faktorer er passive kilder, tid kilden er aktiv, fortynding og brug af personlige beskyttelsesmidler. Passive kilder og beskyttel-

Tabel 12.2. Point (score) for eksponeringsfaktorerne.

sesmidler relaterer til både nær- og fjernfelt, fortynding kun til fjernfeltet, se tab. 12.3. Ud fra alle disse faktorer bestemmes, for hver arbejdsopgave, en relativ koncentration.

EASE-programmet

Programmet EASE er udviklet af Health and Safety Executive (HSE) i Storbritannien. Det vil i fremtiden blive anvendt inden for EU til prædiktation af eksponering ved risikovurderinger.

Intentionen med EASE programmet er at dække alle eksponeringssituationer, inklusive eksponering ved hudoptagelse. Det gør, at prædiktioner af eksponering bliver meget grove.

Programmet er let at anvende: På en række menuer vælger man imellem forskellige muligheder, fx en menu om aerosoldannelse (ja/nej) eller en menu om ventilation (lokalventilation ja/nej). Efter at man har foretaget valg på samtlige menuer, prædikterer programmet et koncentrationsinterval for eksponeringen.

Hvis man ikke kender et stofs damptryk, er det muligt at beregne det ud fra kendskab til stoffets kogepunkt.

Det er vigtigt at gøre sig klart, at hvad der prædikteres, er proces-koncentrationer (se nedenfor); for man har jo gennem sine valg defineret en speciel eksponeringssituation.

Eksempel på en kørsel i EASE:

This log file was generated by the EASE system Version: 2.0

The log-file-name is logEOrisk.log

The user-name is EO

The name is Styrene

The temperature of the process is 23

The physical-state is *liquid*, aerosol-formed is *false*

Tabel 12.3. Eksempel på eksponeringsvurdering ved brug af scoresystemet.

Parameter	Nærfelt		Fjernfelt	
	Opgave A	Opgave B		
Potentiel kildestyrke (a)	1,00	3,00	1,00	TOTAL: 0,22 + 0,27 + 0,04 = 0,53
Håndtering (b)	1,00	3,00	1,00	
Teknisk forebyggelse (c)	0,30	1,00	0,30	
Aktiv emission (d = a · b · c)	0,30	9,00	0,30	
Passiv emission (e)	0,10	0,30	0,10	
Tid kilden er aktiv (f)	0,50	1,00	1,00	
Fortynding (g)	0,30	1,00	0,10	
Personlig beskyttelse (h)	1,00	0,10	1,00	
Del af tid med eksponering (i)	0,73	0,27	1,00	
Eksponering (d + e) · f · g · h · i	0,22	0,27	0,04	

The exposure-type is *gas/vapour/liquid aerosol*
The status-*vp*-value is *Measured* at process temperature
The *vp*-value of the substance is *0.72*
The volatility of the substance is *Low*
The use-pattern is *Inclusion onto matrix*
The pattern-of-control is *Local Exhaust Ventilation*
The predicted gas/vapour/liquid aerosol exposure to Styrene is
0.5-3 ppm

Re-run:

The use-pattern is *Non-dispersive use*
The pattern-of-control is *Direct handling*
The direct-handling is *Dilution ventilation present*
The predicted gas/vapour/liquid aerosol exposure to Styrene is
10-50 ppm

vp angiver vapour pressure. *Bold* angiver, hvad brugeren med initialer EO har givet af input.

Advarsler vedrørende brug af EASE

Anvendelsen af EASE har i sin nuværende udgave en række problemer:

1. EASE kan kun regne på rene stoffer. Efter at beregningen er afsluttet, må man reducere eksponerings-intervallet, hvis stoffet befinder sig i en blanding. Hvis man fx betragter en blanding af 10% acetone med andre stoffer, og resultatet bliver 50-100 ppm, skal resultatet reduceres til 5-10 ppm. Dvs der tages ikke hensyn til stoffernes indbyrdes påvirkning.
2. Hvis man betragter en stoffblanding, som fordamper fuldstændigt under brug, prædikterer EASE alligevel eksponeringen ud fra damptryk og ikke ud fra blandingens sammensætning.
3. EASE kan ikke håndtere eksponering for blandinger, der fordamper delvis, dvs det forudsættes, at sammensætningen ikke ændrer sig under brug.
4. EASE kan ikke regne med fordampningshastigheder, men anvender damptryk, som klassificeres i 3 klasser.

Det betyder fx, at

- ◆ eksponeringen for et stof med et damptryk på 1 Pa forudsiges til mellem 50 og 100 ppm
- ◆ den samme eksponering forudsiges for et stof med 1.500 gange højere damptryk.

Scenarier

I det virkelige arbejdsliv er eksponeringssituationerne meget komplekse. Ikke desto mindre er der visse fælles byggesten, der lader sig udkrystallisere og beskrive som typiske scenarier. I et scenario gøres en række antagelser om, hvordan eksponeringen finder sted. Ud fra disse antagelser foretages så en eksponeringsvurdering. For at kunne foretage beregninger for scenarierne er det nødvendigt, at antagelserne er meget forenklede og idealiserede. I det følgende beskrives nogle få udvalgte scenarier.

“Mixing volume”

Ved formuleringen af en simpel massebalance for et lokalt anvendes ofte en 1-compartment model. Modellen forudsætter, at forureningen opblandes momentant og fuldstændigt i lokalet. Fysisk er en sådan forudsætning urealistisk, fx vil koncentrationen øges, desto tættere man kommer på en forureningskilde. Anvendes modellen alligevel, observeres ofte, at modellens tidskonstant (“luftskiftet”) er forskellig fra rummets rigtige tidskonstant. For at få modellen til at stemme overens med den fysiske virkelighed har man tidligere ofte anvendt at multiplicere den indblæste luftmængde med en faktor (“mixing factor”), som vælges således, at tidskonstanten i model og “virkelighed” bliver den samme. I stedet for at sammenkæde “mixing factor” med luftmængden ses undertiden, at faktoren sammenkædes med lokalets volumen, således at der indføres et fiktivt “mixing volume”. Uanset fremgangsmåden bøjes virkeligheden til at passe til modellen. Det er derfor afgørende, at dokumentationen for en model nøje beskriver, hvilket “mixing volume” der anvendes, og hvordan det er fremkommet.

Sedimentering under omrøring

Partikler i luften sedimenterer til overflader med en hastighed, som afhænger af partiklernes aerodynamiske diameter. Denne mekanisme medfører, at koncentrationen aftager hurtigere, end hvis partiklerne kun fjernes fra rummet via ventilationen. I det følgende betragtes kun fjernelse af partikler fra luften ved sedimentation til overflader.

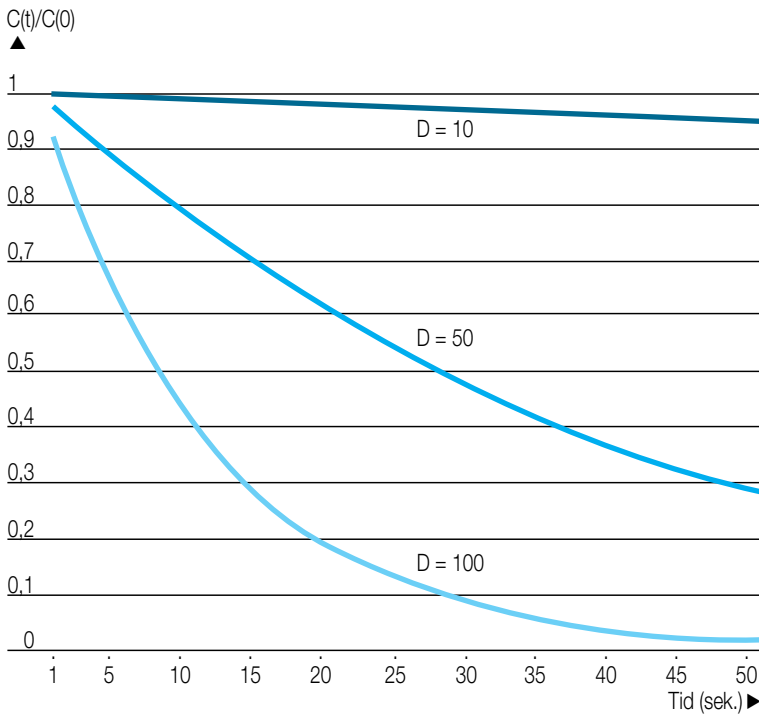
For en 1-compartment model kan henfaldet i koncentrationen af partikler beregnes ved følgende massebalance, som udtrykker, at ændringen i luftens indhold af partikler med diameter d er lig med mængden af partikler deponeret på overflader:

$$V \frac{dC_d}{dt} = -v_d C_d A$$

V er lokalets rumfang, C_d koncentrationen af partikler med diameter d , v_d faldhastigheden af partikler med diameter d , og A gulvets areal. Antages, at koncentrationen af partikler med diameter d er lig med $C_d(0)$ til $t = 0$, fås, at koncentrationen til tiden t er givet ved

$$C_d(t) = C_d(0) \exp\left(-\frac{t v_d}{H}\right)$$

hvor H er lokalets højde. Til illustration af, hvordan sedimenteringen afhænger af partiklernes diameter, viser fig. 12.2, hvordan koncentrationen aftager som funktion af tiden ved tre forskellige størrelser af diametre. Af figuren fremgår, at det primært er de store partikler, som sedimenterer, og som efterfølgende må fjernes ved rengøring.



Figur 12.2. Henfald i koncentrationen af partikler i luften som følge af sedimentering til overflader. Henfaldet er vist for partikler med forskellige aerodynamiske diametre (10, 50 og 100 μm). $H = 3,0$ m.

Scenario med støv

Ved vurdering af personers eksponering for luftforurening er det væsentligt, om personen befinder sig i forureningskildens nærfelt eller fjernfelt. At afstanden til kilden har betydning, kan udledes af følgende simple formel, hvor det er antaget, at forureningen spredes alene ved diffusion fra en kilde, som befinder sig i centrum af en kugle med radius R . Kuglen ventileres med luftmængden Q (m^3/h) ved diffus indblæsning og udsugning på kuglens

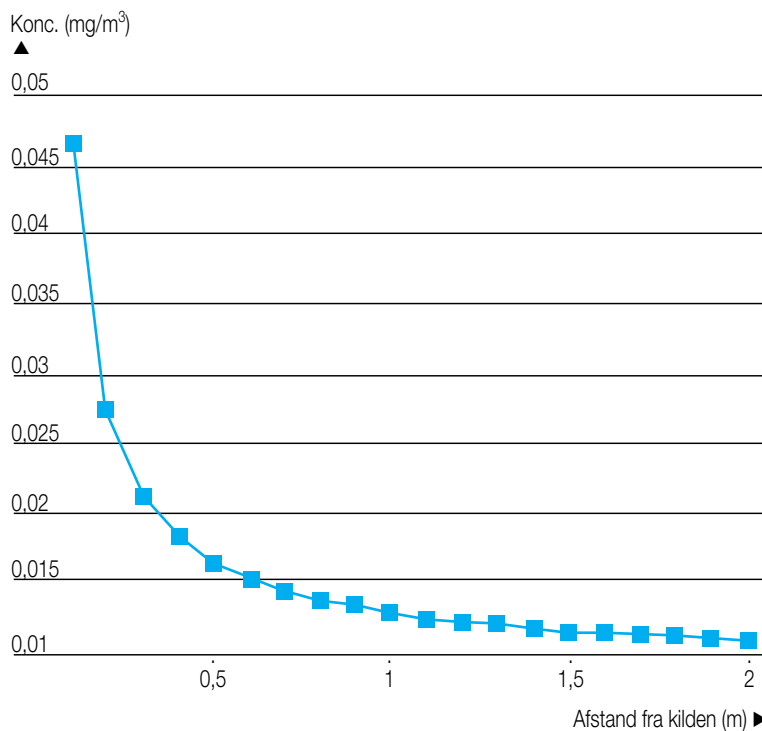
overflade. Kaldes kildestyrken m og diffusionskoefficienten D , fås koncentrationen ved stationær tilstand i afstanden r som

$$C(r) = \frac{m}{Q} + \frac{m}{4\rho D} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right)$$

Diffusionskoefficienten for en forurening afhænger af, om luftens strømning er laminar eller turbulent. Den turbulente diffusionskoefficient kan være flere størrelsesordere større end den laminare. På arbejdspladser er luftstrømninger ofte turbulente, og i formlen skal derfor anvendes en turbulent diffusionskoefficient. Denne koefficient er ikke en konstant størrelse, men afhænger fx af graden af turbulens i strømningen. Til illustration af formlens anvendelse viser fig. 12.3 spredningen af forurening i tilfælde af en turbulent diffusionskoefficient på $0,0059 \text{ m}^2/\text{s}$. Denne koefficient er hentet fra en undersøgelse i praksis af spredning af aerosoler fra forchromningsbade. Af figuren observeres, at koncentrationen bliver endog meget stor, når afstanden til kilden mindskes.

Figur 12.3. Koncentrationen af forurening i luften som funktion af afstanden fra kilden. I beregningen er anvendt

$R = 4 \text{ m}$
 $m = 1 \text{ mg/h}$
 $Q = 100 \text{ m}^3/\text{h}$
 $D = 0,0059 \text{ m}^2/\text{s}$.



Målestrategier

Indledning

Ved enhver måling er målestrategien af vital betydning. Med hensyn til arbejdshygiejniske luftforureningsmålinger henvises også til AMI-vejledning nr. 5/1993 "Vejledning i arbejdshygiejniske undersøgelser - luftforurening".

Hvilken prøvetagningsstrategi man skal anvende, afhænger af, hvilket måleobjekt og hvilken facet af måleobjektet man vil undersøge, eller hvilken hypotese man vil teste. En forudsætning for et tilfredsstillende forløb af en undersøgelse er derfor, at formålet formuleres konkret, således at opnåede resultater kan vurderes i forhold til målsætningen.

Eksponering af en gruppe personer over tid

Det første trin i en eksponeringsvurdering består i at definere den gruppe personer, hvis eksponering skal vurderes. Tab. 12.4 viser en sådan gruppe på N personer. Det antages, at eksponeringen skal vurderes som gennemsnit over m dage. Hver dag, j , modtager personen, i , en kumulativ (koncentration \times tid) eksponering E_{ij} . Hver person modtager en gennemsnitlig kumulativ eksponering μ_i (gennemsnit over m dage). Gruppens gennemsnit μ beregnes som gennemsnittet af alle μ_i . En målestrategi kan være, med det mindst mulige måleomfang at estimere gruppens gennemsnit μ . En anden kan være at estimere de enkelte personers gennemsnit μ_i og sammenligne dem indbyrdes og i forhold til en grænseværdi. Den første strategi er fx relevant i epidemiologisk sammenhæng, den anden i løsningsorienterede arbejdshygiejniske undersøgelser.

Ved at måle på samtlige dage i den specificerede periode på m dage og på samtlige personer fås den sande værdi for den faktiske gennemsnitseksposering for både gruppen og de enkelte personer i gruppen. En sådan strategi er næsten altid for kostbar. I praksis skal gruppens eksponering derfor vurderes ud fra et begrænset antal målinger. Hvis det kan antages, at alle μ_i er ens, kan der tages en tilfældig, to-trins stikprøve (tilfældigt udrukne personer i gruppen og dage pr person). Dette er vist i tab. 12.4 (udfyldt). I praksis vil der være forskelle imellem de enkelte personers μ_i , og der kan være systematiske forskelle mellem ugedagene eller årstiderne. Det er derfor bedre at anvende stratificeret, tilfældig prøvetagning. Den analoge situation er, hvis man fx skal undersøge indholdet af et bestemt metal i en geologisk formation. Det er dyrt at tage prøver på tilfældigt udvalgte steder. Med

kendskab til geologi kan man inddele formationen i strata og udvælge de enkelte strata, hvor man ud fra geologien ved, der er størst sandsynlighed for at finde det metal, man søger. Inden for disse strata vælges måleomfanget efter, hvor ujævnt metallet ud fra erfaringen vides at være fordelt. I det følgende omtales to måder at stratificere på.

	Person 1	...	Person i	...	Person N
Dag 1					
...					
Dag j			E_{ij}		
...					
Dag m					
Middelværdi	μ_1	...	μ_i	...	μ_N

Tabel 12.4. Eksponering af en gruppe på N personer over m dage. De udfyldte celler illustrerer en dobbelt stikprøve; først udtrækkes tilfældigt to personer, og for hver af disse udtrækkes to tilfældige dage.

Stratificering efter HEG

Inden for arbejdsmiljø har man forsøgt at opstille strata, dvs at inddele de beskæftigede i grupper, der er eksponeret for (tilnærmelsesvis) det samme koncentrationsniveau (og samtidig forskelligt eksponeret fra andre grupper). Forskellige forfattere bruger forskellige betegnelser for sådanne grupper. Her vil en sådan gruppe blive betegnet som en homogen eksponeringsgruppe (HEG). HEG'erne dannes fx ved at inddele personerne i grupper, inden for hvilke der arbejdes med de samme stoffer, man har samme titel, arbejder i nogenlunde ens omgivelser, man har sammenlignelig ventilation, etc.

Meget ofte vil de dannede grupper være højst inhomogene, med forskelle i eksponeringsniveauer på en faktor fem til ti. Det er derfor nødvendigt at undersøge, hvor effektiv stratificeringen har været, dvs hvor homogene de dannede grupper har været. Dette kan evt gøres allerede efter nogle indledende målinger, og derefter kan der om nødvendigt ændres strategi.

Stratificering efter processer. Logbogsmetoden

Når man taler om eksponeringsvariation i arbejdsmiljøet, mener man som oftest variationen af den gennemsnitlige dageksponering, C_{Dag} . Når man har valgt at fokusere på C_{Dag} , som et mål for eksponeringen, skyldes det, at lovgivningen om grænseværdier refererer til en 8-timers arbejdsdag. C_{Dag} er typisk logaritmisk normalt fordelt. Den geometriske standardafvigelse, GSD, for den enkelte persons C_{Dag} er typisk på ca 2,5 for eksponeringer for dampe inden for den kemiske industri, og kan variere fra 1,2 til 3, se tab. 12.9. Når man måler i arbejdsmiljøet, får man derfor

resultater, som varierer meget. Hvis GSD er over 4,5, er der grund til at formode, at koncentrationen skal beskrives som værende sammensat af to eller flere logaritmiske normalfordelinger.

Erfaringen har vist, at den store spredning i måledata kan reduceres. Metoden har fået navnet "logbogsmetoden". Normalt betragtes eksponering som eksponeringen i en serie af tidsperioder, som kan være bestemt af tekniske begrænsninger for prøvetagningen (det kaldes at betragte eksponering i tidsdomæne). Logbogsmetoden betragter i stedet eksponering som sammensat af en serie af eksponeringer fra forskellige processer (procesdomæne).

$$\sum_{\theta=1}^{\theta} \Delta t_{\theta} C_{\theta} = \sum_{\pi=1}^{\Pi} \Delta t_{\pi} C_{\pi} + e_{\pi}$$

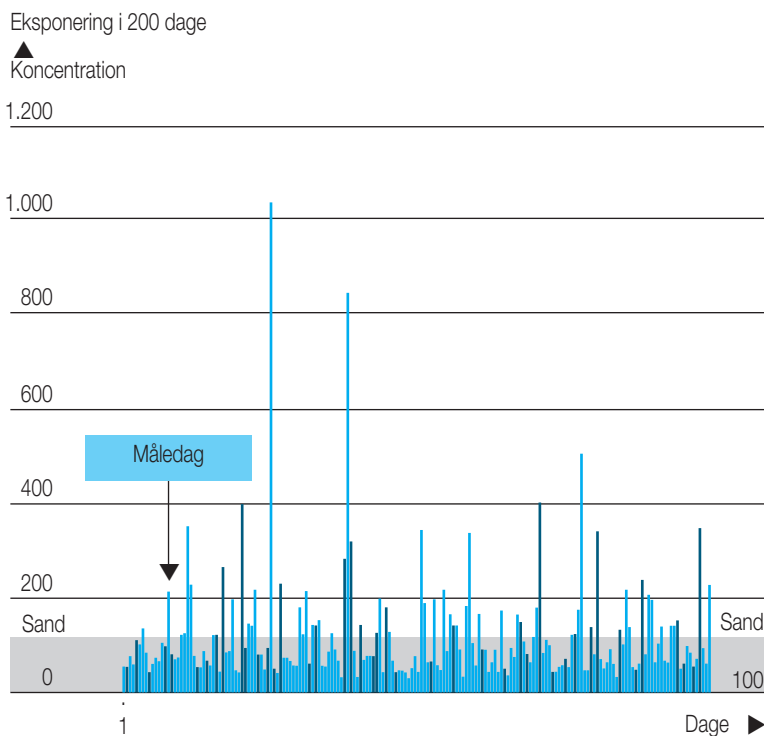
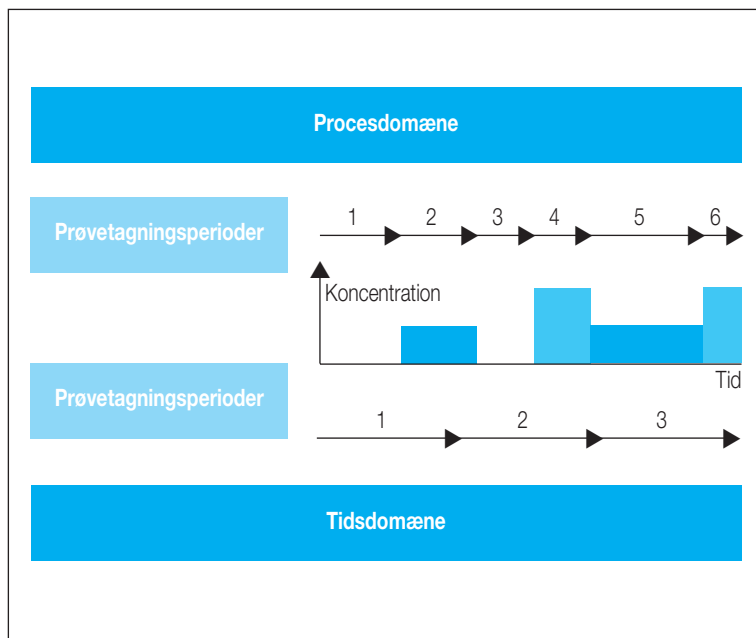
$$\sum_{\theta=1}^{\theta} \Delta t_{\theta} = \sum_{\pi=1}^{\Pi} \Delta t_{\pi}$$

hvor Δt_{θ} er varigheden af prøvetagningen og θ antallet af prøvetagninger foretaget i tidsdomæne. Δt_{π} er varigheden af processen, og Π er antallet af udførte processer. C_{θ} og C_{π} er middeldkoncentrationerne i henholdsvis prøvetagningsperioden og procesperioden. Den målte dosis over arbejdsdagen vil være ens, uanset på hvilken af de to måder der bliver målt, bortset fra en evt forøget tilfældig målefejl (e_{π}), hvis der udtages flere prøver i enten tidsdomæne eller procesdomæne. Fig. 12.4 viser prøvetagning i henholdsvis tidsdomæne og procesdomæne.

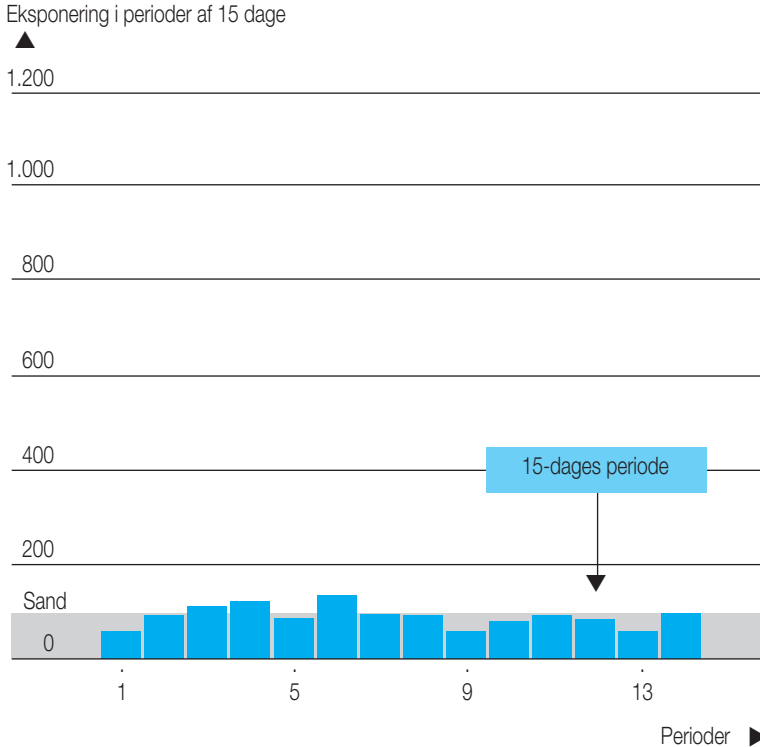
For at illustrere, hvilken variansreduktion man potentielt kan opnå ved at bruge logbogsmetoden, vises i fig. 12.5 en simulering af en persons dageksponering over et helt år. Der er prøvetaget fra en eksponeringsfordeling med den sande værdi 100 (fx ppm) og en geometrisk standardafvigelse (GSD) på 2,5. Da den sande eksponering er 100, ses det, at "måleresultaterne" på mange af dagene afviger meget fra den sande værdi. Måles der blot en eller to dage, som er almindelig praksis, vil resultatet ofte afvige meget fra den sande værdi.

Fig. 12.6 viser den variansreduktion, der opnås, hvis man i stedet estimerer den sande eksponering vha middeltal over 15 dage. At måle personers middeleksponering over 15 dage ville være meget dyrt. I stedet kan man anvende logbogsmetoden, som måler arbejdsmønstret (w_p) over 15 dage og kombinerer arbejdsmønstret med estimerede værdier for koncentrationen ved de enkelte processer. Proceskoncentrationerne (C_p) måles ved at måle på så mange processer som muligt på de to måledage, som logbogsmetoden kræver. Dageksponeringen beregnes ud fra:

Figur 12.4. Dageksponering målt på to måder: Den "traditionelle", hvor man måler over hele dagen. Af måletekniske grunde må dagen deles op i en serie af prøvetagninger. Dvs at person vil udføre en eller flere processer i prøvetagningsperioden. Dette kaldes at måle i tidsdomæne i modsætning til procesdomæne, hvor man prøvetager, mens person kun udfører én proces.



Figur 12.5. Simulering af en persons daglige eksponering over et helt år. Arbejderens eksponeringsfordeling har en geometrisk standardafvigelse på 2,5. Det aritmetiske middeltal er sat til 100. For at kontrollere, at personens middeleksponering er under grænseværdien, måler arbejdshygiejnikereren "worst case", dvs på en dag hvor arbejderens eksponering med sikkerhed er over middel.



$$D_{\text{Dag}} = \sum_{p=1}^P w_p C_p$$

hvor w_p er brøkdelen af arbejdstiden, hvor personen udfører proces p , og C_p er proceskoncentrationen ved proces p .

I praksis kan metoden udføres således: Processerne findes ved at interviewe personerne om navnene på de processer, de udfører. Der udarbejdes en liste (logbog) over processerne, som sendes til virksomheden. De udtrukne personer bedes om at føre ind i logbøgerne, hvornår de starter og afslutter hver proces, de udfører over fx en tre-ugers periode.

Logbøgerne skal være fortrolige, dvs ikke vises til arbejdsledelsen, ellers kan man ikke forvente, at de føres korrekt. Logbøgerne samles ind hver dag af sikkerhedsrepræsentanten og afhentes af arbejdshygiejnikereren efter de tre uger. I de to dage måles med personbåret udstyr på så mange processer som muligt (prøvetagning af en proces, hvor man arbejder med VOC'er, behøver ikke at vare længere end 5-10 minutter).

Logbogsdata tages ind i en database, og de enkelte personers arbejdsmonster trækkes ud: Fx person nr. 1 udførte 45% af tiden proces p_1 , 20% af tiden proces p_2 og 35% af tiden proces p_3 . Hvis proceskoncentrationerne er målt ved proces p_1 , p_2 og p_3 ,

Figur 12.6. Figuren viser, hvor stor en reduktion man får i den målte eksponeringsvariation, hvis man i stedet måler gennemsnittet over 15 dage, i stedet for som i figur 12.5, hvor der er målt på enkeltdage. Ved brug af logbogsmetoden skal man sammenholde denne variansreduktion med den forøgede usikkerhed, man indfører ved at måle eksponeringskoncentration og eksponeringstid separat.

kan person nr. 1's (tidsvægtede) gennemsnitlige eksponering i logperioden beregnes efter formlen for D_{dag} .

C_p kan mest nøjagtigt bestemmes ved at måle på hver enkelt person, men det vil være meget dyrt. I stedet kan C_p måles ved at måle på alle de personer, der udfører processen. Derved bestemmes ikke de enkelte personers eksponering ved proces p, men hvilken eksponering proces p forårsager, når "middelpersonen" udfører processen. Variationen i C_p -data er meget mindre end for typiske C_{dag} -data, og den følger snarere en normal end en log-normal fordeling.

Logbogsmetoden giver en række fordele set i forhold til de traditionelt anvendte prøvetagningsstrategier:

1. C_p vil ofte være tilnærmet normalfordelt, fordi måleobjektet er meget mere specificeret, end når måleobjektet er dageksponeringer.
2. Ved anvendelse af logbøger i fx 3 uger kan man beregne en middelværdi for C_{Dag} over 15 dage ($C_{15 \text{ dage}}$). Derved udglattes indflydelsen fra enkelte dage, hvor eksponeringen er unormalt høj. $C_{15 \text{ dage}}$ er derfor et bedre mål for den gennemsnitlige eksponering over en længere periode.
3. Modsat et "worst case" resultat, som kun kan anvendes, hvis grænseværdien er overholdt, kan $C_{15 \text{ dage}}$ bruges til at vurdere, om grænseværdien er overskredet.
4. Da "worst case" logisk må indtræffe under udførelsen af en proces, måles samtidig "worst case" som krævet af CEN.
5. Eksponeringsmønsteret beskrives, dvs måleresultaterne kan anvendes til at forbedre arbejdsmiljøet, fordi det af data fremgår, ved hvilke processer personen får den største dosis.

Stratificering efter position

Når der foretages målinger med stationært udstyr, kan et område opdeles i (ikke nødvendigvis sammenhængende) geografiske zoner. Formålet med denne opdeling i eksponeringszoner er at gøre variationen inden for hver zone mindst mulig og variationen mellem zonerne størst mulig.

Valg af antal målinger

Som en tommelfingerregel kan en opdeling i grupper eller zoner anses som værende valid, hvis alle resultater inden for grupper eller zoner afviger mindre end en faktor 2 fra målingernes aritmetiske gennemsnit. I det følgende anvendes udtrykket måleposition hhv eksponeringszone også for en person hhv eksponeringsgruppe.

Når antallet af målepositioner i en eksponeringszone er begrænset, kan undersøgelsen omfatte alle. Ved et større antal posi-

tioner er det i praksis ikke muligt at lade undersøgelsen omfatte alle. Som en tommelfingerregel bør undersøgelsen dog omfatte mindst 10% af positionerne. Ønskes undersøgelsen udført således, at den med stor sandsynlighed omfatter mindst en af positionerne med en høj eksponering, kan det nødvendige antal målepositioner aflæses i tab. 12.5. Ved at anvende tab. 12.1 sikres med en sandsynlighed på 90%, at mindst en af positionerne med en høj eksponering indgår i undersøgelsen.

Antal mulige målepositioner	Antal nødvendige målepositioner
<6	alle
6	5
7-9	6
10-14	7
5-26	8
27-50	9
51-	10

Tabel 12.5. Det nødvendige antal målepositioner i en eksponeringszone.

H_0 er i virkeligheden	H_0 bliver i testen	
	accepteret	forkastet
Sand	Rigtig konklusion	Fejl konklusion (type 1 fejl)
Falsk	Fejl konklusion (type 2 fejl)	Rigtig konklusion

Tabel 12.6. Mulige fejl i en statistisk test.

Ofte har en undersøgelse til formål at vurdere eksponeringen set i forhold til en grænseværdi. Denne vurdering foretages ved en statistisk test. En grundlæggende forudsætning for en statistisk test er, at der foreligger en hypotese. I det følgende betegnes hypotesen H_0 . Testen udføres, ved at måleresultaterne skal løfte bevisbyrden for, at hypotesen er forkert. Som vist i tab. 12.6 kan der i en statistisk test begås 2 typer fejl.

Sandsynligheden for at begå type 1 fejlen betegnes signifikansniveauet (α). Testens styrke er 1 minus sandsynligheden for at begå type 2 fejlen. Risikoen for at begå en type 2 fejl er særlig høj, hvis antallet af målinger er lille. Ved planlægningen af en undersøgelse er det derfor vigtigt på forhånd at stille krav til testens styrke. På grundlag af kravet kan det nødvendige antal målinger herefter beregnes.

Det nødvendige antal målinger til undersøgelsen fastlægges ved først at specificere, hvor stor en forskel (δ) fra grænseværdien undersøgelsen med sikkerhed skal kunne påvise. Jo mindre forskel man ønsker at påvise, desto flere målinger er nødvendige. For et valgt signifikansniveau er det også nødvendigt at specificere, med hvilken sandsynlighed (styrke) man ønsker at kunne

påvise forskellen. Ofte vælges en sandsynlighed (p) på fx 80% eller 90%. Antages, at måleresultaterne kan beskrives ved en normalfordeling, kan det nødvendige antal prøver (N) nu beregnes efter Neymans formel

$$N = k \frac{\sigma^2}{\delta^2}$$

hvor σ er målingernes spredning, og k en faktor som afhænger af den ønskede styrke og det valgte signifikansniveau for testen. Værdier for k er vist i tab. 12.7. Ved planlægningen af undersøgelsen kendes σ ikke, og den må fastsættes ved et skøn. Antages fx, at GSD = 3,0 vælges $\sigma = 1,09$ (= ln 3,0).

Tabel 12.7. Faktoren k i Neymans formel. k er vist som funktion af testens styrke og signifikansniveau.

Testens styrke, p	Signifikansniveau, α		
	0,01	0,05	0,10
0,80	10,00	6,20	4,50
0,90	13,00	8,60	6,60
0,95	15,80	10,80	8,60

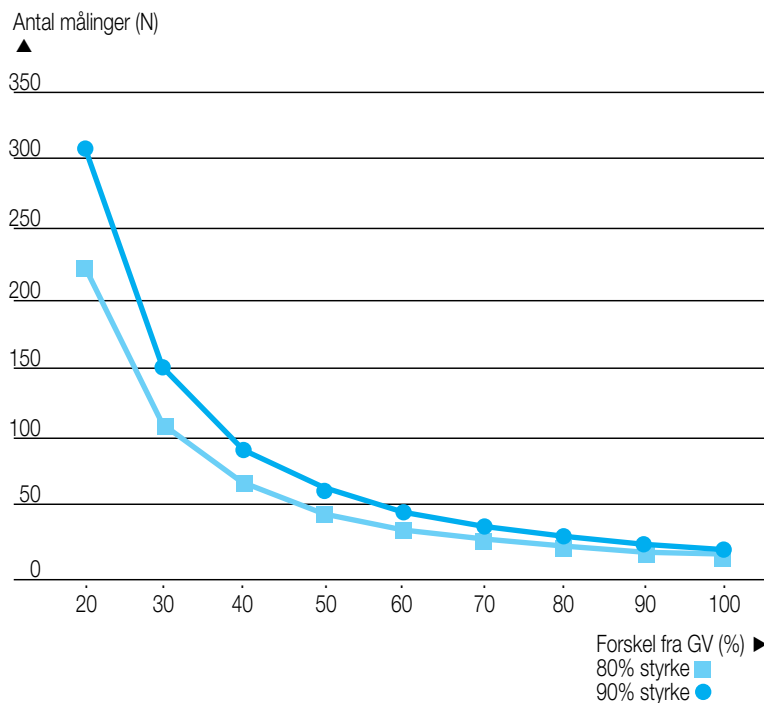
I fig. 12.7 er som eksempel vist en beregning af det nødvendige antal prøver efter Neymans formel. Som det ses af figuren, kræves især et stort antal målinger, hvis små forskelle fra grænseværdien ønskes påvist.

Målingstyper

Ved arbejdshygiejniske undersøgelser kan der benyttes tre typer af målinger:

1. Eksponeringsmålinger, hvor der foretages en bedømmelse af den enkelte beskæftigedes udsættelse for forureningen. Ved disse målinger benyttes personbåret måleudstyr.
2. Emissionsmålinger eller kildestyrkemålinger, hvor de enkelte maskiners og/eller processers afgivelse af forurening bedømmes.
3. Immissionsmålinger, hvor en arbejdsplads'/lokales almene luftforureningssituation bedømmes. Ved disse målinger benyttes faste (stationære) målesteder. Målesonden placeres ofte i de beskæftigedes åndingshøjde.
4. Procesorienterede målinger.

Alle fire typer målinger kan benyttes ved orienterende undersøgelser, detaljerede undersøgelser og periodiske overvågningsmålinger.



Figur 12.7. Det nødvendige antal målinger som funktion af testens styrke og størrelsen af den forskel fra grænseværdien, som ønskes påvist. Figuren forudsætter, at målingernes spredning er $GSD = 3,0$, og at signifikansniveauet er 5%.

Da det er eksponeringsmålinger, der ligger til grund ved vurderingen af, om fx grænseværdier er overskredet, vil det især være denne type målinger, der foretages ved detaljerede undersøgelser. Derudover vil især kildestyrkemålinger være værdifulde til bedømmelse af eliminationstekniske tiltag. Ved periodiske overvågningsmålinger vil man ofte, men ikke udelukkende anvende immissionsmålinger. Immissionsmålinger benyttes også til bedømmelse af den tidslige og geografiske variation af luftforureningskoncentrationen. Logbogsmetoden er en kombination af eksponeringsmålinger og procesorienterede målinger.

Worst case målinger

For at kunne reducere en ellers omfangsrig eksponeringsundersøgelse kan man foretage målinger i de situationer, hvor det skønnes, at eksponeringen er størst. Denne målingstype kaldes "worst case målinger". Måling eller prøvetagning foretages således kun over disse mest belastede tidsrum. Worst case situationer kan bl.a. identificeres ved den indledende vurdering eller ved screeningsmålinger (ofte immissionsmålinger).

Worst case målinger kan anvendes til vurdering af foranstaltningstiltag. Ved vurderingen af worst case måleresultater skal man gøre sig klart, at man ikke kan anvende de statistiske vurderingsmetoder, der er omtalt i afsnittet om vurdering af måleresul-

tater. De vil ofte følge en eksponentialfordeling, der benyttes til at beskrive fordelingen af ekstremværdier. Worst case målinger vil i gennemsnit ligge højere end den gennemsnitlige, tidsvægtede 8-timers eksponering.

Prøvetagningsplan

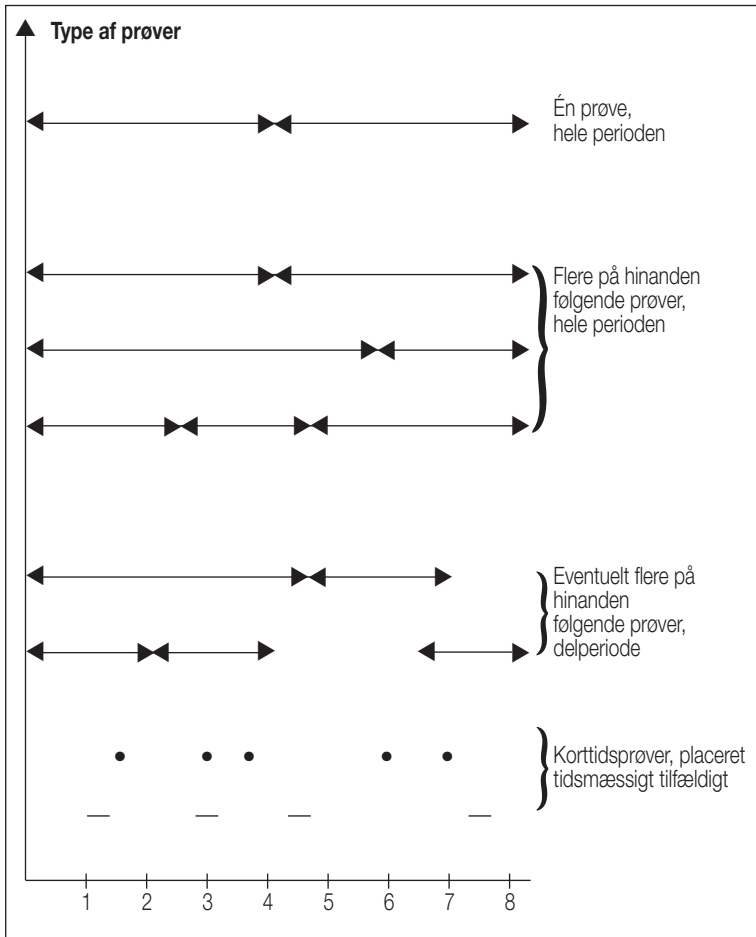
Ofte ønskes måleresultater sammenlignet med en grænseværdi (GV). Tidsmæssigt er en GV defineret som et tidsvægtet gennemsnit for en hel arbejdsdag eller som en loftværdi, dvs i praksis et tidsvægtet gennemsnit for en kortvarig periode (maksimalt 15 minutter). Som vist i fig. 12.8 bliver der forskellige muligheder for prøvetagningsperioder i forhold til den tidsperiode, GV er defineret for. Fra en statistisk synsvinkel er det muligt at rangordne de alternative muligheder. Den bedste metode omfatter hele perioden, og der udtages mange på hinanden følgende prøver. Den næstbedste metode omfatter også hele perioden, men der udtages kun én prøve. De dårligste metoder omfatter kun en del af perioden, hvor der så udtages én eller flere prøver.

Tabel 12.8. Minimum antal luftprøver pr arbejdsdag, når koncentrationen skønnes at være nogenlunde konstant hele dage.

Måletid	Minimum antal prøver
10 s	30
1 min	20
5 min	12
15 min	4
30 min	3
1 h	2
> 2 h	1

Såfremt koncentrationen skønnes at være nogenlunde konstant i løbet af arbejdsdagen, kan det nødvendige antal delprøver aflæses af tab. 12.8. Det bemærkes, at tabellen forudsætter, at der kun måles i ca 25% af arbejdstiden.

Det bemærkes, at prøver, som anvendes til vurdering i forhold til en loftværdi eller til den maksimalt tilladte overskridelse af GV, skal udtages i perioder, hvor koncentrationen af luftforurening skønnes at være maksimal. I løbet af arbejdsdagen bør der foretages mindst 3 målinger.



Figur 12.8. Prøvetagningens placering i forhold til den tidsperiode (8 timer) grænseværdien er defineret for.

Måleudstyr

Man kan principielt benytte samme måleudstyr til de forskellige typer målinger. Ved eksponeringsmålinger stilles dog krav om bærbarhed af udstyret, mens man især ved immissionsmålinger kan benytte stationært og dermed større apparatur. Ved orienterende målinger stilles ikke så store krav til apparaturets nøjagtighed, følsomhed og specificitet som ved detaljerede undersøgelser og overvågningsmålinger.

Mht måleudstyr henvises iøvrigt til bind I, kapitel 3 om måling. I den europæiske norm *EN 482, Workplace atmospheres - General requirements for the performance of procedures for workplace measurements* opstilles funktionskrav til: måleusikkerhed (bias & præcision) inden for specificerede måleområder, selektivitet, midlingstider mv. I bind I, side 69, tab. 3.7 er funktionskravene i EN 482 mht målingernes formål specificeret.

Vurdering af måleresultater

For de følgende metoder til vurdering af måleresultater forudsættes, at målingerne er udført i en defineret eksponeringsgruppe (eller -zone). I princippet kan gruppen fx defineres til kun at omfatte en enkelt person. Det forudsættes, at målingerne udføres med personbåret udstyr i en tidsperiode svarende til den periode, grænseværdien er defineret for. Måleresultatet for tidsperioden er det tidsvægtede gennemsnit af den målte koncentration. I princippet kan denne koncentration også beregnes på grundlag af logbogsmålinger, dvs procesmålinger kombineret med en tidsregistrering. Det skal dog bemærkes, at erfaringer med logbogsmålinger endnu er begrænsede.

Sigtet med målinger er at kunne foretage rationelle beslutninger, og dette forudsætter, at beslutningsgrundlaget kan dokumenteres. I det følgende omtales beslutningsgrundlag, som kan anvendes i forbindelse med eksponeringsmålinger og overvågningsmålinger.

Eksponeringsmålinger

Til vurdering af resultaterne kan enten anvendes retningslinierne beskrevet i EN 689, eller der kan udføres en statistisk test for, om eksponeringen er over eller under GV. I henhold til EN 689 består en vurdering af følgende 5 trin:

- Trin 1 Hvis koncentrationen er mindre end $0,1 \times GV$, anses eksponeringen for at være mindre end GV, og overvågningsmålinger er ikke nødvendige.
- Trin 2 Hvis alle målinger fra 3 forskellige dage er mindre end 25% af GV, anses eksponeringen for at være mindre end GV, og overvågningsmålinger er ikke nødvendige.
- Trin 3 Hvis alle målinger fra mindst 3 forskellige dage er mindre end $1,0 \times GV$, og den geometriske middelværdi af resultaterne er mindre end $0,5 \times GV$, anses eksponeringen for at være mindre end GV.
- Trin 4 Hvis ét måleresultat er større end GV, anses eksponeringen for at være større end GV.
- Trin 5 Hvis målingerne ikke kan vurderes efter trin 1-4, kan der ikke træffes beslutning om eksponeringen set i forhold til GV.

Statistiske test for eksponeringen set i forhold til GV

I det følgende fremlægges metoder til at træffe beslutninger for to væsentligt forskellige tilfælde:

- Tilfælde 1 Vurdering af eksponeringen i tidsperioder, hvor der er foretaget måling.

Tilfælde 2 Vurdering af eksponeringen i tidsperioder, hvor der ikke er foretaget måling.

Årsagen til, at der skal skelnes mellem disse to situationer, er, at i den første situation skal der kun tages hensyn til målemetodens usikkerhed. I den anden situation skal der tages hensyn til, at koncentrationen af luftforurening varierer fra dag til dag.

Tilfælde 1

Det antages, at prøvetagningen har omfattet hele den periode, GV er defineret for, og at der er udtaget n prøver. For prøve nr. i er resultatet X_i ved en prøvetagningstid T_i . Det tidsvægtede gennemsnit X for hele perioden er da

$$X = \frac{\sum X_i \times T_i}{\sum T_i}$$

Til den statistiske test kan der nu formuleres to forskellige hypoteser. Som ansvarlig for, at kravene til luftens kvalitet er overholdt, vil en virksomhed som H_0 -hypotese vælge, at den sande koncentration er større end GV. For at denne hypotese kan forkastes, skal måleresultatet være væsentligt lavere end GV. Modsat vil en tilsynsmyndighed som H_0 -hypotese vælge, at den sande koncentration er mindre end GV, og i dette tilfælde skal måleresultatet være væsentligt mindre end GV, for at hypotesen forkastes. Det kan vises, at hypoteserne forkastes på signifikansniveau α , såfremt

virksomhedens hypotese:

$$\frac{X}{GV} < 1 - \mu_{1-\alpha} \times RS \times K$$

myndighedens hypotese:

$$\frac{X}{GV} > 1 + \mu_{1-\alpha} \times RS \times K$$

hvor

$\mu_{1-\alpha}$ er $1-\alpha$ fraktilen i normalfordelingen ($\mu_{95\%} = 1,65$; $\mu_{90\%} = 1,28$;
 $\mu_{75\%} = 0,68$)

RS er målemetodens variationskoefficient, og
K er $(\sum T_i^2)^{1/2} / \sum T_i$.

Af ovenstående udtryk observeres, at placeringen af den "sande" koncentration i forhold til GV ikke kan afgøres, når

$$1 - \mu_{1-\alpha} \times RS \times K < \frac{X}{GV} < 1 + \mu_{1-\alpha} \times RS \times K$$

Det bemærkes, at i tilfælde af, at prøvetagningen kun har omfattet en del af den periode, GV er defineret, kan tilsynsmyndigheden alligevel foretage en statistisk vurdering af, om GV er overskredet. Testen udføres ved at sætte koncentrationen lig med 0 i perioden uden måling. Det vurderes således, om måleresultatet har en størrelse, som alene på det grundlag medfører, at GV er overskredet.

I nogle tilfælde udføres målingerne i form af n korttidsprøver i løbet af arbejdsdagen. Antages, at resultaterne følger en logaritmisk normalfordeling, kan det testes, om luftkvaliteten er acceptabel. De målte koncentrationer betegnes X_i ($i = 1, 2, \dots, n$), og der indføres en regneteknisk størrelse $Y_i = \log(X_i/GV)$. Til vurdering af eksponeringen anvendes følgende estimator:

$$\log GM = \frac{\sum Y_i}{n}$$

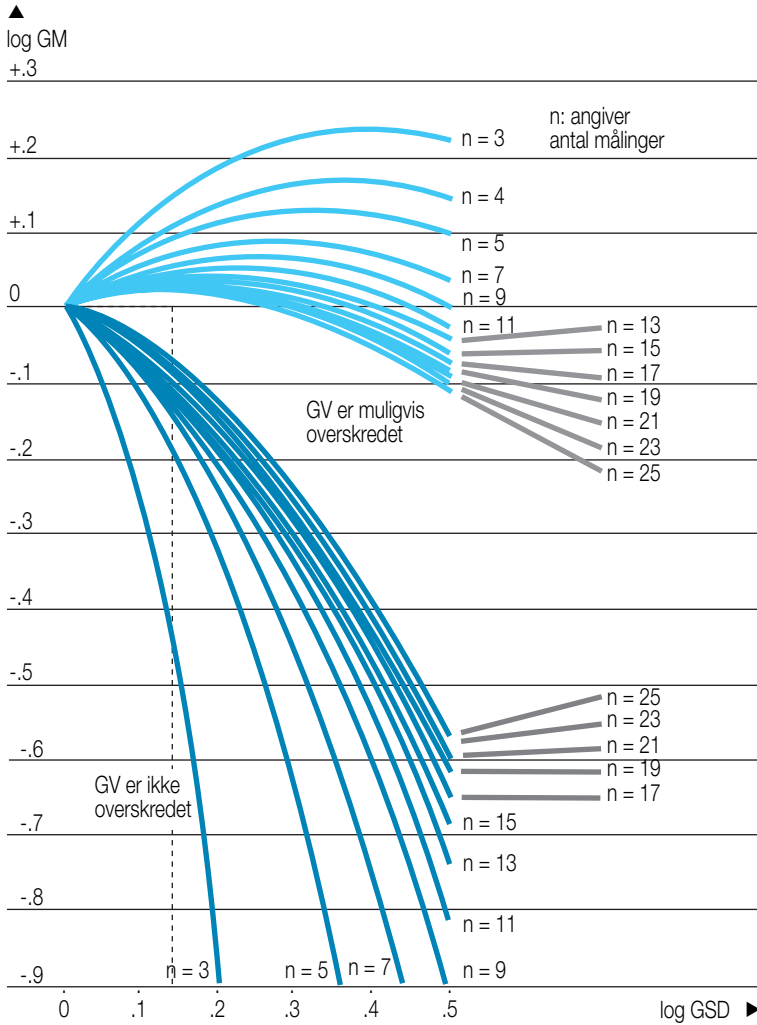
En test på et 5% signifikansniveau for koncentrationens placering i forhold til GV kan nu foretages ved at benytte fig. 12.9. Ønskes et andet signifikansniveau, henvises til litteraturen.

Tilfælde 2

Koncentrationen af luftforurening varierer fra dag til dag. Forudsættes, at denne variation er kendt, og at arbejdsforholdene ikke ændres systematisk, kan den gennemsnitlige eksponering af person nr. i over en længere tidsperiode (μ_i i tab. 12.4) vurderes ud fra én 8-timers måling. Vurderingen foretages efter beslutningstabellen vist i tab. 12.9. I tabellen er vist en vurdering på både et 5% og 1% signifikansniveau. I tabellen betegner størrelsen GSD et mål for dag-til-dag variationen i eksponeringen, og størrelsen af dette mål antages kendt. For omtale af metoder til vurdering af eksponeringsgruppens gennemsnitlige eksponering, μ , og for det tilfælde, hvor der for samme person er foretaget flere 8-timers målinger, henvises til litteraturen.

Overvågningsmålinger

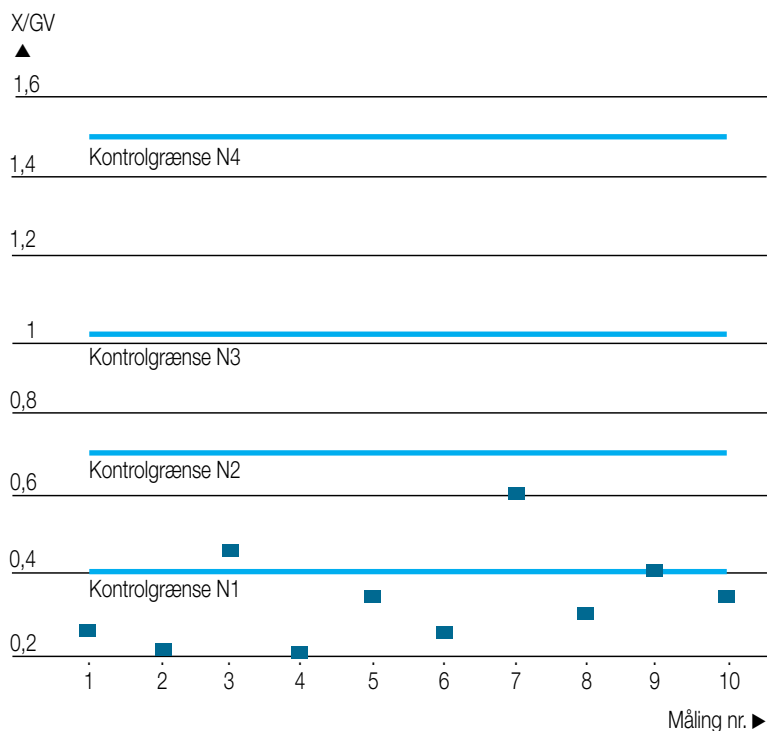
Som andre elementer i en produktionsproces bør luftkvaliteten på en arbejdsplads være omfattet af en systematisk kvalitetskontrol. Gentagne målinger af luftforurening i den samme eksponeringszone kan afbildes på et kontrollkort (fig. 12.10). Viser resultaterne en faldende eller stigende tendens med tiden, ændres eks-



Figur 12.9. Vurdering af eksponering i forhold til GV (5% signifikansniveau).

poneringen systematisk. Ved etablering af et kontrolkort skal der først defineres en tidsperiode, inden for hvilken der mindst skal tages én måling. Denne tidsperiode bør maksimalt være 1 uge. De indledende målinger, når kontrolkortet etableres, bør omfatte mindst 8 tidsperioder. Herefter modificeres tidsplanen for målingerne afhængigt af de opnåede resultater. I fig. 12.10 er indlagt 4 kontrolgrænser, som kan benyttes til vurdering af de opnåede resultater, og i tab. 12.10 er vist beslutningstabellen i tilknytning til fig. 12.10.

Figur 12.10. Kontrolkort for vurdering af luftforureningen i en eksponeringszone. Kortet er udformet på baggrund af EN 689.



Rapportering

For at kunne foretage en eksponeringsvurdering på grundlag af luftforureningsmålinger skal der foreligge en målerapport. Det er vigtigt, at en sådan rapport - ud over selve måleresultaterne - indeholder udførlige beskrivelser af de omstændigheder, hvorunder undersøgelsen er udført, samt en angivelse af undersøgelsens formål.

Indholdet af en undersøgelsesrapport kan opdeles i:

Administrative oplysninger:

- ◆ Virksomhedens navn, adresse og hovedaktivitet.
- ◆ Afdelingens navn, beliggenhed og hovedproduktion.
- ◆ Undersøgelsesdato for prøvetagning og analyse.
- ◆ Undersøgelsesansvarlige for prøvetagning og analyse.
- ◆ Sikkerhedsorganisations inddragelse.
- ◆ Meteorologiske forhold.

Dag-til-dag variation i eksponering	Signifikansniveau	μ_i er mindre end GV, når	μ_i er større end GV, når	μ_i er uafklaret i forhold til GV, når
Ringe GSD = 1,2	$\alpha = 1\%$	$X/GV < 0,59$	$1,64 < X/GV$	$0,59 < X/GV < 1,64$
	$\alpha = 5\%$	$X/GV < 0,73$	$1,33 < X/GV$	$0,73 < X/GV < 1,33$
Ringe-middel GSD = 1,5	$\alpha = 1\%$	$X/GV < 0,30$	$2,87 < X/GV$	$0,30 < X/GV < 2,87$
	$\alpha = 5\%$	$X/GV < 0,47$	$1,80 < X/GV$	$0,47 < X/GV < 1,80$
Middel GSD = 2,0	$\alpha = 1\%$	$X/GV < 0,11$	$5,51 < X/GV$	$0,11 < X/GV < 5,51$
	$\alpha = 5\%$	$X/GV < 0,25$	$2,47 < X/GV$	$0,25 < X/GV < 2,47$
Middel-stor GSD = 2,5	$\alpha = 1\%$	$X/GV < 0,05$	$8,61 < X/GV$	$0,05 < X/GV < 8,61$
	$\alpha = 5\%$	$X/GV < 0,14$	$2,98 < X/GV$	$0,14 < X/GV < 2,98$
Stor GSD = 3,0	$\alpha = 1\%$	$X/GV < 0,025$	$12,0 < X/GV$	$0,025 < X/GV < 12,0$
	$\alpha = 5\%$	$X/GV < 0,09$	$3,35 < X/GV$	$0,09 < X/GV < 3,35$

Målestrategi:

- ◆ Formål, fx kontrol af eksponeringsniveau, kontrol af foranstaltninger, kildestyrkebedømmelse, kortlægning eller del af anden undersøgelse.
- ◆ Målingstype, fx eksponeringsmåling, emissionsmåling, immissionsmåling, orienterende eller detaljeret undersøgelse, overvågningsmåling og worst case måling.
- ◆ Karakterisering af eksponeringszone, fx lokale, proces, luftbevægelser og ventilation, lufttemperatur og -fugtighed, antal beskæftigede, forekomst af fysisk tungt arbejde og andre spidsbelastninger.

Resultat af udførte målinger	Beslutning
2 på hinanden følgende målinger viste $X/GV < N1$	De 3 følgende målinger udføres ikke
$X/GV < N2$	Målinger udføres efter planen
2 på hinanden følgende målinger viste $N2 < X/GV < N4$	I de følgende 4 tidsperioder udføres 1 ekstra måling. Hvis der kun udføres måling 1 gang pr uge, bør der straks iværksættes afhjælpende foranstaltninger
2 på hinanden følgende målinger viste $N3 < X/GV < N4$	Afhjælpende foranstaltninger bør straks iværksættes
$N4 < X/GV$	Afhjælpende foranstaltninger bør straks iværksættes

Tabel 12.9. Vurdering af det gennemsnitlige eksponeringsniveau μ_i ved forskellige værdier af GSD, når måleresultatet er X.

Tabel 12.10. Beslutningstabell for kontrolkortet vist i fig. 12.10. Tabellen er udformet på baggrund af EN 689.

- ◆ Arbejdsforhold på måledagen inkl. produktionens omfang.
- ◆ Antal målepositioner i eksponeringszonen.
- ◆ Prøvetagningsperioder.

Oplysninger om målepositioner:

- ◆ De beskæftigedes navn, stilling/job og CPR-nr.
- ◆ Beskrivelse af måleudstørsplacering ved stationære målinger.
- ◆ De beskæftigedes anciennitet på virksomheden og ved det aktuelle arbejde.
- ◆ Antal timer på målepositionen på måledagen.
- ◆ Tekniske foranstaltninger til bekæmpelse af luftforurening, fx indkapsling, lokal- og punktudsugning.
- ◆ Anvendelse af åndedrætsværn og -type.
- ◆ Skitse af arbejdsstedet med angivelse af målepositioner.
- ◆ Beskrivelse af arbejdsoperationer som omfattes af målingerne, samt i hvilke tidsrum operationerne udføres og af hvem (log-bog).
- ◆ Anvendte stoffer og materialer med angivelse af evt produktregisternr., funktion og forbrug.

Målemetoder, måleresultater og resultatvurdering:

- ◆ Prøvetagnings- og/eller målemetode, fx type, metode, apparatnavn og personbåret/stationært.
- ◆ Analysemetode.
- ◆ Prøvenummer.
- ◆ Måletidspunkter og -perioder.
- ◆ Prøvetagningsvolumen.
- ◆ Måle- og analyseresultater med angivelse af stofnavn og koncentration.
- ◆ Målemetodernes usikkerhed og detektionegrænse.
- ◆ Statistisk vurdering af måleresultater, evt også set i forhold til grænseværdier.

I øvrigt henvises til At-anvisning nr. 4.3.0.1, oktober 1993, Arbejdshygiejniske målinger, bilag 3, hvor der er vist et eksempel på en målerapport.

Indeklimaproblemer

Indledning

Indeklimaets kvalitet har speciel betydning, fordi en stadig større del af arbejdet udføres i kontorer eller kontorlignende omgivelser.

Dette afsnit omhandler derfor de specielle forhold, der har relation til arbejdssteder uden egentlig industriel produktion, fx kontorer, overvågningsrum, skoler og børneinstitutioner.

Indeklimaet skal være af en sådan karakter, at det ikke alene reducerer risikoen for, at der opstår gener eller sygdomme, men også sikrer behagelige forhold. Et godt indeklima har positiv betydning for koncentrations- og arbejdssevne.

Ved indeklimaet forstås først og fremmest

- ◆ termiske forhold bestemt ved lufttemperatur, strålingstemperatur, lufthastighed og luftfugtighed
- ◆ luftkvalitet beskrevet ved indholdet af forureninger som støv indeholdende biologiske partikler og mineralske eller tekstile fibre, luftfugtighed, gasser og dampe og dermed også lugt
- ◆ statisk elektricitet beskrevet ved opladningen af personer
- ◆ lysforhold beskrevet ved lysstyrke, lysfarve, kontraster og reflekser
- ◆ lydforhold beskrevet ved lydstyrke og frekvensfordeling samt vibrationer
- ◆ ioniserende stråling beskrevet ved radonkoncentrationen.

Et væsentligt element ved undersøgelse og vurdering af indeklimaet er forståelsen for de forskellige behov eller vilkår, som mennesker har for at kunne udføre deres aktiviteter. I nogle situationer er der fx behov for højere temperatur eller større belysningsstyrke end i andre situationer. Ligeledes kan nogle personer være mere følsomme end andre over for påvirkninger, fx i form af overfølsomhed over for luftforureninger. Det kan også være, fordi de psykiske forhold ændrer personernes modtagelighed eller oplevelse af påvirkningerne. Det er derfor vigtigt, at indeklimaet undersøges og vurderes på denne baggrund.

Indeklimaet skal således bedømmes på, om

- ◆ det kan tilpasses aktiviteterne i bygningen
- ◆ tilpasningen og justeringen af indeklimaet er enkel, let og forståelig

- ◆ der er mulighed for individuel regulering af indeklimaet
- ◆ mindre driftsfejl og uhensigtsmæssig brug ikke medfører en forringelse af indeklimaet
- ◆ det holdes inden for sundhedsmæssigt forsvarlige og komfortable grænser under de forhold, hvorunder bygningen bruges
- ◆ de arbejdsmæssige betingelser influerer på personernes reaktion på indeklimaet.

Indeklimaklager

Indeklimaklager fremtræder som direkte klager over de ovenfor nævnte begreber, temperaturforhold, støv, dårlig luft, støj m.m. eller i form af, at personerne har symptomer som fx hovedpine eller slimhindeirritation, og endelig i form af, at der optræder sygdomme, hvis årsag opleves at hænge sammen med arbejdet i bygningen.

En indeklimaundersøgelse skal derfor søge at afklare, om der er en sammenhæng mellem de oplevede forhold og de målte påvirkninger eller forekomsten af såkaldte indeklimatiske risikofaktorer, samt at det kan udelukkes, at andre, ikke-arbejdsbetingede forhold gør sig gældende.

Erfaringen har vist, at dette i nogle tilfælde er en vanskelig opgave, fordi så mange påvirkninger virker sammen. Det er vigtigt så hurtigt som muligt at undersøge evt årsager og afhjælpe mulige årsager. Dette lægger op til en trinvis strategi, som baseres på, at virksomhedens sikkerhedsorganisation kortlægger forholdene og udarbejder en handlingsplan. I handlingsplanen kan der indgå direkte afhjælpende forslag eller forslag til videre undersøgelse af indeklimaet eller evt af personers symptomer eller sygdomme.

En sikkerhedsorganisation bør tage indeklimaet op til undersøgelse, hvis

- ◆ en eller flere af de ansatte har gener, som primært er til stede på arbejdspladsen
- ◆ en eller flere af de ansatte ved lægeundersøgelse er blevet gjort opmærksom på, at deres symptomer eller sygdom kan skyldes indeklimaet
- ◆ andre lignende arbejdsforhold, arbejdets art og bygningsforhold, har givet indeklimaproblemer.

Trinvis fremgangsmåde

Når der, på baggrund af klager over et dårligt indeklima, skal udføres en undersøgelse af indeklimaet, anbefales det at benytte en trinvis fremgangsmåde for at undgå, at der bruges ressourcer

til målinger eller ændringer, som ikke har nogen sammenhæng med de reelle problemer.

Princippet i den trinvis fremgangsmåde er vist i tab. 12.11. De umiddelbare og kendte indeklimaproblemer, der er fundet ved en systematisk gennemgang af bygningen, eller problemer, der er påpeget gennem en repræsentativ spørgeskemaundersøgelse, undersøges først. Derefter foretages mere komplicerede undersøgelser eller undersøgelser, der er en svagere argumentation for at udføre. Den angivne rækkefølge i trinnene kan godt varieres. Det kan være praktisk at foretage undersøgelser svarende til flere trin på samme tid. Trinnene kan tilsammen betragtes som en oversigt over elementer i en indeklimaundersøgelse.

Spørgeskemaet bør omfatte spørgsmål om forekomsten og hyppigheden af gener fra specifikke indeklimafaktorer og af symptomer. Det kan endvidere indeholde spørgsmål om de psykologiske forhold.

Der udføres en teknisk beskrivelse med oplysninger om de faktiske bygningsmæssige forhold indhentet gennem et spørgeskema til de bygningsansvarlige (teknisk undersøgelse). Beskrivelsen

Tabel 12.11. Elementer i en trinvis undersøgelse af bygninger med indeklimaproblemer. Flere trin kan udføres samtidig.

Trin	Undersøgelse	Resultat	Udføres af
1	Driftskontrol	Afsløre driftsfejl	Driftsansvarlig og sikkerhedsorganisation
2	Spørgeskema- eller interview-undersøgelse	Vise problemets art, omfang og sted. Pege på forhold til nærmere undersøgelse	Sikkerhedsorganisation eller bedriftssundhedstjeneste
3	Teknisk beskrivelse	Vise kritiske forhold ved bygningens materialer, installationer, indretning og brug	Driftsansvarlig, evt rådgivende ingeniør i samarbejde med sikkerhedsorganisationen
4	Besigtigelse	Illustrere overensstemmelse med teknisk beskrivelse, kvalificere indretning og brug	Sikkerhedsorganisation og driftsansvarlig
5	Handlingsplan	Udgangspunkt for afhjælpning af problemerne	Sikkerhedsorganisationen
6	Måle indikatorværdier	Afsløre, om visse overordnede og vigtige forhold er overholdt	Sikkerhedsorganisation og driftsansvarlig
7	Måle ventilationens størrelse og anlæggenes funktion	Anvise ændringer i ventilationens størrelse og i driftsstrategi	Ventilationsteknikere og måleteknikere
8	Måle eller vurdere indeklimapåvirkninger og deres kilder	Vurdere betydningen for problemernes opståen og anvise ændringer	Indeklimateknikere og måleteknikere i samarbejde med sikkerhedsorganisationen
9	Specifik undersøgelse af personer og påvirkninger	Finde særlige kombinationer af personer og påvirkninger, der kræver individuel tilpasning, eller ukendte påvirkninger og effekter	Arbejdsmedicinsk klinik i samarbejde med sikkerhedsorganisationen og særligt uddannede indeklimahygienikere og -teknikere

skal danne grundlag for at udpege særlige kritiske områder i bygningen eller forhold ved bygningen (risikofaktorer), der evt skal undersøges nærmere, fordi de kan være medvirkende årsag til det dårlige indeklima.

Når spørgeskemaundersøgelsens resultater vedr. de ansattes gener og symptomer er vurderet, og den tekniske beskrivelse samt besigtigelsen er udført, er beslutningsgrundlaget dannet for det videre arbejde med kortlægning af indeklimaproblemerne. På dette tidspunkt vil det være hensigtsmæssigt at udarbejde en handlingsplan for det videre forløb og for den senere afhjælpning.

Målinger udføres, så resultaterne kan bruges til videre handling. Måleresultaterne kan være indikatorer på, om et forhold skal undersøges nærmere, og til at afgøre, hvad der skal ændres for at forbedre forholdene, fx kan en kuldioxidmåling vise, om der er kritiske ventilationsforhold, men den kan ikke vise, hvor meget ventilation der er.

Afhjælpning

De afhjælpningsmuligheder, der kan blive tale om, er ændringer i:

- ◆ bygningens materialer eller indretning
- ◆ ventilationens størrelse og effektivitet, driftsstrategien, herunder temperaturniveau, og indstillingsværdier
- ◆ installationernes indretning, fx belysningens udformning
- ◆ aktiviteterne
- ◆ rengøringen.

Resultatet

Det er hensigtsmæssigt at vurdere resultatet af afhjælpning eller forbedringer ved at foretage en ny spørgeskemaundersøgelse, evt i afkortet form, fx ved kun at spørge om gener fra de fysiske påvirkninger. Spørgeskemaundersøgelsen bør så vidt muligt afvikles på et tidspunkt, hvor resultatet kan sammenlignes med resultatet fra den første undersøgelse.

Trin 1. Driftskontrol

Det første, der bør ske, når der forekommer klager over indeklimaet, er at undersøge, om de personer, der har klaget, er bekendt med muligheden for selv at tilpasse klimaforholdene, fx gennem regulering af temperaturen eller ved udluftning, samt individuelt at klæde sig efter den temperatur, der er tilpasset flertallet i lokalet.

Hvis dette ikke har betydning for forekomsten af gener eller symptomer, er det næste skridt at lade den driftsansvarlige kontrollere, om driftsforholdene er normale, fx om ventilationsanlæg

fungerer med den projekterede ydelse, når bygningen er i brug, om indstillingsværdierne er rigtige, filtrene rene, eller om rengøringen følger planen.

Hvis der findes fejl, der vurderes at have væsentlig betydning for klagerne, rettes disse, før der foretages videre undersøgelser. De personer, der har klaget, orienteres om denne beslutning.

Trin 2. Spørgeskema- eller interviewundersøgelse

Hvis klagerne ikke har sammenhæng med unormale driftsforhold, bør der udføres en spørgeskemaundersøgelse for derved at kunne bestemme arten og omfanget af problemerne. I mindre personalegrupper kan en systematisk interviewrunde erstatte denne. Undersøgelsen danner desuden grundlag for at vurdere, om man i undersøgelsesproceduren udelukkende skal betragte problemerne ud fra en teknisk synsvinkel, eller man skal indhente arbejdshygiejnisk, lægelig eller psykologisk eksperthjælp. Undersøgelsen kan normalt udføres af sikkerhedsorganisationen eller af bedriftssundhedstjenesten.

Der udsendes et spørgeskema til alle ansatte eller til et repræsentativt udsnit, med spørgsmål vedr. specifikke gener eller symptomer, der kan henføres til indeklimaets påvirkninger. Spørgeskemaerne skal behandles fortroligt, men personer og deres placering skal kunne identificeres for at kunne udføre detaljerede undersøgelser. Spørgsmål om arbejdspsykologiske og psykosociale forhold bør indgå, men der skal sikres en faglig viden til at bearbejde disse svar.

Det anbefales at anvende Arbejdstilsynets spørgeskema vedrørende indeklima eller skemaet, der er vist i SBI-rapport 246.

Vurdering af spørgeskemaet

Gene- og symptomfrekvenser beregnes samlet eller fordeles på etager, kontortyper eller aktiviteter. Dette giver et billede af, hvilken type eller hvilke typer af gener og symptomer der er almindeligt forekommende. Ved at sammenholde resultatet af spørgeskemaundersøgelsen med den tekniske beskrivelse af bygningen kan man i mange tilfælde finde sandsynlige problemkilder til nærmere analyse. Anvendes skemaet fra SBI-rapport 246, kan resultaterne tolkes således:

Hvis forekomsten af slimhindeirritation eller af almensymptomer, som hovedpine, tunghedsfornemmelse i hovedet, træthed og koncentrationsbesvær, forekommer ofte hos mere end ca 20% af en større gruppe mennesker, eller hvis frekvenserne er radikalt forhøjede for bestemte kategorier eller en bestemt type lokaler, er der grund til at gå videre med undersøgelse af hele bygningen eller de områder, hvor der er problemer. Tallet for hyppigheden af slimhindeirritation opgøres som det antal personer, der ofte

Tabel 12.12. Påvirkninger i indeklimaet, som direkte forventes at være årsag til klager eller symptomer. (Efter SBI-rapport 246 med ændringer).

Faktor		Påvirkningens størrelse		
		Lav	Mellem	Høj
Operativ- og lufttemperatur	°C	21 - 23	21 - 20 23 - 24	< 20 > 24
Daglig temperaturstigning	°C	< 2	2 - 4	> 4
Asymmetrisk strålingstemp.:	°C			
- mod varmt loft		< 4	4 - 5	> 5
- mod koldt vindue		< 6	6 - 10	> 10
Temperaturgradient	°C	< 1	2 - 3	> 3
Middellufthastighed	m/s	< 0,15	0,15 - 0,20	> 0,2
Støj, L _{Aeq} *	dB	< 50	50 - 60	> 60
Baggrundsniveau	dB	< 35	35 - 40	> 40
Lavfrekvent støj L _C -L _A baggrund	dB	< 20	20 - 25	> 25
Belysning:				
- almen		Tilpas Findes	Tilpas Mangler	Dårlig Mangler
- individuel				
Blænding		Ingen	Regulerbar	Ikke regulerbar
Kontraster		Gode	Reguleres	For stor, for lille
Statisk elektrisk opladning	kV	< 1	1 - 2	> 2
Formaldehyd*	mg/m ³	< 0,05	0,05 - 0,15	> 0,15
Organiske gasser og dampe*				
Ozon*	mg/m ³ ppm	< 0,05 < 0,03	0,05 - 0,1 0,03 - 0,05	> 0,1 > 0,05
Klorbrinte*	mg/m ³ ppm	< 1,4 < 1	1,4 - 4 1 - 3	> 4 > 3
Kvælstofdioxid*	mg/m ³ ppm	< 0,2 < 0,1	0,2 - 0,5 0,1 - 0,3	> 0,5 > 0,3
Kulmonoxid*	mg/m ³ ppm	Bør ikke forekomme		>10 >9
Mineralfibre:				
- luft*	f/m ³	< 200	200 - 1.000	> 1.000
- overflade	f/cm ²	< 10	10 - 30	> 30

Indeklimasyge = slimhindsymptomer, almensymptomer og evt hudsymptomer. De viste værdier er ikke grænseværdier, men vejledning til brug for vurdering af indeklimaet. * Grænseværdi findes, men er generelt højere end de angivne tal.

lider af mindst et af symptomerne: irritation i øjne, næse eller svælg. Almensymptomer opgøres som det antal personer, der ofte har mindst et af symptomerne: hovedpine, tunghedsfornemmelse i hovedet, træthed, og koncentrationsbesvær. Tilsvarende bereges frekvensen af hudirritation.

Ved bedømmelsen af svarene skal man være opmærksom på,

Forventede effekter	Kilder	Bemærkninger
Klage - træk, tørhed, SBS	Varme/ventilationsanlæg, sol, belysning, apparater, dårlig isolering	For siddende personer og for opvarmningssæsonen. Se DS 474 for andre forhold
Tørhed, SBS	Varme/ventilationsanlæg, sol, belysning, apparater	Vurderingen refererer til opvarmningssæsonen
Termisk ubehag - -	Loftvarme Store vinduesfader	
Fodkulde	Manglende luftbevægelse	
Klage - træk	Ventilationsanlæg, kuldeneffald	For siddende personer
Klage - støj, almensympt.	Aktiviteter, trafik, installationer	Gælder for kontorer, aktiviteter og apparater. Min. 1 times værdi
- -	Trafik, installationer	
Almensympt.	Ventilationsanlæg, andre maskiner	
Almensympt., øjengener	Belysning, dagslys	Se DS 700
Almensympt., øjengener	Belysning, dagslys	Se DS 700
Almensympt., øjengener	Belysning, dagslys	Se DS 700
Klage - stød	Gulvbelægning, apparater, stolebetræk	
Slimhindeirr.	Syrehærd. lak, lim, tobaksrøg, spånplader	
Indeklimasyge	Byggematerialer, lime, plast, trykssvæerte	Usikre resultater vedr. symptomer
Slimhindeirr.	Fotokopiering, laserprinter, elektrofilter	
Slimhindeirr.	Forkert afsyrede teglvægge	
Slimhindeirr., astma	Åben gas- og petroleumsforbrænding, trafik, garageanlæg	
Almensymptomer	Åben gas- og petroleumsforbrænding	Se også tab. 12.13
Slimhinde- og hudirr.	Defekt eller ubehandlet akustikloft, indiv. kanalisering, dårlig rengøring	

at også andet end indeklimaet kan bidrage til eller give symptomer, fx ergonomiske eller psykosociale forhold, herunder stress. Endvidere kan en række forhold uden for arbejdspladsen (sygdom, boligforhold m.m.) have betydning for den enkeltes problemer. Der kan også være forskel på personernes følsomhed over for påvirkningerne. Hvis den undersøgte gruppe mennesker ikke

er ret stor, er det derfor svært at afgøre, om en høj forekomst af symptomer er en statistisk tilfældighed. Her er interview en mere anvendelig og overkommelig metode.

Klager over træk, varme og indelukket luft bør betragtes som generelle, karakteristiske problemer for bygningen, hvis flere end ca 20% af de udspurgte ofte har klager. Klager over støj eller dårlig belysning er generelle, hvis flere end ca 10% ofte har klager.

Hvis problemerne kun gælder en mindre gruppe eller enkelte personer, vil det være en god idé at undersøge forholdene i deres omgivelser nærmere, fx med de oplyste punkter fra trin 4 og 5, samt spørge, om personerne har allergi eller anden overfølsomhed. Personer med alvorlige symptomer bør henvises til læge.

Trin 3. Teknisk beskrivelse

Der udarbejdes en teknisk beskrivelse af bygningen og dens installationer jf tabel 12.11. Oplysningerne indsamles i samarbejde mellem sikkerhedsudvalget, driftspersonalet og evt de projekterende arkitekter og ingeniører. Den tekniske beskrivelse giver et grundlag for at bedømme evt forhold, der er indbygget i bygningen eller ved dens drift og brug. Forholdene kan bevirke, at der opstår problemer ved mindre afvigelser fra de forudsætninger, der er gjort ved den oprindelige projektering. Beskrivelsen danner grundlag for en besigtigelse og de senere målinger, der evt skal finde sted.

Vurdering af disse forhold kan i nogen grad udføres på basis af tabellerne 12.12-12.14.

Den tekniske beskrivelse indeholder følgende emner:

- ◆ reovering, omfang og tidspunkt
- ◆ de anvendte materialer
- ◆ areal, rumvolumen, antal personer pr rum
- ◆ vandskader og fugtforhold
- ◆ belysningsanlæg og lysadgang
- ◆ varmeanlæg, type og regulering
- ◆ ventilationsanlæg, type, luftbehandlingsudstyr, placering af udeluftindtag
- ◆ ventilation med udeluft pr areal og volumen
- ◆ driftsstrategi
- ◆ støjgivende udstyr
- ◆ rengøringsmetoder og terminer
- ◆ rengøringsvenlighed
- ◆ oplysninger om tidligere målinger eller fejl, fx vandskader.

På baggrund af oplysningerne kan følgende bedømmes:

Nye materialer i forbindelse med nybygning, reovering eller i

form af nyt inventar kan have en afgasning, der i en periode kan give lugtgener eller slimhindeirritation. Det kan undersøges, om disse materialer er godkendte fx i henhold til Dansk Indeklima Mærkning. Men det er sjældent, at det er materialerne, der er den direkte årsag til indeklimaproblemer, medmindre de er blevet nedbrudt som fx mineraluldslofter eller vandskadede urea-formaldehydholdige produkter. Lugtgener er dog velkendte, fx fra linoleum evt med en forkeret rengøring.

For mange personer i rum med for lille areal og rumfang kan sammen med den planlagte ventilation være årsag til hyppige klager over temperatur, støj og for lidt plads. Det er i den situation nødvendigt at kende ventilationens størrelse. I naturligt ventilerede rum er det svært at opnå mere end et luftskifte på 1 gang pr time selv med udluftning, uden at få klager over træk.

Vandskader, der har været over længere tid uden udtørring, kan have bevirket skimmelsvampevækst, der, selvom den ikke er synlig, i visse tilfælde har givet alvorlige indeklimaproblemer fra mikroorganismernes stofskifteprodukter.

Der er sjældent mange klager over belysningen. Generne ses oftest mest som symptomer. Uden individuel og indstillelig belysning er det imidlertid svært at opnå tilfredsstillende forhold. Det gælder især for skærmarbejdspladser.

Styringen af temperaturen er af stor betydning, og muligheden for individuelt at justere forholdene er hensigtsmæssig. For høj temperatur er en hyppig årsag til klager og symptomer. Der må derfor, foruden at bedømme varmeanlæggets regulering også tages hensyn til varmekilder som solindfald og intern varmebelastning fx fra pc og belysning.

Ventilationsforholdene er som nævnt vigtige, idet ventilation ofte foruden at tilføre frisk luft også skal bortskaffe overskudsvarme. Der findes enkle beregningsmetoder til en sådan vurdering. Se fx SBI-anvisning 182, Indeklimahåndbogen.

Den tilførte lufts kvalitet kan være for dårlig, fordi luften tages ind forurenet fra trafik, eller fordi der er kortslutning af luft fra ventilationsafkast fra det samme anlæg eller andre forurenende anlæg. Hvis anlæggene kan recirkulere luft, skal der være streng kontrol med, at der er nok frisk udeluft. Endelig kan anlæggets driftsform og vedligeholdelsestilstand, fx renhed af filtre, være altafgørende for funktionen.

Anvendelse af befugtning med frie vandoverflader (dvs andet end dampbefugtning) er en generel risikofaktor i indeklimaet.

I de enkelte rum kan forkeret placering af indblæsningsåbninger, for høj indblæsningsstemperatur eller for stor eller lille indblæst volumenstrøm gøre, at luften ikke tilføres, hvor personerne er, men udsuges uden om opholdszonen (dvs med for lav ventilationseffektivitet). Indblæsningsluften kan også forårsage træk.

Tabel 12.13. Indikatorer på påvirkninger, der kan forventes at være årsag til klager eller symptomer (efter SBI-rapport 246 med ændringer).

Faktor	Påvirkningens størrelse			
	Lav	Mellem	Høj	
Tobaksrøg	Ingen	Af og til	Konstant	
Totalstøv i luft*	mg/m ³	<0,1	0,1-0,3	>0,3
Gulvstøv	g/m ²	<0,2	0,2-0,5	>0,5
Bakterier i gulvstøv	kol/g	<6.000 Se bemærkn.	6-10.000 Se bemærkn.	>10.000 Se bemærkn.
Svampesporer i gulvstøv	kol/g	<1.000	1-3.000	>3.000
Makromolekylært organisk gulvstøv	mgMOD/g støv	<1	1-3	>3
Husstøvmider	allergen ng/g støv antal mider/g støv	<1.000 >50	1.000-2.000 50-100	>2.000 >100
Fugtskader		Ingen	Mindre, kortvarige	Store, langvarige
Ammoniak*		0	Se bemærkn.	Se bemærkn.
Kulmonoxid*	mg/m ³ ppm	<0,5 <0,5	0,5-2,4 0,5-2	>2,4 >2
Kuldioxid, inkl. udeluftens indhold*	mg/m ³ ppm	<1.260 <700	1.260-1.800 700-1.000	>1.800 >1.000
Ventilation, udeluft	l/s/pers. l/s m ²	>12 >1	4-12 0,4-1	<4 <0,4
Lugtpanel umiddelbart indtryk	utilfredse%	<20	20-30	>30

Indeklimasyge = slimhindsymptomer, almensymptomer og evt hudsymptomer.
De viste værdier er ikke grænseværdier, men vejledning til brug for vurdering af indeklimaet.
* Grænseværdier findes, men er højere end de angivne værdier.

Udstyr eller ventilationsanlæg, der støjer, er en vigtig genefaktor. Ofte er den ikke kraftigere, end at den umiddelbart accepteres, men i det lange løb kan den påvirke og resultere i øget træthed.

Rengøring er væsentlig for at fjerne indslæbt støv, støv der afgives af personer, og støv der dannes ved arbejdet fx fra megen papirbehandling eller fra brug af rengøringsmidler og midler til vedligehold af gulve. Der synes specielt at være virkninger af gammelt støv, der med tiden får en større andel af organisk støv, som er vanskeligt at fjerne. I rum, hvor der ryges, er den største andel af støvet i luften fra tobaksrøgen. Læg mærke til, om ændrede rengøringsmetoder hænger sammen med, at der opstår indeklimagener.

Det er hensigtsmæssigt at opgøre forbrug og midler, der anvendes til rengøring, for at kunne vurdere behov for en sanering og begrænsning.

Forventede effekter	Kilder	Bemærkninger
Øjenirritation, indeklimasyge		Siderøg irriterer mest
Indeklimasyge, slimhindeirritation	Papir, tekstil, personer, bygning og tobaksrøg	Udtryk for rengøringsniveau, rygning og aktivitet
Indeklimasyge	Papir, tekstil, person, indslæbt støv	Den målte mængde afhænger af støvsugerens effektivitet
Indeklimasyge	Personer	Analysemetode: Direkte udsæd af 30 mg støv på agarvækstmedium
Indeklimasyge, allergi	Fugt og støv udefra	Analysemetode: se ovenfor
SBS	Papir, hudskæl, organisk materiale udefra	
Astma	Husstøvmider	Normalt ikke vigtigt på arbejdspladser
SBS	Utæt tag, opsugning, byggefugt, kondens	
SBS	Indikator på fugtig organisk gulvpartelmasse	Sjældent set i DK
Indikator på irr. fra tobaksrøg, trafikos	Trafik, garager, tobaksrøg, forbrænding uden aftræk	
Indikator på personforureninger	Personer	
Indikator på lugtniveau	Personer, byggematerialer	Gælder for rum uden tobaksrygning.
Klage - dårlig luft	Personer, materialer, aktiviteter	Vurdering udføres af et panel af mennesker

Radon og dets radioaktive henfaldsprodukter er en vigtig indeklimapåvirkning især i etplanshuse, fordi den kommer fra jorden. På arbejdspladser med en rimelig ventilation er den sjældent af en størrelse, der vil give anledning til sygdomme.

Trin 4. Besigtigelse

Sikkerhedsorganisationen foretager en besigtigelse af, hvordan lokalerne anvendes i forhold til planlagt anvendelse og mistanke om kritiske forhold, og vurderer visuelt, om der er kilder til forureninger. Følgende bør iagttages og vurderes:

Bygningens ydre udformning

- ◆ Placering af luftindtag: afstand fra parkering, trafik, luftafkast og køletårne.

Tabel 12.14. Forhold, der i bygningen kan forventes at give anledning til klager eller symptomer, hvis der ikke tages særlige hensyn. (Efter SBI-rapport 246 med ændringer).

Faktor		Påvirkningens størrelse	
		Lav	Mellem
Rengøringsprogram		Grundig tilpasset	
Rengøring, orden, plads, tilgængelighed		God	Middel
Gulvbelægning		Halvhård	Tæppe
Loddenfaktor ¹	m ² /m ³	<0,35	0,35 - 0,7
Hyldefaktor ²	m/m ²	<0,2	0,2 - 0,5
Ventilationssystem		Naturlig vent., ud-sugning, vedvælgende holdt indblæsning	Indblæsning med opvarmnings- og kølingsfunktion
Antal arbejdspladser pr rum		< 4	4 - 7
Kontorareal pr person	m ² /p	>12	8 - 12
Pc-arbejde		Få timer dagligt	
Kontormaskiner og processer		I separat rum	
Papir		Begrænset håndtering	
<p>Indeklimasyge = slimhindsymptomer, almensymptomer og evt hudsymptomer. De viste værdier er ikke grænseværdier, men vejledning til brug for vurdering af indeklimaforhold.</p> <p>1. Loddenfaktoren er arealet af alle tekstile overflader divideret med rummets volumen.</p> <p>2. Hyldefaktoren er længden af åbne hylde med papir, bøger o.l. divideret med rummets volumen.</p>			

- ◆ Er der garage, laboratorier, værksteder, restauranter o.l. forureningsgivende aktivitet, som giver risiko for overførsel af forureninger, fx gennem bygningen eller via luftindtag?
- ◆ Er der støj fra andre aktiviteter i bygningen eller udefra?
- ◆ Bygningens vedligeholdelsestilstand, herunder især mhp fugtindtrængning.
- ◆ Teknikrums og ventilationskanalers tilnavnsning og vedligeholdelse.

Bygningens indretning og brug

- ◆ Tobaksrygning: Hvor? Hvor meget? Er der etableret en rygepolitik, og overholdes den?
- ◆ Støj fra ventilationsanlæg?
- ◆ Kopimaskiners og laserprinteres placering mht forurening og støj.
- ◆ Er der megen papirhåndtering og tilførsel af nyt trykt papir?
- ◆ Findes der store grønne planter? Anvendes kemikalier til behandling af planterne?
- ◆ Er belysningen generelt tilfredsstillende mht styrke, blanding og kontraster?

	Forventede effekter	Kilder og årsager til påvirkninger
Høj		
Ej tilpasset, overfladisk	Indeklimasyge, allergi	Rengøringsprogram skal tilpasses aktiviteter og bygningsens materialer. Tæpper er risikofaktorer
Dårlig	Indeklimasyge, allergi	Indretning, møbler, ledninger, oprydning har betydning
Tæppe, >10år snavset	Indeklimasyge, allergi	Tæppe akkumulerer snavs, øger adsorptionsareal for gasser, holder lugt
>0,7 >0,5	Indeklimasyge, allergi	Materialer med stort specifikt areal ad- og desorberer forureninger, uheldigt ved forkert drift af ventilationsanlægget
Indblæsning med befugtning og evt køling	Indeklimasyge, allergi	<i>Vurderingen forudsætter, at der er tilført tilstrækkelig luft trækfrit. Se tab. 12.13.</i> Befugtning øger risiko for mikrobiologisk aktivitet. Risici skyldes kompliceret styring og dårligt vedligehold
> 7 < 8	Almensympt.	Større forstyrrelse, flere apparater, vanskelig styring af klima, manglende individuel reguleringsmulighed, mindre privathed og mindre plads til arbejdet
Mange timer dagligt	Almensympt., øjenirritation	Er primært relevant for sekretærarbejde
Flere i samme rum	Indeklimasyge	Det drejer sig om at fjerne støj, gasser og evt varme
Megen håndtering		

- ◆ Er der blænding, refleksion, stor kontrastdannelse eller støj ved skærmterminaler?
- ◆ Er der i forhold til den tekniske undersøgelses angivelser flere personer i rummene?

Rengøring

- ◆ Rengøringsniveau: Er der støv på gulve, tæpper, boghylder, radiatorer o.l.?
- ◆ Gør rumindretning eller bygningsmaterialer, herunder tæpper, rengøringen vanskelig?
- ◆ Er der snavsaflejringer i ventilationsåbninger?

Fugt

- ◆ Er der fugtskader eller synlig mug? Læg mærke til pletter på lofter og ydervægge. Der kan dels være kondens på kolde flader, dels indsivning af fugt udefra. Tæpper, der ofte bliver fugtige fx fra vådt fodtøj, er uheldige.

Lugt

- ◆ Dårlig lugt: Forsøg at karakterisere lugten og identificere kilden.

Trin 5. Handlingsplan

Sikkerhedsorganisationen udarbejder en handlingsplan for det videre forløb og for den senere afhjælpning. Handlingsplanen kan bruges til at forklare de ansatte om baggrunden for og formålet med den trinvis fremgangsmåde, og den kan bruges til at begrunde og forudse kommende omkostninger i forbindelse med afhjælpningen. Derudover kan handlingsplanen danne grundlag for en beslutning om særlige arbejds-hygiejniske målinger eller en forhandling med Arbejdstilsynet.

Trin 6. Måling af indikatorværdier

Det er sjældent muligt at udpege enkelte indeklimatefaktorer eller luftforureninger alene som "skyldige" i de opståede problemer. Det kan derfor normalt ikke betale sig på et tidligt tidspunkt i en undersøgelse at foretage målinger for at finde påvirkningens præcise størrelse fra en enkelt faktor, medmindre der er en stærk mistanke om, at den er årsag til problemerne. Der mangler imidlertid generelt tilstrækkelig viden, når det drejer sig om at vurdere betydningen af flere samtidige påvirkninger.

Derimod kan en måling eller vurdering af visse faktorer ofte være værdifuld som indikatorer for indeklimaet. Det er således ikke faktoren i sig selv, der umiddelbart er interessant, men forekomsten og størrelsesordenen giver væsentlige informationer om funktionen af installationerne eller graden af de bestemte forureningstyper. Temperaturen anses for både at være en direkte virkende faktor og en indikator for, om den samlede termiske udførelse eller styringen er tilfredsstillende. Kuldioksidkoncentrationen er en indikator, der er udtryk for ventilationens størrelse i forhold til antallet af personer og den tid, personerne har opholdt sig i lokalet. På tilsvarende måde kan faktorer som fx lugt, fugtpletter og høj temperatur virke som indikatorer.

Selve målingerne af indikatorværdier foretages stikprøvevis i rum med og uden problemer.

- ◆ Lufttemperaturen måles stikprøvevis på de tider, lokalerne kan forventes mest varme, fx lige før frokost, sent på eftermiddagen eller efter 3-4 lektioner i en skoleklasse.
- ◆ Med røg kontrolleres luftbevægelserne.
- ◆ Luftens strømningsretning mellem rum kan være interessant aht forureningsspredning. Strømningen studeres gennem hele døråbningen (både oppe og nede). Det undersøges fx, om luftstrømmen går fra garage til trappegang eller fra trappegang

til lokaler, om forurenede luft kommer fra rygerum, værksteder, laboratorier og andre rum, der er specielt forureningsbelastede.

- ◆ Kuldiioxidindholdet kan måles stikprøvevis på de tider, lokalene kan forventes mest forurenede, fx lige før frokost, om eftermiddagen eller efter 3-4 lektioner i en skoleklasse. Mål samtidig med, at temperaturen måles.
- ◆ Graden af recirkulation bedømmes vha en temperaturmåling af udeluft, recirkuleret luft og blandingen af de to.
- ◆ Kuldiioxid- (og kulmonoxid)indhold bestemmes endvidere i indblæsnings- og udsugningsluften og evt ved udeluftindtag.

Der henvises til skemaerne over risikofaktorerne i tabellerne 12.12-12.14 og til SBI-rapport 246: Indeklimaproblemer, der bl.a. indeholder vejledning i, hvordan målingen gribes an for at opnå de mest repræsentative værdier.

Trin 7. Måling af ventilationens størrelse og anlæggets funktion

På dette trin udføres en nøje analyse af ventilationens funktion:

- ◆ Installationerne besigtiges detaljeret bl.a. mht mekaniske mangler, tilsnævning i filtre, varmeplader, varmevekslere, befugtere og kanaler (visuel bedømmelse) samt indstilling af spjæld.
- ◆ Indblæsnings- og udsugningsvolumenstrømme og deres temperaturer måles i en udstrækning, så det er muligt at bedømme behovet for justering.
- ◆ Luftsiftet måles, hvis volumenstrømsmålinger ikke giver et godt billede af forholdene. Ventilationseffektiviteten måles i "typiske rum", hvis udelufttilførslen er nær den nedre grænse.
- ◆ Luftstrømning i rum og imellem rum undersøges stikprøvevis vha røg.
- ◆ Returluftandelen måles.
- ◆ Styrings- og reguleringsfunktionen for varme- og ventilationsanlæg kontrolleres.
- ◆ Drifts- og vedligeholdelsesprocedurer gennemgås.

Desuden bedømmes

- ◆ om udeluften ved luftindtaget har en tilfredsstillende kvalitet
- ◆ om der er tilstrækkelig udelufttilførsel til rummene
- ◆ om ventilationseffektiviteten er tilfredsstillende, dvs at der ikke finder "kortslutning" sted fra indblæsningsåbning til udsugningsåbning.

Trin 8. Måling og vurdering af risikofaktorer

Følgende målinger kan være aktuelle:

- ◆ Ved mistanke om, at nye bygningsmaterialer eller inventar afgiver gasser eller dampe, og hvis der er lugte, der ikke kan identificeres mht kilde, kan man måle indholdet af organiske gasser og dampe, herunder formaldehyd, samt totalindholdet af aldehyder. Man kan evt først forsøge med en lugtprøve af et stykke materiale, der, efter at det er blevet luftet godt, anbringes i et lufttæt glas.
- ◆ Ved indvendig loftsbeklædning af fx mineraluld, der er ubeskyttet og beskadiget, kan der være baggrund for, at overfladers belægning med mineraluldsfibre måles, men normalt anbefales blot udskiftning og grundig rengøring.
- ◆ Ved mistanke om manglende rengøring især ved snavsede tæpper, eller ved megen papirhåndtering, kan støvindholdet i luften bestemmes, evt kan støv på gulve eller i tæpper, herunder den mikrobielle og organiske del af støvet, måles.
- ◆ Langvarige fugtskader bør efterforskes mht skjulte konstruktioner med skimmelsvampevækst. Der kan, såfremt de findes, udføres en analyse af, hvilke skimmelsvampe der vokser, med henblik på at kunne beslutte, hvor hurtigt der er behov for at renovere. Generelt anbefales i alle tilfælde udskiftning af større angrebne partier samt tætning og dermed forhindring af fugtindtrængning.
- ◆ Hvis der fremføres specifikke klager over støj, eller der er kilder til støj, kontrolleres lydforholdene i "typiske rum". Vigtige forhold er lydtrykniveau, lavfrekvent lyd, rene toner og efterklangstid og evt vibrationer, men det er vigtigst at finde kilderne.
- ◆ Hvis der fremføres specifikke klager over dårlig belysning, eller der er mistanke om dårlig belysning, kontrolleres lysforholdene i "typiske rum". Vigtige forhold er dagslysadgang, individuel og indstillelig belysning, almen belysningsstyrke, blænding, spejlinger og kontraster.
- ◆ Ved klager over statisk elektricitet måles personopladninger på et antal personer ved gang på gulvbelægninger, eller når de sidder på deres plads. Det er normalt gulvbelægninger eller stolebetræk, der er årsagen om vinteren.
- ◆ Hvis tidligere udførte undersøgelser eller bygningsforholdene giver mistanke om specifik termisk belastning, udføres supplerende målinger af strålingsasymmetri, varmestråling fra loft, lufthastighed eller temperaturgradient. Disse kan dog normalt bedre beregnes, så man kan tage hensyn til de værste forekommende forhold. Beregning af "kuldestråling" eller kuldenedfald udføres således fx på grundlag af glastype, vinduesstørrelse og udetemperatur.

SBI-rapport 246 beskriver, hvordan ovennævnte målinger kan udføres.

Trin 9. Specifikke undersøgelser af personer og påvirkninger

Hvis det ikke har været muligt at finde en eller flere årsager på dette tidspunkt, udføres specifikke undersøgelser af personerne. Afhængigt af, hvor mange personer der arbejder i lokalerne, anmodes alle eller et udsnit om at deltage i en medicinsk undersøgelse. Undersøgelsen skal udføres på en arbejdsmedicinsk klinik. I denne forbindelse kan evt gennemføres en uddybende spørgeskemaundersøgelse.

Baseret på den medicinske undersøgelse udføres derefter supplerende arbejdshygiejniske undersøgelser. Sådanne undersøgelser bør udføres på grundlag af en hypotese om årsagssammenhæng. Det vil kræve medicinsk, psykologisk, hygiejnisk og teknisk sagskundskab at vurdere de indkomne undersøgelsesresultater.

Vurderingskriterier

Vurdering af indeklimaforhold kan ske efter tabellerne 12.12, 12.13 og 12.14. Tabellerne indeholder størrelsesordenen af indeklimapåvirkninger opdelt i tre grupper efter påvirkningernes størrelse: lav, mellem og høj. Der er endvidere angivet sandsynlige virkninger og eksempler på mulige kilder til påvirkningerne. Vær opmærksom på, at der som regel skal flere høje eller mange påvirkninger i mellemområdet til, for at der opstår problemer. Bemærk endvidere forskellene mellem de tre tabeller. Tab. 12.12 handler om påvirkninger, der kan have en direkte effekt, mens tab. 12.13 beskriver indikatorer på, at der kan være uheldige påvirkninger. Tab. 12.14 viser forhold ved bygningens opbygning, indretning eller brug, der, hvis der ikke tages særlige hensyn, ofte har vist sig at være medvirkende til indeklimaproblemer.

God eksponeringsvurderingspraksis (GEVP)

God laboratoriepraksis (GLP) har som system haft stor betydning for sikring af datakvalitet opnået ved dyreforsøg. Dyreforsøg er ofte det første trin i en risikovurdering. Det er derfor lige så naturligt at indføre et system til sikring af kvaliteten af eksponeringsvurderinger. Som grundlag for kvalitetssikringen skal der

skrives en protokol. Denne skal altid skrives, inden undersøgelsen udføres. Det kan forekomme besværligt at skulle skrive en protokol, men den anvendte tid tjenes ind mange gange under selve undersøgelsen.

Protokollen skal omfatte:

Formål eller hypotese

1. Variable, der skal undersøges
2. Usikkerheder
- 2.1 Relation til konklusioner

Ansvarsfordeling

1. Gennemgang og godkendelse af protokollen (henvisning til metodebeskrivelsen). Desuden skal protokollen beskrive hvert af de følgende 7 punkter så detaljeret, at det kan godtgøres, at undersøgelsen er tilstrækkelig for det beskrevne formål.

Administration

1. Organisering
2. Personer
- 2.1 Uddannelse, erfaring
3. Ressourcer
4. Aftaler med samarbejdspartnere

Model

1. Model for forudsigelse af eksponering ud fra viden om tilstedeværelse af et givet stof
2. Beskrivelse af modellens parametre
- 2.1 Parametre, som skal måles
- 2.2 Parametre, hvis værdi antages
- 2.3 Vurdering af usikkerheder
3. Validering af modellen
4. Statistiske forudsætninger

Undersøgelingsdesign

1. Prøvetagningsstrategi (systematisk, tilfældig, stratificeret)
2. Prøvetagningsmetoder
3. Analysemetoder
4. Demonstration af, at det eksperimentelle design tillader, at der drages konklusioner
5. Signifikansniveau og styrke

Kvalitetssikring

1. Procedurer
- 1.1 Prøvetagning
- 1.2 Transport

- 1.3 Lagring
- 1.4 Oparbejdning
- 1.5 Analyse
- 1.6 Kalibrering
- 1.7 Statistisk behandling af resultater
- 1.8 Lagring af data
2. Audit

Usikkerhed

1. Usikkerhedsbudget
2. Følsomhedsanalyse

Arkivering

1. Rådata, spørgeskemaer, rapporter
2. Instrumentkalibreringer, kvalitetskontrolkort
3. Andre dokumenter

Resultat

1. Kommunikation
 - 1.1 Information af den målte person
 - 1.2 Information af sikkerhedsgruppe og sikkerhedsudvalg
 - 1.3 Information af Arbejdstilsynet
2. Konfidentialitet
3. Registre

Litteratur

Eksponeringsvurdering

AMI-vejledning nr. 5/1990, Vejledning i arbejdshygiejniske undersøgelser - luftforurening.

At-meddelelse nr. 4.30.1, april 1993, Arbejdshygiejniske målinger.

At-anvisning nr. 4.3.0.1, oktober 1993, Arbejdshygiejniske målinger.

At-anvisning nr. 3.1.0.2, juli 1994, Grænseværdier for stoffer og materialer.

Cherrie JW, Schneider T, Spankie S, Quinn M. A New Method For Structured, Subjective Assessments Of Past Concentrations. *Occupational Hygiene* 1996;3:75-83.

Kromhout H, Symanski E, Rappaport SM. A Comprehensive Evaluation of Within- and Between-Worker Component of Occupational Exposure to Chemical Agents. *Ann Occup Hyg* 1993;37(3):253-270.

Leidel MA, Busch KA, Lynch JR. Occupational Exposure Sampling

- Strategy Manual. DHEW Pub. No. 77-173, Cincinnati 1997.
- Olsen E. Analyses of Exposure Using a Logbook Method. *Appl Occup Environ Hyg* 1994;9(10):712-721.
- Olsen E, Jensen B. On the Concept of the "Normal" day. *Quality Control of Occupational Hygiene Measurements*. *Appl Occup Environ Hyg* 1994;9(4):245-255.
- Planlægning og statistisk vurdering af luftforureningsmålinger. Vejledning Nr. 4/1983, Arbejds miljøinstituttet.
- Rappaport SM. Assessment of Long-Term Exposures to Toxic Substances in Air. *Ann Occup Hyg* 1991;35(1):61-121.
- Schneider T, Holst E. Validation of Exposure Assessment in Occupational Epidemiology. *Occupational Hygiene* 1996;3:59-71.

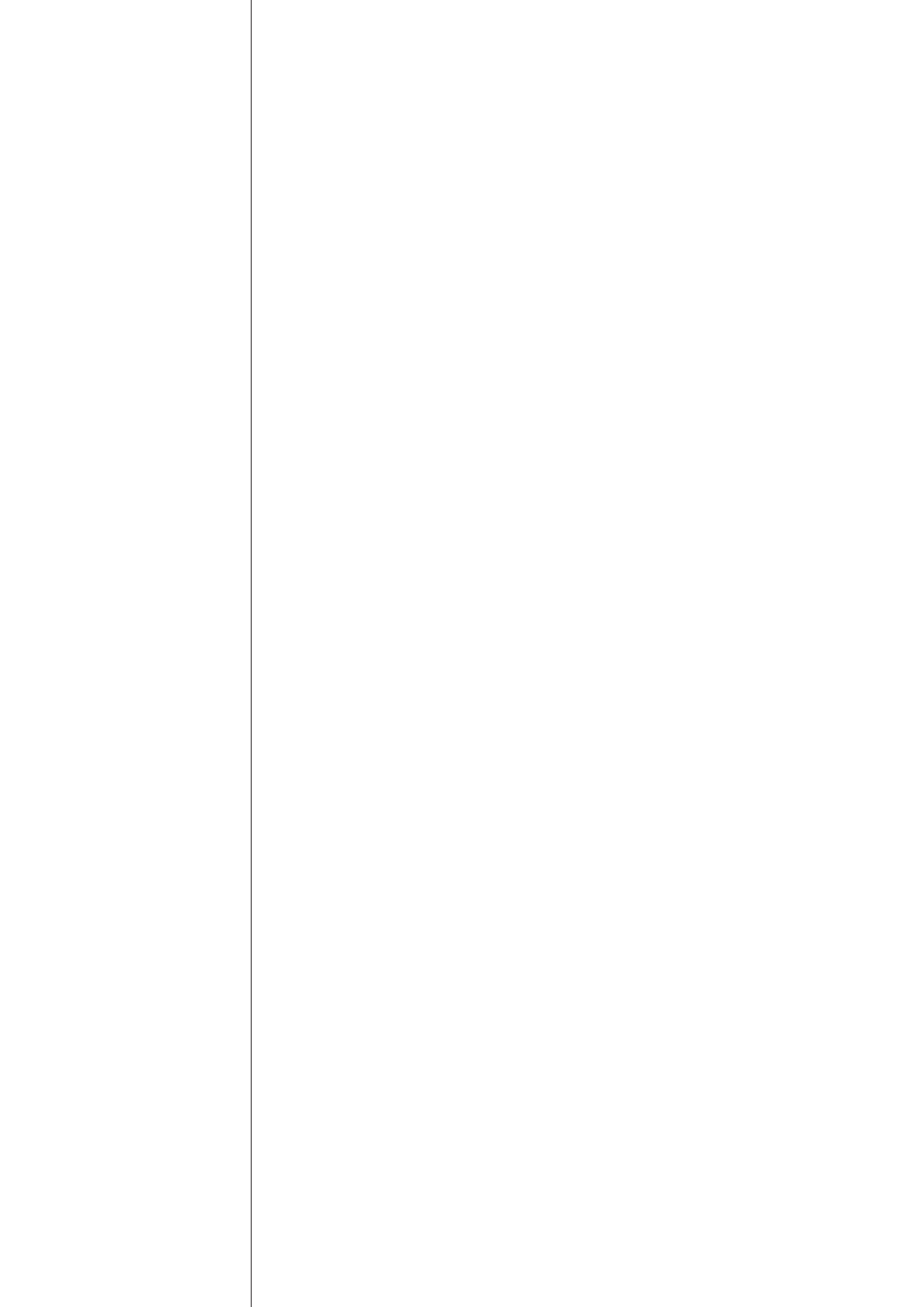
Central og lokal registrering af erhvervmæssigt anvendte stoffer og produkter

- Andersen P, Nielsen S, Kornfeldt F, Rick U, Scarpelli A. Product Registers in Europe. Testing of common reference system - a pilot study. *European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions*, Dublin 1994;1:1-143.
- At-anvisning nr. 4.0.0.1 af august 1994, Vurdering af sikkerheds- og sundhedsforholdene på arbejdspladsen (arbejdspladsvurdering).
- Brandorff NP, Beck ID, Skov T, Flyvholm MA. Kemikalieforbrug og eksponering i danske virksomheder 1989. AMI-rapport. *Arbejdstilsynet* 1994;43:1-152.
- Børglum B, Hansen AM. Kortlægning af vaske- og rengøringsmidler. AMI-rapport. *Arbejdstilsynet* 1994;44:1-96.
- Flyvholm MA, Andersen P, Beck ID, Brandorff NP. PROBAS: The Danish Product Register Data Base - A national register of chemical substances and products. *Journal of Hazardous Materials* 1992;30:59-69.
- Flyvholm MA. Kontaktallergener i kemiske produkter. *Arbejdstilsynet* 1992;1-107.
- Hansen J. Kræft og kemiske stoffer i industrien 1970-1984. AMI-rapport. *Arbejdstilsynet* 1993;41:1-69.
- Hass U, Jakobsen BM, Brandorff NP, Jelnes JE, Petersen SH. Reproduktionsskadelige kemiske stoffer i arbejdsmiljøet. AMI-rapport. *Arbejdstilsynet* 1991;35:1-206.
- Mygind L, Pomowska A, Pejtersen J. Kemisk arbejdsmiljø i auto-branchen. *Arbejds miljøfondet* 1991;11-213.
- Mygind L, Pomowska A, Møller U. Chemical exposure in auto repair and body shops. *Maitriser le Risque au Poste de Travail* 1992;268-280.
- Olsen PB, Hasle P, Thoft E. Idekatalog, Metoder og redskaber til at gennemføre arbejdspladsvurderinger. *Arbejds miljøfondet* 1995, redskabskort nr. 6.

- Omland Ø, Pedersen CL. Hudproblemer ved anvendelse af (meth)acrylatbaserede UV-hærdende trykfarver og lakker i Danmark. Forskningsrapport. Arbejdsmiljøfondet 1995.
- Rapport over Arbejdstilsynets kræftkampagne "Leverandørindsats". Arbejdstilsynet 1990.
- Quistgaard P. Medarbejderne med til at lave brugsanvisning om farlige stoffer. Nordisk Ergonomi 1995;3:11-12.

Indeklimaproblemer

- Bygningsreglement. Bygge- og Boligstyrelsen. København 1995.
- Indeklima. AT-meddelelse nr.1.01.9. Arbejdstilsynet. København 1995.
- Indeklimaets påvirkninger. SBI-rapport 230. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1993.
- Indeklimahåndbogen. SBI-anvisning 182. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1995.
- Indeklimaproblemer. Undersøgelse og afhjælpning. SBI-rapport 246. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1995.
- Inomhusklimat Luftkvalitet. NKB skrift nr. 61. Nordisk Kommittén för Byggbestämmelser. Esbo 1991.
- Retningslinier for kunstig belysning i arbejdslokaler. DS 700. Dansk Standardiseringsråd. København 1986.
- Vurdering af indeklimaproblemer i arbejdsmiljøet. Arbejdstilsynet 1986. Indeholder spørgeskemaerne: Gener og sygdomssymptomer og generelle oplysninger om bygningen (nye under udarbejdelse).



KAPITEL 13

Personlige værnemidler

*L. Dettloff
B. Arp-Hansen*

Personlige værnemidler

Generelt om personlige værnemidler

Personlige værnemidler skal anvendes, hvis arbejdet ikke på anden måde kan tilrettelægges og udføres sikkerheds- og sundhedsmæssigt fuldt forsvarligt vha ændrede processer, udsugning osv. Personlige værnemidler er de apparater, det udstyr og tilbehør, den påklædning e.l., som man bærer eller ifører sig for at beskytte sig mod påvirkninger af såvel fysisk som kemisk art under arbejdet.

Der findes i dag meget godt udstyr på markedet, der ikke påfører brugeren større gener. Værnemidler skal vælges, så de passer både til personen selv, til det arbejde der skal udføres, samt beskytter mod de uønskede påvirkninger. For at opfylde alle disse tre betingelser kræves:

- ◆ kendskab til det arbejde, der skal udføres, således at værnemidlet ikke hindrer eller besværliggør det
- ◆ viden om, hvad værnemidlet *skal* beskytte imod
- ◆ viden om, hvad værnemidlet *kan* beskytte imod og især, hvilke begrænsninger det har, samt
- ◆ viden om mulige leverandører, så der kan fås et egnet værnemiddel, der passer.

Det er ikke nok, at de rette personlige værnemidler er til stede, de skal også benyttes. Dette opnås kun, hvis de involverede personer motiveres til at benytte værnemidlerne. Det er desuden vigtigt, at de bruges rigtigt. Det opnås kun ved en grundig instruktion og optræning af dem, der skal anvende værnemidlerne.

En del forskellige polymere materialer (gummi eller plast) kan give eksem. Et skift til andre materialer kan for det meste løse problemet.

Ved mange arbejdsprocesser er det nødvendigt at benytte mere end ét personligt værnemiddel. De forskellige værn skal kunne

benyttes sammen uden at ødelægge hinandens beskyttende effekt. Værnene *skal* være beregnet til kombineret brug. Man må ikke selv modificere værnemidlerne, så de kan hægtes på hinanden. Det kan forringe beskyttelsen, i værste fald helt ødelægge værnemidlet. Et ændret værnemiddel kan ikke længere betragtes som et godkendt værnemiddel.

Sidst, men ikke mindst skal man vide, at værnemidler skal vedligeholdes for at holde og beskytte rigtigt. Det er meget væsentligt at fastlægge et vedligeholdelses-, kontrol- og rengøringsprogram for personlige værnemidler. Det hjælper ikke at bruge et dyrt og godt åndedrætsværn, hvis udåndingsventilen er utæt, et faldsikringsudstyr, hvis linen er skåret halvt over, eller en handsker, der er snavset indeni. Disse situationer kan være årsag til alvorlige ulykker, da de pågældende personer tror, at de er godt beskyttede, og derfor måske overser de advarselssignaler, der optræder undervejs, og som ville få personer helt uden værnemidler til at reagere.

Det er arbejdsgiveren, der skal forsyne de ansatte med personlige værnemidler og afholde udgifterne til anskaffelse, vedligeholdelse og renholdelse af dem. Det er også arbejdsgiveren, der skal sørge for, at værnemidlerne yder den tilsigtede beskyttelse, passer til brugeren og ikke medfører unødige gener. Endelig skal han sørge for, at personlige værnemidler anvendes i overensstemmelse med brugsanvisningen, og at de ansatte får instruktion i brugen samt oplysning om de risici, der er forbundet med at undlade benyttelsen. De ansatte skal bruge de udleverede værnemidler straks ved arbejdets begyndelse og under hele dets udstrækning.

Arbejdsområder, hvor der *skal* anvendes personlige værnemidler, skal afmærkes med skiltning i overensstemmelse med reglerne om sikkerhedsskiltning og anden form for signalgivning.

Personlige værnemidler skal opfylde kravene i et EU-direktiv. Direktivet er implementeret i dansk lovgivning som Arbejdstilsynets Bekendtgørelse nr. 651 af 23. juli 1992 om sikkerhedskrav mv til personlige værnemidler. Det betyder i praksis, at personlige værnemidler, der er markedsført efter 1. juli 1995, skal være fremstillet, så de opfylder væsentlige sikkerheds- og sundhedskrav, som angivet i bekendtgørelsen. I CEN-regi (CEN er Den Europæiske Standardiseringsorganisation) er der ved at blive udarbejdet en række standarder for konstruktionen af de enkelte typer af værnemidler. Hvis et værnemiddel opfylder en sådan harmoniseret standard, formodes det også at opfylde kravene i bekendtgørelsen. I Danmark udgives de harmoniserede standarder af Dansk Standard.

Et personligt værnemiddel skal have gennemgået en EU-typeafprøvning, og der skal for ethvert personligt værnemiddel forelig-

ge en overensstemmelseserklæring, hvori fabrikanten erklærer, at værnemidlet er i overensstemmelse med sikkerhedskravene til værnemidler ifølge bekendtgørelsen og den standard, det evt er konstrueret efter. Typegodkendelser må kun foretages af institutioner, der er godkendte til dette.

Ethvert personligt værnemiddel, der opfylder kravene i direktivet, og dets emballage skal være mærket med et specielt CE-mærke. Der skal også altid udleveres en brugsanvisning sammen med værnemidlet, og den skal være på dansk. Den skal indeholde oplysninger om navn og adresse på fabrikanten og/eller dennes repræsentant etableret i Fællesskabet og indeholde alle nødvendige oplysninger om:

- a) Opbevaring, anvendelse, rengøring, vedligeholdelse, reparation og evt desinficering. Anvendelsen og de anbefalede rengøringsforskrifter mv må ikke kunne skade værnemidlet eller brugeren.
- b) Konstatere holdbarhed ved tekniske undersøgelser, der godtgør værnemidlets beskyttelsesniveau eller -klasser.
- c) Tilbehør, der kan anvendes sammen med værnemidlet, samt karakteristika for reservedele.
- d) Passende beskyttelsesklasser på forskellige risikoniveauer og de dertil svarende anvendelsesbegrænsninger.
- e) Holdbarhedsfrist for værnemidlerne eller for visse af de dele, som de er sammensat af.
- f) Egnet emballage til transport af værnemidlet.
- g) Betydning af en evt mærkning.
- h) Evt referencer til andre direktiver.
- i) Navn, adresse og identifikationsnummer for de godkendte institutioner, der medvirker i konstruktionsfasen for det personlige værnemiddel.

Et personligt værnemiddel, der er markedsført inden den 1. juli 1995, kan fortsat anvendes, indtil det skal udskiftes, selvom det ikke er CE-mærket. Forudsætningen er, at det er i overensstemmelse med reglerne, der var gældende før denne dato.

Åndedrætsværn

Åndedrætsværn er et personligt værnemiddel, der beskytter mod indånding af forurenede luft og/eller iltmangel.

Åndedrætsværn kan inddeles i 2 hovedtyper:

- ◆ luftforsynede åndedrætsværn
- ◆ filtrerende åndedrætsværn.

Luftforsynede åndedrætsværn er uafhængige af den omgivende luft og er derfor den eneste type åndedrætsværn, der må benyttes, hvor der er iltmangel. Filtrerende åndedrætsværn er afhængige af den omgivende luft.

Før der kan vælges åndedrætsværn, er det nødvendigt at identificere forureningen.

Luftforsynet åndedrætsværn skal altid vælges, når

- ◆ der er eller kan opstå iltmangel (mindre end 17% ilt) i indåndingsluften
- ◆ luftforureningen forekommer i høje koncentrationer
- ◆ luftforureningens sammensætning eller koncentration er ukendt
- ◆ der ikke findes et filter, der er egnet til forureningen
- ◆ der ikke findes masker, der slutter tæt, fx pga skæg, ansigtsform eller briller. Der må da vælges luftforsynede overtryksmasker eller hætter med konstant luftgennemstrømning
- ◆ en person på en arbejdsdag skal arbejde mere end 3 timer i alt med åndedrætsværn, eller når arbejdet er tungt, så vejtrækningen gennem en filtermaske bliver vanskelig pga modstanden, og filtrerende åndedrætsværn med turboenhed (blæser) ikke kan anvendes, samt
- ◆ hvis det i øvrigt foreskrives i arbejdsmiljølovgivningen (fx ved arbejde med kodenummererede produkter).

I andre situationer kan man vælge et filtrerende åndedrætsværn.

Luftforsynede åndedrætsværn fås som halvmasker, helmasker, skærme, hætter og hjelme. Filtrerende åndedrætsværn fås som halvmasker og helmasker; som turboudstyr desuden med hætter samt som filtrerende ansigtsmasker (tidligere kaldet engangsmasker).

For enhver type åndedrætsværn er der i de ovennævnte europæiske standarder stillet krav om typens totale effektivitet. Kravet kan udtrykkes gennem krav til den nominelle beskyttelsesfaktor B. B er defineret som

$$B = \frac{\text{koncentration i omgivelserne}}{\text{koncentration af prøvestof inde i masken}}$$

bestemt ved laboratorieprøvninger.

Størrelsen af de nominelle beskyttelsesfaktorer kan imidlertid ikke umiddelbart bruges til at forudsige, hvor effektivt en maske vil fungere på en virkelig arbejdsplads. Her er forholdene meget

forskellige fra afprøvningsforholdene i laboratoriet. Som hovedregel skal man gå ud fra, at beskyttelsesfaktorer målt i virkeligheden er væsentligt mindre end nominelle beskyttelsesfaktorer.

De nominelle beskyttelsesfaktorer varierer mellem 4 og 50.000 afhængigt af maske- og hættetype. Faktorerne er størst for luftforsynede åndedrætsværn. Jo højere beskyttelsesfaktor, jo bedre åndedrætsværn. Beskyttelsesfaktorerne kan oplyses af leverandøren.

Luftforsynet åndedrætsværn

Der er flere typer luftforsynede åndedrætsværn.

Åndedrætsværn, der får luft fra en kompressor eller en stationær trykbeholder

Luftforsyningen er ikke umiddelbart tidsbegrænset, og værnet er forholdsvis let, men brugerens bevægelighed begrænses af slangen.

Trykflaskeapparater, der får luft fra personbårne trykflasker

Udstyret vejer en del, og luftforsyningen er tidsbegrænset, men brugeren har fri bevægelighed.

Kredsløbsapparater, der er åndedrætsværn med komprimeret ilt

– Udåndingsluften ledes fra ansigtsmasken ind i et kredsløb, hvor en reguleringspatron fjerner kuldioxid, og ilt tilsættes kredsløbet. Kredsløbsapparater kan være livsfarlige at anvende, hvis brugeren ikke har gennemgået speciel uddannelse i brug.

Selvsugermaske med og uden motordrevet blæser

Selvsugermasker er åndedrætsværn, hvor brugeren trækker vejret gennem en slange, der fører til frisk luft. Systemet er mindre sikkert end de andre luftforsynede åndedrætsværn, medmindre det er forsynet med motordrevet blæser. Selvsugermasker har begrænset anvendelse og bør undgås.

De luftforsynede åndedrætsværn består af 3 forskellige dele:

- 1) *Luftforsyningen.* Det er vigtigt at sikre, at det luftforsynede åndedrætsværn får tilført ren luft uden variationer i kvaliteten, at forsyningen er sikker, og at luften er egnet til indånding. Forurenede åndemiddelluft kan bl.a. give hoste, hovedpine, eksem, allergi, infektion og gener i luftvejssystemet og anden utilpashed. For lav luftfugtighed kan udtørre slimhinderne. Sammensætningen af åndemiddelluft bør svare til den, der

forekommer i frisk luft. Udtrykt som renhedskrav vil det sige, at følgende forureninger så vidt muligt skal undgås: kulilte, kuldioxid ud over den, der forekommer i frisk luft, nitrose gasser, smøremidler, plast og nedbrydningsprodukter af plastmaterialer, støv, rust og andre faste partikler samt ikke mindst mikroorganismer og nedbrydnings- og affaldsprodukter fra disse. Brøksummen af forureningerne i forhold til grænseværdierne skal være så lav som muligt og bør under alle omstændigheder være mindre end 0,1. Der skal være en vis luftfugtighed. Temperaturen bør ligge mellem 15 og 25°C, så vidt muligt svarende til den temperatur, der arbejdes i.

Trykluftanlæg, der er beregnet til luftdrevet værktøj, vil normalt levere en luft, hvis kvalitet gør den uegnet som åndemiddelluft.

- 2) *Lufttilførselsslangerne*. De skal kunne klare trykket, må ikke "knække" så forsyningen afbrydes, eller klappe sammen, hvis der fx bliver trådt på dem. Selvforsynende åndedrætsværn er uafhængige af slangernes længde. Kompressorforsynede åndedrætsværn og åndedrætsværn, der får luft fra en stationær trykflaske, har en "navlestreng" i form af luftslangen og stiller større krav til tilrettelæggelsen af arbejdet. Til gengæld undgås den fysiske belastning ved at bære trykflasken.
- 3) *Tilslutningen til ansigt eller hoved*. Den sædvanlige udformning er en hel- eller halvmaske af et blødt materiale, der slutter tæt til ansigtet. En helmaske dækker hele ansigtet og er dermed den af maskerne, der har lettest ved at slutte tæt og give bedst beskyttelse. En halvmaske dækker næse, mund og hage og slutter mere eller mindre tæt, afhængigt af ansigtets og maskens udformning.

Ansigt delen kan også være udformet som skærm, hætte eller hjelm med skærm foran ansigtet. Disse typer er udstyret således, at der blæser en jævn luftstrøm af ren luft ned over brugerens ansigt, således at der ikke findes urenheder i brugerens indåndingszone. Disse udformninger har den fordel, at hverken skæg, briller eller lignende forringer beskyttelsen. Den konstante støj som følge af lufttilførslen kan give gener. Det er derfor vigtigt at finde en støjsvag model.

Luftforsynede åndedrætsværn kan være med "konstant lufttilførsel", med "neutralt tryk" eller med overtryk.

- ◆ Ved *konstant lufttilførsel*: mellem trykbeholderen eller kompressoren og masken er der indskudt en ventil, der indstilles, så der blæser en konstant luftstrøm til åndedrætsværnet.

Udåndingsluften samt den overskydende luft forlader åndedrætsværnet gennem udåndingsventilen eller andre åbninger.

- ◆ *Neutralt tryk:* Åndedrætsværnet er forsynet med en ventil, der åbner ved et meget lille undertryk i masken og derved tilfører åndedrætsværnet luft.
- ◆ *Overtryk:* Åndedrætsværnet er forsynet med en overtryksventil, der sikrer, at der altid er et lille overtryk i masken.

Åndedrætsværn med helmasker og overtryk har en beskyttelsesfaktor, der er op til 5 gange større end den, der opnås med konstant lufttilførsel eller åndedrætsværn med neutralt tryk. Udstyr med hætte, skærm eller hjelm har varierende beskyttelsesfaktorer afhængigt af udstyrets udformning.

Filtrerende åndedrætsværn

Filtrerende åndedrætsværn kan benyttes, når man kender arbejdsbetingelserne godt og derfor med sikkerhed kan fastslå, at det vil yde tilstrækkelig beskyttelse.

I forhold til de luftforsynede åndedrætsværn har de filtrerende åndedrætsværn følgende fordele :

- ◆ lav vægt
- ◆ fri bevægelighed for brugeren
- ◆ en let løsning, fx ved enkeltopgaver og arbejde på skiftende arbejdspladser.

Ulemper:

- ◆ filtrets sikkerhedsmæssige effekt er begrænset af, hvilke stoffer det beskytter mod
- ◆ filtret har begrænset levetid
- ◆ luftmodstanden i filtret belaster vejrtrækningen
- ◆ arbejdstiden er begrænset til 3 timer, medmindre der vælges en type med turboenhed (blæser).

Filtrerende åndedrætsværn findes i 3 forskellige typer:

- ◆ hel- og halvmasker med udskiftelige filtre
- ◆ filtrerende ansigtsmasker, tidligere kaldt engangsmasker
- ◆ turboudstyr.

Helmasker dækker hele ansigtet og halvmasker en del af det. Luften suges gennem filtrene ved brugerens indånding pga undertrykket i masken. Hel- og halvmasker har normalt indåndings- og

udåndingsventiler, så luften indåndes gennem filtret, hvor den renses for forureningen, men udåndes gennem udåndingsventilen. Filtrene skal udskiftes regelmæssigt. Maskerne kan fås med et eller to filtre. Hvilken type der skal vælges, kan blandt andet afhænge af behovet for udsyn, idet synsfeltet nedadtil er bedre med et filter på hver side af masken end ét fremadvendt.

Filtrerende ansigtsmasker kan være til engangsbrug eller flergangsbrug. Masken fås helt eller delvist af filtermateriale, og flere og flere af maskerne er udstyret med udåndingsventil. Funktionsprincippet er det samme som masker med udskiftelige filtre. Da filtret er en fast del af masken, er det hele masken, der skal skiftes, senest når filterkapaciteten er opbrugt. Herved undgås helt vedligeholdelse i form af filterskift og udskiftning af defekte dele. Maskerne fås til beskyttelse både mod gasser/dampe og mod partikler. Det kan være mere eller mindre svært at få denne type åndedrætsværn korrekt tilpasset til brugeren, men der kommer stadig mere avancerede og dermed bedre masker på markedet.

Turboudstyr er en fælles betegnelse for alle åndedrætsværn med filter, hvor en ventilator sørger for at suge eller blæse luften gennem filtret eller filtrene. Der er derfor ingen åndingsmodstand at skulle overvinde for brugeren. Af den grund gælder 3-timers reglen ikke for dette udstyr. Turboudstyr forveksles ofte med luftforsynet åndedrætsværn, men da luften tages fra omgivelserne og renses ved filtrering, beskytter det ikke mod iltmangel i omgivelserne.

For både hel- og halvmasker med filter og for turboudstyret er det meget vigtigt, at de enkelte dele af udstyret passer sammen. Filtre til hel- og halvmasker kan ofte også bruges i turbomasker efter leverandørens anvisning, men levetiden (især for gasfiltre) bliver væsentlig mindre pga større luftgennemstrømning.

Betegnelserne mht typer og klasser, som nævnt nedenfor under afsnittene om gasfiltre og partikelfiltre, er ens for filtrene til de forskellige typer filtrerende åndedrætsværn, men gasfiltre har alligevel forskellig kapacitet og partikelfiltre forskellig filtreringsgrad.

Ved valg af filter skal der mod gasarter og dampe benyttes gasfilter. Mod partikler i form af tåger, dråber, støv, røg, fibre og aerosoler skal der benyttes et partikelfilter. Mod en blanding af gasser/dampe og partikler skal der benyttes et kombineret gas- og partikelfilter.

Gasfiltre

Gasfiltre inddeles i 3 klasser efter kapacitet:

- ◆ Klasse 1, lavkapacitets-filtre
- ◆ Klasse 2, middelkapacitets-filtre
- ◆ Klasse 3, højkapacitets-filtre.

Filtertype	Beskytter imod	Farve
A	Dampe fra organiske opløsningsmidler med kogepunkt på 65°C og derover, fx mineralisk terpentin, toluen, xylen og butylacetat.	Brun
AX	Dampe fra organiske opløsningsmidler med kogepunkt under 65°C efter leverandørens anvisninger. Filtertype AX findes kun i én klasse. Filtrene er éngangsfiltere og skal kasseres samme dag, de har været i brug.	Brun
B	Chlor og cyanbrite o.l. gasser efter leverandørens oplysninger.	Grå
E	Svovldioxid o.l. gasser efter leverandørens oplysninger.	Gul
K	Ammoniak o.l. gasser efter leverandørens oplysninger.	Grøn

Tabel 13.1. Opdeling af gasfiltre efter filtertype.

Derudover inddeles filtrene efter, hvilke gasser eller dampe deres filtermasse og imprægnering beskytter imod (se tab. 13.1). Hvis filtrene skal benyttes mod andre gasser end de i tabellen nævnte typer, må leverandørens oplysninger følges.

Der findes filtre, som dækker flere af typerne A, B, E og K. Herudover findes der filtre, som beskytter mod dampe og partikler fra kviksløv, mod nitrose gasser mv.

Når der forekommer aerosoler, fx ved sprøjtemaling, skal der anvendes et kombineret gas- og partikelfilter.

Gasfiltre til hel- og halvmasker er mærket med type og klasse. Fx betyder A2, at filtret er af typen A og er et middelkapacitetsfilter, dvs klasse 2.

Er der tale om en filtrerende ansigtsmaske, er der før typebetegnelsen anført FF. Dvs at en filtrerende ansigtsmaske, der beskytter mod de samme gasser som en halvmaske med et A2-filter, er mærket FFA2, men kapaciteten kan være lavere og tæthed den dårligere. På et tidspunkt, når der foreligger en europæisk standard på området, vil der også være krav til en særlig mærkning, før type- og klassebetegnelsen, der markerer, om filtret kan anvendes i turboudstyr.

Et gasfilter har kapacitet til at optage en vis mængde luftforurening. Herefter vil forureningen lække igennem. Inden dette sker, skal der skiftes til nyt filter. Hvornår et filter er opbrugt, afhænger af flere forskellige forhold: kultyper, kulmængde, imprægneringsmidler, forureningens egenskaber og koncentration, lufthastigheden og luftmængden gennem filtret (afhænger af, hvor hårdt fysisk der arbejdes), temperaturen og luftfugtigheden. Der kan derfor ikke laves et simpelt regnestykke, der fortæller, hvor lang filtrets levetid er.

Som udgangspunkt gælder, at forureningen ikke må kunne lugtes. Hvis masken er korrekt tilpasset, skal filtret skiftes senest, når man kan lugte forureningen. Grænseværdien kan imidlertid være overskredet, inden forureningen kan lugtes. Det er derfor vigtigt på forhånd at undersøge, om forureningen overhovedet kan lugtes af brugeren, og hvor en evt lugtgrænse ligger i forhold til

grænseværdien. Der er dog meget store individuelle forskelle på, hvornår en forurening kan lugtes.

Der skal i alle tilfælde udarbejdes en rutine for, hvornår filtret skal udskiftes.

Partikelfiltre

Partikelfiltre beskytter mod støv, røg og fibre (faste partikler). De fleste filtre beskytter også mod væskeformige partikler (tåge og spray).

Partikelfiltre inddeles i 3 klasser:

- ◆ P1, laveffekt-filter
- ◆ P2, middeffekt-filter
- ◆ P3, højeffekt-filter.

Klasse P1 har den laveste udskillelsesgrad og beskytter derfor kun i begrænset omfang mod faste partikler. Filtret må ikke anvendes, hvis grænseværdien for det forurenende stof er under 5 mg/m^3 . Filtret beskytter ikke imod asbestfibre og kvartsstøv. Filtre til halv- og helmasker er mærket P1. Filtrerende ansigtsmasker af klasse 1 er mærket FFP1.

Klasse P2 har en større udskillelsesgrad og beskytter derfor i større omfang. Det kan anvendes mod sundhedsskadeligt og giftigt støv, men ikke mod radioaktivt støv, bakterier og virus. Klasse P2-filtre findes i to typer, dels til brug alene mod faste partikler, dels til brug både mod faste og væskeformige partikler. Filtrene til brug mod faste partikler alene er mærket P2S. Kan et filter også beskytte mod væskeformige aerosoler, er det mærket P2SL. En filtrerende ansigtsmaske af samme klasse er mærket FFP2SL, men beskyttelsen vil normalt være dårligere.

Klasse P3 har den største udskillelsesgrad og beskytter som klasse P2 samt mod radioaktivt støv, bakterier og virus. Filtrene mærkes på samme måde som P2-filtre, idet 2-tallet dog er erstattet med et 3-tal.

Den tid, et partikelfilter kan anvendes, afhænger bl.a. af forureningskoncentrationen, partiklernes størrelse og brugerens arbejdsbelastning (lungeventilationen). Belægningen på filtret øger indåndingsmodstanden. Når indåndingsmodstanden bliver belastende, skal filtret skiftes. Anvendelsestiden kan variere meget.

Belastning ved brug af åndedrætsværn

Anvendelse af personlige værnemidler vil i større eller mindre grad belaste brugeren. For åndedrætsværns vedkommende kan man især pege på følgende:

- ◆ fysisk belastning for brugeren i arbejdet, således at arbejds-kapaciteten nedsættes
- ◆ ændring af vejrtrækningsmønstreret
- ◆ mulig forstyrrelse af temperaturreguleringen, idet kroppens temperaturregulering foregår i den forreste del af hjernen
- ◆ trækgener ved brug af luftforsynet åndedrætsværn
- ◆ evt støjgener
- ◆ isolering, man ser og hører dårligere, således at arbejdstempe-et nedsættes, eller risikoen øges; det kan være svært at kom-munikere med andre personer.

Arbejdstiden for brug af filtrerende åndedrætsværn er som konse-kvens af dette begrænset til 3 timer dagligt, som nævnt ovenfor. Skal der anvendes åndedrætsværn i mere end 3 timer på en arbejdsdag, skal der anvendes luftforsynet åndedrætsværn eller turboudstyr fra arbejdets begyndelse. Arbejdsdagen skal brydes med passende mellemrum.

Hudbeskyttelse

Handsker

Handsker fås som vanter eller fingerhandsker. De fås med eller uden fingerspidser, med lange eller korte skafter, med brede eller vide manchetter og med eller uden en tætsluttende afslutnings-kant.

Der findes handsker, der beskytter mod mekaniske påvirknin-ger som slitage, gennemhulning eller statisk elektricitet, handsker der beskytter mod varme eller kulde, handsker der beskytter mod ioniserende stråling og radioaktiv forurening, samt handsker der beskytter mod mikroorganismer og/eller kemiske stoffer. Der fin-des harmoniserede standarder, der fastsætter kravene til de enkel-te handsketyper.

Handsker og deres emballage skal være CE-mærket. Emballa-gen kan også vise et eller flere piktogrammer i form af et skjold-lignende symbol. Inden i skjoldet viser en tegning og evt et tal, hvad handsken beskytter imod og hvor godt. Jo højere tal, jo bedre testresultat har handsken opnået.

Handsker kan også have forskellige egenskaber mht, hvor godt et greb man har, når der tages på en genstand, eller hvor god føling der er med emnet. Handskers egenskaber i den henseende skal også passe til opgaven. Handsker til beskyttelse mod meka-

niske påvirkninger kan være lavet af læder eller fx som en brynjehandske af metal som beskyttelse ved udskæring af kød. Handsker til beskyttelse mod kemikalier er af gummi, latex eller diverse plasttyper. Nogle handsker består af flere lag materiale.

Det fremgår ikke umiddelbart af mærkningen, hvilke stoffer og materialer en handske beskytter imod. Ved køb af handsker til beskyttelse mod kemikalier skal man derfor gøre handskeleverandøren opmærksom på, til hvilke stoffer og materialer de skal anvendes, så det sikres, at de er egnede til den konkrete arbejdsproces. Handskeleverandøren skal kunne fortælle, hvilke stoffer handskerne beskytter imod og i hvor lang tid. Det er vigtigt at få dokumentation for, hvor lang tid handsken kan beskytte mod det aktuelle stof (gennembrudstid).

Kemikalier vil trænge gennem handskematerialet efter kortere eller længere tids kontakt. Det kan ske, uden at der kan ses forandringer på handsken, eller at det kan mærkes. Når et kemikalie er trængt ind i handskematerialet, fortsætter det med at trænge igennem, også efter at påvirkningen på ydersiden er ophørt. Det er derfor, det er vigtigt at bruge handsker, der er egnede til de aktuelle stoffer, og at kende gennembrudstiden.

Kommer der kemikalier på handsken, skal den derfor principielt kasseres, når den tages af, eller i god tid før gennembrudstiden er nået. Er gennembrudstiden for en handske fx 4 timer, vil stofferne, den har været i kontakt med, kunne registreres på indersiden af handsken 4 timer efter påvirkningen. Den kan derfor ikke genbruges næste dag, selvom den kun har været brugt i 1 time den første dag.

Der kan ikke drages analogislutninger. Fordi en handske har en kendt gennembrudstid for ét stof, så kan det ikke deraf sluttes, at gennembrudstiden er den samme for beslægtede stoffer. Hver handske og hvert kemikalie har deres eget samspil.

Handsker med huller/rifter eller handsker, der på anden måde er itu, må ikke anvendes.

Fugtig, opblødt hud er lettere gennemtrængelig for kemikalier end normal hud. Hvis der skal anvendes handsker over længere tid, bør der ved brug af plast- eller gummihandsker derfor bruges stofunderhandsker af bomuld. De optager sveden fra hænderne.

Beskyttelsesbeklædning

Ud over at bruge handsker kan huden beskyttes med dragter, forklæde, armbeskyttere o.l., afhængigt af, hvor store dele af kroppen der er behov for at beskytte.

På nuværende tidspunkt er der harmoniserede standarder, der fastsætter krav og/eller testmetode for beskyttelsesklæder inden

for områderne sprøjt og stænk af smeltet metal, varme og ild, flydende og gasformige kemikalier, modstandsdygtighed mod genemsavning med kædesav, beskyttelsesklæder mod knive og spidst værktøj, tydeligt synlige advarselsklæder samt arbejdstøj mod risiko for at blive fanget i maskindele.

Der er fastsat et lignende piktogramsystem som for handsker, der viser, hvad beskyttelsesbeklædningen beskytter imod og hvor godt. Standarderne fastsætter også krav til mærkningen af beskyttelsesklæderne samt til indholdet i tilhørende brugsanvisninger. De informationer, der således skal gives til brugeren, omfatter ud over piktogram/piktogrammer bl.a. identifikation af fremstilleren, størrelse og rengøringsanvisning, anvendelsesbegrænsninger, opbevaringsforskrifter, oplysning om transportemballage samt evt. instruktion i at efterse beklædningen før brug.

Hvilken type eller hvilke typer af egenskaber beskyttelsesbeklædningen skal være i besiddelse af, afhænger af, hvilke påvirkninger arbejdsprocessen kan medføre.

Kemiske stoffer kan ligesom ved brug af handsker komme ind på huden via dragten på flere forskellige måder. Der kan dels ske en mekanisk indtrængning gennem evt. huller og åbninger mv. i beskyttelsesbeklædningen, dels kan mange stoffer vandre igennem materialet uden at nedbryde eller ændre det. Der skal derfor også ved beskyttelsesbeklædning vælges et materiale, for hvilket gennembrudstiden er kendt.

Ved arbejde i støvende omgivelser skal beskyttelsesklæderne dække hele kroppen og slutte tæt ved håndled, ankler og hals. Hovedbeklædning skal dække håret. Tøjet og hovedbeklædningen må ikke kunne opsamle støv. Dette indebærer, at beskyttelsesbeklædningen skal være en ud-i-et model eller være todelt med stort overslag. Dragten skal have en god pasform og være uden lommer, opslag, bæltter eller rynkninger.

Ved arbejde med sundhedsfarlige kemikalier i gasform anvendes gastæt beklædning (kombineret med åndedrætsværn). Beskyttelsesbeklædningen bør være forsynet med cirkulationsordning, der sikrer et rimeligt termisk klima i dragten.

Beskyttelsesbeklædninger skal i det hele taget vælges, så de giver den bedst mulige termiske komfort. Hvis materialet er for tæt, kan huden ikke ånde, hvilket er ubehageligt. Hvis der således kun er behov for beskyttelse mod fx sprøjt og stænk på forsiden af kroppen, kan der vælges beklædning, der kun er tæt på denne side. Dragten farve kan også påvirke det termiske klima i dragten. Der bør derfor bruges lyse farver ved arbejde i stærkt sollys. Beskyttelsesbeklædning fås i flere størrelser, og der skal vælges en størrelse, der passer, samt en god pasform.

Ud over beskyttelsesklæder, der beskytter mod fysiske eller kemiske risici, findes der beklædning, der visuelt signalerer bruge-

rens tilstedeværelse (reflekstøj). Denne beklædning opdeles efter en harmoniseret standard i 3 klasser, jo højere klasse, jo mere bæremateriale og reflekterende materiale indgår der i beklædningen. Beskyttelseskæder, der visuelt signalerer brugerens tilstedeværelse, anvendes fx i forbindelse med vejarbejde, redningsarbejde på sporområder o.l.

Øjenværn

Øjnene skal beskyttes mod lys, stråling, splinter, støv, gasser og væskesprøjt, herunder mod fx flydende metal. Øjenværn udformet til at beskytte mod disse forskellige påvirkninger kan være en brille med eller uden sideværn, en kapselbrille, ansigtsskærm eller visir, svejsseskærm, hætte med øjenværn eller åndedrætsværn med øjenværn. Den beskyttelse, man kan få med et par almindelige briller, er næsten aldrig god nok.

Almindelige krav til et øjenværn er, at det skal passe godt. Stænger eller hovedbånd må ikke stramme eller gnave. Størrelsen skal være korrekt, især hvis værnet skal være støv- eller gastæt, ellers kan man ikke regne med at blive beskyttet. Det kan være ubehageligt med helt tætte briller, derfor bør disse kun vælges, når det er absolut nødvendigt. Ellers bør øjenværnet have ventilationsåbninger. Kvaliteten af øjenværn skal være så god, at man ikke får et forvrænget synsbillede. Der bør desuden vælges øjenværn med stort synsfelt. Det giver størst sikkerhed. Øjenværn skal tit kombineres med andre værn, så man skal være opmærksom på, hvilke kombinationsmuligheder der er. Benytter brugeren normalt briller, skal de kunne være inde under øjenværnet. Ellers må man må bruge øjenværn med korrigerende linser.

Til beskyttelse mod støv og træk skal øjenværnet være tætsluttende og med ventilationsåbninger. Mange ulykker sker, fordi splinter springer op under slibebriller, der ikke slutter tæt.

Kapselbriller eller en ansigtsskærm kan beskytte mod flydende metal. En skærm beskytter desuden hele ansigtet. Det skal fremgå af brugsanvisningen, at værnet yder denne beskyttelse.

Mod stænk af ætsende væsker skal anvendes tætsluttende øjenværn med gummikant, en ansigtsskærm eller en hætte, som dækker hele hovedet. Værn, der dækker hele ansigtet eller hovedet, er bedst.

Som beskyttelse mod giftige og sundhedsfarlige dampe og gasser må der anvendes åndedrætsværn som helmasker eller luftforsynet hætte.

Øjenværn mod varmestråling, stærkt lys m.m. skal vælges, så

de beskytter mod den aktuelle fare. Nærmere oplysning fremgår af brugsanvisningen.

En række harmoniserede standarder angiver krav til øjenværn, herunder øjenværn til brug ved svejsning, øjenværn med ultraviolet og infrarøde filtre samt øjenværn imod laserstråling. Standarderne stiller krav både til glassene og stellet (eller indfatningen), afhængigt af, hvad der skal beskyttes imod. Stellet skal således opfylde krav til robusthed og kvalitet.

Standarderne fastsætter endvidere en række symboler i form af tal og bogstaver, der beskriver, hvad stel og glas beskytter imod. Stel og glas skal mærkes hver for sig, hvis det er muligt. Stellet skal fx mærkes med anvendelsesområde, herunder om øjenværnet beskytter mod stænk og sprøjt og/eller støv. Glassene skal mærkes med filtrerende evne, mekanisk styrke, om de kan tåle varme, stænk af smeltet metal e.l., om overfladen bliver beskadiget af fine partikler, samt om de er antidugbehandlede.

Ved svejsning er det vigtigt at vælge øjenværn med en tæthedegrad, der beskytter tilstrækkeligt, men samtidig giver komfortable synsbetingelser, så arbejdet kan udføres bekvemt, sikkert og nøjagtigt.

Der findes øjenværn med glas, som skifter mellem forskellige tæthedsgrader, afhængigt af det lys øjenværnet udsættes for. Dette gælder specielt for svejsebeskyttelse.

Fælles for personlige værnemidler og således også for øjenværn er, at alle værn, der er markedsført efter den 1. juli 1995, skal være CE-mærkede. Endvidere gælder, at uanset om et øjenværn er fremstillet efter en harmoniseret standard eller alene efter direktivet, skal anvendelsen og evt. begrænsninger i anvendelsen fremgå af brugsanvisningen.

Høreværn

Der skal bruges høreværn, hvis støjen ikke på anden måde kan dæmpes tilstrækkeligt. Brug af høreværn er en nødløsning.

Vedvarende støj over 75-80 dB(A) indebærer risiko for høreskader. Hvorvidt en høreskade opstår, afhænger meget af den person, der udsættes for støjen. Nogle er mere følsomme end andre, men styrken og varigheden af støjen har væsentlig betydning for alle. Ifølge arbejdsmiljølovgivningen skal der stilles høreværn til rådighed for de ansatte ved en støjbelastning på 80 dB(A) og derover.

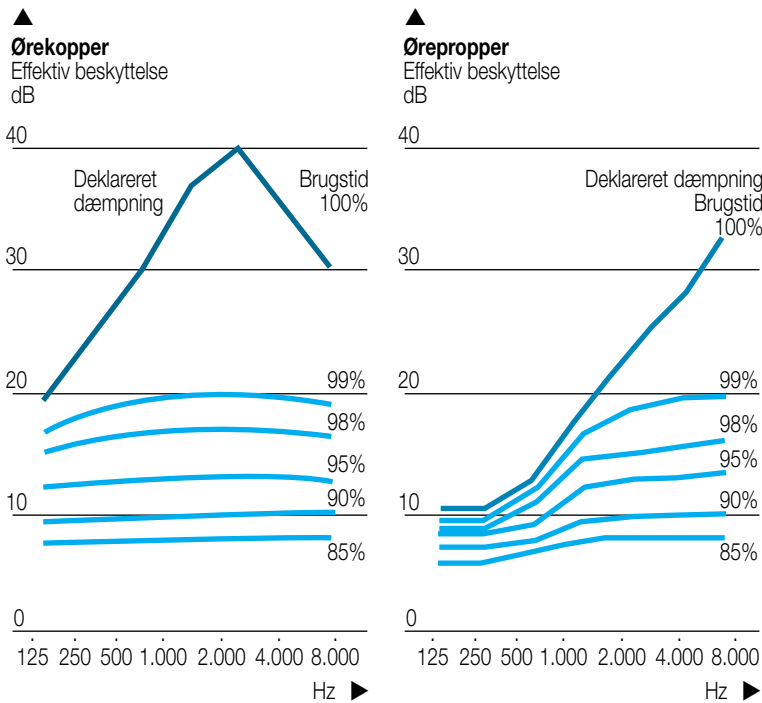
Det er vigtigt, at høreværnene bruges, hvor det er nødvendigt. Selv kortvarige eksponeringer for kraftige støjimpulser, som fx en

eksplosion, kan give høreskader. Det er derfor vigtigt at vælge et høreværn, der dæmper støjen tilstrækkeligt.

Det er en udbredt opfattelse, at høreværn beskytter effektivt mod høreskader. Undersøgelser viser imidlertid, at i praksis dæmper høreværn i gennemsnit 8-10 dB, selvom de fleste har en deklareret dæmpning på 30-40 dB.

Derfor skal der vælges et høreværn, der er så bekvemt, at man ikke fristes til at lette på det i ny og næ eller slet ikke tager det på. Forudsætningen for at opnå en sådan høj beskyttelse er nemlig, at høreværnene

- ◆ anvendes hele tiden, mens det støjer
- ◆ anvendes korrekt
- ◆ er i god stand (vedligeholdet).



Figur 13.1. Høreværns dæmpningsegenskaber aftager drastisk, hvis man blot i ganske kort tid undlader brugen af dem, mens det støjer.

Det fremgår af fig. 13.1, at høreværnenes effektivitet falder drastisk, hvis de blot en brøkdel af tiden ikke anvendes. Figuren forudsætter, at høreværnene er i perfekt stand, og at de anvendes korrekt, og det er langtfra altid tilfældet i praksis, og så bliver beskyttelsen endnu dårligere.

Der er mange gener ved at bruge høreværn. De kan klemme, varme og give eksem og svamp i øret. God hygiejne ved anvendelse af høreværnene kan kun til en vis grad forebygge disse lidelser, som i værste fald kan blive kroniske.

Der kan vælges mellem ørepropper, ørekopper og høreværns-hjelme. Det er forskelligt fra person til person, hvilke typer høreværn man foretrækker, fordi generne er individuelle. Dette skal der tages hensyn til, fordi det er mindre væsentligt, om man bruger ørekopper eller -propper. Det vigtigste ved brug af høreværn er, at det bliver brugt hele tiden, at det er anbragt korrekt, og at det er i god stand.

Ørepropper fås både formbare og formfaste (formstøbte høreværn). Propperne skal ordentligt på plads i øret. Derved kan de virke generende, til gengæld er de lette at have ved hånden, når der er brug for høreværn. Denne type høreværn kræver en god hygiejne. Man skal have rene fingre, når propperne formes eller berøres. Snavs i øregangen kan give hudirritation og eksem.

Ørekopperne lægges an mod hovedet vha en indstillelig bøjle. Den er elastisk, således at den lægger an mod hovedet med et tryk og dermed giver tæthed. Den må derfor ikke deformeres, men trykket mod hovedet kan føles generende, og der må derfor vælges et mærke, der er tilstrækkelig bekvemt. Der findes ørekopper til montering på hjelme. Ørekopper fås med indbygget radio og kommunikationsudstyr m.m.

Tætningsringe (vulster) på ørekopperne bør kontrolleres regelmæssigt, og de bør udskiftes, så snart de begynder at stivne, eller de beskadiges.

Glasdun og andre engangspropper bør kun bruges én gang. Ørepropper af plast, gummi osv samt vulster på ørekopperne skal rengøres tit (ofte dagligt). Brug den metode, der er angivet i brugsanvisningen.

Høreværnet vælges efter den dæmpning, der er behov for. Med hvert høreværn skal der bl.a. medfølge oplysning om, hvor meget det dæmper og ved hvilke frekvenser. Høreværn skal dæmpe tilstrækkeligt, hverken for meget eller for lidt. Hvis høreværnet dæmper for meget, vil den enkelte føle sig isoleret og dermed være fristet til at tage det af en gang imellem.

Høreværn eller pakning skal være mærket med fabrikantnavn, typebetegnelse, godkendelsesmærke, akustiske dæmpningsniveauer samt nummer på den standard, det er godkendt efter. Høreværn skal være CE-mærket. Brugsanvisningen skal give flere og mere detaljerede oplysninger, jf afsnittet "generelt om personlige værnemidler".

Øvrige værn

Værnefodtøj

Værnefodtøj kan være sko, træsko, sandaler, støvler, gummistøvler eller støvletter, der har de rette værneegenskaber.

Værnefodtøj opdeles efter de harmoniserede standarder på nuværende tidspunkt i 3 klasser:

- ◆ Klasse S, Sikkerhedsfodtøj med 200 J tånæse
- ◆ Klasse P, Arbejdsfodtøj med 100 J tånæse
- ◆ Klasse O, Arbejdsfodtøj uden tånæse.

Inden for hver klasse er der en række grundlæggende krav, som skal være opfyldt, for at fodværnet kan CE-mærkes. Det drejer sig for alle klasser om krav til udformning, sålen, skaftet, overlæderfor og en evt pløs eller hælfør. Alt sammen krav der bevirker, at fodtøjet har en vis kvalitet og er behageligt at gå i.

For klasse S og klasse P er der yderligere krav til tåkappen.

Ud over de grundlæggende egenskaber kan fodtøjet have supplerende beskyttelsesegenskaber, fx mod at der kan trænge spidse genstande op i fødderne (P) (værnesål), mod varme (HI) eller kulde (CI), vandgennemtrængen og vandabsorption (WRU). Fodtøjet kan også være ledende (C) eller antistatisk (A), og trædefladeren kan være særlig energiabsorberende (E). Endelig kan fodtøjet være skridsikkert (HRO). For hver af de supplerende egenskaber fastsætter standarderne et symbol i form af et eller flere bogstaver. Symbolerne er angivet i parentes efter egenskaberne ovenfor.

Værnefodtøj skal mærkes tydeligt og holdbart med

- a) størrelse
- b) producentens identifikationsmærke
- c) producentens typebetegnelse
- d) fremstillingsdato (mindst kvartal og år)
- e) fremstillingsland
- f) nummeret på den standard, fodtøjet er godkendt efter, samt
- g) symbolerne der viser, hvilken klasse fodtøjet er omfattet af, og evt hvilke supplerende egenskaber det har.

Opfylder et værnefodtøj kun de grundlæggende krav i sin klasse, mærkes det med symbolerne hhv SB, PB eller OB. Inden for hver klasse kan man imidlertid også møde en mærkning i form af det klassebetegnende bogstav plus et tal. Det er for at gøre mærknin-

gen lettere for fodtøj med mange supplerende egenskaber. Kombinationer af supplerende egenskaber har fået tildelt bestemte tal. Der henvises til standarderne mht tydning af denne form for mærkning.

Værnefodtøj med tåkappe (sikkerhedsfodtøj med 200 J tånæse) skal bruges, hvor der er risiko for klemning, eller hvor der er risiko for fodskade fra faldende genstande, fx hvor der håndteres eller arbejdes med tunge og uhåndterlige genstande, dvs over 16-20 kg. Jo mere skarpkantet og hård genstanden er, jo større er risikoen for skader, derfor lavere vægt.

Værnefodtøj med værnesål bruges, hvor der er risiko for at træde spidse eller skarpe emner, fx søm og glasskår, op i foden gennem en almindelig sål. Det vil bl.a. kunne være tilfældet inden for bygge- og anlægsområdet.

Værnefodtøj med skridhæmmende såler bruges, hvor man er udsat for skridfare. Skridfaren er bestemt både af gulvets overflade, sålernes beskaffenhed, ergonomiske forhold og evt vands og spilds beskaffenhed og mængde samt rengøringsniveau og evt rengøringsmidler.

Antistatisk, gnistsikkert værnefodtøj bruges, hvor der kan være eksplosive gasser, dampe eller støv i luften, fx ved arbejde på skibe med olietanke, på olieraffinaderier samt på operationsstuer.

Varme-/kuldeisolerende værnefodtøj bruges ved arbejde i særlig varme eller særlig kolde omgivelser, fx i støberier eller køle- og fryserum.

Hvor der er risiko for at træde i kemikalier, fx olier, syrer eller baser, skal der anvendes kemikaliebestandigt værnefodtøj. Der findes endnu ingen harmoniseret standard, der beskriver kravene til denne type fodtøj.

Værnefodtøj skal være tilpasset den enkelte bruger og dennes behov. Det skal sidde godt fast og have en god pasform.

Hovedværn

Beskyttelseshjelm (hovedværn) skal altid anvendes ved arbejde eller ved ophold på steder, hvor der er risiko for, at hovedet bliver skadet

- ◆ af materialer, værktøj eller andre genstande, der vælter, skrider, slynges ud eller styrter ned
- ◆ ved at støde mod udragende genstande eller hængende og svingende byrder
- ◆ ved berøring med uisolerede elledninger
- ◆ ved arbejde, hvor pladsforholdene er trange og gør det vanskeligt at bevæge sig uden at støde imod.

Beskyttelseshjelm kræves således ved det meste bygge- og anlægsarbejde, arbejde med boltepistoler, anhuigningsarbejde, fældnings- og skovningsarbejde samt arbejde i brønde og tunneler til fjernvarmerør o.l.

Hvis hjelmen skal kombineres med høreværn eller øjenværn, hvilket ofte er tilfældet, *skal* hjelmen være beregnet til dette ekstra udstyr.

Beskyttelseshjelmen skal være tilpasset den person, som bruger den. Tilpasningen er vigtig, for at hjelmen sidder fast på hovedet og giver en tilstrækkelig stor sikkerhedsafstand mellem hjelmskal og hoved. Hjelmen må heller ikke være for tung.

Efter den tidligere danske standard for hovedværn inddelte man beskyttelseshjelme i 2 grundtyper, hvoraf en ene (Type A) kun beskyttede mod stød fra oven, og den anden (Type B) både mod stød fra oven og fra siden. Efter den nye europæiske CEN-standard *skal* en almindelig beskyttelseshjelm kunne beskytte mod faldende genstande, mod at blive gennemtrængt af spidse genstande og mod en kortvarig udsættelse for en flamme. Herudover skal en evt hagerem løsne sig selv, når remmens belastning overskrider en vis værdi, så brugeren ikke bliver kvalt, hvis remmen hænger fast i et eller andet. Hjelmen er testet mod faldende og gennemtrængende genstande, også ved -10°C og $+50^{\circ}\text{C}$.

Skal en hjelm beskytte mod yderligere forhold som fx mod tryk fra siden, stænk af flydende metal, være elektrisk isolerende eller kunne tåle høje eller lave temperaturer, *skal* det fremgå af en særskilt mærkning på hjelmen.

En hjelm, der har været ude for en hård belastning, skal udskiftes.

Faldsikringsudstyr

Hvis der skal udføres et arbejde, hvor der er risiko for at falde ned, skal der sættes stillads, rækværk, personløfter e.l. op. Nogle steder er dette ikke muligt, og der skal så i stedet benyttes en form for seletøj med line, som enten kan forhindre, at man falder, eller opfange én efter et ganske kort fald.

Det findes i tre hovedtyper, indrettet til at 1) opfange personer, der falder, 2) hindre personer i at falde eller 3) sænke og løfte personer, fx i en brønd eller en silo.

- 1) Til at opfange personer skal der bruges sele, som har remme om bryst, liv, sæde og lår. Selen skal fastgøres, så personen hænger lodret efter et fald.
- 2) Til at hindre personer i at falde bruges støttebælte, som har rem om livet og befæstigelsessteder til line. Linen skal fast-

gøres, så den er stram hele tiden, således at der ikke kan ske et frit fald. Et støtdebælte vil ikke være tilstrækkeligt ved et frit fald.

- 3) Til at sænke eller løfte personer, fx i brønde og tanke, skal der bruges sele med line. Sele med skridtrem må ikke bruges til at standse fald.

Standstning af frie fald skal normalt ske med støddæmpning, der kan være automatiske fangindretninger, glidere, hvis de har støddæmpende virkning, eller energiabsorber. Brug alene af sele og line til standstning af frie fald uden støddæmpning må ikke finde sted.

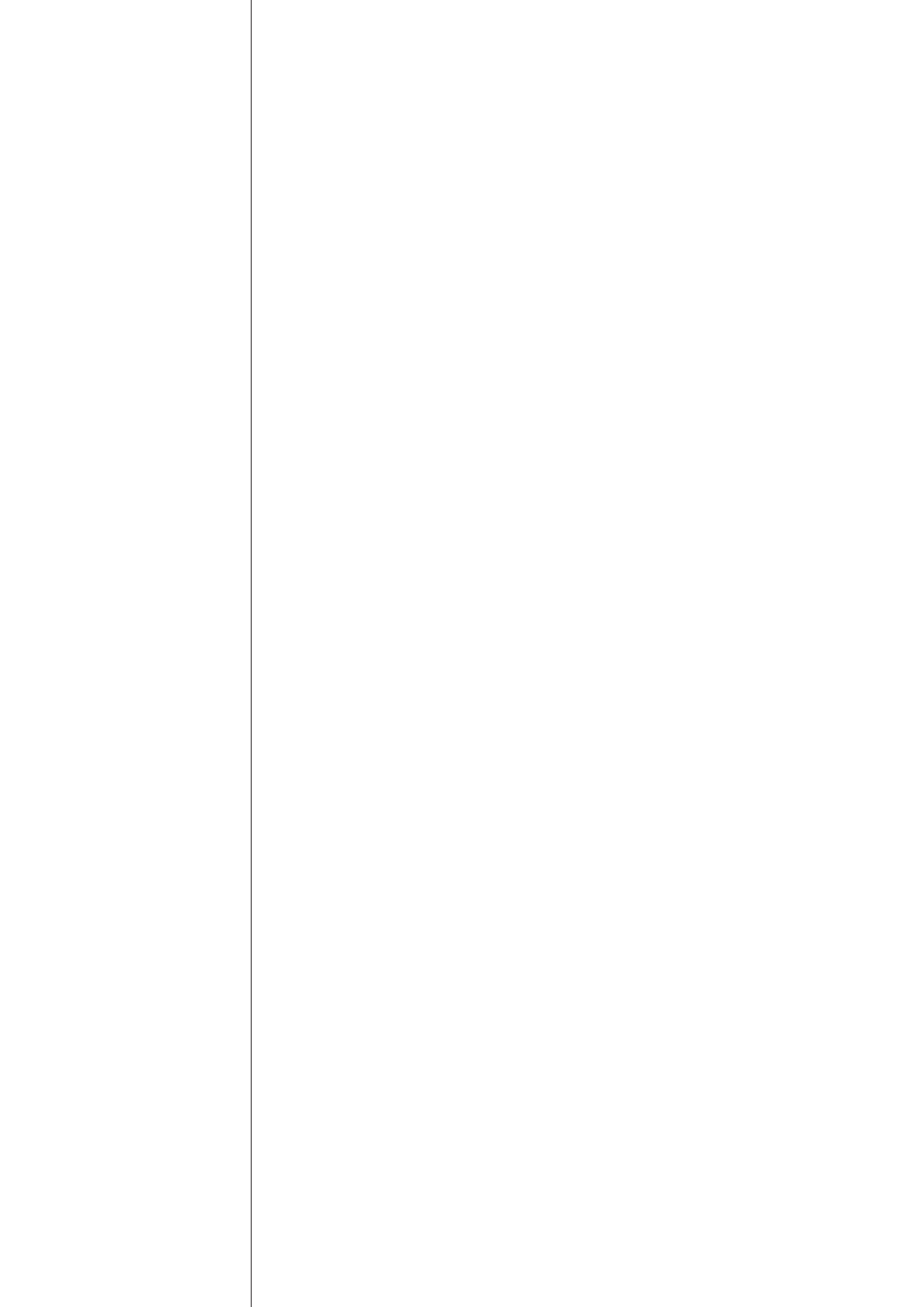
En line skal fastgøres rigtigt. En person kan ikke afbøde et fald. Der skal vælges et fastgørelsespunkt, der kan tåle den belastning, det bliver udsat for ved et fald, og det skal begrænse længden af et frit fald.

Det er meget vigtigt for denne type personlige værnemidler, at de bliver vedligeholdt rigtigt. Den bedste sikkerhed for, at faldsikringsudstyret fungerer efter hensigten, fås ved altid at kontrollere udstyret grundigt forinden brug. Det skal kontrolleres, om faldsikringsudstyret er helt og funktionsdygtigt. Fangindretninger og glidesystemer skal være rene for at kunne fungere. Udstyret skal ses efter for trådbrud, revner, slid eller anden beskadigelse. Opdages der fejl, som forringer udstyrets funktion, skal det kasseres eller repareres, så det bliver fuldt funktionsdygtigt. Udstyret skal kasseres, hvis det har været brugt til at standse et fald.

Litteratur

- Balieu E. Kort og godt om åndedrætsværn. Arbejdsmiljøfondet, 1996.
- Brauer L. Handbuch Atemschutz. Ecomed Verlagsgesellschaft m.b.H. 1980.
- Bruun O. Sikkerhedskataloget. Arbejdsmiljøfondet, 1983.
- Hoppe-Rudel. Handbuch Persönliche Schutzausrüstungen. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, 1984.
- Kindholm A-S, Holmer I. Andingsmodstånd vid arbete med filtermask. Arbete och Hälsa 1975:13.
- Arbejdstilsynets meddelelser og anvisninger om personlige værnemidler.
- Harmoniserede europæiske standarder om personlige værnemidler.

Vedrørende leverandører af personlige værnemidler: Se i fagbogen under “Arbejderbeskyttelse” og “Sikkerhedsmateriel”.



Arbejdsplads- vurdering

P. Langaa Jensen

Arbejdspladsvurdering

Dette kapitel beskæftiger sig med Arbejdspladsvurdering (forkortet APV). Det er et lovkrav, at det skal gennemføres i danske virksomheder i forbindelse med planlægning og tilrettelæggelse af arbejdet.

I kapitel 12 er de centrale elementer i en arbejdshygiejnisk eksponeringsvurdering for luftforureninger gennemgået. De kan opfattes som anvisninger på, hvordan den viden, der er præsenteret i bogens øvrige kapitler, kan bruges af en arbejdshygiejniker i praksis. Med emnet arbejdspladsvurdering vender vi os mod de aktiviteter, der gennemføres i virksomheden evt under medvirken af en arbejdshygiejniker eller en anden arbejdsmiljøprofessionel. I det følgende vil lovgrundlaget for arbejdspladsvurdering blive gennemgået. Arbejdstilsynets anbefaling af, hvordan APV kan gribes an, ridses op, og endelig præsenteres nogle begreber, der kan anvendes af en arbejdsmiljøprofessionel i forbindelse med konsulentopgaver vedrørende arbejdspladsvurderinger.

Tabel 14.1. Principper for forebyggelse.

Et prioriteret sæt af kriterier for forebyggelse	
a)	Forhindring af risici
f)	Erstatning af det, der udgør en sundhedsmæssig risiko, med noget, der er ufarligt eller mindre farligt
c)	Bekæmpelse af risici ved kilden til problemerne
h)	Vedtagelse af foranstaltninger til kollektiv beskyttelse frem for foranstaltninger til individuel beskyttelse
i)	Hensigtsmæssig instruktion af arbejdstagerne
Forhold, der skal tages i betragtning ved forebyggelse	
b)	Vurdere risici, som ikke kan forhindres
d)	Tilpasse arbejdet til mennesket, navnlig for så vidt angår udformningen af arbejdspladsen samt valg af arbejdsudstyr og arbejds- og produktionsmetoder
e)	Tage hensyn til den tekniske udvikling
g)	Planlægge forebyggelsen for at gøre den til en sammenhængende helhed, inden for hvilken forebyggelsen omfatter sociale relationer, teknik, tilrettelæggelse af arbejdet, arbejdsforhold og påvirkning fra faktorer i arbejdsmiljøet
Bogstaverne henviser til den oprindelige rækkefølge i direktivet	

Lovgrundlaget for arbejdspladsvurderinger

Kravet om arbejdspladsvurdering og efterfølgende foranstaltninger er formuleret i bekendtgørelsen om arbejdets udførelse. Baggrunden for dette krav findes i et direktiv fra EU.

EU's rammedirektiv

I 1989 vedtog Ministerrådet i EU et *direktiv om iværksættelse af foranstaltninger til forbedring af arbejdstagernes sikkerhed og sundhed under arbejdet (direktiv 89/391/EØF)* - også kaldet rammedirektivet.

I direktivets artikel 6 anføres:

”Som led i arbejdsgiverens ansvar træffer denne de nødvendige foranstaltninger til beskyttelse af arbejdstagernes sikkerhed og sundhed ... (i denne forbindelse)... skal arbejdsgiveren ... vurdere risici for arbejdstagernes sikkerhed og sundhed.”

og at:

“Arbejdsgiveren iværksætter de nødvendige foranstaltninger til beskyttelse af arbejdstagernes sikkerhed og sundhed på grundlag af generelle forebyggelsesprincipper ...”

De generelle forebyggelsesprincipper præsenteres i direktivet i en nummereret rækkefølge. Princippet bag denne listning fremstår ikke klart.

Men principperne kan opdeles i to grupper, efter hvad de beskæftiger sig med:

- ◆ Nogle af principperne udgør et *sæt af kriterier* til brug ved udvikling og prioritering af forebyggende foranstaltninger.
- ◆ Andre af principperne peger på nogle af de *forhold, der skal tages i betragtning* i forbindelse med udviklingen af forebyggende foranstaltninger.

I overvejelser om forebyggende foranstaltninger gælder det således om at finde løsninger, der lever op til pkt a: forhindre risici, og ikke nøjes med fx individuel beskyttelse (pkt h). Vedr. pkt i: instruktion, skal det dog understreges, at det i alle arbejdssituatio-

ner skal sikres, at de ansatte får den nødvendige instruktion og uddannelse. Men forebyggelsesprincipperne fastslår, at man i forebyggelsen ikke bør nøjes med dette.

Særdirektiver med specielle bestemmelser om arbejdspladsvurdering

Rammedirektivet suppleres med særdirektiver om specielle arbejdspladsforhold. Således foreligger der bl.a. direktiver om arbejdsforhold for gravide, for arbejde med skærmterminaler og for manuel håndtering af byrder. I nogle af disse særdirektiver er der mere præcise angivelser af, hvad der skal indgå i en arbejdspladsvurdering. Dette fremgår af følgende tre eksempler:

Tabel 14.2. Særdirektiver med bestemmelser om arbejdspladsvurdering.

Direktiv vedrørende	Krav til arbejdspladsvurderingen
Gravide	Skal indeholde en vurdering af arten, omfanget og varigheden af samtlige påvirkninger (jf en vedlagt liste), arbejdstageren udsættes for
Skærmterminaler	Skal indeholde en vurdering af, hvordan sikkerheds- og sundhedsforholdene påvirkes, især for så vidt angår evt risiko for synet, fysiske problemer og psykiske belastninger
Manuel håndtering af byrder	vurdering ... under hensyntagen til byrdens beskaffenhed

Bekendtgørelsen om arbejdets udførelse

I den danske lovgivning bliver arbejdsgiveren også pålagt ansvaret for et sikkert og sundt arbejdsmiljø. Da direktivet fremkom, var der i den danske lovgivning hverken formelle krav om en sådan vurdering eller faste principper for den forebyggende indsats. Derfor blev *Bekendtgørelse om arbejdets udførelse* ændret, så den danske lovgivning opfyldte direktivets krav. Der blev stillet krav til arbejdsgiveren om at:

- (1) foretage en arbejdspladsvurdering og
- (2) iværksætte de nødvendige foranstaltninger formuleret i bekendtgørelsen (nr. 867 af 13. oktober 1994) i §4.

Heri angives det først i stk 1, at:

“Arbejdet skal i alle led planlægges og tilrettelægges således, at det kan udføres sikkerheds- og sundhedsmæssigt fuldt forsvarligt.”

I §4 stk 1 i bekendtgørelse om arbejdets udførelse skrives videre:

“Det skal iagttages, at der ikke foreskrives eller forudsættes anvendt konstruktioner, planudformninger, detaljløsninger og arbejdsmetoder, der kan være farlige for eller i øvrigt forringe de ansattes sikkerhed og sundhed ved arbejdets udførelse. Endvidere skal det sikres, at de samlede påvirkninger i arbejdsmiljøet på kort eller lang sigt ikke forringer de ansattes sikkerhed og sundhed.“

Dette er i overensstemmelse med selve lovens formål.

I stk 2 kommer kravet om arbejdspladsvurdering:

”Planlægningen og tilrettelæggelsen af arbejdet skal desuden ske under hensyntagen til forebyggelsesprincipper. Den herunder *foretagne vurdering* skal i den udstrækning, den har særlig betydning for sikkerhed og sundhed under arbejdet, foreligge i skriftlig form.”

Dette følges op i §4 stk. 4, hvor det anføres:

”På grundlag af den foretagne vurdering træffer arbejdsgiveren de foranstaltninger, som er nødvendige. Iværksættelsen skal ske, inden arbejdet påbegyndes.”

Vægten ligger således på at få forebyggelsesprincipperne indarbejdet i de beslutningsprocesser, der knytter sig til planlægning og tilrettelæggelse af arbejdet. Arbejdspladsvurdering indgår som et led deri.

I bekendtgørelsen peges der også på, hvem der skal involveres i arbejdet. I §6 siges det, at:

”Virksomhedens sikkerhedsorganisation skal deltage i planlægningen af arbejdet jævnfør §4 ... I virksomheder, hvor der ikke skal oprettes sikkerhedsorganisation, skal de ansatte deltage i planlægningen af arbejdet jævnfør §4 ...”

Desuden siges det i §22:

“For at sikre at arbejdsmiljøet til stadighed er sikkerheds- og sundhedsmæssigt fuldt forsvarligt, skal arbejdsgiveren sørge for,

- 1) at vurderingen forefindes på virksomheden og revideres, når det har betydning for sikkerhed og sundhed under arbejdet
- 2) at sagkyndig bistand indhentes, når det er nødvendigt for at konstatere, at arbejdsforholdene er sikkerheds- og sundhedsmæssigt forsvarlige.”

Kravene til arbejdsgiveren om arbejdspladsvurdering

Ud fra bekendtgørelsen om arbejdets udførelse kan det fastslås, at det således er et retskrav til arbejdsgiverne, at

- 1) der skal foretages en arbejdspladsvurdering,
- 2) den skal indeholde alle forhold af betydning, herunder sociale relationer, arbejdets tilrettelæggelse og teknik,
- 3) denne vurdering skal, hvis der opdages problemer, føre til foranstaltninger efter nogle forebyggelsesprincipper,
- 4) der er bestemte former for foranstaltninger, der bør tilstræbes frem for andre, og der er en række forhold, der skal tages højde for i forbindelse med udviklingen af disse foranstaltninger,
- 5) det skal ske i forbindelse med planlægningen og tilrettelæggelsen af et arbejde,
- 6) sikkerhedsorganisationen og/eller de ansatte skal deltage i dette arbejde, men det er arbejdsgiverens ansvar, at det bliver gjort,
- 7) der skal indhentes sagkyndig bistand, hvis man er usikker på, om forholdene er i orden, eller hvis man i virksomheden ikke har viden nok om, hvordan problemerne løses,
- 8) sikkerhedsorganisationen skal inddrages i overvejelserne over, hvilken særlig bistand der skal indhentes,
- 9) arbejdspladsvurderingen skal findes på virksomheden og være tilgængelig for de ansatte,
- 10) arbejdspladsvurderingen skal revideres, når der er sket ændringer i arbejdet, arbejdsprocessen eller arbejdspladsen af betydning for sikkerhed og sundhed.

Der stilles ikke specielle krav om, hvordan denne vurdering skal gennemføres. Men det anføres i §4 stk 3, at:

“Direktøren for Arbejdstilsynet fastsætter retningslinier for det nærmere indhold af den vurdering, der skal foretages ... og der tages herunder hensyn til virksomhedernes art og størrelse.”

Arbejdstilsynets anbefaling til APV

På dette grundlag er Arbejdstilsynet derfor kommet med retningslinier for, hvordan det *kan* gøres. Denne anbefaling er samlet i:

- ◆ At-meddelelse nr. 4.00.1, august 1994, *Arbejdspladsvurdering* og
- ◆ At-anvisning nr. 4.0.0.1, august 1994, *Vurdering af sikkerheds- og sundhedsforhold på arbejdspladsen (arbejdspladsvurdering)*.

Meddelelsen vejleder om, hvorledes en arbejdspladsvurdering kan foretages, mens anvisningen giver de nærmere retningslinier derfor. Anvisningen indeholder således en mere udførlig beskrivelse end meddelelsen. I den forbindelse gives der en vejledning i brugen af to skemaer, som Arbejdstilsynet har udviklet som deres anbefaling for, hvordan en arbejdspladsvurdering kan gribes an. I det følgende gennemgås de væsentligste elementer i Arbejdstilsynets anbefaling baseret på anvisningen. Det anbefales i denne forbindelse at se skemaerne i anvisningen.

Hvad skal der gøres?

Nøglebegreberne for Arbejdstilsynets anbefaling er "helhed" og "systematik". Systematikken etableres, ved at man følger en bestemt proces. Det anbefales, at man bygger en arbejdspladsvurdering op i et forløb med følgende fem trin:

- Fase 1: Identifikation og kortlægning af påvirkninger og farer
- Fase 2: Beskrivelse af de konstaterede påvirkninger, farer og risici
- Fase 3: Undersøgelse og vurdering af årsagerne til påvirkninger, farer og risici
- Fase 4: Valg af foranstaltninger
- Fase 5: Regelmæssig kontrol af arbejdsmiljøet

Om fase 1: I den første fase af processen skal man have identificeret, hvilke sundhedsbelastninger og sikkerhedsrisici de ansatte er udsat for, samt få et første indtryk af deres omfang.

Her lægger Arbejdstilsynet vægt på, at man får et overblik over helheden, forstået som samtlige arbejdsmiljøproblemer i virksomheden ved alle arbejdsmæssige aktiviteter. De anbefaler derfor, at en arbejdspladsvurdering skal indeholde en systematisk gennemgang og undersøgelse af alle former for arbejdsgange, arbejdsprocesser og -metoder, tekniske hjælpemidler, stoffer og materialer,

så der etableres et overblik over virksomhedens serviceydelser eller produktion og dermed det samlede arbejdsmiljø.

I denne forbindelse peger tilsynet på følgende forhold:

Psykiske forhold

- Arbejdstid
- Tidspres
- Ensformighed
- Indflydelse
- Alenearbejde
- Andre psykiske forhold

Kemiske forhold

- Stoffer og materialer
- Processer, der udvikler stoffer og materialer
- Andre kemiske forhold

Fysiske forhold

- Arbejdslokalet og arbejdspladsens omgivelser
- Støj og vibrationer
- Belysning
- Andet

Biologiske forhold

- Mikroorganismer mv
- Andre biologiske forhold

Ergonomiske forhold

- Tungt arbejde
- Ensidigt gentaget arbejde
- Arbejdsstillinger
- Andet

Ulykkesfarer

- Arbejdsmaskiner
- Håndværktøj
- Andre tekniske hjælpemidler
- Intern transport
- Håndtering
- Eksplodings- og brandfare, ætsninger og forgiftninger
- Andet

Det er tanken, at man skal gennemgå alle disse forhold for hver arbejdsopgave eller ensartede grupper af arbejde. Til støtte for det er der for hvert forhold peget på, hvad der især kan give anledning til påvirkninger og farer. Eksempelvis som anført i tab. 14.3:

Typiske forhold	Hvad kan især give anledning til påvirkninger og farer?	Hvad skal man især iagttage i forbindelse med konstaterede påvirkninger og farer?
Psykiske forhold: Tidspres	Om ansatte skal anstrenge sig ekstra for at klare arbejdet	Akkordarbejde, enkelt- eller gruppeakkord, tempopres, varighed af tidspreset
Fysiske forhold: Belysning	Dagslystilgang, belysningsforholdene ved gangarealer, arbejdsmaskiner mv	Tilstrækkeligt dagslys, belysningsstyrke ved gangarealer og maskiner, ingen blænding mv
Ergonomiske forhold: Arbejdsstillinger	Siddende, gående, stående, liggende, knæliggende og hugsiddende arbejde	Løftehøjde, knæliggende, foroverbøjede og vredne arbejdsstillinger, pauser, udsættelsens varighed

Om fase 2: Her skal der foretages en beskrivelse af de konstaterede påvirkninger, farer og risici. Her peger Arbejdstilsynet på, at man især bør se nærmere på:

- ◆ hvilke farer og påvirkninger der er konstateret
- ◆ hvilke risici de kan bevirke, dvs hvilke konsekvenser de kan have for sundheden og sikkerheden
- ◆ omfanget af risici, dvs hvor omfattende eller alvorlige konsekvenserne bliver
- ◆ hvorledes de giver sig udslag i forbindelse med arbejdet, arbejdsmetoderne, -processerne mv
- ◆ hvem og hvor mange ansatte der udsættes.

I de to første faser i APV-processen i Arbejdstilsynets anbefaling gennemføres der således en risikovurdering. Den skal være helhedsorienteret, idet den som nævnt skal dække alle arbejdsmiljøproblemer i virksomheden. Der peges også på, at man skal sikre, at arbejdet og arbejdspladsen er tilpasset mennesket. Desuden skal alle forhold af betydning tages med i betragtning, bl.a. de sociale relationer, tilrettelæggelsen af arbejdet og teknikken. Endelig skal risici vurderes i forhold til alle aspekter af driften. Det drejer sig om:

- ◆ Normal drift
 - En vurdering skal dække de forskelle i arbejdspress, der har at gøre med bestemte opgaver (fx statusopgørelser), med klienterne, patienter eller kunder (fx terminsbetalinger) og med personalet (fx afholdelse af ferier)
- ◆ Unormal drift
 - Vurderingen skal medtage alle forhold, som giver unormal drift, fx sygdom og tekniske problemer med terminaler o.l.
- ◆ Reparation og vedligehold
 - Heri indgår en vurdering af arbejdsforholdene i forbindelse med såvel planlagt reparation og vedligehold som uforudsete

Tabel 14.3. Eksempler på påvirkninger og farer.

situationer. Eksempelvis kan nævnes systemnedbrud i forhold til terminalarbejde og bygningsmæssigt vedligeholdelsesarbejde i forbindelse med sagsbehandlerarbejde.

◆ Rengøring.

At anlægge en helhedsbetragtning betyder således i Arbejdstilsynets anbefalinger, at man inddrager alle arbejdsmiljøproblemer, alle normale og unormale drifts- og arbejdssituationer og ser dem i tilknytning til arbejdsstedets indretning og arbejdets udførelse.

Om faserne 3-5: De øvrige faser ofres ikke så megen tekst i Arbejdstilsynets vejledning. Men for hvert forhold, der har vist sig at kræve yderligere undersøgelser eller foranstaltninger, anbefaler de, at man foretager følgende:

- 1) Beskrivelse af arbejdsmiljøforholdet
hvor de aspekter, der allerede er nævnt under fase 2, inddrages.
- 2) Undersøgelse af årsager til risici og belastninger
hvor det gælder om at opfange de forskellige, samvirkende årsager til problemer.
- 3) Valg af løsninger
hvor man i forhold til de forskellige årsager overvejer, hvilke foranstaltninger der kan sættes ind, og hvilke man faktisk vælger at sætte ind. Her skal forebyggelsesprincipperne med ind i overvejelserne.
- 4) Kontrol af forholdene
hvor der etableres en systematik, så man får fulgt op på, om de foranstaltninger, man har gennemført, er effektive i forhold til problemet. I forbindelse med denne kontrol kan man også blive opmærksom på, om der er sket ændringer, så en ny arbejdspladsvurdering må gennemføres.

Skriftlighed

I retsgrundlaget - bekendtgørelsen - anføres det, at:

”Den ... foretagne vurdering skal i den udstrækning, den har betydning for sikkerhed og sundhed under arbejdet, foreligge i skriftlig form ...”

I anvisningen præciseres, hvornår der normalt skal foreligge en skriftlig arbejdspladsvurdering. Det drejer sig om:

- ◆ Virksomheder, der er omfattet af pligten til oprettelse af eller tilslutning til BST
- ◆ Virksomheder, hvor særlige arbejdsprocesser og metoder, arbejdsgange mv kræver godkendelse af Arbejdstilsynet (kapitel 6 virksomheder)
- ◆ Særlige arbejdsmiljøområder, arbejdsforhold og -processer, hvor der er givet særlige regler om arbejdspladsvurdering (fx kræftfremkaldende stoffer og ved byggepladser)
- ◆ Virksomheder, hvor der under hensyn til arbejdets art i arbejdsmiljøregler stilles krav om gennemførelse af en særlig arbejdspladsvurdering.

Omfanget og formen på det skriftlige materiale vil bl.a. afhænge af karakteren og omfanget af arbejdsmiljørisiciene samt virksomhedens størrelse og organisering. Det anføres, at det afgøres af virksomheden i samarbejde med de ansatte eller sikkerhedsorganisationen. Dog er meget små virksomheder fritaget.

Som nævnt er lovkravet, at arbejdspladsvurderingen skal findes på virksomheden og være tilgængelig for de ansatte. Dette krav imødekommes lettest, ved at vurderingerne foreligger i skriftlig form. Men uanset den danske lovgivnings krav til skriftlig arbejdspladsvurdering er det dog vanskeligt at forestille sig, at man kan få etableret et systematisk arbejdsmiljøarbejde, uden at vurderingerne kommer på skrift. Ud fra denne synsvinkel er det væsentlige således ikke at diskutere, om det skal være skriftligt eller ej. Det drejer sig om at få valgt form og indhold på det skriftlige materiale, så det passer til virksomheden, så det ikke bliver unødigt bureaukratisk, og så det naturligt indgår i planlægningen og tilrettelæggelsen af virksomhedens eller institutionens daglige drift.

Hvem skal gøre det?

Som allerede nævnt er det arbejdsgiverens pligt at sørge for, at der gennemføres arbejdspladsvurderinger. Sikkerhedsorganisationen og de ansatte skal inddrages deri. Og der skal, hvis det er nødvendigt, hentes særlig sagkyndig bistand udefra.

I anvisningen uddybes dette. Der peges på, at de personer, der udfører en arbejdspladsvurdering, skal have de fornødne kvalifikationer. De skal være i stand til at anvende principperne for en arbejdspladsvurdering og skal kunne:

- ◆ identificere sundheds- og sikkerhedsproblemerne
- ◆ vurdere og prioritere behovet for ændringer
- ◆ komme med forslag til mulige løsninger

- ◆ identificere situationer, hvor der er behov for assistance fra særligt sagkyndige.

Den sagkyndige bistand kommer på tale, når man i virksomheden ikke selv er i stand til at gennemføre dele af arbejdspladsvurderingen. Det kan dreje sig om:

- ◆ Arbejds miljømæssige forhold man ikke selv er i stand til at vurdere sundhedsproblemerne ved. Her er det en ekspert, der supplerer med konkret viden, sammen med de oplevelser af gener og problemer, de ansatte har.
- ◆ Vurdering af forskellige foranstaltninger. Igen er det en ekspert med konkret viden, men en viden, der må sammenholdes med den viden, der er hos de personer, der har det daglige kendskab til arbejdet.
- ◆ Forhold, hvor der kan være problemer i samarbejdet omkring arbejdsmiljøet. Her er det en proceskonsulent, der er brug for.

Sikkerhedsorganisationen *skal* inddrages i forbindelse med en henvendelse til særligt sagkyndige. BST er en typisk samarbejdspartner, men det kræver, at BST'en har personer, der er kvalificerede inden for de relevante områder.

Overvejelser knyttet til arbejdspladsvurdering

Som det er fremgået, er kravet i bekendtgørelsen om arbejdets udførelse om arbejdspladsvurdering relativt simpelt. Der fokuseres på, at planlægningen og tilrettelæggelsen af arbejdet skal ske under hensyntagen til forebyggelsesprincipperne. I forbindelse hermed skal der foretages en arbejdspladsvurdering. Arbejdstilsynets anvisning er kun en anbefaling af, hvordan dette kan gøres. Det kan gøres på mange andre måder. For en arbejdsmiljøprofessionel som fx en arbejdshygiejniker er det i forbindelse med dens rådgivning til virksomheden nødvendigt at overveje, hvilke(n) tilgange man vil anbefale. Sådanne overvejelser kan tage udgangspunkt i begreberne "risikoopfattelse" og "lokal arbejdsmiljø-teori".

Risikoopfattelser

I forbindelse med arbejdspladsvurderinger kan begrebet "risici" defineres som alle forhold i arbejdet, der kan have sundheds- eller sikkerhedsmæssige konsekvenser for de ansatte. Det første centrale element i en arbejdspladsvurdering er identifikation og kortlægning af sådanne risici. Men risiko er ikke et objektive begreb. At finde risici og blive enige om dem er en social proces, hvori indgår mange aktører. De forskellige aktører har ikke nødvendigvis samme opfattelse af, hvad der i et givet job er en belastning for sundheden. Forskellige opfattelser kan give anledning til forskellige foranstaltninger. Endelig må det fastslås, at bestemte aktørers risikoopfattelse ikke nødvendigvis er bedre eller rigtigere end andres.

I en analyse af sundheds- og sikkerhedsrisici på arbejdspladser kan der være tale om tre principielt forskellige risikoopfattelser:

1. Juridisk risikoopfattelse

Denne opfattelse af, hvad der udgør risici for sundhed og sikkerhed, kommer til udtryk i love og bekendtgørelser og i den praksis, Arbejdstilsynet udvikler på dette grundlag. Der indgår mange grupper i at få denne opfattelse etableret. Det drejer sig bl.a. om politikere, statslige embedsmænd, personer repræsenterende arbejdsmarkedets organisationer og forskere.

Der står magt bag denne risikoopfattelse, idet den angiver den aktuelle retstilstand. Til gengæld er den præget af, at der i vid udstrækning skal være enighed blandt eller i hvert fald accept fra de væsentligste interessegrupper i samfundet. Det betyder ofte, at det tager lang tid, før der er enighed om aktuelle risici. Reglerne kommer ofte først, når der er sket skader. "... Der skal lig på bordet, før der laves regler ..."

2. Ekspert-risikoopfattelse

Denne risikoopfattelse kommer til udtryk i de synspunkter og vurderinger, eksperter anlægger ved rådgivning (o.l.) i forbindelse med arbejdsforhold. Typiske ekspertgrupper i forbindelse med arbejdspladsvurderinger er det faglige personale i BST og andre konsulenter på arbejdsmiljøområdet som fx sundhedspersonale, teknikere og arbejdspsykologer.

Opfattelsen bygger på forskning og meget brede, systematiserede erfaringer. Man kan således dokumentere forhold, der udgør reelle risici, uden at det nødvendigvis opleves af ansatte, der er udsat for dem. Til gengæld er langt fra alle risikoforhold grundigt undersøgt pga. begrænsede ressourcer til forskning og undersøgelser. Desuden kommer forskningen ofte "i baghjulet" på udviklingen i arbejdet. Der indføres nye stoffer, ny teknik og nye

arbejdsorganisatoriske former, og først når de har været anvendt et stykke tid, bliver de taget op i forskningen.

3. Lokal risikoopfattelse

Denne risikoopfattelse kommer til udtryk på arbejdspladsen i ansattes og ledelsens vurderinger og opfattelser samt deres diskussioner af gode og dårlige sider ved arbejdet. Desuden kommer den reelt til udtryk i de arbejdsmiljømæssige foranstaltninger, som gennemføres på virksomheden.

De lokale risikoopfattelser bygger på et detaljeret kendskab til, hvad der faktisk foregår på arbejdspladsen. Men de kan også være udtryk for, at man har vænnet sig til vilkår, der reelt udgør risici for sundhed og sikkerhed. Dette kan komme til udtryk i et Tarzan-syndrom: de stærke mænd, der klarer alt, eller et Florence Nightingale-syndrom: de omsorgsfulde kvinder, der slet ikke tænker på sig selv.

Der er forhold, hvor der er enighed om risikoopfattelserne såvel inden for hver enkelt opfattelse som mellem de forskellige opfattelser. Eksempelvis er der bred enighed om, at manuel håndtering af store, uhåndterlige byrder (som fx kraftige, syge, meget lidt selvhjulpne patienter) kan give anledning til voldsomme belastninger, der udgør en risiko for skader på bevægeapparatet.

Men der er mange forhold, hvor der ikke behøver at være enighed hverken på tværs af de forskellige risikoopfattelser eller inden for en risikoopfattelse. Som eksempler kan nævnes opfattelsen af begrebet "termisk indeklima" (= er der for varmt eller for koldt på arbejdspladsen):

- ◆ Juridisk risikoopfattelse: her kan der findes en række anbefalede værdier for temperatur og lufthastighed.
- ◆ Ekspert-risikoopfattelse: her sammenfattes den viden, man har, i en ret kompliceret formel, hvori bl.a. indgår, hvor hårdt man arbejder rent fysisk, hvilket tøj man har på, kulde- eller varme-stråling, vindhastighed og retning, rumtemperatur (se kapitel 5).
- ◆ Lokal risikoopfattelse: "Nogen synes, her er for koldt, og en hel del er ligeglade, for sådan har det jo altid været."

Forskelle i risikoopfattelser giver ofte anledning til konflikter. Det har været tydeligt i medierne, når eksperter indbyrdes diskuterer, fx om et bestemt stof er skadeligt.

Ofte findes der en lokal risikoopfattelse på en virksomhed, uden at man er sig det videre bevidst. Den udvikler sig i den daglige snak om arbejdet. Der kan være og er ofte store forskelle i de lokale risikoopfattelser. Der findes således ikke én lokal risi-

koopfattelse. Typisk er der mange forskellige delvis overlappende og modstridende opfattelser.

Men risikoopfattelser udvikler sig over tiden. Dette sker inden for alle tre opfattelser på basis af synspunkter, diskussioner og erfaringer udviklet såvel inden for rammerne af egen risikoopfattelse som på basis af udviklinger inden for de andre forståelser. For den proces, der er knyttet til en arbejdspladsvurdering, betyder det for det første, at arbejdspladsvurderingen er et pædagogisk værktøj. Gennem deltagelse i processen udvikles de involveredes forståelse. For det andet er det nødvendigt med jævne mellemrum at foretage nye arbejdspladsvurderinger af arbejdspladser, der tidligere er blevet vurderet. Nye forståelser kan afdække nye sider af arbejdet.

Lokal arbejdsmiljøforståelse

Man skal altså være opmærksom på, hvilken risikoopfattelse man "får fat i" med det eller de værktøjer, man anvender i en arbejdspladsvurdering. Men hvad er egentlig en risikoopfattelse? Her kan begrebet "en lokal arbejdsmiljøforståelse" anvendes. Den lokale arbejdsmiljøforståelse er den fælles forståelse, der findes blandt en gruppe mennesker af deres arbejdsmiljø. Den indeholder fire elementer:

- ◆ et *oplevelseselement*, som består af de forestillinger og erfaringer man har om, hvilke sider af arbejdsmiljøet der opleves problematisk
- ◆ et *teoretisk-analytisk element*, som består af antagelser om, hvad der forårsager de problematiske forhold i arbejdet
- ◆ et *juridisk-moralsk element*, som består af opfattelser af, hvilke legitime krav (dvs hvad man synes er rimeligt) eller legale krav (dvs hvad man mener loven kræver) der kan stilles til arbejdsmiljøet og til forbedringer
- ◆ et *handlingselement*, dvs forestillinger om, hvorvidt det er muligt at få løst problemer, og i så fald hvad man konkret skal gøre.

Oplevelseselementet er udgangspunktet for at etablere en lokal arbejdsmiljøforståelse. Men oplevelsen af en risiko eller et problem er ikke nok til at få igangsat handlinger til reduktion eller fjernelse af risici. De øvrige elementer må udvikles.

Men hvordan etableres en lokal arbejdsmiljøopfattelse? Der skal for det første ske en udvikling af et sprog, et begrebssæt, der muliggør en erfaringsudveksling om og diskussion af de oplevelser og erfaringer, man har haft med arbejdsmiljøet, dvs et eller

flere af elementerne af den lokale arbejdsmiljøforståelse. Derfor er det for det andet nødvendigt at få etableret fælles diskussioner mellem de personer, der er involveret i arbejdspladsvurderinger. Dette får for det tredje konsekvenser for de metoder, værktøjer og hjælpemidler, man anvender. Man kan ikke blot overtage andres. Der må ske en selvstændig bearbejdelse af metodernes indhold og form. De skal således laves selv eller tilpasses de personer og forhold, der er på virksomheden. Desuden skal der indhøstes erfaringer med dem. Ofte vil det medføre ændringer og justeringer.

Egen og fremmed analyse

Forskellige personer har ikke nødvendigvis samme arbejdsmiljøopfattelse. Folk, der dagligt arbejder på en arbejdsplads, vurderer arbejdsmiljøet anderledes end en person, der kommer "udefra". Det kan være fra en anden afdeling i virksomheden eller fra en anden virksomhed, en sikkerhedsgruppe, der er "langt væk" fra det pågældende område, eller eksterne sagkyndige.

Undersøgelser tyder på, at disse "fremmede" danner sig et billede af arbejdsmiljøproblemerne, hvor:

- ◆ Problemerne fremtræder som "problem-punkter", der bedst registreres teknisk. Fx et indeklima-problem der kommer til udtryk ved snavs, forkerte temperaturer og træk. Alle forhold kan og bør ideelt set registreres med mere eller mindre avancerede måleinstrumenter.
- ◆ Der er relativt få årsager til problemerne, og de kan identificeres klart. Fx er rengøringen for dårlig, temperaturstyringen i bygningen mangelfuld, og for mange døre og vinduer står åbne.
- ◆ Løsningerne kan ofte klart identificeres som tekniske. Fx bedre rengøring og ordentlig temperaturstyring.
- ◆ Begrundelsen for bedømmelsen og foranstaltningerne hentes ofte i lovgivningen og faglige normer og standarder.
- ◆ Man tager ikke stilling til, hvordan og af hvem foranstaltningerne bliver ført ud i livet. Man afleverer sin rapport med løsningsforslagene og forventer, at modtageren står for det videre arbejde.

Heroverfor kan man sætte den lokale vurdering, der har en anden karakter:

- ◆ Problemerne er ikke kun knyttet til afgrænsede "punkter". De hænger sammen med arbejdets karakter, arbejdsprocessens forløb og den organisatoriske ramme, hvori man arbejder, samt

det sociale miljø, hvori man indgår. Snavset er et problem, når det regner eller sner udenfor, og når eleverne kommer tilbage fra det store frikvarter efter frokostpausen. Det er også på dette tidspunkt, at varmen i lokalerne sammen med lugten er "ret træls". Man lufter ud i det store frikvarter, men det giver kulde, og eleverne "de søde pus" smækker dørene op uden at tænke på at lukke dem igen.

- ◆ Årsagerne bliver tilsvarende et komplekst net af årsager, der indeholder mange forskellige forhold omkring arbejdet.
- ◆ På løsningssiden bliver det ofte svært at pege på konkrete foranstaltninger. Man fornemmer, at simple tekniske løsninger ikke vil kunne fungere i de komplekse sammenhænge. Men man ved ikke klart, hvad man skal stille op.
- ◆ Begrundelsen for at bringe sagerne op er, at man er ved at være træt af det (og af ledelsen, der aldrig får gjort noget ved noget). Det er ikke rimeligt, at forholdene er sådan, men man tror ikke på, at loven dækker området, og hvis den gør, er der ingen, der bliver gjort ansvarlig for det.
- ◆ Man ved ikke, hvordan man får problemet behandlet.

Forskellen mellem de to analyseformer kan sammenfattes som vist i følgende skema:

Analyseform	Beskrivelsesmåde	Problemopfattelse
Fremmedanalyse	Tekniske beskrivelser af "problem-punkter". Konkret i diagnosen og i forslaget til foranstaltninger	Knyttet til arbejdets fysiske omgivelser i afdelingen
Egenanalyse	Oplevelsesbaseret problemskildring af arbejdssituationen. Meget lidt konkret i forslag til foranstaltninger	Knyttet til såvel arbejdets tekniske som organisatoriske omgivelser samt til det sociale nærmiljø

Det er således væsentligt at være opmærksom på, hvem der i praksis skal gennemføre eller har gennemført en arbejdspladsvurdering. Der kan være centrale forskelle i den måde, hvorpå risiciene opfattes, og i den måde, hvorpå problemerne analyseres og foreslås løst.

Det skal understreges, at hverken fremmed- eller lokalopfattelser behøver at se ud som beskrevet. I mange uddannelser (såvel grund- som efteruddannelser) af arbejdsmiljøprofessionelle gør man meget ud af at få diskuteret forskelle på fremmedes og lokales arbejdsmiljøforståelser, og hvordan man som ekspert kan behandle dette.

Tabel 14.4. Analyseformer.

Arbejdshygiejnikerens og arbejdspladsvurdering

Det må anbefales udefra kommende - som fx en arbejdshygiejniker - ikke at overtage arbejdspladsvurderingen. Personer, der er på arbejdspladsen, *skal* være inddraget. Loven kræver det, men desuden er det en forudsætning for at få etableret en udbygget forståelse af problemerne, deres årsager og specielt deres løsning. Desuden viser erfaringer, at det er væsentligt, at foranstaltningerne opleves som virksomhedens "egne". Dette medvirker til, at de bliver gennemført og overholdt. Man skal derfor som eksterne sagkyndige søge at leve sig ind i den lokale opfattelse og forståelse og ikke blot skubbe den til side til fordel for sin egen ekspertforståelse af forholdene.

På den anden side skal man heller ikke underlægge sig den lokale arbejdsmiljøforståelse. Fordi man lokalt hæfter sig ved specielle forhold ved arbejdet som problematiske, er det ikke givet, at det er disse forhold, der er blandt de væsentligste sundhedsmæssige risici i arbejdet. Det er således væsentligt at få udviklet eller udbygget den lokale arbejdsmiljøforståelse, og gerne gennem at blive præsenteret for andre forståelser, som fx ekspertens. Men disse andre forståelser må ikke "overtage" arbejdspladsvurderingen.

Det er i forhold til sådanne overvejelser, at en arbejdsmiljøprofessionel skal anlægge sin strategi i forbindelse med konsulenthjælp til arbejdspladsvurderinger. Men der er forskellige opgavetyper for eksperten, og til dem knytter sig forskellige tilgange. I kapitel 12 er der skelnet mellem tre niveauer i eller tre typer af arbejdshygiejniske undersøgelser:

- ◆ *Indledende vurdering*, hvor formålet er at få et overblik over de arbejdshygiejniske forhold, der er på en arbejdsplads eller i en afdeling.
- ◆ *Orienterende undersøgelser*, hvor formålet er at få en grov kvantitativ bedømmelse af eksponeringer m.m.
- ◆ *Detaljeret undersøgelse*, hvor formålet er at etablere en dokumentation af påvirkningers karakter, intensitet og omfang.

Bliver man bedt om at gennemføre en detaljeret undersøgelse som led i en virksomheds egne arbejdspladsvurderinger, må det forventes, at man lokalt er enige om problemfeltet. Formålet er at få en uafhængig, præcis dokumentation af problemernes omfang. Det vil sige, at der skal produceres reproducerbare resultater med høj validitet. Over for sådanne opgaver kan arbejdshygiejnikerens gå ud fra en ekspert-baseret risikoopfattelse og analysere forholdene ud fra sin egen arbejdsmiljøforståelse.

Bliver man derimod tilkaldt til en virksomhed, der i forbindelse

med arbejdspladsvurderinger anmoder om, hvad der svarer til en indledende vurdering, skal man være opmærksom på forskellige risikoopfattelser og på forskellige grupperes lokale arbejdsmiljøforståelse. Opgaven er her i højere grad at arbejde i forhold til disse risikoopfattelser og udvikle de forskellige forståelser end at producere måleresultater med høj validitet og reproducerbarhed.

I denne forbindelse kan det komme på tale at udforme checkskemaer o.l., så ansatte på virksomheden selv kan gennemføre vurderinger af arbejdsforholdene. Der findes mange skemaer, som kan bruges i denne sammenhæng. Men for dem alle gælder det, at både specialisten og de lokale må overveje, om skemaerne er anvendelige i den aktuelle situation. På basis af de foregående kapitler skulle det være muligt for arbejdshygiejnikerne at vurdere, hvilke punkter der i forhold til en bestemt påvirkning skal med i et checkskema. Dette skal i forbindelse med valg eller udformning af skemaet overvejes i forhold til den eller de lokale risikoopfattelser og arbejdsmiljøforståelser og de elementer deri, der skal udvikles.

Afslutning

Arbejdspladsvurdering er således en aktivitet, der i henhold til lovgivningen er tænkt som et element i virksomhedernes eget forebyggende arbejde i forbindelse med planlægning og tilrettelæggelse af arbejdet. Det er ønskeligt, at denne aktivitet fastholdes som virksomhedens. Men arbejdshygiejnikere - og andre arbejdsmiljøeksperter - vil med stor sandsynlighed komme i kontakt med den. Ovenstående begreber kan bruges i forbindelse med de overvejelser, man i den forbindelse må gøre sig, bl.a. for at sikre, at arbejdspladsvurderingen fastholdes på virksomheden, men støttes af eksperterne.

I forbindelse med en arbejdspladsvurdering skal man tage stilling til, hvilke metoder der skal anvendes, og hvorledes disse metoder understøtter en proces, så de identificerede problemer bliver løst. Men som påpeget i afsnittet om lovgrundlaget for arbejdspladsvurderinger er det væsentlige formål med arbejdspladsvurdering at få indarbejdet overvejelser om forebyggelse i virksomhedens planlægning og tilrettelæggelse af arbejdet. Det betyder, at *den centrale aktivitet* knyttet til arbejdspladsvurdering (i henhold til lovgivningens intentioner) er at få overført resultaterne fra arbejdspladsvurderingerne til de personer, der står for de forskellige aktiviteter, som indgår i planlægningen og tilrettelæggelsen af arbejdet. Dette emne tages op i kapitel 16. Mulighe-

der for koordination med miljøstyringen i en virksomhed omtales i afsnittet om miljøstyring i kapitel 15.

Litteratur

Olsen PB, Hasle P, Thoft E. Idékatalog: Metoder og redskaber til at gennemføre arbejdspladsvurderinger. Arbejds miljøfondet, 1995.

KAPITEL 15

Miljø

*J.K. Stranddorf
J. Fenger
P. Wilhardt
H.J. Stybr Petersen*



Miljøstyring

Fra teknisk disciplin til ledelse

Miljøstyring - eller miljøledelse - diskuteres i dag flittigt som middel til at styrke og udvikle virksomheders miljøarbejde. Det skift, der derved sker med miljøarbejdet, kan forenklet siges at være, at miljøarbejdet bevæger sig fra at være en teknisk disciplin til tillige at være en integreret del af virksomhedens ledelsesaktiviteter.

Der er ikke nogen facitliste på, hvad miljøstyring eller -ledelse omfatter. I EU's forordning for miljøstyring (EMAS) defineres "miljøstyringssystem" som:

"Den del af det samlede ledelsessystem, der omfatter organisationsstruktur, ansvarsplacering, rutine, procedurer, metoder og ressourcer til fastlæggelse og gennemførelse af miljøpolitikken."

Miljø skal indgå med vægt i planlægning, styring og prioritering for alle ledere fra direktion til arbejdsledere. Rammerne for dette sammenfattes i et ledelsessystem for miljø - *miljøstyringssystem*. Ledelsessystemet betyder bestemt ikke, at miljø skal behandles særskilt. Tværtimod bør det integreres i den øvrige ledelse og alle virksomhedens aktiviteter, og styringssystemet skal sikre, at det miljømæssige aspekt hele tiden fastholdes. Denne opprioritering af ledelsesaspektet betyder ikke, at den tekniske dimension må glemmes. Der kræves teknisk og naturvidenskabelig viden til løsning af mange miljøproblemer.

Baggrunden, for at miljøstyring er kommet i fokus, er mangesidet. Øget fokus på miljø i befolkningen, virksomheders ønske om at mindske økonomiske risici ved miljøskader, lovgivning om "grønne regnskaber" og virksomheders ønske om at reducere udgifter til ressourcer i takt med øgede afgifter er alt sammen

medvirkende til, at virksomheder satser tid og ressourcer på miljøstyring. Ikke mindst sker det, fordi virksomhederne forventer, at disse tendenser bliver endnu mere markante i løbet af det næste årti. Miljø ses som et strategisk satsningsområde.

Diskussionen om miljøstyring knytter aktuelt an til to standarder og en EU-forordning om miljøstyringssystemer:

- ◆ *ISO 14001*: En international standard, der er endeligt vedtaget som ISO standard i september 1996. Den forventes at kunne udkomme i dansk version primo 1997.
- ◆ *EMAS (EU's forordning om miljøstyring)*: Er som forordning gældende i hele EU. Det er en frivillig ordning for industrivirksomheder, og den skulle være implementeret i hele EU april 1995, men den er i mange lande først under implementering i dag (primo 1996). Indholdsmæssigt adskiller EMAS sig fra de to andre, ved at der er krav om væsentlig offentlighed om virksomhedens miljøforhold i form af en offentlig miljøreddegørelse.
- ◆ *BS 7750*: En britisk standard, der udkom første gang i 1992. Den har dannet grundlag for mange virksomheders arbejde med miljøstyring i de første år. BS 7750's betydning vil hurtigt forsvinde, når ISO 14001 er officiel som standard.

Trods meget forskellig strukturering er ISO 14001, EMAS og BS 7750 indholdsmæssigt meget identiske, hvis man ser bort fra EMAS' offentlighedskrav. Til alle disse standarder knytter der sig muligheder for at få et akkrediteret (myndighedsgodkendt) verifikator/certificerende organ til at gennemgå og bedømme, om virksomheden lever op til standardens krav, og ved opfyldelse at udstede et certifikat til bekræftelse heraf eller verificere virksomhedens miljøreddegørelse.

I tillæg til disse standarder er der fremkommet en række kutymererregler om virksomheders miljøforvaltning. Eksempelvis "ICC's miljøcharter" med 16 punkter og den kemiske industris program "Responsible Care". Virksomheder, der tilslutter sig disse kutymererregler, forpligter sig moralsk til at efterleve en række principper for fremme af miljøet, hvilket omfatter væsentlige sider af miljøstyring.

Arbejdsmiljø ses i mange danske virksomheder naturligt i sammenhæng med det ydre miljø. Selvom de aktuelle standarder kun handler om *det ydre miljø*, kan arbejdsmiljø udmærket integreres i styringen, og det gøres da også i mange danske virksomheder. Metodikken kan lige så godt anvendes på arbejdsmiljø, men det er op til den enkelte virksomhed at konkretisere, hvilke arbejds-

miljøforhold der skal inddrages. Det skaber en risiko for, at arbejdsmiljø blot bliver et appendiks i et miljøledelsessystem, og dette tjener ikke arbejdsmiljøets sag.

Mange virksomheder har inden etablering af miljøstyring et kvalitetsstyringssystem (ISO 9000). Tankegangen om et ledelsessystem og mange af de konkrete krav og aktiviteter går igen i de to systemer, som derfor ofte med fordel kan integreres.

De typiske krav ved miljøstyring kan opdeles i nogle principielle elementer, som er uafhængige af den valgte standard:

- ◆ miljøteknisk gennemgang
- ◆ miljøstyringssystem, herunder kontinuerlig forbedring
- ◆ offentlig miljøredegørelse (kun EMAS).

”Miljøteknisk gennemgang” af virksomheden tjener til at identificere de væsentlige miljøpåvirkninger og udgør det miljømæssige videngrundlag, som miljøstyringen skal basere sig på. Gennem ”miljøstyringssystemet” skal virksomheden sikre miljømæssig styring i alle virksomhedens aktiviteter og tjenester. Et særligt aspekt heri er, at virksomheden skal indfri sin forpligtelse til ”kontinuerlig forbedring”, hvilket er et kerneelement, som skal sikre, at miljøstyringen fører til miljømæssige forbedringer. Endelig inkluderer EMAS en ”offentlig miljøredegørelse”, som skal give interessenter indsigt i virksomhedens miljøforhold og bl.a. skal lægge et pres på virksomheden mht at sikre en forbedringsproces.

Den angivne tredeling er strukturerende for dette kapitel.

Miljøteknisk gennemgang

For at kunne lede en virksomhed med miljø som en tungtvejende parameter må man nødvendigvis kende virksomhedens miljømæssige status. Hvad er de væsentligste miljøpåvirkninger, og hvilke aktiviteter og processer er årsag hertil? Hvilke risici er der for uheld, der kan føre til miljøpåvirkning? Hvilke råvarer i produkterne fører til de væsentligste miljømæssige belastninger ved udvinding og bortskaffelse? Hvilken ekstra miljøpåvirkning opstår under opstart og nedlukning af anlægget - og har det væsentlig betydning? Spørgsmål som disse må besvares gennem en miljøteknisk gennemgang af virksomheden - omfattende anlæg, processer, aktiviteter, produkter og tjenester. Den miljøtekniske gennemgang skal ikke nødvendigvis være sammenfattet i én rapport om miljøforholdene, hvis blot de beskrevne krav er opfyldt i den dokumentation, som virksomheden lægger til grund for sin styring.

Gennemgangen skal give et solidt og veldokumenteret overblik

over virksomhedens miljøforhold og identificere *alle væsentlige miljøpåvirkninger* for virksomheden. Nøglen til god miljøstyring er at identificere de væsentlige miljøpåvirkninger og koncentrere indsatsen her.

På grundlag heraf kan virksomheden udpege områder for miljømæssig indsats og forbedring samt de aktiviteter og områder, som virksomheden gennem procedurer, uddannelse og tekniske løsninger må styre for at sikre drift under miljømæssigt styrede forhold. Overvågningen af miljøforholdene, såvel i dag som fremover, er desuden en fundamental forudsætning for at kunne tale om et styret system, hvor udviklingen kan følges og dokumenteres.

Fig. 15.1 illustrerer den miljøtekniske gennemgang som det miljømæssige grundlag for styringssystemets forbedringsaktivitet, driftsstyring, mv.

Der er ikke én bestemt metode til den miljøtekniske gennemgang, og metodeudbudet er omtrent lige så stort som udbudet af konsulenter i branchen. Men der er dog en række indholdsmæssige krav til gennemgangen.

Miljøgennemgangen skal belyse alle miljøforhold for hele virksomheden. Det omfatter både

- ◆ *direkte miljøpåvirkninger*, dvs miljøpåvirkninger fra virksomhedens egne aktiviteter, og
- ◆ *indirekte miljøpåvirkninger*, dvs miljøpåvirkninger uden for virksomheden, der er bestemt eller påvirket af virksomhedens aktiviteter.

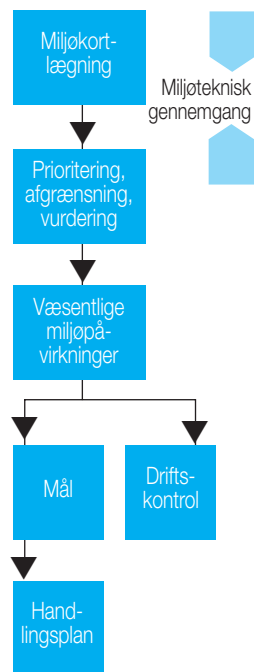
At alle miljøforhold og hele virksomheden skal inkluderes, betyder ikke, at alt skal analyseres lige grundigt. Hvis der på et tidligt stade er sagligt og velargumenteret grundlag herfor, kan der ske en afgrænsning fra afdelinger og processer, bestemte forureningstyper mv. Det er gennemgangens formål at nå frem til det væsentlige.

Direkte miljøpåvirkninger

Håndtering af de direkte miljøpåvirkninger kan opdeles i to faser: (1) kortlægning og (2) analyse og vurdering.

De forhold, der på den ene eller den anden måde skal kortlægges, er illustreret i fig. 15.2. Kortlægningen kan inddeles i tre indholdsmæssige områder:

1. Undersøgelse af virksomhedens omgivelser eller recipient
2. Ressourceforbrug samt emissioner og udslip (input - output)
3. Virksomhedens aktiviteter, processer og produkter.



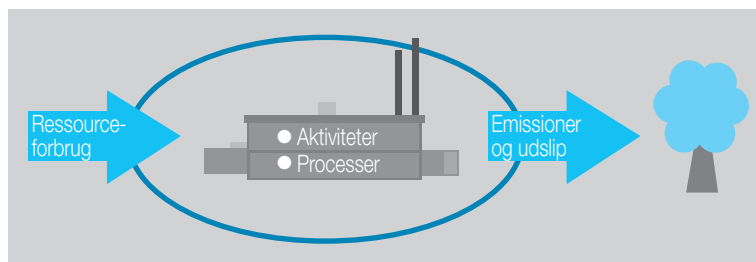
Figur 15.1. Miljøkortlægningens betydning for forbedringer og driftsstyring.

Konsekvensen af fx forbrug af ferskvand, støj fra virksomheden eller emissioner til luft er meget afhængig af de omgivelser, som virksomheden indgår i. Begrænsninger i ferskvandsforsyning, afstand til beboelsejendomme og afstand til følsomme naturområder i baghaven vil naturligvis indgå i den miljømæssige vurdering.

Virksomheden må altså kortlægge sine *recipientforhold* mht:

- ◆ vand
- ◆ jord
- ◆ mennesker
- ◆ økologiske ressourcer.

Figur 15.2. Områder omfattet af kortlægningen.



Omfanget af undersøgelserne skal være realistisk. Lokale recipientforhold er vigtige, når virksomheden kortlægger. Derimod vil regionale og globale recipientforhold kun i mindre omfang være realistiske for den enkelte virksomhed at forholde sig til. For at forstå problematikker om sur nedbør og ozonlagsnedbrydende stoffer er et regionalt eller globalt perspektiv dog nødvendigt.

En helt afgørende del af kortlægningen af miljøforhold drejer sig om *ressourceforbrug samt emissioner og udslip*, altså alle input-output relationer:

- ◆ input - i form af ressourcer, der går ind (råvarer, energi, vand, mv)
- ◆ output - i form af produkter, emission til luft, udledning til vand, affaldsproduktion, forurening af jord, mv.

En nyttig tankemodel i dette arbejde er en massebalance, hvor man ved at trække output fra input skal få et "rundt nul".

I tillæg til disse stofstrømme, som principielt kan indgå i en massebalance, skal kortlægges forhold som støj, lugt, vibrationer og visuel indvirkning. Fig. 15.3 viser den opdeling af miljøpåvirkninger, der anvendes i EMAS.



Figur 15.3. Opdeling af miljøpåvirkninger i EMAS.

Disse relationer skal kortlægges for:

- ◆ normal drift
- ◆ unormal drift
- ◆ uheld og nødsituationer.

Med unormal drift menes fx opstart og nedlukning af anlæg og midlertidigt øget produktionsvolumen.

Kilderne til denne kortlægning kan være mangfoldige, men det drejer sig typisk om:

- ◆ indkøbsregistreringer
- ◆ forbrugsmålere - hovedmålere og bimålere
- ◆ interne produktionsregistreringer
- ◆ affaldsregistreringer i fraktioner (olie/kemikalier, genbrug, husholdning, mv)
- ◆ emissionsmålinger
- ◆ risikoanalyser.

Oftest kan målinger reduceres til et minimum, da fx lokale forbrugsregistreringer kombineret med "worst case" betragtninger i de fleste tilfælde kan være grundlag for at vurdere, om der er en væsentlig emission. Ved fx emission af giftige stoffer eller dokumentation for overholdelse af emissionskrav i miljøgodkendelsen kan målinger dog være et nødvendigt middel.

Endelig må virksomheden beskrive *aktiviteter, processer og produkter* i form af produktionsafdelinger, produktionslinier, procesdiagrammer, mv og knytte miljørelationerne hertil. En "black box" betragtning af virksomheden er utilstrækkelig. Problemerne bag en miljøpåvirkning må indkredses nærmere for at skabe et styringsgrundlag.

Det skal være muligt at besvare spørgsmål som fx: Hvor i processen og i forbindelse med hvilke produkter opstår miljøpåvirkningen? Først når disse forhold er afklaret, kan man begynde styringen.

En opdeling af virksomheden i mindre enheder giver tillige mulighed for afgrænsning af mindre væsentlige dele og mere dybtgående analyser af de væsentlige.

Kortlægningen af de tre områder illustreret i fig. 15.2 må følges af en analyse. Denne analyse omfatter:

1. Identifikation af miljøpåvirkninger
2. Prioritering af miljøpåvirkninger og udpegning af de væsentlige.

Miljøpåvirkningerne identificeres og vurderes på baggrund af viden om virksomhedens ressourceforbrug, emissioner, udslip og risici samt recipientforhold. I praksis sker denne identifikation typisk under den netop beskrevne kortlægning. Hvis dette gennemføres konsekvent, så vil det give en omfattende liste over store og små problemer, og den efterfølgende proces, hvor de væsentlige miljøpåvirkninger skal udpeges, er helt essentiel.

Der er ikke én fast model for, hvordan de væsentlige miljøpåvirkninger identificeres. Men virksomheden må gennemføre en konsekvent og miljømæssigt velargumenteret vurdering og prioritering af miljøpåvirkningerne. Det kan fx omfatte:

- ◆ scoresystemer for miljøbelastningerne
- ◆ ekspertvurderinger
- ◆ ledergruppens fælles vurdering
- ◆ indhentning af synspunkter fra centrale interessenter.

Nogle generelle retningslinier for, hvad der typisk bør indgå som væsentlige miljøpåvirkninger, kan naturligvis opstilles. Listen over væsentlige miljøpåvirkninger vil således typisk forventes at omfatte fx meget store ressourceforbrug, forbrug af kritiske ressourcer, meget store emissioner, anvendelse og emission af giftige stoffer og miljøpåvirkninger reguleret af særlige vilkår i miljøgodkendelsen.

Resultatet af denne prioriteringsproces er en *liste over væsentlige miljøpåvirkninger*. Dette er et helt centralt grundlag for fast-

læggelse af behov for driftsstyring i styringssystemet og for udpegning af områder, hvor det er ønskeligt at opstille forbedringsplaner.

Hvis dette formål skal opfyldes, så er det afgørende, at listen er udarbejdet af eller i samarbejde med ledelsesmæssige nøglepersoner i virksomheden, således at virksomheden for alvor tager problemstillingerne til sig.

Indirekte miljøpåvirkninger

Virksomhedens indirekte miljøpåvirkninger skal forstås som miljøpåvirkninger, som ikke er et resultat af egne aktiviteter, men som dog er bestemt eller påvirket af virksomhedens aktiviteter eller dispositioner. Typiske eksempler herpå er påvirkninger fra udvinding, bearbejdning og transport af råvarer, som købes fra en anden virksomhed, påvirkninger fra anvendelse og bortskaffelse af virksomhedens produkter hos kunden eller fra projekter, hvor virksomheden har indgået som rådgiver.

Indirekte miljøpåvirkninger er altså påvirkninger relateret til en livscyklusbetragtning af virksomhedens produkter og tjenester ("vugge til grav") - dvs påvirkninger fra råvarer, mellemprodukt, færdigprodukt, anvendelse, bortskaffelse, transport, mv. Indirekte miljøpåvirkninger kan dog også være påvirkninger fra aktiviteter, hvor virksomhedens midler er investeret.

Den teoretisk ideelle måde at håndtere indirekte miljøpåvirkninger på vil kræve gennemførelse af livscyklusvurderinger på alle produkter og tjenester (se også kapitel 15, afsnittet om livscyklusvurderinger og arbejdsmiljø). Sådanne analyser er meget ressourcekrævende og endnu præget af metodemæssige vanskeligheder. Det drejer sig fx om adgang til pålidelige data, afgrænsninger mht, hvor langt "bagud" og "fremad" analysen skal gå, og hvilke miljøpåvirkninger der skal inddrages. Livscyklusvurdering er således generelt urealistisk for små virksomheder, og selv store virksomheder, der arbejder med metoden, afgrænser sig til få kerneprodukter.

Imidlertid er livscyklustankegangen vigtig at fastholde i miljøstyringen. Virksomheden må gennemføre en vurdering eller "screening" af råvarer, produkter, tjenester mv for i alt fald at identificere væsentlige og kendte indirekte miljøpåvirkninger. Disse påvirkninger må i lighed med de direkte påvirkninger evalueres, og de væsentlige må udpeges. Disse må indarbejdes på linie med de direkte miljøpåvirkninger i fortegnelsen over væsentlige miljøpåvirkninger. Ofte kan miljøeffekten ved at arbejde med de indirekte miljøpåvirkninger være betydeligt større end for de direkte.

De indirekte miljøpåvirkninger er et område, som man må forvente bliver en mere og mere integreret del af virksomheders

miljøstyring i de kommende år, da der såvel internationalt som i Danmark arbejdes med udvikling af standardiserede metoder og værktøjer til livscyklusvurderinger, ligesom information fra enkeltproducenter og brancher forventes at blive lettere tilgængelig og mere standardiseret.

Den miljøtekniske gennemgang må endvidere indeholde en analyse af miljøpåvirkninger fra tidligere aktiviteter. Det vil i de fleste tilfælde primært dreje sig om olie- og kemikalieforurenet jord.

For at være et velegnet grundlag som basis for den fremtidige miljøstyring må miljøgennemgangen være dokumenteret, konsistent og velargumenteret. Det gælder både, hvis den internt i virksomheden skal have gennemslagskraft, og hvis den skal bruges eksternt. Hvis miljøgennemgangen indeholder en klar vurdering af alle forhold samt en relatering til lovgivning, branchenormer, lokale reguleringer osv, vil den udgøre et stærkt fundament, som let kan opdateres fremover.

Miljøstyringssystem, herunder kontinuerlig forbedring

Gennemførelse af den beskrevne indledende miljøgennemgang giver virksomheden overblik over den aktuelle miljømæssige situation. Det giver svar på spørgsmål som: Hvor er der styrker, og hvor er der svagheder? Og hvor bør indsatsen ligge set ud fra et miljømæssigt perspektiv?

Arbejdet med miljøgennemgangen fører oftest til, at mange problemer bliver løst med det samme. Set ud fra et styringsmæssigt synspunkt er det centrale ved miljøgennemgangen imidlertid, at den skaber et planlægnings- og styringsgrundlag for virksomhedens fremtidige håndtering af miljøområdet.

I miljøstyringssystemet er det vigtigt hele tiden at orientere sig mod det miljømæssigt væsentlige. Det vil sige de væsentlige miljøpåvirkninger identificeret i miljøgennemgangen, de opgaver og jobfunktioner, hvor korrekt udførelse er miljø- og sikkerhedsmæssigt kritisk, de produktionsændringer, der er væsentlige for miljøforholdene osv.

For at kunne tale om et styret system må virksomheden for de væsentlige forhold (1) analysere og vurdere aktuel status, (2) fastlægge, hvordan virksomheden vil håndtere dem, (3) efterleve de fastlagte krav og principper, (4) registrere og evaluere det der sker og (5) lære af det skete og korrigere systemet.

Styresystemet må fastlægge, hvordan driften gennemføres, så virksomheden hele tiden har kontrol over aktuelle og potentielle miljøpåvirkninger og over, hvordan et dynamisk element for hele tiden at forbedre miljøstyringen og -påvirkningerne fastholdes.

Dette vil typisk ske ved en kombination af beskrevne procedurer og instrukser, uddannelse og holdningspåvirkning.

Det er helt afgørende at fremhæve, at et miljøstyringssystem er et *ledelsessystem*, og at det stiller krav om en lang række ledelsesbeslutninger og prioriteringer mht politik, mål, placering af ansvar og beføjelser, ressourcetildeling mv. Hvis styringssystemet skal fungere, så må miljø indgå som et væsentligt og styrende aspekt i alle virksomhedens beslutninger og aktiviteter. Det er altså ikke en aktivitet, som topledelsen kan købe sig ud af. Miljøstyring stiller krav til alle organisationens medarbejdere, men den må bæres igennem af ledere på alle niveauer gennem en aktiv og synlig indsats.

Disse aktiviteter kan struktureres og beskrives på mange måder, hvilket illustreres i fig. 15.4 og fig. 15.5, som viser disposition for systemkrav i de to standarder EMAS og ISO 14001 (udkast). De indholdsmæssige krav er stort set identiske trods forskellig disponering. Der tages her udgangspunkt i ISO 14001's fem hovedpunkter.

Miljøpolitikken er et meget afgørende element i et miljøstyringssystem. Politikken skal være et forpligtende dokument for virksomheden. Det er heri, virksomheden over for medarbejdere og omverden udstikker det principielle indhold i miljøstyringen og giver nogle retningslinier for, hvor virksomheden vil lægge sin forbedringsindsats i fremtiden. Politikken skal forpligte til at overholde lovkrav og til stadighed at forbedre miljøstyringen og miljøpåvirkningerne.

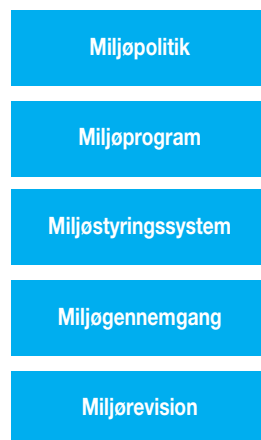
Politikken skal være tilpasset omfang og karakter af miljøpåvirkningerne fra virksomhedens aktiviteter, produkter og tjenester. Politikken må være konkret, og det er ikke tilstrækkeligt at kopiere nabovirksomhedens eller moderselskabets politik.

Uanset hvilken standard man vælger, så er det fastlagt, at politikken skal være offentligt tilgængelig for alle interesserede. Politikken bruges derved også til at sælge virksomhedens miljømæssige image såvel indadtil som udadtil.

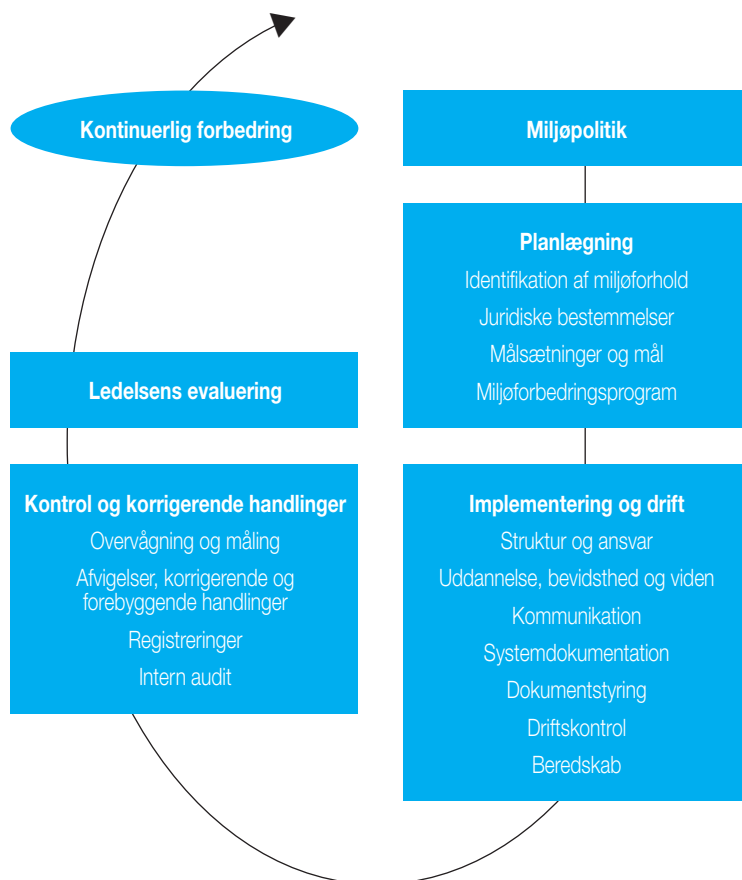
Standardens næste hovedblok omfatter en række aspekter af *planlægning*. Dvs krav om, at virksomheden til stadighed har et opdateret overblik over virksomhedens miljømæssige status og de udefra givne krav ("identifikation af miljøforhold" og "lovmæssige bestemmelser"), og at virksomheden med udgangspunkt i disse rammer og betingelser lægger planer for, hvordan virksomhedens miljøstyringssystem og miljøpåvirkninger kan forbedres ("målsætninger og mål" og "miljøforbedringsprogrammer").

Virksomheden skal hele tiden opretholde det miljømæssige overblik, der opbyggedes ved gennemførelse af den indledende miljøgennemgang. Det gælder primært for de miljøforhold, der i miljøgennemgangen er identificeret som væsentlige. Dette stadige

Figur 15.4. Systemkrav efter EMAS.



Figur 15.5. Indholdselementer i ISO 14001 (udkast).



overblik er et fundamentalt element i det at have et styret system. Opdateringen vil typisk ske gennem løbende registreringer i indkøb og produktion, faste målinger mv.

Det dynamiske og miljømæssigt fremadrettede element i miljøstyringssystemet ligger i de målsætninger, mål og forbedringsprogrammer, som virksomheden forpligter sig til. Denne kontinuerlige forbedring er helt afgørende for idé, legitimitet og troværdighed for miljøstyringssystemer som metode i miljøarbejdet. At en virksomhed har implementeret et miljøstyringssystem, betyder ikke nødvendigvis, at der er meget få miljøbelastninger. Derimod er det en virksomhed, der har overblik og kontrol over miljøpåvirkningerne og har forpligtet sig til stadig forbedring.

Virksomheden skal inden for en række overordnede miljømålsætninger (typisk 3-5 års tidshorisont) fastlægge specifikke, kortsigtede, målbare og helst kvantificerede mål. Disse forbedringer bør for en dels vedkommende være konkrete miljøforbedringer (reduktion af emissioner eller ressourceforbrug, substitution af

råvarer osv), men de kan tillige omfatte systemforbedringer som fx øget styring eller bedre registrering. Virksomheden må i handlingsprogrammer (ansvar, tidsfrister, metoder mv) fastlægge, hvordan målsætninger og mål skal indfries på relevante organisatoriske niveauer.

Der er ikke krav til, hvor ambitiøse forbedringerne skal være, men intentionen er den, at virksomheden sætter sig ambitiøse mål, som på tidspunktet for fastlæggelse vurderes som realistiske ud fra de skitserede handlemuligheder og økonomiske rammer. Hvis målene viser sig at være urealistiske, så må virksomheden tage det op til revurdering, efterhånden som forbedringsarbejdet skrider frem. Virksomheden må således hele tiden overvåge, hvordan arbejdet med miljømålsætninger, -mål og -forbedringsplaner udvikler sig.

Standardens tredje hovedelement er kaldt *Implementering og drift*, og det indeholder de dele af ledelsessystemet, som er nødvendige for at sikre, at den løbende drift sker under miljømæssigt kontrollerede forhold, og for at miljøstyringssystemet kan fastholdes i virksomhedens daglige arbejde. Det omfatter aspekter som "struktur og ansvar", "uddannelse, bevidsthed og viden", "kommunikation", "system-dokumentation", "dokumentstyring", "driftskontrol" og "beredskab".

For at miljø kan fungere som en væsentlig parameter i virksomhedens daglige aktiviteter, så må det være integreret i virksomhedens organisation - både hvad angår virksomhedens strukturer og medarbejdere. Strukturelt må ansvar og beføjelser for de forskellige dele af miljøstyringen ligge helt klart, dvs det skal fremgå, hvad der kræves og forventes af den enkelte medarbejder, og hvilke beføjelser medarbejderen har til indfrielse af opgaverne. Samtidig må alle være klar over rapporteringskanaler og beslutningsfora.

For at medarbejderne skal kunne være i stand til at indfri kravene, må de være såvel motiverede som kvalificerede. Motivationsaktiviteter må rettes mod alle medarbejdere. Alle må være bevidste om virksomhedens indsats på miljø siden og kende til de miljøforhold, der relaterer sig til deres egen arbejdsudførelse. En fælles forståelse må opbygges i virksomheden gennem møder, temadage, kurser eller andet. I tillæg hertil må medarbejderne være velkvalificerede til udførelse af opgaverne miljømæssigt forsvarligt. Det betyder, at der i nogle jobfunktioner må stilles væsentlige krav til uddannelse og oplæring, mens det i andre situationer er tilstrækkeligt, at generel vejledning indgår i afdelingens introduktion af medarbejderne.

Hvad angår såvel ansvar og beføjelser som motivation og kvalifikationer, er virksomhedens mellemledergruppe meget central. Der er tale om et ledelsessystem, og det er mellemlederne, der

har den store opgave med at forklare, motivere og følge op på aktiviteterne. Hvis ikke denne gruppe er motiveret og aktiv i miljøstyringen, så vil den nødvendige proces og formidling i organisationen ikke kunne fungere.

For at virksomhedens indsats kan rettes mod det væsentlige, er det nødvendigt at identificere de aktiviteter, opgaver og processer, der er kritiske for kontrolleret drift. Her er den indledende miljøgennemgang et vigtigt udgangspunkt. Når fx en opgave er identificeret som miljømæssigt kritisk, må denne styres. Det vil typisk have karakter enten af uddannelse - som ovenfor omtalt - eller af skriftlige procedurer eller instruktioner for korrekt udførelse af opgaven eller overvågning af aktiviteten.

Driftskontrollen må også omfatte styring af fremmede håndværkere på virksomheden og indirekte miljøpåvirkninger - fx ved vurdering, udvælgelse og påvirkning af leverandører.

For at miljøstyringssystemet skal kunne fungere og udvikles på baggrund af de opnåede erfaringer, må aktiviteterne overvåges systematisk, evalueres og videreudvikles. Det er i ISO 14001 sammenfattet under *Kontrol og korrigerende handlinger* ("overvågning og måling", "afvigelser og korrigerende og forebyggende handlinger", "registreringer" og "interne audits"). De miljømæssige forhold skal hele tiden overvåges gennem registreringer, målinger mv. Når aktiviteter eller miljøpåvirkninger afviger fra det planlagte, må virksomheden sikre, at erfaringen opsamles og bruges til at undgå, at afvigelsen gentager sig. Endelig skal der ske en regelmæssig intern efterprøvning (audit) af, at alle aktiviteter i miljøstyringssystemet er forstået af de berørte medarbejdere og efterleves i det daglige. Denne audit må tillige efterprøve, om arbejdet med forbedringsprogrammer følges, og om målene kan indfries. Hvis mål ikke kan indfries, så må dette afføde fornyet vurdering, prioritering og planlægning hos virksomhedens ledelse.

Virksomhedens ledelse skal regelmæssigt gennemføre en *ledelsesevaluering* af miljøstyringssystemet baseret på information fra de gennemførte interne audits, miljøregistreringerne, klager og synspunkter fra medarbejderne og eksterne interessenter, afvigelser, opfyldelsesgrad af mål og handlingsplaner osv. Ved denne ledelsesevaluering skal det vurderes, om systemet fortsat er vel-fungerende og effektivt, eller om der er behov for ændring af politik, målsætninger eller andre dele af systemet.

Offentlig miljøredegørelse

Udarbejdelse af en offentlig redegørelse er kun et krav i forbindelse med EMAS-forordningen. Gennem kravet om en offentlig

miljøredegørelse sikres en større gennemskuelighed af virksomhedens miljømæssige status, de aktuelle problemer og den igangværende forbedringsproces. Det betyder bl.a., at virksomheder vil opleve et pres for at gøre en indsats inden for identificerede problemer. Offentlighedsaspektet er således med til at sikre den stadige forbedringsproces, som er et centralt formål med de beskrevne miljøstyringssystemer.

For at sikre troværdighed for redegørelsen skal miljøredegørelsen verificeres af en akkrediteret verifikator. Troværdighed af data og andre oplysninger er således helt centralt, for at ordningen kan få gennemslagskraft.

De indholdsmæssige krav til den offentlige miljøredegørelse er angivet i fig. 15.6. Det fremgår heraf, at en række af de opstillede indholdskrav er meget klare, mens andre er temmelig åbne. Redegørelsen skal give en person uden særlige forudsætninger, men dog med en vis erfaring med at læse tekster (fx en nyudklækket student), indtryk af virksomhedens karakter, produktion og miljømæssige problemer.

"3. Miljøredegørelsen skal navnlig indeholde følgende elementer

- a. en beskrivelse af virksomhedens aktiviteter på anlægsområdet
 - b. en vurdering af alle væsentlige miljømæssige emner, der er relevante i forbindelse med de aktiviteter, der foregår
 - c. et resumé af kvantitative data om emissioner af forurenende stoffer, affaldsfrembringelse, forbrug af råmaterialer, energi og vand, om støj samt i givet fald om andre væsentlige miljømæssige forhold
 - d. andre faktorer vedrørende indsatsen på miljøområdet
 - e. fremlæggelse af den miljøpolitik, det miljøprogram og det miljøstyringssystem, som virksomheden har indført vedrørende det pågældende anlægsområde
 - f. den sidste frist for fremlæggelse af næste miljøredegørelse
 - g. navnet på den akkrediterede miljøverifikator
4. I miljøredegørelsen skal der gøres opmærksom på væsentlige ændringer, der er sket siden den foregående redegørelse."

Virksomhedens miljøforhold skal præsenteres. Det omfatter som minimum en vurdering af de væsentlige miljøforhold identificeret i den indledende miljøgennemgang samt et datamæssigt overblik over relevante miljøforhold. Formen af denne præsentation er ikke fastlagt, men det bør overvejes, i tillæg til de absolutte tal, at udarbejde nøgletal, der relaterer de absolutte tal til karakteristiske størrelser for virksomheden. Det kan ske ved at sætte miljøpåvirkningen i forhold til mængden af færdigvarer eller driftstimer, fx kg kemikalieaffald pr ton færdigvarer. Derved gøres det lettere at vurdere virksomhedens håndtering af miljøforhold, da

Figur 15.6. EMAS' krav til miljøredegørelse (Forordningens artikel 5).

nøgletallene ikke påvirkes af, om produktionen fx øges eller reduceres. Virksomheden skal arbejde med at udforme datapræsentationen i den kommunikationsmæssigt bedst mulige form.

Virksomheden skal præsentere sin miljøpolitik og styresystem. Dette skal inkludere det fremtidige forbedringsprogram i form af målsætninger mv. Det er forpligtende for virksomheden, og ved den næste miljøredegørelse skal virksomheden vurdere opfyldelsen af det præsenterede forbedringsprogram.

Centralt for miljøredegørelsen er, at den skal afspejle helheden i den indledende miljøgennemgang og det implementerede system, at verifikator skal stå inde for, at redegørelsen som helhed tegner et troværdigt billede af virksomhedens miljøforhold, samt at de konkret præsenterede data er efterprøvet.

Afslutning

Det foregående delkapitel har handlet om miljøstyring. Det skal gerne have skabt overblik over spørgsmål som: Hvad dækker dette begreb? Hvilke aktiviteter må gennemføres for at tale om miljøstyring på virksomhederne?

I denne bog om teknisk arbejdshygiejne vil det være passende afslutningsvis at vende tilbage til en diskussion, der kort berøres i indledningen - nemlig tilsvarende styring af arbejdsmiljø. Det kan enten ske i form af at integrere arbejdsmiljø i virksomhedens miljøstyring eller opbygning af et selvstændigt system for styring af arbejdsmiljø.

Principielt er der ingen vanskeligheder ved nogen af disse to løsninger. En indledende kortlægning af den aktuelle status på arbejdsmiljøområdet - svarende til den indledende miljøgennemgang - vil ligeledes være helt afgørende for etablering af et styresystem for arbejdsmiljø, som tager fat i de væsentlige problemer. Denne indledende kortlægning kan uden problemer gennemføres, så virksomheden samtidig opfylder krav til arbejdspladsvurdering. Ledelsessystemets elementer vil tilsvarende kunne overføres til arbejdsmiljøområdet. Systematikken kan være helt identisk hermed. Naturligvis vil det på det konkrete niveau kræve særlige elementer på arbejdsmiljøområdet. Det vil fx dreje sig om implementering af en bred arbejdsmiljøforståelse, rapportering og undersøgelse af ulykker og aktiv inddragelse af medarbejderne.

Om en virksomhed aktuelt skal vælge at opbygge et særligt system for arbejdsmiljø eller skal integrere det med miljø, vil helt afhænge af virksomhedens situation og arbejdsmiljø- og miljøforhold. Men de fleste virksomheder vil nok opleve det naturligt at integrere det i ét system - som ofte tillige vil omfatte kvalitet. Undtagelser vil typisk være virksomheder med risikobetonet eller

meget tungt og belastende arbejde. For virksomheder, der ønsker at arbejde med arbejdsmiljøstyring som selvstændigt område, er der aktuelle værktøjer og retningslinier herfor (ISRS, OHSMS).

I diskussionen om at integrere arbejdsmiljø er det imidlertid vigtigt at holde sig for øje, at der er væsentlige forskelle mellem arbejdsmiljøområdet og de øvrige områder. Det gælder fx:

- ◆ Behov for en meget tæt dialog med de ansatte ved identificering af arbejdsmiljøproblemer.
- ◆ Sikkerhedsorganisationen, som skal integreres i ledelsessystemet. Den bærer en lang historie og tradition med sig.
- ◆ Arbejdsmiljøområdets aktuelt beskedne markedsføringsværdi for virksomheden.

Styring af arbejdsmiljø i lighed med miljø er helt oplagt og må forventes at følge i kølvandet på styringsaktiviteterne på kvalitets- og miljøområderne, og det vil være helt logisk og naturligt at udnytte de erfaringer, der er at hente fra disse områder. Men det er samtidig vigtigt at være kritisk ved overførelse af systematikken, så man værner om de erfaringer, krav og idealer, der kendetegner et godt arbejdsmiljøarbejde.

Spredning af forurening

I bind I, kapitel 1 blev der givet en kort gennemgang af luftforurenings spredning i forskellig geografisk skala, herunder relationerne mellem indendørs og udendørs luftforurening. I dette afsnit behandles lidt mere detaljeret forureningens opståen i industrivirksomheder og den efterfølgende spredning i det nære ydre miljø. Også nogle generelle, relevante forhold for udbredelse af lugt, støj og vandforurening nævnes.

En effektiv spredning kan være (og har i særdeleshed tidligere været) et middel til reduktion af forureningens skadevirkninger. Den moderne løsning er imidlertid, som det kommer til udtryk i Miljøstyrelsens vejledninger (1985, 1990, 1993, 1995), at man gennem en renere teknologi så vidt muligt skal søge at hindre, at forureningen overhovedet opstår.

Et vellykket eksempel fra "Novo Nordisk", hvor vandforurening i tekstilindustrien kan begrænses ved anvendelse af enzymer, er beskrevet af Lange et al. (1995).

Først når mulighederne for renere teknologi og rensning inden for rimelige økonomiske rammer, herunder hensyntagen til konkurrenceevnen, er udtømt, kan fortynding af den resterende foru-

rening anvendes. Denne uundgåelige udsendelse til luften skal ske, så mennesker ikke udsættes for sundhedsmæssig fare eller gene, og så dyre- og planteliv ikke lider skade. Der er fastsat såkaldte B(bidrag)-værdier, som angiver, hvor meget virksomheden må bidrage til luftforureningen i omgivelserne.

Alt dette er under forudsætning af, at der er tale om normal drift, hvor mindre uheld eller driftsforstyrrelser kun giver en kortvarig forøgelse af det normale udslip, og hvor udslipsbetingelserne ofte er uændrede. Egentlige katastrofer må af flere grunde ses under en anden synsvinkel. Udslipsbetingelserne kan, fx efter en eksplosion, være radikalt forværret, og også den psykologiske effekt skal tages i betragtning. På den anden side bidrager katastrofer alt i alt kun marginalt til den samlede miljøbelastning.

Årsager til luftforurening

De forurenende stoffer fra industrielle aktiviteter kan have forskellig oprindelse. Det væsentligste bidrag til luftforurening vil ofte skyldes virksomhedens energiforbrug og vil derfor i høj grad komme fra kilder (fx elværker), som ikke umiddelbart kan påvirkes på anden måde end gennem effektivisering og dermed energibesparelse.

I de fleste virksomheder anvendes desuden transportmidler og egne fyringsanlæg. Deres udslip indgår ligeledes i opgørelser for svovldioxid, kvælstofoxider mv, og de bidrager til "forsuring" og andre skadevirkninger i regional og global målestok.

Imidlertid vil de anvendte råstoffer og produktionsprocesser også kunne give anledning til en forurening, der er karakteristisk for den pågældende virksomhed. Typisk er der tale om afdampning af opløsnings- eller rensningsmidler, udslip af urenheder i råmaterialer eller af biprodukter samt rent materialespild.

Udbredelsen af forureningen afhænger i første omgang af kilde-typen. Industriforurening adskiller sig her fra fyringsanlæg ved ikke alene at kunne komme fra skorstene og andre afkast, men også som diffuse udslip fra spild, utætheder i rørsystemer, afdampning fra lagertanke osv. Det gør både en opgørelse af udslippene og en bekæmpelse af forureningen vanskeligere. På den anden side vil det være i forurenernes interesse at begrænse udslip, der giver spild af materialer og dermed et økonomisk tab. Hertil kommer, at diffuse udslip kan forringe arbejdsmiljøet, i særdeleshed da de normalt sker i lav højde.

Et specielt problem er lugtende stoffer. De kan komme direkte fra de anvendte materialer eller de fremstillede produkter, men ofte er der tale om lugtdannende reaktioner i beholdere, hvor iltindholdet er for lavt - fx kloaksystemer, brønde, klaringstanke

o.l. I sådanne tilfælde kan problemerne undertiden løses ved cirkulation eller tilførsel af luft eller iltende stoffer.

Bestemmelse af udslip

Emissionen af et givet stof kan bestemmes på flere måder:

Bestemmelse via emissionsfaktorer

For de "store" forureninger (svovldioxid, kvælstofoxider, kulilte osv), der udsendes fra en række ensartede kilder, og hvor det ofte er det samlede udslip, der har interesse, anvendes normalt såkaldte emissionsfaktorer. Det er empirisk bestemte parametre, der angiver, hvor meget forurening der i gennemsnit opstår ved gennemførelse af en given aktivitet på en given måde, fx el-produktion ved afbrænding af kul. Udslippet beregnes derefter ved multiplikation af aktivitetens omfang med emissionsfaktoren. Emissionsfaktorer justeres løbende med udviklingen i teknologi og lovmæssige krav til anvendte brændsler mv. Metoden vil sjældent være egnet til individuelle udslip fra industrivirksomheder.

Direkte og indirekte måling

Hvis udslippet sker fra en veldefineret kilde, fx en skorsten eller en udluftningskanal, kan det direkte måles. Partikler vil normalt blive opsamlet, ved at en kendt luftmængde suges gennem et filter, der derefter vejes og analyseres. Uorganiske gasser kan bestemmes med fysiske/kemiske analyser (fx forskellige former for spektroskopi) direkte i udslippet. Organiske forbindelser kan opsamles på en organisk polymer, hvorfra de senere ekstraheres og analyseres ved gas- eller væskechromatografi. For en nærmere beskrivelse henvises til litteraturen.

Diffuse udslip kan normalt kun bestemmes indirekte ved en massebalance på den samlede produktionsproces. Denne må baseres på oplysninger om anvendte råmaterialer, færdige produkter og supplerende målinger på forskellige trin i produktionen.

Tidsmønstre

Forureningsudslip fra industrivirksomheder vil ofte have et kompliceret tidsmønster betinget af arbejdstid, produktionsgange, vedligeholdelsesprocedurer m.m. For stoffer, der har langtidsvirkning eller fjerntransporteres, er dette af mindre betydning, fordi det i alle tilfælde er middelværdier over længere tidsrum, der afgør skadevirkningerne. Det indfører dog en komplikation i de efterfølgende undersøgelser af luftforureningens spredning, der afhænger af meteorologiske forhold, som igen varierer med tiden på døgnet og året.

For stoffer med akut virkning, specielt lugt, kan enkelte spidsværdier i udslippet være afgørende for generne og skal tages i betragtning ved senere målinger og beregninger.

Spredningsmekanismer

Når stofferne er sluppet ud i atmosfæren, vil de følge med vindens bevægelser, evt omdannes og til slut igen fjernes fra atmosfæren ved afsætning. I udlandet kan man finde et højt forureningsniveau i udstrakte industriområder, men ved vurdering af luftforurening fra danske industrivirksomheder vil man normalt - og med rimelig god tilnærmelse - gå ud fra, at den enkelte virksomhed er den eneste relevante kilde i området, og at de stoffer, der udsendes, ikke reagerer i nærområdet. Det betyder, at virksomhedens bidrag til luftkoncentrationerne er proportionale med udslippet; og omvendt, at en reduktion i udslippet vil afspejle sig direkte i en forbedring af luftkvaliteten i de enkelte receptorpunkter. Dette fremgår også af Miljøstyrelsens vejledninger og godkendelsesordninger, hvor virksomheder behandles individuelt. Kun i specielle tilfælde, fx klorbrinte, kan stoffernes reaktioner begrænse den relevante udbredelse.

For forurening som følge af anvendelse af fossile brændsler (svovldioxid, kvælstofoxider mv) er situationen en anden, men disse stoffer er omfattet af en anden lovgivning, og den enkelte virksomheds bidrag er normalt marginalt.

Meteorologiske parametre

De senere års teoretiske studier samt felt- og laboratorieundersøgelser har vist, at spredningen i atmosfæren kan beskrives med basale fysiske størrelser, der er afgørende for luftens turbulens: vindhastighed, varmefluxen til atmosfæren og tykkelsen af det turbulente luftlag nær jorden. Disse parametre varierer med højden over jordoverfladen, og spredningen er derfor ikke den samme for høje og lave kilder. Den er heller ikke den samme på forskellige tidspunkter af døgnet og året.

Udslipsbetingelser

Punkt-kilder i form af egentlige skorstene eller mindre luftafkast er karakteriseret ved en udslipshøjde, en udslipshastighed og en gastemperatur. De røggasser, der forlader en egentlig skorsten, har ofte en temperatur, der er væsentligt højere end luftens. Det betyder, at røgfanen stiger til vejrs, indtil den er blevet tilstrækkeligt afkølet; dette såkaldte røgfaneløft betyder, at den effektive skorstenshøjde kan blive væsentligt større end den rent fysiske - måske dobbelt så stor. I enkelte tilfælde har man set, at en røg-

gasrensning, der medførte en afkøling af gassen, faktisk gav højere forureningsniveauer i nærområdet.

Diffuse udslip antages normalt at ske i jordhøjde og ved omgivelsernes temperatur. Alt efter omstændighederne kan de antages at komme fra et enkelt punkt eller fordelt over et areal.

Betydningen af omgivelserne

Normalt vil man observere de største forureningskoncentrationer i en afstand af 5-10 gange skorstenshøjden, men spredningen af røgfaner fra mindre skorstene kan være påvirket af nærliggende bygninger, der forøger turbulensen og dermed niveauerne nær kilden. I alle tilfælde vil terrænformationer have indflydelse på både strømnings- og turbulensforhold. I modelberegninger (afsnittet om undersøgelsesmetoder) tager man hensyn hertil ved at reducere den effektive skorstenshøjde med en størrelse, der afhænger af såvel terrænets højde og hældning som stabilitetsforholdene i atmosfæren.

Undersøgelsesmetoder

Spredningen er afgørende for, hvilke forureningsniveauer der kan opstå, og dermed for de skadelige virkninger i nærområdet. Spredningen kan studeres på flere måder:

Direkte målinger

Forurenende stoffer i atmosfæren måles i princippet på samme måde som i udslip. Hvis de optræder i tilstrækkeligt høje koncentrationer, kan de bestemmes med registrerende instrumenter, men ofte vil industriforurening indeholde mange stoffer i små koncentrationer. Derfor måles den resulterende luftforurening normalt ved opsamling og efterfølgende laboratorieanalyse af luftprøver.

Modelberegninger

Målinger er dyre og tidskrævende, hvis man skal kortlægge variationer i tid og rum, og derfor vil man ofte benytte modelberegninger. Her lader man på basis af emissionsopgørelser og meteorologiske observationer en computer beregne, hvor forureningen blæser hen. De inputdata, der benyttes, behøver selvfølgelig ikke at svare til den virkelige verden; man kan derfor beregne forureningen fra planlagte kilder eller virkningen af planlagte indgreb. Der findes matematiske modeller til mange forskellige formål og spændende i skala fra enkelte gaderum til hele jordkloden. Der kan også være indbygget mere eller mindre detaljerede beskrivelser af kemiske omdannelser.

På den geografiske skala, der er relevant for industrikilder,

anvendes normalt en Gaussisk røgfanemodell. Hvis man i første omgang forestiller sig en kilde, der svæver frit i rummet i et koordinatsystems begyndelsespunkt (0, 0, 0), bliver spredningen beskrevet ved formlen:

$$c(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} e^{-1/2 (\frac{y}{\sigma_y})^2} e^{-1/2 (\frac{z}{\sigma_z})^2}$$

hvor Q er kildestyrken, u er vindhastigheden, σ_y og σ_z er spredningsparametrene (standardafvigelse) i den Gaussiske fordeling i hhv den horisontale og vertikale retning) som funktioner af afstanden x i nedstrøms retning.

I praksis vil kilden, der kan være munden på en skorsten, befinde sig et stykke over jordoverfladen, hvortil man skal lægge det før omtalte røgfanløft; herved fås den effektive udslip(skorstens)højde, h_s . Når røgfanen rammer jordoverfladen, vil den blive reflekteret; antager man, at refleksionen er fuldstændig, og flytter man koordinatsystemets nulpunkt ned til jordoverfladen, kan fordelingen beskrives med formlen:

$$c(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} (e^{-1/2 (\frac{z-h_s}{\sigma_z})^2} + e^{-1/2 (\frac{z+h_s}{\sigma_z})^2}) e^{-1/2 (\frac{y}{\sigma_y})^2}$$

Vha denne formel kan man beregne koncentrationer i receptorpunkter i et plan vinkelret på røgfanen i en given afstand.

Det kritiske problem er spredningsparametrenes afhængighed af de meteorologiske og topologiske forhold. I Danmark anvendes den såkaldte OML-model (operationel meteorologisk luftkvalitet), hvor spredningsparametrene beregnes ud fra grundlæggende mikrometeorologiske størrelser.

OML-modellen, der anbefales af Miljøstyrelsen (1990), anvendes bl.a. til løsning af kortlægnings- og planlægningsopgaver, sagsbehandling i forbindelse med miljøgodkendelser af virksomheder og dimensionering af skorstene. Modellen kan afvikles på PC'er og findes i flere versioner, der kan håndtere både enkelte punktkilder og arealkilder.

Input til modellen er kildedata, oplysninger om omgivende bygninger og terræn samt meteorologiske parametre - om muligt på timebasis for et helt år, således at alle vejrforhold kan tages i betragtning. Output fra modellen er bl.a. 99%-fraktiler af time-middelværdier på månedsbasis, hvilket er enheden for grænseværdien i Miljøstyrelsens luftvejledning (1990). Desuden beregner modellen middelværdier og maksimalværdier på måneds- og årsbasis.

Sporstofforsøg

I specielle situationer kan de fysiske forhold være så komplicerede, at de er vanskelige at beskrive matematisk. Der kan også være tale om stoffer, der er vanskelige at analysere for - fx stærkt giftige stoffer i meget små koncentrationer. I så fald kan spredningen studeres vha sporstoffer. Et meget anvendt sporstof er svovlhexafluorid (SF_6), der ikke findes i naturen, og som kan detekteres i meget små koncentrationer vha en speciel gaskromatograf med elektroncapture-detektor. Sporstoffet slippes ud fra den kilde, man ønsker at studere, og der indsamles luftprøver til analyse. Ved omproportionering mellem udslip af den givne forbindelse og af sporstoffet beregner man forureningsniveauerne.

Lugt

Lugtende stoffer udbredes selvfølgelig som alle andre stoffer, men ofte er der tale om meget lave koncentrationer og måske endda om stoffer, som optræder samtidigt og ikke er identificerede. Hertil kommer, at virkningen afhænger af fysiologiske og til dels psykologiske forhold. De eneste tilfredsstillende målemetoder er derfor baseret på menneskets egen næse. Typisk opsamles luftprøver, hvorefter et panel af forsøgspersoner udsættes for dem i forskellige fortyndinger. Man kan på denne måde fx finde ud af, hvor høj en skorsten skal være, eller hvor meget et udslip skal renses for at reducere lugten til et acceptabelt niveau.

Et konkret eksempel

Som et eksempel på en spredningsberegning er i fig. 15.7 vist resultater fra en ældre undersøgelse af luftforurening fra Cheminovas anlæg på Harboøre Tange. Formålet var bl.a. at belyse forskellene i spredning fra nogle mindre, eksisterende afkast og en planlagt, central, høj skorsten med rensningsanlæg. I begge tilfælde blev der regnet med et standardudslip på 100 g/s, der derefter sammen med de beregnede koncentrationer kunne omproportioneres til aktuelle udslip.

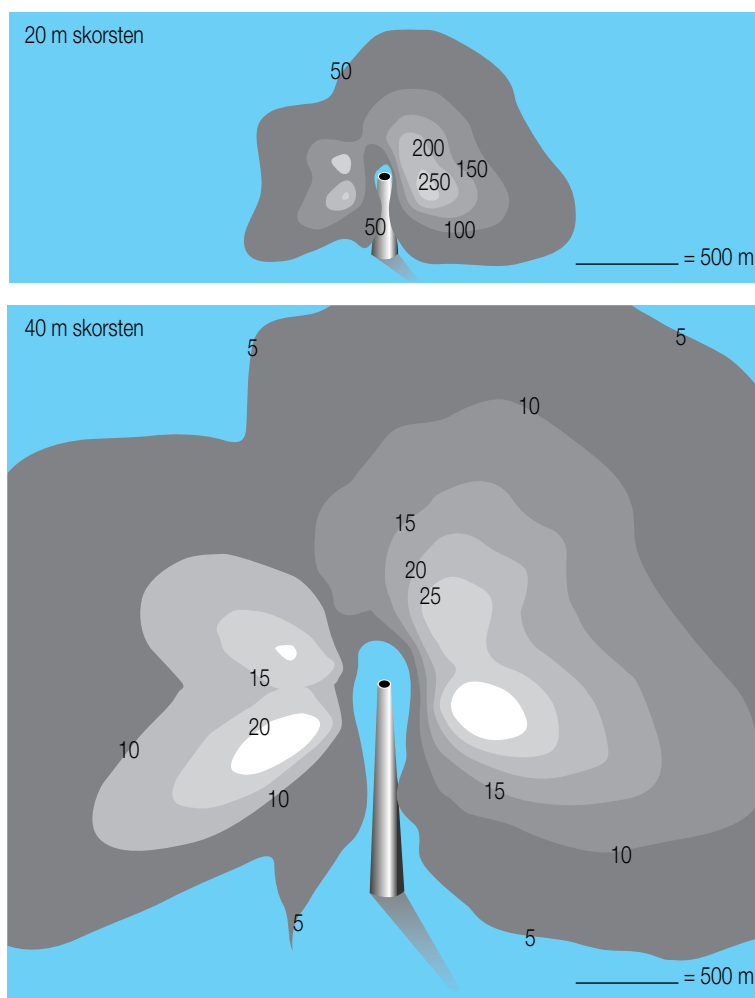
Øverst er vist middelniveauerne for en 20 m skorsten med en røggastemperatur på 20°C og nederst for en 40 m skorsten med en røggastemperatur på 80°C. Koncentrationsfordelingerne er ikke symmetriske; det skyldes en ujævn fordeling af vindretninger og forskelle i det omgivende terræn; for den lave skorsten er der endvidere en påvirkning fra de omgivende bygninger.

Man ser tydeligt, og ikke overraskende, at den lave skorsten giver høje koncentrationer i et relativt lille område, mens den høje skorsten giver lavere værdier i et større område. I begge tilfælde fås de højeste koncentrationer i nogen afstand fra skor-

stenen, nemlig når røgfanens centrum rammer jorden; det sker først for den lave skorsten. I tilfælde af et diffust udslip i jordniveau ville maksimum selvfølgelig ligge lige ved kilden.

Resultaterne fra sådanne beregninger kan præsenteres på mange andre måder, fx som spidsværdier eller fraktiler; der blev fx beregnet maksimale timemiddelværdier på over 1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for den høje skorsten og over 6.000 for den lave (omkring 30 gange mere end årsmiddelværdierne). Det er klart, at en tilsvarende detaljeret fysisk/kemisk udmåling ville have været helt uoverkommelig. Målinger vil derfor fortrinsvis blive brugt til at kontrollere, at modellerne regner rigtigt.

Figur 15.7. Spredning af luftforurening fra to fiktive skorstene på Cheminovas anlæg på Harboøre Tange. I begge tilfælde er der regnet med et udslip på 100 g/s. Der er beregnet middelværdier i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for perioden 1. nov. 1985 - 31. okt. 1986, dvs for et helt år.



Støjforurening

Støj fra industrivirksomheder kan skyldes produktionsmaskineri, ventilatorer i udlufts anlæg, intern trafik o.m.a. Den udbredes i det væsentlige gennem luften og får derved en række ligheds-punkter med luftforurening - bl.a. ved at afhænge af de meteorologiske forhold. Støj indeholder endvidere flere komponenter karakteriseret ved forskellige frekvenser og forskellige tidsmønstre, der er afgørende for de genevirkninger og i værste fald skader, der kan opstå.

Objektivt kan støjniveauet måles som et lydtryk i dB(A). Hvis støjen indeholder tydeligt hørbare toner (typisk for ventilatorer), kan den virke mere generende; det samme gælder, hvis der er hørbare impulser (typisk for bankning eller nitning). Det tilgodeses ved, at man adderer 5 dB til måleresultatet.

Analogt med luftforurening kan *støjmissionen* beregnes, hvis man kender *emissionen* (Miljøstyrelsen 1993), idet der ved beskrivelsen af udbredelsen tages hensyn til bygninger, terræn mv. En af fordelene ved at beregne støjbelastningen i stedet for at måle den er, at man får oplysninger om bidragene fra hver enkelt kilde eller gruppe af kilder. Herved kan man lettere og mere effektivt gribe ind, fx i form af støjdæmpning af selve kilderne eller opførelse af lyddæmpende mure.

I modsætning til grænseværdier for luftforurening, der gælder ensartet overalt og på alle tider af døgnet, er grænseværdier for støjbelastning tilpasset forholdene (Miljøstyrelsen 1984). Der accepteres således væsentligt højere niveauer i erhvervs- og industriområder (70 dB(A)) end i bolig- og naturområder (ned til 35 dB(A)). Ligeledes kan kravene være strengere uden for normal arbejdstid og specielt om natten.

Vandforurening

Gamle forurenede industrigrunde udgør stadig en trussel mod overflade- og grundvand, men fremover vil industrivirksomheders spredning af forurening via vand i det væsentlige ske i form af spildevand. Det betyder, at den enkelte virksomhed stort set er ude af stand til at påvirke selve spredningen. Indsatsen må lægges i at reducere udslippet. Analogt med luftforurening stilles kravene til afledningen fra en industri ud fra 1) hensynene til beskyttelse af spildevandssystemet og vandområderne samt 2) virksomhedens eller branchens muligheder for at begrænse afledningen ved den bedste tilgængelige teknologi; herunder primært renere teknologi, sekundært rensning (Miljøstyrelsen 1994 samt referencer heri).

I forhold til selve kloaknettet skal der tages hensyn til risiko for tilstopning, eksplosioner, hydraulisk overbelastning og korrosion. Det betyder, at der lokalt kan stilles krav om fx maksimal vandføring.

Fremover vil stort set alle rensningsanlæg i Danmark være indrettet til nedbrydning af organisk stof samt kvælstof- og fosforfjernelse; derfor vil der indgå biologiske processer som nitrifikation, denitrifikation, aerob respiration samt evt biologisk fosforoptagelse og anaerob udrådning af slam. Spildevandet må derfor ikke indeholde stoffer, som hæmmer disse processer.

Slam fra rensningsanlæg er en ressource, der i videst muligt omfang skal udnyttes. Primært sættes i Danmark på udnyttelse af slammet som gødning ved udbringning på landbrugsjord. I den forbindelse stilles krav til slammets kvalitet i form af grænseværdier for indholdet af tungmetaller. For den enkelte mark er der endvidere et loft over tilførsel af fosfor og kvælstof.

Slam, der ikke kan anvendes, bliver brændt eller deponeret. Ved forbrænding frigøres en betydelig del af bl.a. de indeholdte tungmetaller, der overføres til restproduktet fra røggasrensningen eller spredes i omgivelserne. Specielt de flygtige stoffer kviksølv og arsen kan her give problemer. Ved deponering af restprodukterne opstår igen en risiko for udvaskning og dermed vandforurening.

Ikke alle stoffer bliver opfanget i rensningsanlæg, det gælder specielt vandopløselige, tungtnedbrydelige stoffer. Mange er miljøfarlige og bioakkumulerbare; de bør derfor elimineres fra spildevandet.

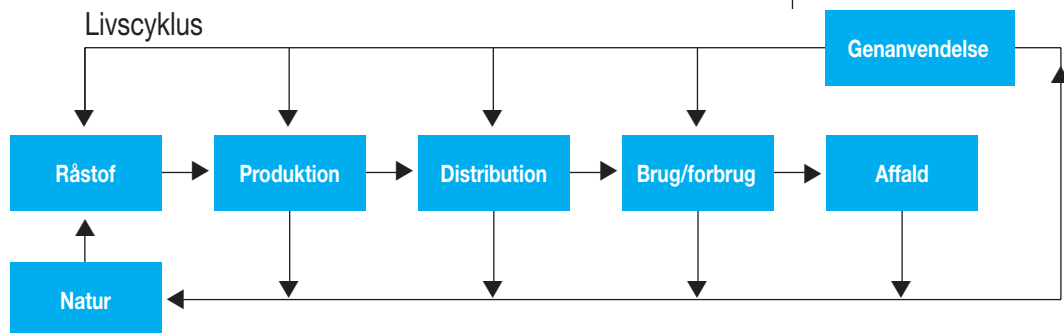
Generelt er der i mange tilfælde risiko for såkaldt "transmedieforurening", hvor løsning af fx et vandforureningsproblem blot medfører et tilsvarende luftforureningsproblem eller omvendt, fordi de skadelige stoffer ikke forsvinder, men blot bliver flyttet. Løsningen er derfor ikke at sprede forureningen, men så vidt det overhovedet er muligt at forhindre, at den opstår.

Livscyklusvurderinger og arbejdsmiljø

Livscyklusvurderinger (Life Cycle Assessments, LCA) er ved at blive et almindeligt redskab til kortlægning og vurdering af de ressourcemæssige og miljømæssige belastninger, et produkt eller materiale kan forårsage ved dets vandring gennem samfundet "fra vugge til grav". Livscyklusvurderingerne har især været centreret omkring ressourceforbrug, energiforbrug, belastninger af det ydre miljø og genanvendelsesmuligheder, hvorimod der ikke har været

tradition for at medtage spørgsmål om arbejdsmiljøbelastninger.

Livscyklus starter med udvinding af råstoffer og fortsætter med fremstilling af materialer, produktfremstilling, brug og bortskaffelse. Til alle disse faser er der desuden knyttet transport af materialer, produkter og udstyr. Fig. 15.8 viser en skitse af de overordnede faser i livscyklus.



Livscyklusvurderinger (LCA)

Metodeudviklingen inden for livscyklusvurderinger foregår i dag især i regi af Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). Der kan bl.a. henvises til "Guidelines for Life-Cycle assessment: A Code of Practice", SETAC 1993. Fra den Internationale Standardiserings Organisation (ISO) er der LCA-standarder på vej, nemlig en generel (ISO 14040) og tre mere specifikke (ISO 14041-43).

Den nu mest anerkendte metode til livscyklusvurdering består af fire faser (se også fig. 15.9):

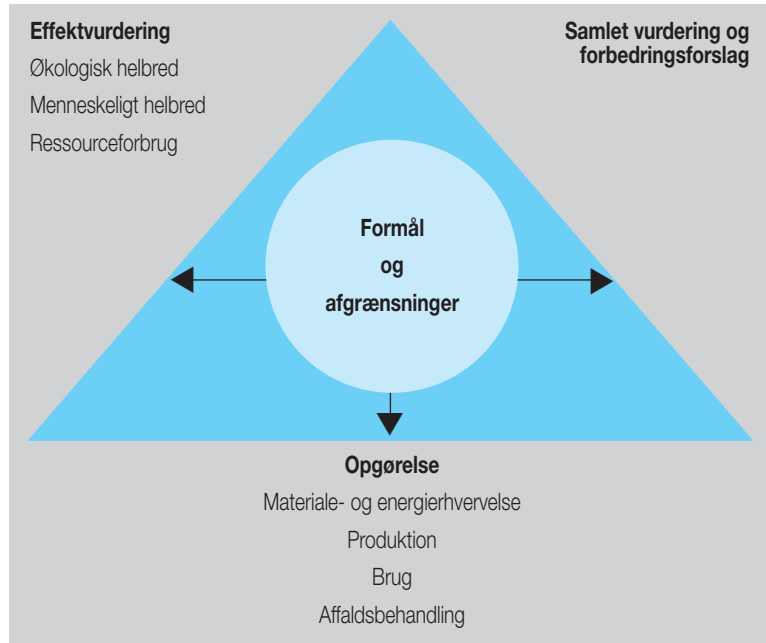
1. Formål og afgrænsninger (Goal definition and Scoping)
2. Opgørelse (Inventory)
3. Effektvurdering (Impact assessment)
4. Samlet vurdering og forbedringsforslag (Improvement assessment).

Som det fremgår af fig. 15.9, er en livscyklusvurdering ikke nødvendigvis en lineær eller trinvis proces, idet der fx kan anvendes data fra fase 2 (opgørelse) til forbedringsforslag i fase 4, uden at der er foretaget effektvurdering i fase 2 osv.

Under hensyntagen til LCA-anvendelsen skal der ved fastlæggelsen af *formål og afgrænsning* bl.a. defineres følgende: metode, produkt, afgrænsninger (skal fx arbejdsmiljøbelastninger med?), kategorier af og krav til data, effektkategorier, funktionel enhed (fx emballering, der anvendes til levering af 100 liter øl) samt kvalitetsstyring af LCA'en.

Figur 15.8. Skitse af de overordnede faser i livscyklus.

Figur 15.9. Livscyklusvurdering - teknisk struktur (SETAC).



Opgørelsen (inventory analysis eller Life Cycle Inventory, LCI) består af indsamling, beregning eller estimering af kvantitative data vedr. energi- og råmaterialeforbrug, emissioner til vand og luft (og arbejdsmiljø), produktion af fast affald og genanvendelse. Input- og outputdata indsamles fra alle faser i produktets livscyklus, råstofudvinding, produktion, distribution og brug (se fig. 15.8). En LCI kan godt gennemføres og anvendes i mere begrænset form fx uden råstofsfasen, hvis det drejer sig om interne produktformuleringsforbedringer, hvor råmaterialerne er definerede. Det er således meget vigtigt, at afgrænsningen af produktsystemet er veldefineret.

På basis af LCI foretages ved *effektvurderingen* en kvalitativ og/eller kvantitativ karakterisering og vurdering af de miljømæssige belastninger. Vurderingen skal ud over effekten på ressourcebeholdning og landarealer indeholde økologiske effekter og effekter på det menneskelige helbred (og social velfærd). Belastningerne klassificeres først efter deres (potentielle) miljømæssige effekt, fx drivhuseffekt eller toksiske effekt (se tab. 15.1, kilde SETAC).

Derefter foretages en karakterisering, hvor der defineres standardenheder (normalisering) for de enkelte effekttyper (fx kuldi-oxid-ækvivalenter), således at enkeltbidragene af belastningen fra de forskellige livscyklusfaser kan aggregeres. Effekttyperne inddeles også efter, i hvilket målestoksforhold de virker: globale, regionale og lokale. Drivhuseffekten er eksempelvis et globalt

Specifikke effektkategorier Eksempler	Generelle beskyttelsesområder Ressourcer	Menneskeligt helbred	Økologisk helbred
Ressourceforbrug			
- formindskelse af abiotiske ressourcer	+		
- formindskelse af biotiske ressourcer	+		
Forurening			
- global opvarmning		(+)	+
- ozonnedbrydning		(+)	(+)
- human toksicitet		+	
- økotoksicitet		(+)	+
- fotokemisk oxidantdannelse		+	+
- forsurening		(+)	+
- eutrofiering			+
Nedbrydning af økosystemer og landskaber			
- brug af landarealer			+
+ direkte potentiel effekt (+) indirekte potentiel effekt			

problem, forsurening et regionalt og human toksicitet ofte et lokalt problem (arbejds miljø). Til sidst sammenholdes og vægtes de aggregerede belastninger af de forskellige effekttyper.

På basis af effektvurdering og LCI vurderes muligheder og krav til *forbedringer*, der i første række skal reducere de ressource-mæssige, miljømæssige (og arbejds miljø-mæssige) belastninger.

Livscyklusvurderinger kan *anvendes* internt (fx i en virksomhed) og eksternt. Intern anvendelse kan omfatte materialevalg, produktforbedring og udvikling af nye produkter. Ekstern anvendelse kan omfatte miljømærkning og andre former for forbrugerinformation samt forbud mod eller tilladelse til markedsføring af produkter. Livscyklusvurderinger er et nødvendigt led i *miljøstyring* og *miljørevision*, se afsnittet om miljøstyring.

Arbejds miljø i livscyklusvurderinger

Hvis det besluttet under fastlæggelse af formål og afgrænsning for en LCA, at arbejds miljø skal indgå i vurderingen af en eller flere af livscyklusfaserne (råvareudvinding, produktion, brug og bortskaffelse), stiller det ofte store (uoverstigelige) krav til opgørelsen af arbejds miljøbelastningsdata. Ofte vil der være tale om ikke-eksisterende arbejdsprocesser, nye materialer og nye produktioner.

Dataindsamlingen omfatter bl.a.:

Tabel 15.1. Forholdet mellem specifikke effektkategorier og generelle beskyttelsesområder (SETAC).

- ◆ registrering af stoffer og materialer, herunder indhentning af sammensætnings- og farlighedsoplysninger og vurdering af risiko for dannelse af stoffer under processer
- ◆ registrering af andre arbejdsmiljøbelastninger (støj, ergonomi)
- ◆ udførelse af målinger eller indsamling af andre eksponeringsdata
- ◆ indsamling af sekundære data, eksempelvis beskrivelser i litteraturen af arbejdsmiljøbelastninger ved bestemte arbejdsprocesser eller opstilling af scenarier med henblik på vurdering af arbejdsmiljøbelastninger i endnu ikke eksisterende arbejdsprocesser.

I "Livscyklusvurderinger og arbejdsmiljø", Arbejdsmiljøinstituttet 1993 er beskrevet seks eksempler på, hvorledes arbejdsmiljø kan indgå i LCA. Et af de mest kritiske punkter i alle seks LCA'er er vurderingen af eksponeringerne i arbejdsmiljøet, som i modsætning til udsættelse i det ydre miljø helt afhænger af den enkelte arbejdsproces. Da denne ofte er ukendt eller hypotetisk, må man bl.a. forsøge sig med en grov eksponeringsvurdering ud fra stoffernes fysisk-kemiske egenskaber og mængder samt ud fra et overordnet kendskab til proces teknologi. Som eksempel er der i skemaet i tab. 15.2 angivet de parametre, der foreslås anvendt ved vurdering af den potentielle eksponering i arbejdsmiljøet, når der ikke foreligger måledata.

Tabel 15.2. Kriterier for eksponeringsvurdering på baggrund af stof- og procesdata.

Parameter	Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
Materiemængde (kg/dag)	< 10	10 - 100	> 100
Lukket/åben proces	Lukket	Delvis lukket	Åben
Flygtighed			
Damptryk ved procestemperatur (kogepunkt)	< 5 mm Hg ($k_p > 150^\circ\text{C}$)	5 - 25 mm Hg ($150 \geq k_p \geq 100^\circ\text{C}$)	> 25 mm Hg ($k_p < 100^\circ\text{C}$)
Støv/aerosol-dannelse	Ingen	Mulig	Sikker
Hudkontakt	Ingen	Mulig	Sikker

Ud fra oplysninger om den konkrete proces udfyldes skemaet, og eksponeringen vurderes derefter som lav, mellem eller høj i forhold til følgende kriterier:

- Høj eksponering:* Mindst 2 parametre fra kategori 3.
- Middel eksponering:* Mindst 3 parametre fra kategori 2 og 3, dog højst én fra kategori 3.
- Lav eksponering:* Højst 2 parametre fra kategori 2 eller højst én parameter fra kategori 2 og én parameter fra kategori 3.

Hvis man har sikkerhed for, at der ikke forekommer udslip af stof fra processerne, vurderes den potentielle eksponering i alle tilfælde som lav.

En vurdering af arbejdsmiljø i forbindelse med livscyklusvurderinger vil være forholdsvis overfladisk, og den vil ikke kunne erstatte en grundig vurdering af arbejdsmiljøet i de enkelte virksomheder og brancher. Men livscyklusvurderinger retter sig i deres natur mod en væsentlig kilde til forebyggelse af arbejdsmiljøproblemer: virksomhedernes tekniske planlægning - i form af ændringer eller nyudviklinger af produkter og processer. Derfor kan de også ses som en chance for at fremme en hensyntagen til arbejdsmiljøproblemer i de teknologiske planlægningsprocesser.

Betydelige risici

Risikodirektiv, -bekendtgørelse og -vejledning

Rådet for de europæiske Fællesskaber udstedte 24. juni 1982 et direktiv "om risikoen for større uheld i forbindelse med en række industrielle aktiviteter" - til daglig kaldet risikodirektivet eller Seveso-direktivet. Begrundelsen var, at "beskyttelse af befolkning og miljø samt betryggelse af sikkerhed og sundhed på arbejdspladsen kræver særlig opmærksomhed i forbindelse med visse industrielle aktiviteter, som kan forårsage større uheld; uheld af denne art er tidligere forekommet i Fællesskabet og har haft alvorlige følger for arbejdstagere samt for befolkningen og miljøet i almindelighed".

Blandt de større uheld, der refereres til, kan nævnes eksplosionen i Flixborough i England i 1974, hvor 28 personer omkom, og udslippet af tetrachlordibenzoparadioxin i Seveso i Italien i 1976, som medførte hudlidelser hos befolkningen, evakuering og store oprensningsarbejder.

I Danmark blev direktivet implementeret ved Miljøministeriets Bekendtgørelse nr. 204 af 1. maj 1984. I Arbejdsministeriet fandt man, at Arbejdsministeriets Bekendtgørelse nr. 323 af 7. juli 1983 om arbejdets udførelse dækkede behovet. Der skal ikke herske nogen tvivl om, at risikodirektivet ikke kun handler om virkninger på det ydre miljø - uden for hegnet - men også om virkninger på arbejdsmiljøet. Miljøstyrelsen og Arbejdstilsynet udsendte da også i 1985 en fælles vejledning "Pligter ved risikobetonede aktiviteter". Miljøministeriets første bekendtgørelse blev afløst af Bekendtgørelse nr. 545 af 16. september 1988, og der kom en ny

vejledning i 1990, hvor nu også Statens Brandinspektion og Justitsministeriet er medudgivere.

Pligter ved risikobetonede aktiviteter

En risikobetonet aktivitet er defineret ved at involvere et eller flere farlige stoffer. Mange af disse er nævnt ved navn. For dem, der ikke er nævnt, gælder der vejledende kriterier for giftighed. Der er stoffister gældende for industrielle anlæg og for særskilt oplagring, begge med angivelse af, hvilke mængder der fører til anmeldelsespligt. I en revision af direktivet, der er undervejs, er stofferne fareklassificering det generelle grundlag, men der er stadigvæk mængdegrænser.

Alle virksomheder, der har risikobetonede aktiviteter, skal kunne godtgøre, at de har klarlagt de bestående risici for større uheld og har truffet de nødvendige forebyggende foranstaltninger. Har virksomheden mængder af de farlige stoffer, som er større end anført i listerne, skal den indgive en anmeldelse. Grænsen kan være så lav som 1 kg. For chlor er grænsen for anmeldeligt for industrielle anlæg 25 t, mens den for særskilt oplagring er 75 t.

Anmeldelsen skal indeholde oplysninger om de farlige stoffer og om anlæggene, herunder "en beskrivelse af de dele af anlægget, der i sikkerhedsmæssig henseende er særlig betydningsfulde, af farekilderne og af de forhold, hvorunder et større uheld kan indtræde, samt af de planlagte forebyggelsesforanstaltninger".

Begrebet risikoanalyse er ikke nævnt i bekendtgørelsen, men introduceres først i vejledningen: "Oplysningerne i anmeldelsen ... kan bl.a. omfatte en risikoanalyse ... Ved risikoanalyse forstås en systematisk analyse for mulige fejl i forbindelse med en given risikobetonet aktivitet og konsekvenserne af disse fejl. En sådan analyse vil som hovedregel være nødvendig ved komplicerede anlæg ...". Der er ingen faste regler for risikoanalysens indhold og omfang, og det anbefales at aftale dette med de involverede myndigheder i det enkelte tilfælde. En risikoanalyse vil normalt omfatte identifikation af mulige uheld, beregning af ulykkesfrekvensen (sandsynligheden for uheld) og konsekvensberegninger.

Metoder til identifikation af mulige uheld

Den grundlæggende del af en risikoanalyse er identifikationen af mulige uheld, og det er vigtigt, at virksomhedens egne medarbejdere deltager, dels pga den viden, de har om anlægget, dels pga, at arbejdet med analysen skærper deres årvågenhed og risikobevisthed.

Der står et antal metoder til rådighed. Hvilke man skal vælge, afhænger af, hvor farligt, kompliceret og "ukendt" anlægget er, og hvor mange ressourcer der står til rådighed. Metoderne kan inddeles i to grupper, alt efter om man arbejder sig ned fra en uønsket tophændelse, eller om man arbejder sig op fra en primær hændelse. Den uønskede tophændelse kan fx være "eksplosion", og den primære hændelse "brud på benzinrør". Starter man med en tophændelse, kan der være tale om et faretræ for et helt anlæg, hvor målet er at finde den kombination af hændelser og tilstande, der kan resultere i vedkommende tophændelse, eller om et fejltræ, hvor tophændelsen er lokaliseret, fx svigt af en bestemt pumpe.

Blandt de metoder, der starter med primære hændelser, er den almindeligst anvendte for kemiske procesanlæg den såkaldte hazop - hazards and operability study. Der ses volumen for volumen på afvigelser fra normale tilstande, deres betydning for dette volumen og forstyrrelsens spredning gennem anlægget. Det må antages, at man ved at anvende denne metode identificerer flere risici end ved brug af faretræer, da det ikke er sikkert, at man på forhånd kender alle farer. Til gengæld er metoden mere ressourcekrævende.

En hazop retter sig især mod et anlæg i normal kontinuert drift, men de fleste kemiske processer gennemføres chargevis, og alle anlæg skal startes og stoppes. Til analyse af diskontinuert drift findes en analysemetode kaldet aktion-fejl, hvor man ser på, hvad der kan ske, hvis den normale procedure ikke følges slavisk. Her er nøgleordene for tidligt?, for sent?, udeladt?, for meget? for lidt? osv.

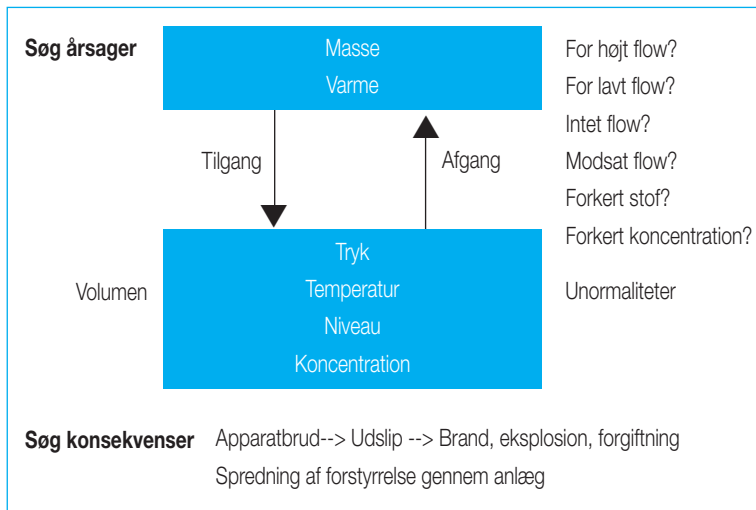
Hazop

Som oftest begynder en risikoanalyse af et kemisk anlæg med en hazop - en hazards and operability study. Arbejdsmetoden kan illustreres ved fig. 15.10.

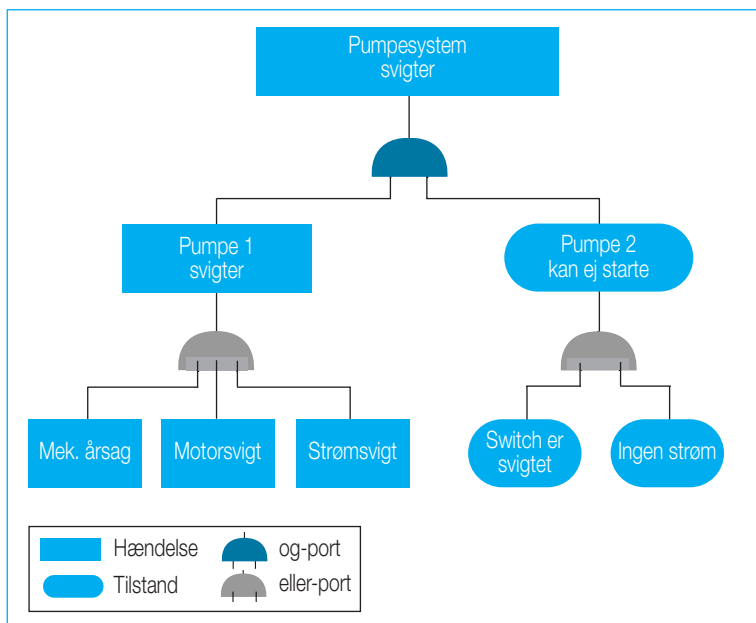
Anlægget gennemgås systematisk, og for hvert volumen (beholder, pumpe, rørstreng) ses der på de intensive variable (tryk, temperatur, niveau, koncentration mv). Man leder efter årsager til afvigelser fra det normale, og de kan være, at strømme af masse og energi er for store, for små, nul eller modsat rettede etc. Man søger også efter konsekvenser. Spredt forstyrrelsen sig gennem anlægget? For højt tryk i et volumen kan føre til for højt tryk i det næste volumen. Kan forstyrrelsen evt føre til et apparatbrud med yderligere konsekvenser i form af brand, eksplosion eller forgiftning? Man skal yderligere overveje andre årsager til forstyrrelser, såsom korrosion, stop af omrører og ekstreme vejrforhold.

Analysen vil resultere i opdagelse af nogle uønskede forhold. Den gruppe, der foretager analysen, kan på stedet komme med

Figur 15.10. Arbejdsmetode for en Hazop.



Figur 15.11. Fejltræ for svigt af pumpesystem.



forslag til forbedringer af sikkerheden, men ofte må forholdene underkastes en nøjere undersøgelse, før der kan foreslås ændringer. Til hjælp ved analysen findes der skemaer - eller skærmbilleder - med checklister og forslag til både årsager til uregelmæssigheder, deres konsekvenser og deres afhjælpning.

Frekvensberegninger

Et fejltræ egner sig til beregning af hyppigheden eller sandsynligheden af et uheld. Et meget simpelt fejltræ - for svigt af et pumpe-system - er vist i fig. 15.11. Fejltræet indeholder og-porte, hvor begge betingelser skal være opfyldt, og eller-porte, hvor det er nok, hvis den ene eller den anden er opfyldt. Ved og-porte skal sandsynlighederne multipliceres, ved eller-porte skal de adderes. Der skelnes i dette fejltræ mellem hændelser - pumpe 1 svigter - og sandsynligheder - pumpe 2 kan ikke starte. Fejltræet kan også bruges til at illustrere begrebet fælles årsag: hvis pumperne har fælles strømforsyning, og strømmen til pumpe 1 svigter, er der heller ikke strøm til pumpe 2. De data for svigthyppigheder og sandsynligheder, der benyttes i beregningerne, er i princippet empiriske og til rådighed i forskellige databaser.

Konsekvensberegninger

Til beregning af konsekvenserne af et uheld benyttes serier af matematiske modeller af de fysiske og biologiske processer, der foregår. Ses der eksempelvis på et udslip af flydende chlor fra en brækket stuts på en lagertank, kan der være følgende trin:

- ◆ beregning af udslippets størrelse
- ◆ modellering af den resulterende sky, som er tungere end luft, dens bevægelse, fortynding med luft og overgang til passiv spredning
- ◆ beregning af personers eksponering og den biologiske effekt.

I mange tilfælde spiller de meteorologiske og terrænmæssige forhold en rolle, og talrige scenarier må gennemregnes.

Et andet eksempel kan være et udslip af en brændbar væske, der danner en sø, som antændes. Her kan de følgende trin være:

- ◆ søens forbrændingshastighed og flammernes højde
- ◆ strålingsintensiteten i omgivelserne og dens effekt på mennesker og materialer.

Ledelsens rolle

Mangfoldige undersøgelser har vist, at organisatoriske forhold har været af afgørende betydning for uheld og ulykker. Efter det gældende direktiv kræves der ingen oplysninger herom, men ifølge den revision, der er undervejs, skal alle omfattede virksomheder

indføre sikkerhedsstyring med målsætninger, foranstaltninger og regelmæssig audit.

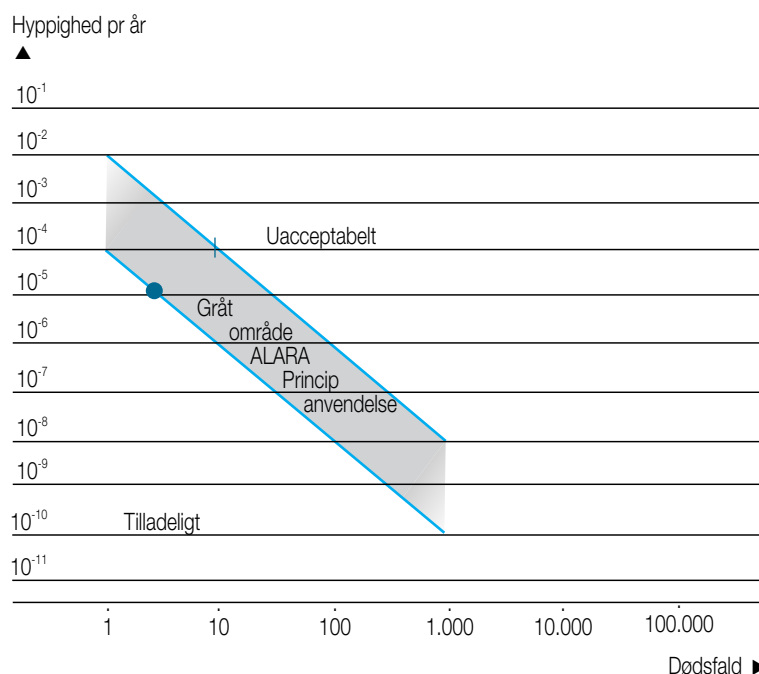
MORT - Management Oversight and Risk Tree - er en analysemetode, hvis grundlæggende idé er, at ethvert uheld har en teknisk årsag og en ledelsesmæssig årsag, og at det er ledelsen, der er vigtigst. Den er velegnet til analyse af uheld eller tilløb til uheld. Der anvendes en fejltræsteknik med en teknisk gren og en ledelsesmæssig gren.

Det er ledelsens opgave at udforme en sikkerhedspolitik, at gennemføre den og at lave sikkerhedsvurderinger. Nogle kriterier, der er foreslået som passende, er (Hesselmans, 1990):

Politik og ledelse	Sikkerhed skal være et linieansvar (ikke stabsansvar)
Formål	Risici skal være så små som praktisk muligt
Risikoanalyse	Risikoanalysen skal omfatte en inspektion udført af et uafhængigt organ.

Der findes en skandinavisk metode, SMORT - Safety Management and Organization Review Technique - som bygger på MORT, og som er beregnet til forbedring af arbejdsmiljøet.

Figur 15.12. Diagram for accept af samfundsmæssig risiko.



Acceptkriterier

Stærke følelser vækkes, når der tales om acceptabel risiko. Det er imidlertid udgangspunktet for fastsættelse af grænseværdier, og det ville være meningsløst at føre konsekvensberegninger helt igennem til humane konsekvenser, hvis der ikke var nogen målestok.

I Danmark lægges der mindre vægt på den talmæssige beregning af risikoen ved større uheld, og der findes kun uofficielle retningslinier. For den samfundsmæssige risiko forbundet med en enkelt risikobetonet aktivitet er der foreslået et diagram, hvor abscissen er "flere døde end ...", og ordinaten er hændelser pr år (fig. 15.12). Der ses at være tre områder. I det ene er aktiviteten tilladelig, i det andet er den uacceptabel, mens man i det tredje og grå område, der ligger imellem, må forlange, at risikoen er "as low as reasonably achievable" (ALARA).

For den individuelle risiko for dødsfald foreslås et maksimalt tilladeligt niveau på 10^{-6} pr år.

Litteratur

Miljøstyring

Draft International Standard, ISO/DIS 14001, Environmental Management Systems - Specification with guidance for use (Afstemningsperiode: 1995-08-10 til 1996-02-10).

ISRS: International Safety Rating System (DNV)

OHSMS: Occupational Health and Safety Management System (DNV, 1995).

Rådets Forordning (EØF) Nr. 1836/93 af 29. juni 1993 om industrivirksomheders frivillige deltagelse i en fællesskabsordning for miljøstyring og miljørevision.

Spredning af forurening

Andersen C, Christensen NN. Spildevand. Akademisk Forlag, 64 sider.

Dalager J. Luftvejledning. Aktuelt Miljø 3, 1995, 3-6.

(Kortfattet vurdering af Miljøstyrelsens vejledning Nr. 6 1990).

Fenger J, Tjell JC (red.). Luftforurening. Lyngby, Polyteknisk Forlag, 1994. 479 sider.

Fenhann J, Kilde NA. Inventory of Emissions to the Air from Danish Sources 1972-1992. Roskilde, Forskningscenter Risø, 1994, 111 sider.

- Johnsson WG. MORT Safety Assurance Systems. Marcel Dekker, 1980.
- Lange NK, Christensen BE, Pedersen G. Det grønne eller miljøvenlige produkt eksisterer ikke, men! Naturens Verden 1995, 232-239.
- Miljøstyrelsen. Ekstern støj fra virksomheder. Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 5/1984. København, Miljøstyrelsen. 58 sider.
- Miljøstyrelsen. Begrænsning af lugtgener fra virksomheder. Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 4/1985. København, Miljøstyrelsen. 28 sider.
- Miljøstyrelsen. Begrænsning af luftforurening fra virksomheder. Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 6/1990. København, Miljøstyrelsen. 104 sider.
- Miljøstyrelsen. Beregning af ekstern støj fra virksomheder. Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 5/1993. København, Miljøstyrelsen. 122 sider.
- Miljøstyrelsen. Tilslutning af industrispildevand til kommunale spildevandsanlæg. Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 6/1994. København, Miljøstyrelsen. 104 sider.
- Miljøstyrelsen. Tilsyn med virksomheder. Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 3/1995. København, Miljøstyrelsen. 118 sider.

Livscyklusvurderinger og arbejdsmiljø

- Wilhardt, P (ed) et al. Livscyklus og arbejdsmiljø, Arbejdsmiljøinstituttet, København 1993.
- Guidelines for Life-Cycle assessment: A Code of Practice, SETAC 1993.
- Keoleian GA et al. Product Life Cycle Assessment to Reduce Health Risks and Environmental Impacts, Noyes Publications, New Jersey 1994.
- Pedersen B (ed). Environmental Assessment of Products - A Course on Life Cycle Assessment. UETP-EEE The Finnish Association of Graduate Engineers, 1993.
- Product Life Cycle Assessment - Principles and Methodology, Nordic Council of Ministers NORD 1992:9.

Betydelige risici

- Miljøstyrelsen og Arbejdstilsynet. Pligter ved risikobetonede aktiviteter. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 3, 1985.
- Miljøstyrelsen, Arbejdstilsynet, Statens Brandinspektion og Justitsministeriet. Pligter ved risikobetonede aktiviteter. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 4, 1990.
- Taylor JR. (red.). Kvantitative og kvalitative kriterier for risikoaccept. Miljøprojekt nr. 112, Miljøstyrelsen, 1989.
- Heselmans M. The MORT Criteria. E.E.G. Seminar on Industrial Risks, Antwerp 25-27 September 1990.

SMORT, Säkerhetsanalys av industriell organisation, Arbeterskyddsnämnden, Stockholm, 1989.

Anbefalet litteratur

Betænkning om betydelige risici, Betænkning nr. 1045, København 1985.

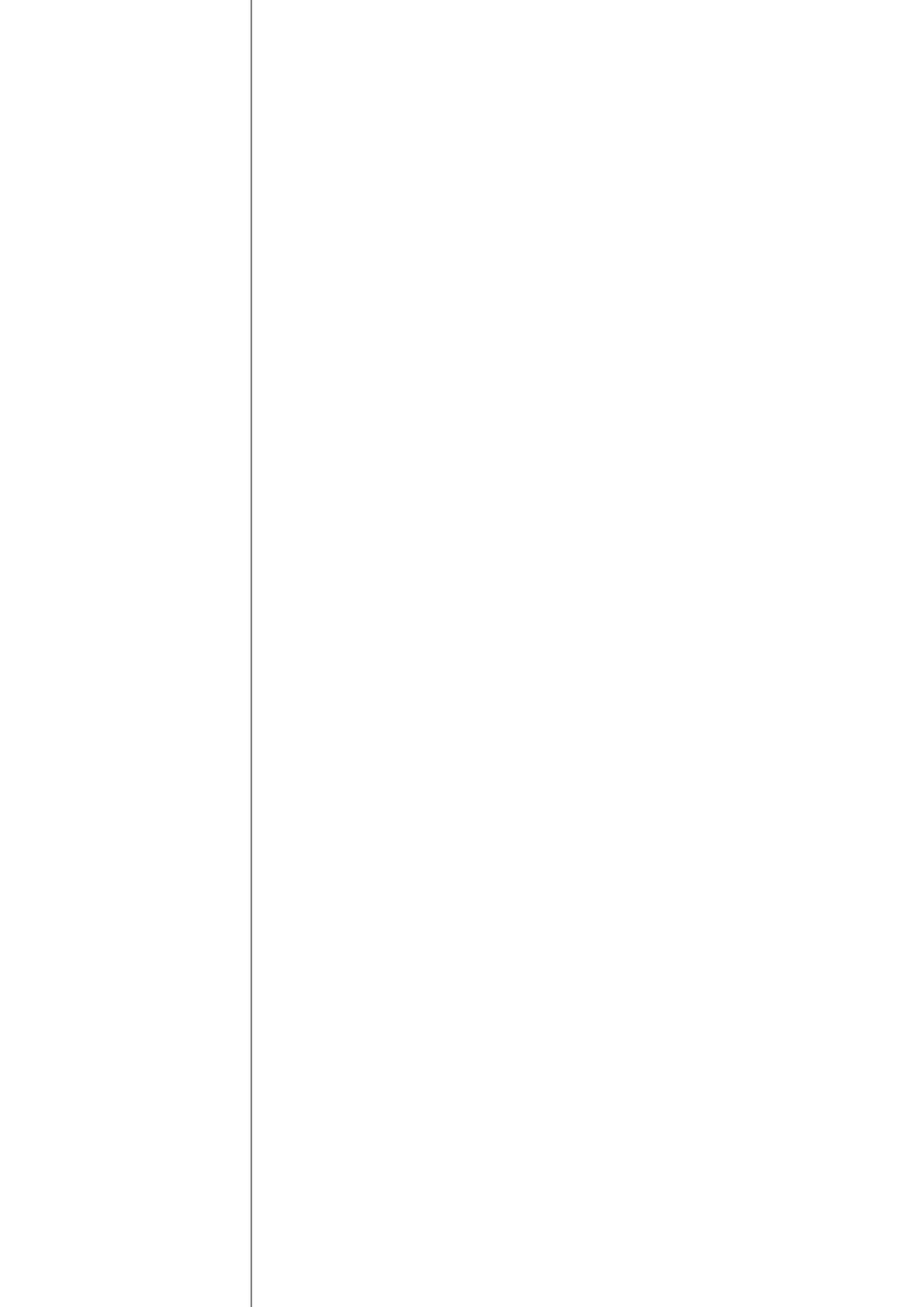
Guidelines for Hazard Evaluation Procedures. Second Edition with Worked Examples. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 1992.

Trevor A. Kletz. What Went Wrong? Case Histories of Process Plant Disasters. Gulf Publishing Company, 1985.

Trevor A. Kletz. Hazop and Hazan. Identifying and Assessing Process Industry Hazards. Third Edition, Institution of Chemical Engineers, Rugby, 1992.

Frank P. Lees. Loss Prevention in the Process Industries. Butterworth & Co., 1980.

Taylor JR. Risk Analysis for Process Plant, Pipelines and Transport. E & FN Spon, 1994.



KAPITEL 16

Planlægning og projektering

*S. Mørch Flagstad
S. Laustsen*

Planlægning og projektering

Forebyggelse af arbejds miljøproblemer i projekter

Ved projektarbejder i forbindelse med byggeri og anlæg har man som aktør muligheden for at benytte de efterhånden mange forskningsresultater og erfaringer om arbejdsmiljø på en forebyggende måde. Årsagerne til arbejdsmiljøproblemer med bygninger og tekniske anlæg er velkendte. Det er disse erfaringer, som skal udnyttes forebyggende i projektsammenhænge, ved enten at bibringe aktørerne denne viden eller ved at øge bevidstheden om muligheden blandt aktørerne.

Levetiden for bygninger og faste anlæg er relativt lang set i forhold til de produktions- og arbejdsprocesser, som de rummer. Arbejdsprocesserne derimod forandrer sig til stadighed både teknologisk og indholdsmæssigt. Derfor er det af stor betydning, at de bygninger eller faste anlæg, som skal opføres, og som skal være arbejdsplads i mange år fremover, bliver af en sådan kvalitet, at de er arbejdsmiljømæssigt gennemtænkte og sikrer en fornuftig standard både her og nu og så vidt muligt også fremover. I dette kapitel anvises en planlægningsmodel og konkrete redskaber, der kan være en støtte for processen.

Der har siden 1978 været et lovkrav til projekterende og rådgivende mht ansvar og pligter i forhold til arbejdsmiljø i projekter. I 1993 blev kravene yderligere præciseret i Byggepladsbekendtgørelsen, især vedr. arbejdsmiljøet for de udførende. Kravene er således ikke nye, og det er forbundet med strafansvar for projekterende og rådgivende at udforme projekter i strid med arbejdsmiljølovgivningen.

Når man som arbejdsmiljøprofessionel tekniker indgår i projektarbejder, er det meget vigtigt at få rede på, hvilken opgave og hvilken rolle der er tale om, samt at få aftalt rammerne for rådgiv-

ningsydelsen. Arbejdsmiljø bør indgå på lige fod med teknik, fysik og økonomi i projekter, hvilket også bør komme til udtryk i de roller, der defineres i starten af planlægningsforløbet. Det vil, når det færdige projekt skal opføres/anlægges og bruges, betyde, at arbejdsmiljøet for de udførende og for slutbrugerne er medtænkt som en naturlig prioriteret del af opgaven.

Dataindsamling og erfaringstilbageføring

Som input til planlægningsprocessen er det vigtigt at få indsamlet al eksisterende viden om virksomheden. Det kan måske umiddelbart forekomme uoverskueligt at skulle i gang med en planlægningsproces, hvor der også skal lægges vægt på arbejdsmiljøet. Det ville det naturligvis også være, hvis man skulle starte forfra med diverse kortlægninger af produktion og arbejdsprocesser, tekniske anlæg, bygninger og arbejdsmiljø. Men i langt de fleste tilfælde eksisterer der allerede materiale, som man kan anvende. I det følgende nævnes typisk materiale, der bør indsamles og gennemgås i de indledende faser af et projekt for at få opsamlet relevante krav og eksempler på gode løsninger:

- ◆ sikkerhedsorganisationens arbejde
- ◆ arbejdspladsvurderinger
- ◆ miljøledelsesrutiner
- ◆ arbejdsmiljøundersøgelser
- ◆ andres erfaringer i samme situation.

Det er oplagt først at tage fat i den aktuelle *sikkerhedsorganisationens arbejde*. Det lader sig kun gøre i de tilfælde, hvor der er en sikkerhedsorganisation, og hvor der er tale om en virksomhed, hvor de ansatte er til stede. I modsat fald, fx ved anonymt kontorbyggeri til udlejningsformål, kan ansatte fra tilsvarende virksomhed interviewes om arbejdsmiljøarbejdet, eller man kan hente støtte i det aktuelle branchesikkerhedsråd, forskningsinstitutioner, Arbejdstilsyn, fagforeninger etc.

Sikkerhedsorganisationen er en vigtig indgangsvinkel til forståelse af virksomhedens kultur samt stærke og svage arbejdsmiljøsider. De stærke sider bør så vidt muligt overføres til projektet, mens de svage sider skal løses i planlægningsprocessen. Mange af sikkerhedsorganisationens registreringer kan omsættes til funktionskrav til en ny produktionsproces/bygning/anlæg, eller hvad der aktuelt er planlægningsopgaven. Samtidig skabes der en vigtig kontakt mellem bygherrens/arbejdsgiverens tekniske rådgivere

og sikkerhedsorganisationen, der ifølge Arbejdsmiljøloven skal deltage i planlægningen. I mange virksomheder er der udarbejdet *arbejdspladsvurderinger (APV'er)*, der direkte kan anvendes i planlægningsøjemed. Arbejdsgiveren er som nævnt i kapitel 14 forpligtet til at lade udarbejde APV'er i sin virksomhed.

Miljøbevidste virksomheder ligger endvidere inde med dokumentation om eksempelvis *miljøtekniske gennemgange* eller *livscyklusvurderinger* for deres produktion (se kapitel 15), der tilsvarende kan anvendes i projektsammenhæng mhp indførelse af fornuftig ressourceanvendelse, renere teknologier, gode arbejdsbetingelser mv. Visse virksomheder har indført *miljøstyring*, *kvalitetsstyring* eller *arbejdsmiljøstyring*. De nævnte ledelsessystemer indebærer skriftlig dokumentation for eksisterende produktions-, arbejdsmiljø- og miljøforhold, hvilket gør materialet mere tilgængeligt også for de projekterende.

Der kan i virksomheden desuden foreligge forskellige former for detaljeret dokumentation, fx målerapporter for effekten af almen- og procesventilation, forureningskilder, belyningsforhold, støjforhold, ergonomiske vurderinger, indeklimaundersøgelser, sygefraværsundersøgelser og trivselsundersøgelser.

Organisering af projekter, rollefordeling

Som rådgiver i arbejdsmiljøforhold er det af stor betydning at få afklaret sin egen rolle i det konkrete projekt samt alle de øvrige deltageres roller. Er man proceskonsulent, specialist i arbejdsmiljøforhold eller begge dele? Hvilke forventninger har bygherren, de ansatte, de øvrige teknikere mv til arbejdsmiljørådgiveren?

Den fastlagte fremgangsmåde for inddragelse af arbejdsmiljøhensyn bestemmer mere end noget andet samarbejdsformen i planlægningsforløbet.

Tilrettelæggelse af projektets forløb har betydning for, hvor højt arbejdsmiljøhensyn vil kunne prioriteres, og hvor meget de vil kunne behandles som en helhed under processen. En vigtig opgave i den indledende fase er at udarbejde en arbejdsplan, hvor arbejdsmiljøprojekteringen er tydeligt markeret i forløbet. Arbejdsplanen bør vise, hvad der skal udføres, og rækkefølgen i planlægningsarbejdet samt rollefordelingen, og hvem der tager hvilke beslutninger. Planen kan både for bygherre, rådgivere og brugere være et middel til at kontrollere, at hensynet til arbejdsmiljø bevares i processen. Planen kan tydeliggøre:

- ◆ hvilken strategi der bør benyttes, så arbejdsmiljø behandles på lige fod med de øvrige forhold
- ◆ hvordan styringen gennem faserne bør være
- ◆ hvordan samarbejdet etableres på kryds og tværs
- ◆ hvor i organisationen de forskellige interesser afvejes.

Virksomheder, som bygger ofte, har som regel en norm og faste procedurer for inddragelse af arbejdsmiljø. Der er dog mange store virksomheder, hvor et byggeri foregår sjældent, og hvor der er behov for at få defineret procedurer og opstillet en fremgangsmåde for inddragelse af arbejdsmiljøhensyn.

Interessenter

I den forberedende fase af et projektføreløb bør der udarbejdes en *interessentanalyse* for at sikre sig mod senere overraskelser som eksempelvis myndigheders eller faglige organisationers indgriben. En sådan analyse består af en opstilling af samtlige interessenter i projektet, lige fra bygherren til evt interesseorganisationer - med angivelse af, hvilken interesse de har og deres mulige indflydelse og kompetence i forhold til projektet.

De gennemgående interessenter rent arbejdsmiljømæssigt er typisk:

- ◆ bygherre
- ◆ sikkerhedsorganisation
- ◆ brugere
- ◆ bygherrerådgiver
- ◆ arbejdsmiljørådgiver
- ◆ projektledelse
- ◆ tekniske rådgivere
- ◆ byggeledelse
- ◆ de udførende.

Den centrale interessent er *bygherren*: Ham, for hvis penge der skal bygges/anlægges. Det er bygherren, der træffer alle beslutninger vedr. projektet, herunder også hvilken arbejdsmiljømålsætning projektet skal have, og dermed hvilke hensyn der skal tages til arbejdsmiljøforhold.

Bygherren har normalt en *bygherrerådgiver*, der skal bistå bygherren med råd omkring projektet og sørge for, at bygherren får et godt og velbelyst grundlag at træffe beslutninger på.

Sikkerhedsorganisationen, der jo er en del af bygherrens organisation og rådgiver arbejdsgiveren (bygherren) i alle spørgsmål af betydning for arbejdsmiljøet, skal deltage i planlægningen af projekter. Denne meget vigtige opgave overses i alt for mange projekter. Eller også inddrages sikkerhedsorganisationen på et alt

for sent tidspunkt, hvor alle overordnede beslutninger i projektet er truffet.

Herudover er der en række *tekniske specialister*, der skal projektere opgaven (formulere løsninger på bygherrens krav) i et samarbejde med de øvrige projekterende.

De udførende er de entreprenører, der skal udføre arbejdet efter teknikernes anvisninger i projekteringen. Det er også i høj grad deres arbejdsmiljø, der skal kravsificeres og sikres tidligt i projektføreløbet.

De nævnte interessenter har hver egne mål foruden at løse projektopgaven. *Bygherren* vil have den bedste og billigste løsning. *De ansatte* vil have den løsning, der giver dem de bedste arbejdsforhold. *De rådgivende* og *projekterende* kommer fra forskellige firmaer eller basisorganisationer, der hver har forretningsmæssige målsætninger og givne konkurrencebetingelser for deres virksomhed. Tilsvarende gælder for *de udførende* og eventuelle *leverandører*.

Efterhånden som projektarbejdet skrider frem, vil der altid skulle indgås kompromiser, og om ikke før, så vil man her ofte opleve divergenser i prioriteringen, bl.a. fordi parterne ikke har sammenfaldende interesser.

Forberedelse af planlægningsforløbet

På næste side er i tabel 16.1 vist et udsnit af relevante spørgsmål, der skal overvejes under forberedelsen af planlægningsforløbet.

Faseforløb og tidsplan, rammer

Planlægningen er traditionelt opdelt i en række overskuelige faser, uanset hvad der skal planlægges. I det følgende er der taget udgangspunkt i faserne i bygningsplanlægningen, som foregår i tre hovedfaser:

- 1) *Programmering*, hvor byggeopgavens mål formuleres
- 2) *Forslag*, hvor alternative løsningsprincipper fremlægges
- 3) *Projektering*, hvor byggeopgavens løsninger formuleres.

Programfasen

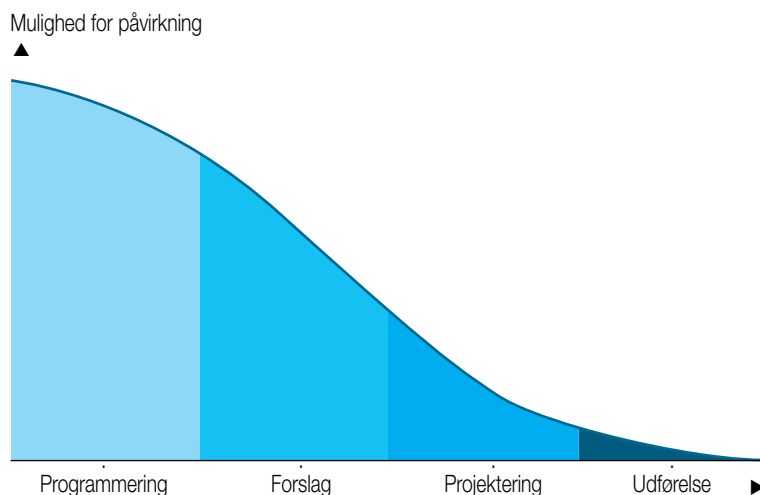
Under programmeringen opstilles de arbejdsmiljøkrav, der ønskes opfyldt i den færdige bygning, sammen med øvrige krav til byggeriet (i det efterfølgende afsnit er der beskrevet en planlægningsmodel og styringsredskab som hjælp til at gribe programmeringsprocessen an ud fra et helhedssyn). Samtidig med at

Ressourcer og økonomi	<ul style="list-style-type: none"> ● Er der afsat tid? ● Er der afsat ressourcer, personale? ● Er der afsat ressourcer, økonomi?
Ansvar og roller	<ul style="list-style-type: none"> ● Hvem er bygherre? ● Hvem er rådgivere? ● Hvem træffer beslutningerne? ● Hvem er ansvarlig for dokumentationen? ● Hvem har ansvaret for arbejdsmiljøgranskningen i projektet? ● Hvem er slutbrugere?
Baggrund, formål og viden	<ul style="list-style-type: none"> ● Er der et klart beskrevet formål med projektet? ● Er der den fornødne viden og uddannelse blandt projektdeltagerne? ● Hvad er visionen for arbejdsmiljøet? ● Hvad er målet på kort sigt for arbejdsmiljøet? ● Hvad er målet på lang sigt for arbejdsmiljøet? ● Hvilke krav stilles der til beslutningsgrundlaget? ● Skal løsningen være hyldevare eller specialdesignet? ● Er der erfaringer fra andre projekter? ● Er slutbrugere inddraget?
Organisering og information	<ul style="list-style-type: none"> ● Er der en egnet projektorganisation? ● Ændres projektorganisationen undervejs? ● Er der en plan for udvælgelse af brugerrepræsentanter? ● Er medarbejderne informeret/hørt om projektet (medarbejdermøder)? ● Hvordan er samarbejdsudvalg informeret/inddraget (teknologivalg, samarbejdsforhold, uddannelse mv)? ● Hvordan er sikkerhedsudvalg informeret/inddraget? ● Er der behov for organisering af medarbejdere i en arbejdsgruppe? ● Er brugerrepræsentanterne de bedst kvalificerede til opgaven (kravspecificering)? ● Er der behov for træning af brugerrepræsentanter? ● Har slutbrugere selv valgt deres repræsentant? ● Er der lagt en plan for løbende information og dialog med medarbejderne? ● Tager organiseringen højde for et helhedssyn på projektet?
Kritiske forhold	<ul style="list-style-type: none"> ● Er det overvejet at inddrage ekspertbistand inden for arbejdsmiljøområdet? ● Hvordan er erfaringerne fra sikkerhedsorganisationen nyttiggjort? ● Er der lavet det rigtige programoplæg (behov, forventninger, fremtidssikring)? ● Er der lavet den rigtige kravspecifikation (målsætninger opfyldt)? ● Er der organisatoriske/politiske barrierer? ● Er der skjulte dagsordener? ● Er projektet/projektorganisationen udtryk for et eksperiment? ● Er arbejdsmiljøet medtaget i alle projektets faser?

Tabel 16.1. Relevante spørgsmål til overvejelse før projektstart.

krav opstilles, startes en indledende skitsering og konkretisering af disse krav. Der arbejdes på et overordnet plan, hvor detaljerne i de bygningsmæssige løsninger ikke berøres. De samlede krav og principskitser udgør tilsammen programmet for byggeriet. Under de første overvejelser om byggeriet er løsningsmulighederne næsten uendelige, idet kun lovgivningen og bygherrens økonomi sætter begrænsninger. Meget hurtigt i processen, og hver gang der træffes beslutninger om byggeriet, fremgangsmåden eller økonomien, indskrænkes løsningsmulighederne, se fig. 16.1. Det er derfor også vigtigt, at ønsker og krav til arbejdsmiljøet medtages tidligt i planlægningsprocessen, således at de planlægges og fastlægges sammen med de andre overordnede krav, og at disse krav fastholdes gennem hele forløbet.

Figur 16.1. Mulighederne for at påvirke beslutninger gennem planlægningsforløbet.



Under programmeringen defineres, hvilke egenskaber der er væsentlige for det færdige byggeri. Bygherren skal definere projektets arbejdsmiljømålsætninger. Byggeriets forudsætninger mht anvendelsen skal klarlægges, og arbejdsmiljømålsætninger skal gøres operationelle ved at beskrive dem som arbejdsmiljøkrav og -ønsker. Der udarbejdes en funktionsanalyse (se næste afsnit), der angiver arbejdsorganisatoriske, teknologiske og fysiske overvejelser af betydning for, hvad byggeriet skal rumme. Under programmeringen fastlægges den økonomiske ramme for byggeriet, og den samlede funktionsanalyse er af stor betydning for de krav, der skal stilles til arbejdsmiljøet. Der skal tænkes i helheder og perspektiver mere end i detaljer. Fx har valg af rumstørrelser, reflektanser, vinduesudformning og indretning alle indflydelse på belysningens kvalitet og energiforbrug, dagslysindfald i rummene og reguleringsmuligheder for den kunstige belysning. Og krav til regulering og styring af kunstlyset har indflydelse på el-installati-

onen. Byggeprogrammet skal også indeholde krav vedr. bygnings drift og vedligeholdelse, herunder vedligeholdelsesmetoder og -midler, der sikrer ordentlige arbejdsmiljøforhold for disse personalegrupper. Tilsvarende skal målsætninger for de udførendes arbejdsmiljø beskrives i byggeprogrammet og sikres et niveau, der er i overensstemmelse med lovgivningens krav og projektets øvrige arbejdsmiljømålsætninger.

Forslagsfasen

I forslagsfasen kvantificeres og bearbejdes de opstillede arbejdsmiljøkrav til arealer, rumforløb, installationsprincipper, bygningsudformning, opførelses- og vedligeholdelsesstrategi. Der udarbejdes alternative koordinerede løsningsforslag, som i grove træk viser bygningens placering, størrelse og udformning svarende til byggeprogrammet. Forslagenes fordele og ulemper belyses som en del af det grundlag, der skal træffes beslutning på om det videre projekteringsarbejde.

Med godkendelsen af et af disse forslag bør forudsætningerne for arbejdet i projekteringsfasen ideelt set være afklarede i en grad, der gør det muligt for de enkelte tekniske rådgivere at arbejde videre, til en vis grad uafhængigt af hinanden, ud fra de opstillede forudsætninger. Derfor skal der i forslagsfasen være formuleret kontrollerbare krav til arbejdsmiljøet (fx det termiske klima) og være truffet principbeslutninger om eksempelvis konstruktioner og bygningsdele, materialevalg, installationer, inventar, udbudsform og drift.

Projekteringsfasen

Under projekteringen foretages en række detaljerede valg af materialer, produkter, byggekomponenter og udførelsesmetoder under hensyn til det ønskede arbejdsmiljø (krav og principper), der tidligere er formuleret under programmeringen. Fx omsættes principbeslutninger om at adskille evt støjende og luftforurenende arbejdsprocesser fra øvrige processer gennem valg og udformning af konkrete procesrum med særlig støjisolerende egenskaber i vægge, gulve, lofter og døre og direkte procesudsugningsanlæg samt balanceret lufttilførsel.

Projekteringsfasen afsluttes med et hovedprojekt bestående af beregninger og de produktionstegninger og beskrivelser, der skal være de udførendes arbejdsgrundlag. I bygningsbeskrivelsen er det vigtigt, at arbejdsmiljøkrav til bygning og bygningsdele er kvantificeret og konkretiseret mht, hvad de skal kunne yde for at opfylde et tilfredsstillende arbejdsmiljø for slutbrugeren. Udbudsbetingelserne for arbejdsmiljøforholdene skal udformes sådan, at det er muligt at kontrollere, om betingelserne er opfyldt. Under projekteringen skal alle informationer om de egenskaber, der

vedrører drift og vedligehold og deres evt påvirkning af arbejdsmiljøet, fremskaffes og vurderes for den enkelte løsning og bygningsdel. Der bør ligeledes fremskaffes eller udarbejdes materiale, som skal danne baggrund for den kommende driftsplan og renhold.

Sparerunder

Det er ikke ualmindeligt, at der under projekteringen, når løsningsudformningen typisk overskrider det fastlagte budget, så igangsættes sparerunder. Der vil blive foreslået billigere materialer, andre belysningsarmaturer eller teknisk simple ventilationsanlæg. Arbejdsmiljøforholdene skal under sparerunder tages op til vurdering, og konsekvenserne for den fremtidige brug af bygningen skal vurderes, før det endelige valg træffes.

Helhedssyn i projekter, en planlægningsmodel

Det er fornuftigt at anlægge et helhedssyn på planlægningen af et projekt og at anskueliggøre dette for beslutningstagerne og brugerne.

I tab. 16.2 er der vist en planlægningsmodel udviklet i DSB: *Byggherrens krav- og projektstyringsskema*. Oprindeligt er modellen udviklet for betjeningsrum (trafikstyring), og den er her søgt generaliseret til flere projekttyper. Modellens formål er at gøre byggherren og dennes rådgivere bedre i stand til at opstille de konkrete arbejdsmiljøkrav i et projekt. Dette uanset om der er tale om nyanlæg eller en ændring i et eksisterende anlæg/bygning. Det er et planlægningsredskab, der skal hjælpe til at opstille relevante krav, som kan sikre et fornuftigt arbejdsmiljø ud fra et helhedssyn. Modellen er udviklet i erkendelse af, at hvis man ændrer i ét forhold (*arbejdsorganisering, kommunikation, teknologi eller fysik*), vil det medføre ændringer i et eller flere af de øvrige forhold. At anlægge et helhedssyn i et projekt vil for mange rådgivere/projekterende betyde en ny eller anderledes måde at tænke på, idet man skal tænke ud over sit normale arbejdsområde og være åben over for at få belyst det samlede projekt som en helhed.

Står man over for den opgave at skulle udforme et helt nyt anlæg eller en bygning, er det naturligt at tage udgangspunkt i, hvad der skal laves i produktionen i virksomheden. Hvad er arbejdsopgaven, og hvilke jobprofiler ønsker man? Hvilke udfor-

dringer skal jobbene indeholde, hvor varieret bør arbejdet være, og hvilke krav stiller det til arbejdsteknologien? Hvor mange personer kræver produktionen, og hvordan skal disse kommunikere indbyrdes og udadtil?

Er der tale om en ombygning eller udvidelse af et anlæg, vil nogle af de nævnte spørgsmål af organisatorisk art måske være givne forhold eller afgrænsede. Ligeledes vil en del af teknologien og fysikken ligge mere eller mindre fast, hvorfor det i højere grad vil dreje sig om at få belyst konsekvenserne af mulige alternativer.

Under alle omstændigheder er det vigtigt at tage udgangspunkt i aktiviteter, der skal foregå under opførelsen og i produktionen (brugen af anlægget/bygningen) - og forsøge at få belyst de arbejdsmiljømæssige konsekvenser af kravenes løsningsmuligheder.

Et planlægningsforløb vil ændre sig fra i starten primært at bestå af funktionelle krav til i slutningen at være tekniske beskrivelser af fx produktionsanlæg og bygningsdele. Det er en forvandlingsproces, hvor det i høj grad er bygherreorganisationens evner til at kravspecifilere, der bestemmer udfaldet af de tekniske løsninger. Typisk vil bygherrekrav være rettet mod ønskede kvaliteter i løsningerne. Det handler om at få gjort kravene så præcise, at de ikke senere i forløbet fortolkes eller forstås anderledes end tænkt af bygherren og hans rådgivere.

Planlægningsmodellen skal endvidere være en hjælp til at få et overblik over de arbejdsmiljømæssige konsekvenser, et givet krav har.

I planlægningsforløbet bliver det nødvendigt at prioritere kravene af den enkle grund, at mange krav er modstridende i deres løsninger, og at planlægningsprocessen består af en løbende afvejning og prioritering af krav samt indgåelse af kompromiser. Det afgørende er her, at bygherren og beslutningstagerne skal vide, hvad et valg har af konsekvenser for arbejdsmiljøet som helhed. En bevidsthed herom kan være med til at opnå den bedst mulige løsning.

Planlægningsmodellens forudsætning er et faseforløb i projektet, hvor kravformulering og løsningsformulering sker parallelt helt fra starten, idet krav og løsninger successivt præciseres. Et kvalitativt formuleret krav må nødvendigvis skitseres visuelt (konkretiseres) for at sikre en fælles forståelse af, hvilke kvaliteter bygherren konkret tilstræber.

Det er vigtigt at få fremstillet alternative principielle løsningsforslag, der belyser konsekvenserne af krav i en helhed. Hermed tydeliggøres arbejdsmiljømæssige fordele og ulemper ved de fremlagte alternativer for beslutningstagerne.

Det er forudsat, at sikkerhedsorganisationen deltager aktivt i

Funktionsanalyse	Konsekvensvurdering - betydning for delområderne				
	Arbejdsorganisering	Kommunikation	Teknologi	Fysik	Tid og økonomi Anlæg Drift
1. Organisering					
a) Arbejdsindhold - overordnet					
Hvad er formålet med arbejdsfunktionen, hvad skal den kunne, nu og frem?					
Konkretisering					
Hvilke specifikke opgaver skal løses for at udfylde dette formål?					
Opgave 1:					
Opgave 2:					
Opgave 3:					
Opgave nn:					
b) Jobvisioner - jobkrav					
Hvad er kravene til typen af job på flg elementer?					
1. Selvbestemmelse					
2. Monotoni					
3. Samarbejde					
4. Kvalitet/sikkerhed					
c) Jobdesign - arbejdsdeling					
Hvordan kombineres opgaverne til enkelte job ud fra visionerne?					
Hvor mange medarbejdere skal der være?					
Jobprofiler					
Job nr. 1:					
Job nr. 2:					
Job nr. 3:					
Job nr. nn:					
d) Uddannelse					
Hvilken træning skal der, på baggrund af b) og c), være af medarbejderne?					

Tabel 16.2. Bygherrens krav- og projektstyringsskema.

Funktionsanalyse	Konsekvensvurdering - betydning for delområderne				Tid og økonomi	
	Arbejdsorganisering	Kommunikation	Teknologi	Fysik	Anlæg	Drift
2. Kommunikation - overordnet						
Hvordan skal arbejdet koordineres?						
Hvordan tilgodeses følgende elementer?						
1. Menneske-menneske kommunikation						
2. Menneske-maskine kommunikation						
3. Teknologi - overordnet						
Hvordan skal styresystemerne se ud for at kunne leve op til 1 og 2?						
Hvordan tilgodeses følgende forhold i arbejdsteknologien?						
1. Fleksibilitet						
2. Sortering af informationer						
3. Trænings-/læringsmulighed						
4. Drift og vedligehold, service						
4. Fysik - overordnet						
Hvor placeres arbejdsstedet? Hvilke muligheder og begrænsninger følger?						
Hvilken orientering skal bygningerne have?						
Hvilken karakter skal bygningerne/rummene have?						
Hvordan tilgodeses følgende elementer?						
1. Pladsforhold/dimensionering						
2. Fleksibilitet						
3. Syns-/kommunikationsforhold						
4. Belysning						
5. Luftkvalitet						
6. Lydregulering/akustik						
7. Arbejdspladsdesign						
8. Drift og vedligehold, service						

forløbet og udviklingen af projektet, idet den parallelle løsnings-skitsering kan betragtes som den første dokumentation af kravopfyldelsen.

Forklaring af skemaet

Bygherrens krav- og projektstyringsskema er opbygget som en matrix. I den ene dimension (nedad i skemaets venstre del) foretages en funktionsanalyse. Den starter med en overordnet formålsbeskrivelse for opgaven for at munde ud i overordnede krav til den fysiske indretning.

I den anden dimension (henad i skemaets højre del) vurderes løbende de konsekvenser, valgene får for hovedfelterne arbejdsorganisering, kommunikation, teknologi og fysik. Hertil kommer en søjle til beskrivelse af tidsmæssige og økonomiske konsekvenser i hhv anlægs- og driftsfasen.

Grundideen er, at man for hvert punkt foretager en beskrivelse af, hvordan man har tænkt sig at tilrettelægge de forskellige forhold, samt hvordan de indvirker på hinanden. Derved hjælpes bygherren og dennes rådgivere til at overveje ikke bare enkelte punkter, men - nok så vigtigt - helheden i arbejdsmiljøet. Hver gang det konstateres, at en valgt løsning vil have betydning for et af de andre delfelter, må denne indvirken medtænkes fremover. På den måde er udfyldelsen af skemaet ikke noget, der gøres én gang for alle, men en fortløbende proces gennem hele planlægningsforløbet.

Benyttes skemaet i forbindelse med ombygninger eller ændringer i eksisterende anlæg, beskrives den nuværende organisation, kommunikation etc, alt sammen givne forudsætninger, der lægger begrænsninger for projektets løsningsmuligheder. Benyttes skemaet ved nybyggeri og ved indførelse af ny teknologi, vil der skulle tænkes helt forfra, hvorfor der også vil være flere løsningsmuligheder.

Funktionsanalysen indledes med punkt 1. *Organisering af arbejdet*, idet udgangspunktet er *a) arbejdsindhold* og en overordnet beskrivelse af formålet med den aktuelle arbejdsopgave, fx trafikstyringsopgaven, autoreparation, ældrepleje, eller hvad det aktuelle projekt handler om. Formålsbeskrivelsen i a) udmøntes i en beskrivelse af, hvilke konkrete arbejdsopgaver der skal løses på stedet. I næste punkt *b) jobvisioner - jobkrav* opstilles der mål omkring typen af job, man ønsker at have i produktionen. Der bliver her tale om at skulle træffe en række overordnede valg om den ønskede grad af selvbestemmelse, monotoni, samarbejde, kvalitet/sikkerhed i arbejdet. I punkt *c) jobdesign - arbejdsdeling* er opgaven ud fra arbejdsopgaver og jobvisioner at formulere en række jobprofiler samt at beskrive alle relevante job på stedet. Herefter er det muligt at tage stilling til, hvilken

træning og uddannelse brugerne skal have, i punkt *d) uddannelse*.

Funktionsanalysen fortsætter herefter med at få overvejet punkt *2. Den overordnede kommunikation*, dvs hvordan kommunikationen skal være tilrettelagt, for at arbejdsopgaverne kan udføres hensigtsmæssigt. Her tænkes både på kommunikation mellem medarbejderne på stedet og mellem menneske og maskine. Dette er muligt på baggrund af jobprofilbeskrivelserne, der afdækkede, hvilke jobtyper man ønsker fremover.

Når de ovenfor nævnte forhold er overvejet og fastlagt, er det muligt at beskrive, hvilken teknologi der kan opfylde de opstillede krav omkring arbejdsorganisering og kommunikation. Det gøres i punkt *3. Den overordnede teknologi*, idet der fokuseres på, hvilke dele af arbejdsopgaven der skal løses vha teknik og herunder også, hvilke der skal løses uden teknisk indblanding. Herved får man mulighed for at lade ønsket om menneskeligt arbejdsindhold i opgaverne styre teknikken i stedet for som vanligt at lade teknikken styre og overlade resten til mennesket. Det er nu muligt at opstille krav til arbejdsteknologien på baggrund af de tidligere beskrevne krav. I skemaet er foreslået en stillingtagen til underpunkterne *1. Fleksibilitet* i produktionen (fx omstilling, kritiske situationer), *2. Sortering af informationer*, der er nødvendige for at løse arbejdsopgaverne (hvilke informationer skal vises/ikke vises brugerne?), *3. Trænings-/læringsmulighed*, hvor teknologivalget og arbejdsopgaven forudsætter, at brugerne skal trænes/oplæres i at bruge denne eller løbende skal lære af egne erfaringer (fx fra kritiske situationer, ulykker) - og *4. Drift og vedligeholdelsespekter* ved produktionsapparatet.

Der er herefter grundlag for at beskrive i punkt *4. Den overordnede fysik*, hvordan de fysiske rammer skal være for at kunne leve op til det foregående, dvs de valg man har truffet omkring arbejdets organisering, kommunikation og teknologi. På det overordnede plan skal det beskrives, hvor arbejdsstedet skal placeres, og hvilken orientering bygningerne/anlægget skal have, samt hvilke muligheder og begrænsninger dette giver. Der skal også overordnet tages stilling til, hvilken karakter bygningen/anlægget skal have. Mere specifikt skal det beskrives, hvordan man tilgodeser de 8 anførte elementer: pladsforhold/dimensionering, fleksibilitet (også fremover), syns-/kommunikationsforhold, belysning, termisk klima, lydregulering/akustik, arbejdspladsdesign og drifts- og vedligeholdelsesforhold. De nævnte elementer er eksempler, der naturligvis vil afhænge af projektopgaven.

Inden for alle 4 hovedområder (arbejdets organisering, kommunikation, teknologi og fysik) skal det noteres, at der både spørges til nogle overordnede forhold og til nogle mere konkrete arbejds-elementer. Dette skyldes, at helhedssyn på projekter også inde-

bærer en veksling mellem helhed og detaljer for at sikre sammenhængen.

Funktionsanalysens forløb (skemaets venstre side nedad) anskueliggør, hvordan nogle overordnede beslutninger og krav udmøntes mere og mere konkret.

Skemaets højre del tydeliggør konsekvenser af krav og giver mulighed for at holde orden i de sammenhænge, der er på tværs af arbejdets organisering, kommunikation, teknologi og fysik. For hvert trin i funktionsanalysen skal der linie for linie beskrives, hvilke konsekvenser valget har for de øvrige arbejdsmiljøforhold, evt om det er neutralt. Samtidig skal det beskrives, hvilken betydning valget har for tiden og økonomien i projektet i hhv anlægs- og driftsfasen (positivt og negativt).

Skemaet muliggør således konsekvensvurderinger på tværs, hvilket sikrer et gennembearbejdet og velbelyst beslutningsgrundlag og projekt.

Det er ikke meningen, at man noterer beskrivelserne i selve skemaet, da det ville blive ret uoverskueligt. Skemaet er udviklet til at skabe et overblik i projektet og skal tilknyttes en række bilag (henvisninger kan noteres i skemaet), hvor selve beskrivelserne er at finde.

Skemaet er udviklet med henblik på kravformulering i planlægningsforløbet. Det kan desuden anvendes gennem hele projektforsløbet med henblik på justering undervejs med tilhørende konsekvensvurdering. Endelig kan skemaet bruges til at kontrollere og følge op på, om de stillede krav honoreres i projektet.

Eksempler på brug af skemaet

I et projekt om et betjeningsrum for styring af togtrafik fandt man ud af, at beslutninger omkring uddannelse/træning ville influere på fysikken, fordi der skulle kunne sidde to ved siden af hinanden - og på teknologien, fordi den skal kunne bruges til at simulere med. Så må disse forhold i første omgang skrives ind i skemaets højre del. Når man så længere nede i funktionsanalysen skal til at redegøre for hhv teknologi og fysik, samles de indskrevne punkter i fysik-kolonnen og teknologi-kolonnen sammen, således at de huskes længere nede i skemaet i udformningen af de fysiske rammer og de tekniske styresystemer.

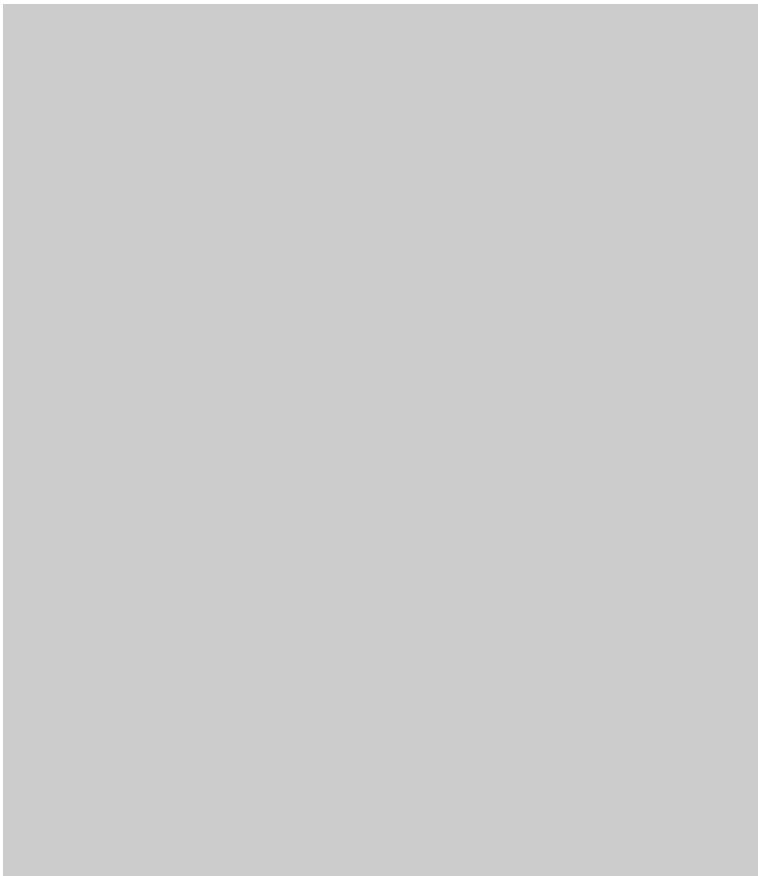
Det kan også være tilfældet, at man i funktionsanalysen under teknologiafklaringen finder ud af, at en løsning til styresystemerne muliggør en bedre arbejdsorganisering eller nødvendiggør en anden uddannelse. Da må disse punkter i første omgang skrives på i skemaets højre del, konsekvensvurderingen. Man kan derefter gå tilbage i skemaets venstre del, funktionsanalysen, og revidere beskrivelserne der, samt igen betydningen for de andre hovedområder. Dette er så det nye udgangspunkt i funktionsana-

lysen, hvor alle andre punkter bringes i overensstemmelse med den ændrede organisering eller den ændrede uddannelse.

Arbejds miljøudvikling

Arbejds miljøet udvikles, når de involverede parter i virksomheden aktivt påvirker og ændrer deres arbejdsbetingelser og omgivelser, helst i positiv retning. En af de mest konstruktive måder, arbejds miljøudvikling sker på, er gennem planlægning og projektering af nye eller ændrede arbejdsbetingelser, hvor brugerne er involverede, og mulighederne for effektivt at drage nytte af gode og dårlige erfaringer er til stede. Brugerinvolvering indebærer samtidig, at brugerne er en aktiv part i forløbet og altså vedkender sig problemer og løsninger. Det giver mange fordele senere, når løsninger skal implementeres, idet der oftest er en indforståethed med resultatet blandt brugerne, der betyder hurtigere accept og kortere indkøringstid, hvis ellers alt fungerer tilfredsstillende.

Der findes forskellige måder at anskueliggøre og afprøve ideer på. Her tænkes fx på værdien af mock-ups eller 1:1 modeller, hvor man direkte kan se og mærke, om en idé til en løsning kan



Figur 16.2. Mock-up af
førerrum i nyt S-tog.
(Foto: J. Frederiksen, DSB,
1994).

fungere i virkeligheden. Det er naturligvis bedst, om man kan arbejde med funktionsduelige modeller i 1:1, fx i afgørende situationer, inden en virksomhed eksempelvis investerer i ny, dyr teknologi. Det er fx utænkeligt, at man byggede et lokomotiv, uden at der forinden blev fremstillet en mock-up i krydsfiner af førerummet (fig. 16.2), hvor bl.a. dimensionering og placering af instrumenter og greb i brugergrænsefladen kunne afprøves og let ændres efter behov. Og selv da er det nødvendigt at operere med en prototype, der kan videreudvikles, når konkret afprøvning viser behov herfor, inden produktionen igangsættes.

Arbejds miljøgranskning

For at sikre projektets arbejdsmiljøkvalitet gennem planlægningsprocessen er det en fordel at udføre en granskning af arbejdsmiljøet efter hver afsluttet fase. Granskning skal ses som en opfølgning af kravene fra de første faser samt en opfølgning på planlægningsprocessen, hvor der arbejdes aktivt med inddragelse af arbejdsmiljøhensyn i overensstemmelse med den beskrevne planlægningsmodel.

Granskningen har til formål, at der foretages en sammenhængende og systematisk gennemgang af projektets evne til at opfylde opstillede arbejdsmiljøkrav samt at udpege evt. problemområder, som der skal arbejdes videre med i det videre planlægningsforløb. Under planlægningen og projekteringen træffes en lang række valg af materialer, produkter og løsninger under hensyntagen til deres arbejdsmiljømæssige egenskaber, men samtidig tilgodeses en række andre hensyn til fx funktioner, konstruktioner, byggeteknik og økonomi. Der er desuden mange forskellige fagspecialer involveret, og overblikket over projektets resulterende arbejdsmiljø kan være vanskeligt. Også her kan planlægningsmodellen (tab. 16.2) være en hjælp i systematikken og til at bevare overblikket.

Arbejds miljøgranskning er en del af kvalitetssikringen af projektet og bør udføres af arbejdsmiljøprofessionelle.

Procesevaluering og opfølgning

Undervejs i planlægningsprocessen vil der for mange projekters vedkommende finde en udbudsforretning sted. Det kan være

relativt tidligt i forløbet efter programfasen eller sent, umiddelbart inden udførelsesfasen. Uanset tidspunktet bør udbudsmaterialet være så præcist som muligt og indeholde bygherrens målsætninger for arbejdsmiljøforhold under udførelsesfasen og brugssituationen og krav/beskrivelser, som skal opfyldes.

Evalueringsproceduren for tilbudene skal afspejle alle bygherrens vurderingskriterier, der skal lægges til grund for selve evalueringen af bl.a. arbejdsmiljø. Erfaringsmæssigt er det vigtigt forinden at fastlægge, hvem blandt interessenterne der skal foretage evalueringen og med hvilken vægt. Der kan fx være tale om forskellige tekniske rådgivere, drifts- og vedligeholdelsesansvarlige, miljøeksperter, arbejdsmiljøeksperter, brugere, økonomifolk mfl.

Der kan udvikles nuancerede evalueringsmodeller, der opererer med flere dimensioner: Fx kriterier affødt af bygherrens krav- og projektstyringsskema (tab. 16.2) med forskellige procentvise vægtninger af de nævnte forhold - og optioner, hvor det ønskes (dvs tilbud på alternative løsninger). På den anden led: De forskellige interessenter, hvis vurderinger af, i hvilken grad kriterierne opfyldes, også kan tildeles forskellig vægt. Fx får en betjeningsflade i et lokomotiv ikke nødvendigvis den samme evaluering fra en tekniker og en lokomotivfører.

Bygherren får herved et velbegrunderet sammenligningsgrundlag, der meget gerne skulle gøre bygherrens valg lettere og sikre et højt kvalitetsniveau i udvælgelsen.

Erfaringer med brug af evalueringsmodeller har vist, at selv små udsving på de højt vægtede kriterier meget let kan forklare, hvorfor et tilbud prioriteres lavt. Evalueringsmodeller kan fastholde processens formål og anvendes ved de videre forhandlinger med tilbudsgiverne.

Senere i projektførelsen efter udførelsesfasen, hvor projektet bliver realiseret, og ibrugtagningen, hvor det endelige projekt skal vise, om det lever op til forventningerne, er det relevant at evaluere det samlede projektførelse. Procesevalueringen bør ske med deltagelse af alle projektets parter med det formål at opsamle gode og dårlige sider ved forløbet med henblik på næste gang, der skal udarbejdes et projekt eller ændres på forholdene. Tilsvarende bør man, efter at projektet har været i drift/brug i en periode (fx i et år), lave en opfølgning i form af en arbejdspladsvurdering, arbejdsmiljøundersøgelse e.l. Hvis der på nogen måde er mulighed for det, bør der ideelt ske en erfaringstilbageføring til de rådgivende og projekterende, således at de lærer af de erfaringer, der er gjort under brug af anlægget eller bygningen samt ved vedligeholdelse af samme.

Erfaringstilbageføringen kan bruges som input til nye projekter, der arbejdsmiljømæssigt kan blive endnu bedre. Ringen er sluttet.

Litteratur

- Arbejdsministeriet. Bekendtgørelse nr. 501 af 5. oktober 1978 om projekterendes og rådgiveres pligter.
- Arbejdsministeriet. Bekendtgørelse nr. 1017 af 15. december 1993 om indretning af byggepladser og lignende arbejdssteder efter lov om arbejdsmiljø.
- Arbejdsministeriet. Bekendtgørelse nr. 1181 af 18. december 1992 om virksomhedernes sikkerheds- og sundhedsarbejde.
- Damsgaard PB, Flagstad SM et al. Forberedelse af planlægningsprocessen. I: DSB bane trafikstyring: Indretning af betjeningsrum. København: DSB, 1995: 27-29.
- Hasselbalch C, Flagstad SM et al. Bygherrens projektstyring. I: DSB bane trafikstyring: Indretning af betjeningsrum. København: DSB, 1995: 69-83.
- Laustsen S. Planlægning, projektering, udførelse og drift. I: Statens Byggeforskningsinstitut: Indeklimahåndbogen, SBI-anvisning 182. Hørsholm, 1995: 67-123.

Generelle håndbøger

- Aldrich PT. Inddragelse af hensyn til arbejdsforholdene i den tekniske planlægning. Institut for Arbejdsmiljø. Danmarks Tekniske Højskole. Lyngby 1988.
- Blædel A, Larsen H, Rosenørn M. Eksempler på godt BST-arbejde, brugerinvolvering 1. Arbejdsmiljøfondet. København 1993.
- Brikner K, Alrø L. Arbejdsmiljøhåndbog i brugerinvolvering, brugerinvolvering 2. Arbejdsmiljøfondet. København 1993.
- Flagstad SM, Laustsen S. Metoder til planlægning af industrielt arbejdsmiljø. Arbejdsmiljøfondet. København 1984.
- Jensen SE. Bygningsplanlægning med brugerdeltagelse. Statens Byggeforskningsinstitut. SBI-anvisning 151: Hørsholm 1986.
- Laustsen S. Kontormiljø. Arbejdsmiljøhensyn ved planlægning af kontorbyggeri med ny teknologi. ATV Erhvervsforskerrapport EF216. COWIconsult og Danmarks Tekniske Højskole. Institut for Arbejdsmiljø. Lyngby 1990.
- Laustsen S, Valbjørn O et al. Indeklimahåndbogen. SBI-anvisning 182. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1995.

Stikord - bind I-II

A

A-vægtningskurve II:50
 Absorbent II:76
 Absorbentmateriale I:52
 Absorptionshastighed, specifik (SAR) II:118
 Absorptionspektrum, infrarødt I:119
 Accelerometer II:95
 Acceptkriterier II:315
 Adaptation II:146
 Adsorbent I:79
 Adsorption
 - effektivitet I:53
 - kapacitet I:53
 - rør I:79
 Advarselsklæder, tydeligt synlige II:248
 Advarselskiltning II:111
 Aerodynamisk diameter I:85,114
 Afskæringdiameter I:109
 Afskærmning II:125
 Afstandsforøgelse II:125
 Aftørring I:163
 Aktivitetskoefficienter I:38
 Aktivt kul I:52
 Aktører I:187
 Akustisk baserede gassensorer I:63
 Alternaria I:131
 Alveolær ventilation I:95,96
 AMI-vejledning nr. 5 - luftforurening II:195
 Amorfe stoffer I:120,121,122
 Analysemetoder, krav til I:69
 Analytisk varmestressindeks (SW_{req}) II:22
 Anemostater I:207,208
 Anisotrop I:122
 Anmeldelse
 - frivillig II:183
 - obligatorisk II:183

Ansigtmasker, filterrende II:239,242
 Ansigtsskærm II:249
 Antenne II:121
 Arbejdsdeling I:28
 Arbejdsfodtøj II:253
 Arbejdsforhold I:30
 Arbejdsfunktioner I:26
 Arbejdshygiejne I:10
 Arbejds miljø
 - granskning II:336
 - projektering II:322
 - styring II:295
 - udvikling II:335
 Arbejdsorganisation I:23
 Arbejdsplads
 - faktorer II:181
 - målinger II:176
 - vurdering (APV) II:322
 Arbejdsteknologi II:333
 Arbejdstøj I:237
 Arbejdszone I:200,212
 Armbeskyttere II:247
 Arsen I:166
 Asbest I:122
 Aseptiske forhold I:137
 Aspergillus fumigatus I:131
 Atomabsorptions- og atomemissionsspektrofotometri I:72
 Atomar struktur I:119
 Audit II:292

B

Baggrundsluminans II:156
 Basiskriterium II:122
 Bearbejdningstyper I:25
 BEI, Biological Exposure Indices I:168
 Bekendtgørelse nr. 801 II:64
 Beklædning, strålingsmindskende II:70
 Beklædningsmaterialers modstandsevne I:239
 Bekæmpelse II:83
 Belastninger I:30
 Belysning
 - almen II:143
 - højfrekvent II:135
 - styrke II:131
 - virkningsgrad II:142
 - sær- II:144
 Beregningsformler II:13
 Beskyttelseshandsker I:236
 Beskyttelseshjelm II:254
 Bestrålingsstyrke II:102
 Billedanalyse I:126
 Bioaerosoler I:129
 Biologisk havering I:47
 Biologisk monitoring I:162,166
 Biologiske agentia I:130
 Biologiske grænseværdier I:168
 - BEI, Biological Exposure Indices I:168
 Biologiske referenceintervaller I:167
 Blink-refleksen II:107
 Bly I:166
 Blænding
 - synsnedsettende II:150
 - ubehag II:150
 Blændingstal II:150,156
 Blå-lys-effekten II:107,109
 Boltzmanns ladningsfordeling I:87
 Bragg's lov I:123
 Brille II:249
 Brownske bevægelser I:86
 Brugerinvolvering II:335
 Brugsanvisning II:63
 BS 7750 II:281
 Byggeprogram II:327
 Bøjningsmønster I:126
 Bølgelængde II:100

C

Cadmium I:166
 Candela II:131
 CAS-nr. II:187
 CE-mærke II:238
 CEN-regi II:237
 Centralsyn II:145
 Certificerede reference-materialer I:72,173
 Certificering I:11
 Checkliste I:32
 Chrom I:166
 Chromatografi I:76
 Chromosorb I:54
 Cladosporium I:131
 Coanda effekten I:193
 Condensation Particle Counter I:116
 Cosinus-fejl II:153
 Cristobalit I:122
 Cunninghams slip korrektion I:83
 Cyklon I:111

D

Dag-til-dag variation II:208
 Dagslysfaktor II:159,172
 Dataindsamling I:31
 Dataskærme II:120,146
 dB(A) II:303
 Dead space I:95
 Decibel (dB) II:48,303
 Deklaration af materialer I:144
 Deponeringshastighed I:154
 Dermis (læderhud) I:155
 Desorptionseffektivitet I:53
 Det ydre miljø II:281
 Detektionsgrænse I:122
 Detektorer I:80,125 II:121
 Diameterfordeling I:92
 Diffusion I:86
 - af forurening I:146
 - dosimeterprincip I:54
 - indikatorrør I:60
 - rør I:67
 Diffusionskoefficient II:194

- turbulent II:194
 Dokumentation af metoder I:69
 Domæner I:120,122
 Dosimeter II:120
 - passive I:55
 - typer I:55
 Dosimetri II:117
 Dosis I:12,45 II:102
 Dragter II:247
 Drift- og vedligeholdsinstruktion I:222
 Driftstilstande I:26
 Dysekanaler I:209
 Dækningsgrad II:185

E

EASE II:191
 EASE-program II:190
 Effekt I:45
 Effektiv dosis II:109
 Effektiv skorstenshøjde II:298
 Effekttæthed II:116
 Effektvurdering II:306
 Efterklangstid II:66
 EINECS II:182
 Eksponering I:11 II:102
 - faktorer II:180
 - gennemsnitligt niveau II:211
 - gruppe II:200
 - kumulativ II:195
 - kvalitetsvurderinger II:229
 - måling II:202,206
 - veje I:12,152
 - vurdering II:188,195,308
 - zone II:200
 Eksspiration I:95
 Eksspiratorisk reservevolumen I:95
 Ekstinktion I:89
 Elastiske egenskaber I:121
 Elektrisk felt I:87
 Elektriske ladninger I:87
 Elektriske måleinstrumenter I:60
 Elektrokemisk detektion I:78

Elektrokemiske celler I:63
 Elektron diffraktometri I:126
 EMAS II:280,281
 Emission I:138 II:284
 - faktorer II:297
 - måling I:142 II:202
 EN 482 I:68 II:205
 Energisparepære II:138
 Energistrømtæthed II:116
 Epidermis (overhud) I:155
 Epifluorescensmikroskopi I:138
 Erfaringstilbageføring II:321,337
 EU's rammedirektiv II:261
 EU-typeafprøvning II:237
 Eukaryoter I:127
 Evakuerede beholdere I:58
 Evalueringsmodel II:337

F

Faldhastighed I:83
 Faldsikringsudstyr II:255
 Farve
 - fejl II:154
 - gengivelsesindeks II:134
 - temperatur II:133
 - vurdering II:148
 Fase Doppler Anemometri I:115
 Faseforløb II:324
 Fasekontrastmikroskopi I:124
 Fasemodel I:184
 Fejlkilder II:37
 Felt, fjern II:115
 - nær II:117
 Felter
 - ekstremt lavfrekvente II:114
 - elektriske II:115
 - magnetiske II:115
 Feret's diameter I:89
 Ficks lov I:54,157
 Filter, opsamling på I:134
 Fingerhandsker II:246

- Fjernfelt II:115
 Flader, vibrerende II:80
 Flammeionisationsdetektorer I:80
 Flaskehalse I:26
 Flertrinsimpaktor I:113
 Flimmer II:134,150
 Fluorescens I:75
 - mikroskopi I:124
 Flyvetidsinstrumenter I:114
 Forbedring, kontinuierlig II:290
 Fordampningshastighed I:36
 Fordelingskoefficienter I:46
 Forebyggelse II:83,124
 - principper I:32
 Forklæde II:247
 Formfaktor I:85
 Forsigtighedsstrategi II:124
 Forslagsfase II:327
 Fortrængning
 - aktiv termisk I:201,203,209
 - passiv termisk I:201,202,209
 Fortynding II:295
 Forurennet zone I:203
 Forurening, spredning af I:146
 Fossile brændsler I:13
 Fotoionisationsdetektorer I:63
 Fotometer I:111,113
 Fotometriske metoder I:61
 Fraktiler I:13 II:302
 Frekvens II:100
 Fristråle I:192
 Fuldstændig opblanding I:201,210
 Funktionel residual kapacitet I:94,95
 Funktionelle grupper I:38
 Funktionsanalyse I:185 II:330,331,332
 Funktionskrav I:67
 Fysik II:333
 Fysiske egenskaber I:119
 Følsomhedskurve, spektral II:154
- G**
 G-vægtningskurven II:82
 Gaschromatografi I:78
 Gasfiltre II:243
 Gaspipette I:57
 Gasser og dampe I:78
 Gastæt beklædning II:248
 Gastætte sprøjter I:58
 GC-MS I:80
 Genetisk variation I:174
 Gennembrudstid II:247
 Gennemvædning af arbejdstøj I:235
 Genophvirvling I:152
 Geometrisk standardafvigelse, GSD II:196
 Globetemperatur (t_g) II:36
 Grafit I:122
 Grænselag I:197
 Grænselinie I:203
 Grænseværdier I:10,44 II:122
 - vejledende II:83,86
 Grå stær II:106
 Gulvarmaturer I:209
- H**
 H-mærkning I:159,233
 Hagerem II:255
 Halveringstid I:47
 Halvlederdetektorer I:62
 Halvmasker II:239,241
 Handsker II:246
 Hazop II:311
 Helbredsovervågning I:166
 Helhedssyn II:328
 Helmasker II:239,241
 Hertz (Hz) II:50
 Hjerte-karsygdomme II:59
 Homogen eksponeringsgruppe (HEG) II:196
 Hornhinden II:106
 Hovedværn II:254
 HPLC I:78
 Hudareal I:235
 Hudeksponering I:158
 Hudkontakt I:233
- Hudoptagelse I:154,234
 Hudpenetration I:155,160
 Hudkræft II:105
 Hvide fingre II:91
 Hyperventilation I:97
 Højtryksvæskechromatografi I:77
 Hørenedsættelse II:55
 Høreskader II:251
 Høretærsklen II:82
 Høreværn II:87,250
 - effektivitet II:251
 Håndpumper I:59
 Hårdhed I:121
- I**
 Immissionsmåling II:202
 Impaktor I:109,134
 Impaktortrin I:110
 - effektivitet I:86
 Impinger I:56,108,134
 In vitro-humane undersøgelser I:160
 In vivo dyremodeller I:160
 Indblæsning af luft I:192
 Indblæsningsluft I:205
 Indblæsningsstråle I:207
 Indblæsningsystem I:205
 Indeklimamærkning af byggematerialer I:146
 Indeklimaklager II:214
 Indeklimaundersøgelser I:164
 Indflydelsesmuligheder I:30
 Indikatorrør I:59
 Indkapsling af støjkilder II:71
 Indsugningsbetingelser I:105
 Induktiv koblet plasma atomemissionsspektrometri (ICP-AES) I:73
 Inflammatorisk respons I:131
 Infralyd II:80
 Infrarød spektroskopi (GC-FTIR) I:81
 Inklusionskriterier I:155
 Interessentanalyse II:323
 Inversion I:14

- Ionkromatografi I:77
 IR-spektrometer I:61
 Irradians II:102
 - spektrale II:102
 - UV- II:109
 ISO 2631 II:94
 ISO 5349 II:93
 ISO 14001 II:281
 Isokinetisk I:106
 Isotermisk I:194
 Isotrop I:121
 IUCLID II:182
- J**
 Jern I:121
 Jetdyser I:210
- K**
 Kalibrering I:65,115
 - luftblandinger I:66
 Kapillarkolonner I:80
 Katalytisk forbrænding I:62
 Kavitation II:86
 Kemikalielovgivning II:182
 Kemikalieregistreringssystem II:187
 Kemiluminescens I:62
 Kemiservice II:183
 Kemisk sammensætning I:119
 Kemosorption, prøvetagning med I:57
 KemSys II:187
 Kilde, punkt- II:103
 Kilde, udstrakt II:103
 Kildeindgreb II:126
 Kildestyrke I:138
 Klæbefolie I:163
 Kobber I:121
 Kolorimetre I:62
 Kommunikation II:59,333
 Konsekvensvurdering II:330,331,334
 Kontrast II:148
 - dannelse II:162
 Kontrol I:223
 - kort I:71 II:208
- Konvektion
 - naturlig I:191
 - spredning ved I:148
 - tvungen I:192
 Konvektionsstrøm I:202,205,214
 Konventionel opblanding I:201,202,207
 Kortbølgediatermi II:118
 Kortslutning i ventilationsanlæg I:233
 Krav- og projektstyringsskema II:330
 Kravspecifikation I:200
 Kredsløbsapparater II:240
 Kredsløbsforstyrrelser II:59
 Krystallinske stoffer I:120
 - mikro-, poly, grov- eller makrokrystallinske I:121,122
 Krystalstruktur I:120
 Kræft II:119
 Kuldenedfald I:208
 Kulrør I:53
 Kumulativ eksponering I:12
 Kutymeregulering II:281
 Kvalifikationsforhold I:30
 Kvalitetskontrol I:71,72,173
 - sikring II:230
 Kvarts I:121,122
 Kviksølv I:166
- L**
 Lambert-Beers lov I:73
 Langtidseksponering I:44
 - indikatorrør I:59
 Laser Doppler Anemometer I:115
 Laserklassifikation II:110
 Laserskæring I:141
 Latex ækvivalent diameter I:115
 Lavluminansgitre II:141
 LCA (Livscyklusvurdering) II:287,304,305
 Ledelse
 - evaluering II:292
 - system II:289
- Life Cycle Inventory (LCI) II:306
 Ligevægtsdamptryk I:37
 Linsen II:106
 Livscyklusbetragtning II:287
 Livscyklusvurdering (LCA) I:33 II:287,304,305
 "Livscyklusvurderinger og arbejdsmiljø" II:308
 Livsvaner I:173
 Loftværdi I:44
 Log-normalfordeling I:91 II:196
 Logbogsmetode II:200
 Logbøger II:200
 Luftens lokale alder I:227
 Luftforurening, eksponering for II:176
 - indledende vurdering II:177
 - orienterende undersøgelse II:177
 Luftprøve II:204
 Luftsifte I:226
 - lokalt I:228
 - strømninger I:190
 - strømningsbillede I:200
 - udskiftningens effektivitet I:229
 Lugt II:301
 Lumen II:131
 Luminans II:131
 - variationer II:149
 Luminansmeter II:154
 Luminescensstrålere II:133
 Lungekapacitet I:95
 Lungeventilation I:95,104
 - arbejde I:97
 Lux II:131
 Luxmeter II:152
 Lyd, lavfrekvent II:82
 Lydabsorbenter II:87
 Lydbølger II:80,84
 Lydtryk II:303
 Lys II:101
 - diffust II:161
 - rettet II:161
 Lysbrydning I:121
 Lysdæmper II:144
 Lysets geometri II:161

Lysfordelingskurve II:140
 Lysspredningen I:89
 Lysstrøm II:130
 Lysstyrke II:131
 Lysudbytte II:134
 Læderhud (dermis) I:155
 Lænderygbesvær II:92

M

Makroskopiske egen-skaber I:121
 Maksimalværdier I:15
 MAL-koden I:144 II:180
 Massebalance II:297
 Massespektrometri I:80
 Materialenedbrydning I:14
 Materialespild II:296
 Metalskærmen II:125
 Meteorologiske parametre II:298
 Metodeevaluering I:70
 Middelstrålingstemperatur (t_r) II:36
 Mikrobiologiske agentia I:130
 Mikrobølgeovne II:119
 Mikrobølger II:114
 Mikroorganismer I:163
 Miljø, det ydre II:281
 Miljøforvaltning II:281
 Miljøgennemgang I:33
 Miljøledelse II:280
 Miljømålsætninger II:290
 Miljøpolitik II:289
 Miljøpåvirkninger
 - direkte II:283
 - indirekte II:283,287
 - væsentlige II:286
 Miljøredegørelse, offentlig II:292
 Miljøstyrelsens vejledninger II:295,298
 Miljøstyring II:280,281
 Miljøstyringssystem II:282,288
 Miljøteknisk gennemgang II:282
 Mixing factor I:227 II:192
 Mixing volume II:192
 Mobilitet I:116
 Mobiltelefoner II:119

Model II:230
 Modelberegning II:299
 MORT II:314
 Mønsterenheden I:120
 Målegrænser I:71
 Måleinstrument II:120
 Målepositioner, nødvendige antal II:201
 Målerapport II:210
 - eksempel II:212
 Måleresultater, vurdering II:206
 Målesonde, placering af I:63
 Målestrategier II:195
 Måleudstyr II:205
 Måling I:50 II:27,59,82,86,95,107,120,152

N

N-zone modeller I:149
 Nethinden II:107
 Neymans formel II:202
 No observed effect level (NOEL) II:180
 Normalværdier II:124
 Nærfelt II:117

O

ODEON II:67
 ODTS I:131
 Offentlig miljøredøgørelse II:292
 Okklusion I:235
 Oktavbånd II:62
 Olietåge I:151
 OML-model II:300
 Områder, hørbare II:86
 Operativ temperatur II:42
 Opholdstid I:228
 Opholdszone I:200
 Opladning I:88
 Opløsningsmidler, organiske I:189
 Optagelsesveje I:12
 Optisk anisotrop stof I:124
 Optisk isotropt stof I:124
 Optisk ækvivalentdiаметer I:89

Organisationsdiagram I:28
 Organisationsændring I:188
 Organisering af arbejde II:332
 Organiske materialer I:125
 Overensstemmelseserklæring II:238
 Overfladeforureninger I:162
 Overhov I:213,216
 Overhud (Epidermis) I:155
 Overvågningsmåling II:208
 Overvågningsmålinger, periodiske II:179

P

Pacemakers II:120
 Pakkede kolonner I:80
 Parathion I:238
 Partikelfiltre II:245
 Partikelæller I:115
 PDA I:115
 Penetrationshastighed I:234
 Perifersyn II:145
 Permeationsrør I:67
 Personbårne pumper I:51
 Personlig støvskey I:153
 Personlige værnemidler II:236
 Pesticider I:154,162,165,190
 Phenol I:166
 Piezo-elektriske krystaller I:63,111
 Plane strålingstemperatur II:38
 Planlægning og projektering II:320
 Planlægningsmodel II:320,328
 Planstråle I:193
 Plastsvejsning, højfrekvent II:118
 Polarisations-filtre I:124
 Polarisationsmikroskop I:124

- Polydispers aerosol I:90
 Polymorfi I:121
 Porapak I:54
 Poser I:58
 PR-nr. II:183,187
 Primære standarder I:65
 Prioriteringsredskab
 II:188
 PROBAS II:181,182,185
 Probasdata II:184
 Procesevaluering II:336
 Procesforbedring II:85
 Procesorienteret måling
 II:202
 Processer, måle- og styre-
 II:85
 Processubstitution I:183
 Procestilstande I:26
 Procestunnel I:222
 Procesudugning, effek-
 tivitet af I:230
 Produktionsproces I:22
 - layout I:24
 Produktregister II:182
 Programfase II:324
 Projekteringsfase II:327
 Prokaryoter I:127
 Præstationsprøvninger
 I:173
 Prøverør I:59
 Prøvetagning I:50,106
 - med adsorptionsrør
 I:52
 - med diffusionsdosime-
 tre I:54
 - med vaskeflasker I:56
 - metoder, direkte I:57
 - procedure I:54
 - strategi I:172,230
 Prøvetagningsperiode
 II:204
 Prøvetagningsplan II:204
 Pumper, opladning af
 I:52
 Pumpetyper I:51
 Punktkilder II:298
 Punktudugning I:212
 Push-pull system I:218
- R**
 R_a -værdier II:134
 Radians II:102
 Radiobølger II:114
 Radiometer II:107
 - spektro- II:108
 Rammedirektiv, EU II:261
 Recipientforhold II:284
 Recirkulation I:232
 Refleksion, diffus II:132
 - spejlende II:132
 Reflekstøj II:249
 Reflektans II:131
 Reflekteret belysning
 I:125
 Registrering, central
 II:183
 - lokal II:185
 Relaxationstid I:86
 Renere teknologi I:33
 Rengøring I:153
 - effektivitet I:164
 - kvalitet af I:165
 Rensning II:85
 Reservevolumen, inspi-
 ratorisk I:94,95
 Residualvolumen I:94
 Ressourceforbrug II:284
 Resuspension I:152
 Reynolds tal I:83
 Risikoanalyse II:310
 Risikobetonede aktivi-
 teter II:310
 Risikodirektiv II:309
 Risikofaktorer I:30
 Risikomatrix II:188
 Risikoopfattelser II:271
 Riste I:205
 Rotteskræmmere II:85
 RTECS II:183
 Rumudugning I:211
 Røgfanløft II:298
 Røgklassificering af
 svejseelektroder I:145
 Røgpistol I:151
 Røntgen pulverdiffrak-
 tometri I:122
 Røntgendiffraktion I:119
 Røntgendiffraktometri,
 kvantitativ I:123
 Rør, primære II:136
 - primære de luxe II:136
 - sekundære II:136
- S**
 Saltsyre I:166
 Samarbejdsmuligheder
 I:30
 Sammensætningsoplys-
 ning II:184
 Scanning elektronmikro-
 skop (SEM) I:125
 Scenarier II:192
 Score II:187,188
 Scoresystemer II:188
 Screening II:185
 Sedimentering II:192
 Sekundære standarder
 I:65
 Sele II:255
 Sele med line II:256
 Selvsugermaske II:240
 SETAC II:305
 Signifikansniveau II:201
 Sikkerhedsfodtøj II:253
 Sikkerhedsforanstalt-
 ninger II:110
 Sikkerhedskrav II:237
 Skader
 - fotokemiske II:104
 - hud- II:105
 - høre- II:251
 - termiske II:104
 - øjen- II:105
 Skiltning II:237
 Skridhæmmende sål
 II:254
 Slam II:304
 Slibesten I:195
 SMORT II:314
 Snavs I:162
 Social proces I:188
 Solventdesorption I:79
 Spaltelighed I:121
 Sparerunde II:328
 Spejlplaner I:120
 Spidsværdier I:13 II:57,
 302
 Spild af væske I:139
 Sporgasteknik I:225
 Sporstofforsøg II:301
 Spotmeter II:154
 Spredningsmekanisme
 II:298
 Sprøjtebokse I:221
 Stabilt strømningsfelt
 I:202
 Standardafvigelse, geo-

- metrisk, GSD II:196
 Standarder I:67
 Statistisk test II:201,206
 Stempelfortrængning
 I:201,205
 Stoffer I:121
 Stofsubstitution I:184
 Stokes tal I:86
 Stoppedistance I:86
 Storfladearmatur II:165
 Stratificering efter HEG
 II:196
 - efter processer (log-
 bogsmetoden) II:196
 Stroboskopeffekten II:150
 Strøm, induceret II:123
 - kontakt- II:123
 Strømmende luft II:80
 Strømtæthed II:118
 Stråler II:114
 Stråling, ikke-ioniseren-
 de II:100
 - infrarød (IR) II:101
 - laser- II:101,109
 - optisk II:101
 - temperatur- II:133
 - ultraviolet (UV) II:101,
 - 152
 Strålingsmindskende
 beklædning II:70
 Styrestråle I:211
 Støj II:250,303
 - belastning II:60
 - deklARATIONER II:62
 - dæmpningsmetoder
 II:87
 - grænser II:64
 - immission II:303
 - impulser II:250
 - kilder, indkapsling af
 II:71
 - lavfrekvent II:66
 - skærme II:74
 - trykluffs- II:71
 Størrelsesbestemmelse
 I:113
 Størrelsesfordelinger I:90
 Støttebælte II:255
 Støvafgivelse I:163,237
 Støvdeponering I:237
 Støvdpoter I:153
 Støvgennemtrængning
 I:237
 Støvningssindeks I:92
 II:181
 Støvsugning I:153,162
 SUBFAC-indeks II:180
 Subjektiv vurdering I:162
 Subkutane fedtlag
 (underhud) I:155
 Substitution, barrierer
 I:189
 - elimination I:183
 Substitutionsovervejelser
 II:186
 Substitutionsprincippet
 I:183
 - proces I:183,185
 - produkt I:183
 - stof I:184
 Sugebokse I:219
 Sugehastighed I:214
 Sugehove I:213
 Sugehoveder I:212
 Sugespalter I:218
 Svejseøjne II:106
 Svejsning, metal og plast
 II:85
 Symmetrilinier I:120
 Synsarbejde II:146
 Synsopgaver II:162
 Synsstyrke II:147
 Synsvinkel II:147
 Syntetiske polymere I:54
 Systematisk arbejdsmiljø-
 arbejde I:181
 Systemkrav II:289
 Sæbebobler I:151
 Tidsmønster II:297
 Tidsserie-målinger I:44
 Tinnitus (øresusen)
 II:56,85
 Toksiko-kinetiske
 modeller I:45
 Toner, højfrekvente II:86
 - rene II:86
 Total lungekapacitet
 I:94,95
 Transfer coefficient I:143
 Transittid I:228
 Transmedieforening
 II:304
 Transmissionselektron-
 mikroskop I:125
 Transport af luft I:211
 Transport og opbevaring
 af prøver I:58
 Triboelektriske serier
 I:88
 Tridymit I:122
 Trin for Trin fremgangs-
 måden II:177
 Trykflaskeapparater
 II:240
 Trykken II:85
 Turboudstyr II:239,242
 Type 1 fejl II:201
 Type 2 fejl II:201
 Tæpper I:162
 - støv i I:165
 Tågegenerator I:151
 T
 Tandrensning II:85
 Teknologi, renere II:295
 Teknologisk niveau I:26
 Tekstilfibre I:122
 Tekstilkkanaler I:209,210
 Temperatur, operativ
 II:82
 Temperaturfordeling
 I:202
 Tempereret zone I:203
 Tenax I:54
 TEOM I:113
 Terminalhastighed I:88
 Termisk desorption I:79
 Termiske metoder I:62
 Testaerosoler I:113
 Tidal volume I:95
 U
 Ubehagsblending II:142
 Udbudsmaterialet II:337
 Uddannelse I:10
 Udslip II:284
 - diffuse II:296
 Udsugning af luft I:195
 Udsugning, mekanisk
 I:211
 Udsugningssystemer
 I:211
 UGR-metoden II:156
 Ultralyd II:84
 - scanning II:85
 - terapi II:85
 Underhov I:216
 Undersøgelsesdesign
 II:230

Undersøgelserapport
 II:210
 UNIFAC I:38
 Unødighedsbegrebet I:10
 UV/VIS-spektroskopi I:74

V

Vanter II:246
 Variation af eksponering
 II:182
 Vaskeflasker I:56
 Vedligehold I:180
 Vedligeholdelsesfaktor
 II:142
 Vedligeholdelsesrutine
 II:142
 Ventilation, almen I:201
 - effektivitet af I:229
 - måling af I:223
 Ventilationsanlæg, check
 af I:123
 Ventilationskrav, krav-
 specifikation I:198
 - valg af indblæsningssy-
 stem I:198
 - valg af udsugningssy-
 stem I:198
 - valg af ventilations-
 princip I:198
 - zoneopdeling I:198
 Ventilationsluft I:153
 Ventilationsprincip I:200
 Ventilationsrate I:95
 Vibrationer II:90
 - helkrop II:90,92
 - hånd-arm II:90,91

Visualisering I:151,162
 Vitalkapacitet I:94,95
 Volumenstrøm, nødven-
 dig I:200
 Volumenstrømsmåling
 I:65
 Volumenstrømsregule-
 ring I:51
 Volumenvægtet diame-
 terfordeling I:92
 Volumenækvivalente
 diameter I:85
 "Vugge til grav"
 II:287,304
 Vurderingsgrundlag II:15
 Vurderingsmetoder II:180
 Vurderingsværktøjer
 I:187
 Vægstråle I:193
 Værnefodtøj II:253
 - kemikaliebestandigt
 II:254
 Værnemidler II:236
 Værnesål II:253
 Væskechromatografi I:77

W

WBGT (Wet Globe Tem-
 perature) II:21
 Wipe test I:163
 "Worst case" II:179,200,
 285
 "Worst case" måling
 II:203

X

XAD I:54

Y

Ydeevne (analysemeto-
 der), dokumentation
 af I:70

Æ

Ækvivalent luftskifte
 I:153

Ø

Øjenværn II:111,249
 Ørekopper II:252
 Ørepropper II:252
 Øresusen (Tinnitus)
 II:56,85

Å

Åbne bade I:218
 Åndedrætsdybde I:94,95
 Åndedrætsfrekvens I:95
 Åndedrætsværn II:238
 - filtrerende II:239,242
 - luftforsynede II:239
 Åndemiddelluft II:240

**Basisbog i
Teknisk Arbejdshygiejne
Bind I-II**

Bind I omhandler produktionsprocesser, gasser, dampe, støv og mikroorganismer samt hudforurening. Desuden beskrives kildestyrke, substitution og ventilation.

Bind II omhandler termiske faktorer, støj, vibration, stråling samt belysning. Desuden gennemgås metoder til eksponeringsvurdering, indeklima, generelle arbejdspladsvurderinger, personlige værnemidler og belastning af miljøet. Endelig gennemgås planlægning og projektering.

