

VIDENSKAB OG PRAKSIS

Formaldehyd i indeluft i danske boliger

Af Ib ANDERSEN, cand. polyt. GUNNAR R. LUNDQVIST & cand. scient. LARS MØLHAVE

I 1971 blev Hygiejnisk institut, Århus universitet opmærksomt på en række klager over slimhindeirritation og diffus ubehagsfølelse opstået efter indflytning i et 1½ år gammelt parcelhus. Indflytterne var et midaldrende ægtepar med to hjemmeværende børn; alle havde tidligere været raske og uden gener af den beskrevne art. Ved gennemgang af boligens indretning og benyttelse blev temperatur, luftfugtighed m. v. undersøgt, uden at abnorme forhold derved blev påvist, men en analyse af indeluftens sammensætning viste indhold af formaldehyddampe i varierende mængde fra mere end 6 til 0,7 mg/m³ luft. En nærmere undersøgelse fastslog, at formaldehyddampene stammede fra lofts- og vægbeklædninger af spånplade med en unormalt høj afspaltning af formaldehyd, men også at dette materiale ikke var anvendt i en mængde og på en måde, der afveg væsentligt fra mange andre parcelhuse opført i de seneste år.

De fundne koncentrationer var for fleres vedkommende højere end den tilladelige værdi på arbejdspladser, og da formaldehyd kan fremkalde såvel toksiske som allergiske manifestationer, fandt man det nødvendigt på grund af de betydelige sundhedsmæssige aspekter at foretage en mere omfattende undersøgelse af indeluftens formaldehydindhold i nybyggeri samt at studere spånpladers formaldehydafgivelse i afhængighed af klimatiske parametre under laboratorieforhold i Hygiejnisk instituts klimakammer.

Spånplader er gennem det sidste årti i stærkt stigende mængde (Fig. 1) anvendt til byggeri (skillevægge, lofter, gulve), til inventar (skabe m. v.) og til møbler. I 1972 var spånpladeforbruget i Danmark 355.000 m³ fordelt med ca. ⅓ til hver af de ovennævnte grupper. Den danske spånpladeproduktion androg samme år 279.000 m³, hvoraf 16.000 m³ blev eksporteret, importen var 92.000 m³. En kubikmeter spånplade vejer ca. 680 kg, hvorfor 1972-forbruget svarer til 242.000 tons, limen udgør 9 % heraf eller 21.000

tons. Mest anvendt er formaldehyd-urealim, der som udgangsmateriale benytter formaldehyd og urinstof i forholdet 1,4:1, hvilket på årsbasis giver ca. 10.000 tons formaldehyd. Under spånpladefremstillingen polymeriserer limen, men der resterer i dag i pladerne ca. 0,04 % fri formaldehyd svarende til ca. 100 tons på årsbasis. Denne frie formaldehyd er i kemisk ligevægt med pladernes øvrige bestanddele, og ved formaldehydfordampning fra pladen vil ikke blot den frie formaldehyd, men også det fra den polymeriserede formaldehyd-urealim gendannede formaldehyd kunne afgives. Et resumé af spånpladefremstilling og af de kemiske processer, der af betydning for formaldehydafspaltningen, findes i en følgende artikel (5).

Nærværende artikel behandler alene feltmålingerne, mens klimakammermålingerne og den for formaldehydafgivelse udviklede matematiske model er beskrevet i to følgende artikler (5, 6).

EGNE UNDERSØGELSER

Materiale og metode

Undersøgelsen omfatter målinger i 25 rum i 23 boliger fordelt på 19 enfamilieshuse og 4 lejligheder alle beliggende i Midtjylland. Tyve rum var ubeboede, klar til indflytning, mens 5 var beboede. De nye huse (Fig. 2) blev tilfældigt udtaget blandt 5 forskellige byggefirmaers produktion, mens de ældre huse dels var af samme firmaers produktion, dels var traditionelt murstensbyggeri uden anvendelse af spånplade. Man har

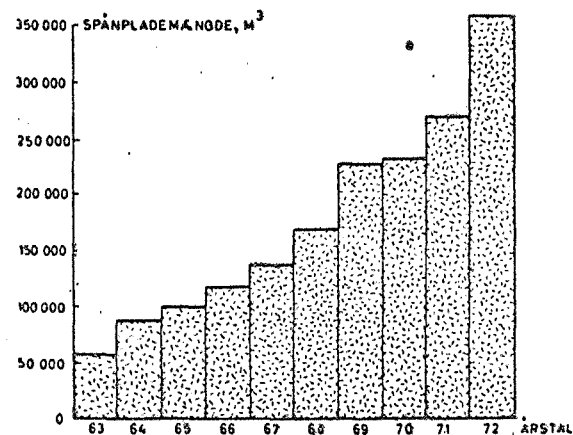


Fig. 1. Spånpladeforbruget i Danmark 1963-1972.

Fra Hygiejnisk institut, Århus universitet.

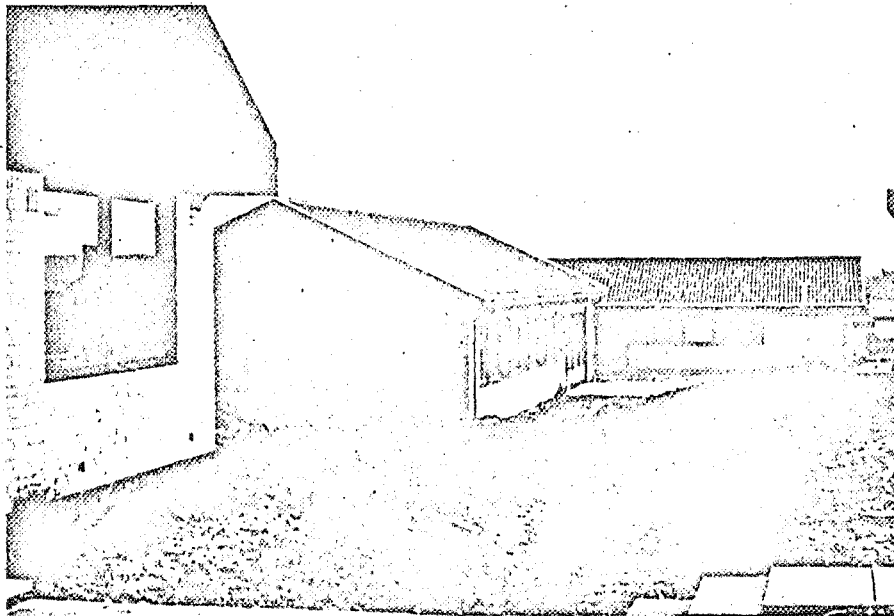


Fig. 2. Parcelhusområde af en art, der svarer til de undersøgte nye boliger.

ikke tilstræbt at opnå et i statistisk henseende repræsentativt udsnit af byggeriet, men derimod boliger hvor forskellige mængder spånplade indgår. Der er målt i 17 rum, hvor spånplade indgår i bygningskonstruktionen, og i 8 rum hvor spånplade blot er anvendt til møbler, skabe m. v. Data for de enkelte rum findes i Tabel I. I hver af de 23 boliger blev foretaget målinger i ét kammer, og i to tilfælde blev der suppleret med målinger i et andet rum. I alt blev foretaget 100 enkeltmålinger.

Måleobjektet blev besøgt og udstyret opstillet dagen før målingerne, og man sikrede, at døre og vinduer blev lukket, således at der kun var tale om naturlig ventilation gennem utætheder. Radiatorerne blev indstillet til rumtemperatur 20–25° C, og møbler og andet ikke fast inventar blev fjernet, således at målingerne fortrinsvis foregik i helt nøgne rum. Beboelsens alder, rumdimensionerne, de anvendte materialer og overfladebehandlinger samt inventaret blev registreret. Spånplademængden blev opdelt efter overfladebehandlingstype i tre kategorier (Tabel I, P₁–P₃). Lukkede skabe blev ikke medregnet i rumvolumen og indgik i arealberegningen kun med den ydre, frie overflade.

Måleudstyr og -opstilling er vist på Fig. 3. Udstyret bestod af vaskeflasker til formaldehydopsamling, ventilationsmåleudstyr til registrering af udspædningsforløbet efter dosering af en radioaktiv gasart samt barograf, termohygrograf og psykrometer. Udendørs luft-hastighed og -retning blev målt med vindhastighedsmåler og kompas. Måleproceduren omfattede måling af lufttemperatur og -fugtighed, derefter blev en radioaktiv gas (⁸⁵Kr) doseret i rummet, og udspædningsforløbet blev fulgt gennem 6 til 8 timer. I de første to timer af dette forløb foregik formaldehydmålingen ved gennembobling af vaskeflaskeudstyret med ca. 50 liter luft. Ovennævnte målinger blev foretaget i gennemsnit fire gange på hver målestation. Formaldehydanalysen foregik i laboratoriet ved spektrofotometrisk kromotropsyrebestemmelse (5). Ved en koncentration på 1 mg/m³ var usikkerheden ± 5 %, og mindste detekterbare mængde var ca. 0,1 mg/m³ luft.

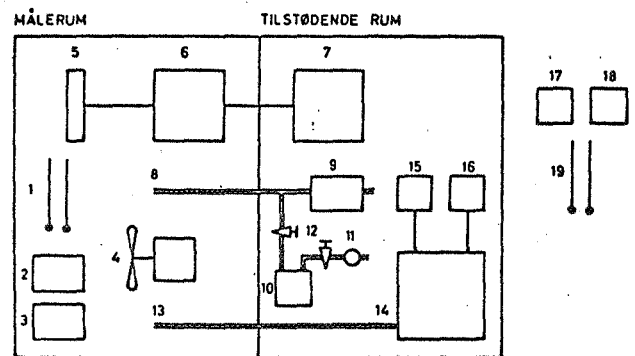


Fig. 3. Måleopstilling og -udstyr.

- 1) psykrometer
- 2) termohygrograf
- 3) barograf
- 4) ventilator
- 5) Geiger-Müller rør
- 6) rate-meter til radioaktivitetsmåling
- 7) skriver
- 8) doseringsrør til ⁸⁵Kr
- 9) pumpe
- 10) ⁸⁵Kr-beholder
- 11) doseringspumpe
- 12) haner
- 13) prøvetagningsrør til formaldehydanalyse
- 14) vaskeflaskeudstyr til formaldehydanalyse
- 15) el-ur for prøvetagningstid
- 16) kontaktur for automatisk prøvetagning
- 17) kompas
- 18) vindhastighedsmåler
- 19) psykrometer

Resultater

Resultaterne af målingerne af temperatur, vanddampindhold, ventilation og formaldehydkoncentration er anført i Tabel II med antal og middelværdi (\bar{x}). Fordelestyperne er undersøgt på sandsynlighedspapir, men da det ikke drejer sig om normalfordelinger, har man beregnet spredningerne i % af middelværdierne. Middelværdierne for temperatur, vanddampindhold, ventilation og formaldehydkoncentration var henholdsvis

Tabel I.

Objekt nr.	Måle-tids-punkt 1973	Antal HCHO-målinger	Husets ¹⁾ alder, måneder	V _n ²⁾ netto-volumen af måle-rum, m ³	Spånpladeoverflade				
					P ₁ , m ² ³⁾	P ₂ , m ² ⁴⁾	ΣP, m ² ⁵⁾	$\frac{P_1 + P_2}{\Sigma P}$ %	$\frac{P_1 + P_2}{V_n}$
1	feb	7	0,3	20	32	0	45	72	1,6
2	feb	6	0,3	20	32	0	45	72	1,6
3	mar	2	0,3	20	32	0	45	72	1,6
4	mar	3	0,3	97	92	17	173	63	1,1
5	mar	1	0,3	97	92	17	173	63	1,1
6	mar	4	5	14	6	18	35	68	1,7
7	mar	3	5	12	5	8	33	41	1,1
8	mar	3	5	14	6	18	35	68	1,7
9	mar	3	5	14	8	18	35	68	1,7
10	mar	5	5	14	6	18	35	68	1,7
11	mar	3	5	14	6	18	35	68	1,7
12	apr	2	29	14	0	6	35	17	0,4
13	apr	3	29	14	0	6	35	17	0,4
14	apr	3	29	14	0	6	35	17	0,4
15	apr	1	29	14	0	6	35	17	0,4
16	apr	7	2	16	0	21	40	54	1,3
17	maj	3	0,2	16	0	21	40	54	1,3
18	maj	3	0,2	16	0	21	40	54	1,3
19	maj	1	37	22	34	5	52	75	1,8
20	aug	5	42	18	8	13	35	58	1,1
21	aug	3	42	18	7	25	44	74	1,8
22	aug	6	56	21	0	5	48	11	0,3
23	aug	5	54	15	0	4	43	10	0,3
24	aug	5	0,2	21	10	10	51	39	1,0
25	sep	4	0,2	21	10	10	50	41	1,0
\bar{x}		4	15,3	23	15	12	51	50	1,2

Data for måleobjekter

- 1) Tidspunktet er regnet fra den dag, varmesystemet er i drift.
- 2) Ved nettovolumen forstås rummets volumen afgrænset af vægge, loft og gulv + volumen af lukkede skabe.
- 3) P₁ er spånpladeareal med ingen eller let overfladebehandling (f. eks. med hessian, loftshvidt).
- 4) P₂ er spånpladeareal med kraftig overfladebehandling (f. eks. tæt tapet, plasticmaling).
- 5) ΣP er rummets totale overfladeareal: P₁ + P₂ + P₃ hvor sidstnævnte omfatter lamineret eller linoleumbehandlet overflade, evt. møbeloverflader samt arealer af andet materiale end spånplader.

22,8° C ± 14 %, 7,1 g vanddamp/kg luft ± 15 % (41 % relative humidity (RH)), 0,8 luftskifter/h ± 24 % og 0,62 mg formaldehyd/m³ luft ± 32 %. Den laveste formaldehydkoncentration var 0,08 og den højeste 2,25 mg/m³ luft. Den hygiejniske grænseværdi for erhvervsmæssig udsættelse for formaldehyd – den såkaldte MAK-værdi (*Maximale Arbeitsplatz-Konzentration*) – er 1,2 mg/m³ luft (17), og det fremgår af Tabel II, at målingerne i to rum (8 %) var højere end denne værdi, der gælder for erhvervsmæssig udsættelse 8 timer i døgnet; i begge disse rum var temperaturen højere end den gennemsnitlige rumtemperatur. Ved 24 timers udsættelse i døgnet må der imidlertid alene af tidsmæssige årsager foretages en reduktion i denne grænseværdi til 0,40 mg/m³ luft (her benævnt MAKred), og man finder da, at 17 rum (68 %) var højere og 8 rum (32 %) lavere end denne værdi. Alle værdier var højere end, en enkelt dog lig med, grænseværdien for udeluftsforurening med formaldehyd – den såkaldte MIK-værdi (*Maximale Immissions-Konzentration*) på 0,03 mg/m³ luft (26).

I Fig. 4a, b og c er afbildet samvarende værdier af indeluftens formaldehydindhold og henholdsvis temperatur, vanddampindhold og ventilation, og samtidig er anført de beskrevne grænseværdier MAK, MAKred og MIK. Der er ikke en klar sammenhæng mellem formaldehydindhold og lufttemperatur (Fig. 4a) eller vanddampindhold (Fig. 4b), men der er aftagende formaldehydkoncentration ved stigende luftskifte (Fig.

Tabel II.

Objekt nr.	Lufttemperatur °C		Vanddampindhold g/kg luft		Ventilation luftskifte/h		HCHO-koncentration mg/m ³ luft	
	Antal	\bar{x}	Antal	\bar{x}	Antal	\bar{x}	Antal	\bar{x}
1	7	17,1	7	6,0	4	0,5	7	0,65
2	4	21,4	4	4,7	2	0,5	6	0,77
3	2	8,6	2	4,8	2	0,4	2	0,43
4	3	20,1	3	4,9	2	0,9	3	0,89
5	1	37,8	1	9,5	1	0,8	1	2,24
6	4	26,1	4	5,6	3	1,2	4	0,33
7	3	25,4	3	5,0	2	2,3	3	0,33
8	3	22,6	3	5,9	2	0,9	3	0,60
9	3	23,3	3	6,7	2	0,3	3	0,68
10	4	23,0	4	8,0	2	1,2	5	0,71
11	3	23,8	3	6,5	2	0,6	3	0,58
12	2	21,4	2	4,8	1	1,3	2	0,08
13	3	26,8	3	4,8	2	0,9	3	0,20
14	3	31,1	3	5,4	2	1,1	3	0,26
15	1	24,4	1	4,2	1	4,6	1	0,09
16	7	26,0	7	7,3	4	0,4	7	0,67
17	3	25,9	3	10,2	1	0,1	3	1,29
18	2	19,6	2	7,7	–	–	3	0,67
19	8	21,6	8	6,6	2	0,3	10	0,49
20	5	23,3	5	9,7	1	0,2	5	1,06
21	3	25,8	3	10,7	–	–	3	1,18
22	5	22,3	5	9,4	3	0,3	6	0,42
23	5	21,6	5	7,1	2	0,6	5	0,36
24	5	22,1	5	8,7	2	0,4	5	0,74
25	4	19,4	4	8,5	2	1,4	4	0,20
\bar{x}	93	22,8	93	7,1	47	0,8	100	0,62

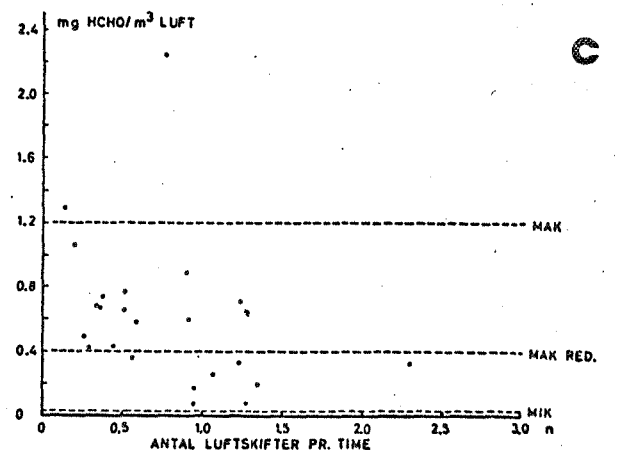
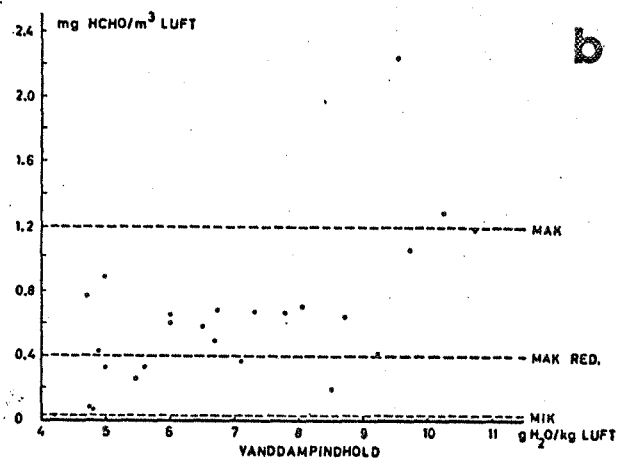
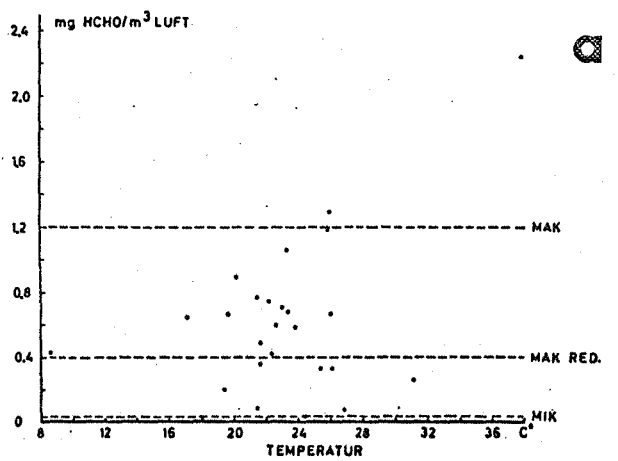


Fig. 4. Samhørende værdier af indeluftens formaldehydindhold og temperatur (a), vanddampindhold (b) og ventilation (c).

4c). Ved forsøg under kontrollerede forhold i klimakammer er disse relationer undersøgt nærmere med det resultat, at formaldehydkoncentrationen også varierer i afhængighed af såvel temperatur som vanddampindhold (5), og der er på grundlag af dette og nærværende arbejde udarbejdet en matematisk model (6), der tillader korrektion til klimatiske standardbetingelser f. eks. lufttemperatur 23°C , vanddampindhold 7 g/kg luft og ventilation $1,0$ luftskifte/h i nær overensstemmelse med middelværdierne i denne undersøgelse. Sammenhængen mellem formaldehydkon-

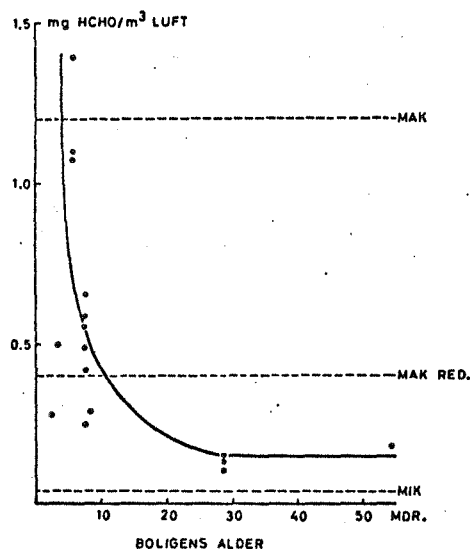


Fig. 5. Samhørende værdier af indeluftens formaldehydindhold korrigeret til klimatiske standardbetingelser (se teksten) og boligens alder i måneder.

centrationerne korrigeret til disse standardbetingelser og spånpladernes alder i år er afbildet i Fig. 5. Det fremgår, at de højeste formaldehydkoncentrationer træffes i nye boliger, hvor der dog er meget betydelig spredning i måleresultaterne, muligvis beroende på, at forskelle i spånplade- og boligalder samt håndtering under byggeprocessen er af særlig stor betydning i denne fase. Formaldehydkoncentrationen aftager kraftigt gennem det første $1\frac{1}{2}$ til 2 år, men også i ældre huse er værdierne højere end MIK-værdien.

DISKUSSION

Formaldehyd er den mest toksiske aldehyd, idet den proteindenaturerende virkning aftager med stigende molekylvægt både for de umættede og de alifatiske aldehyder.

Formaldehyds påvirkning af organismen

Formaldehyd kan påvirke organismen ved optagelse gennem huden, ved indånding eller ved oral indtagelse, af hvilke sidstnævnte må antages at være uden betydning i boligen.

I dermatologien møder man meget ofte formaldehydbetingede toksiske eller allergiske hudaffektioner. Formaldehyd indgår rutinemæssigt i de fleste lapperprøver, og hos patienter i dermatologiske ambulatorier anføres det i en oversigt over 10 dermatologiske arbejder (13), at incidensen af formaldehyddermatit er fra 2 til 24 %. Mulighederne for at udvikle allergiske hudaffektioner på grund af formaldehydpåvirkning er store, da stoffet er uhyre udbredt i dagligdagens produkter, således f. eks. i shampoos, kosmetika, deodoranter, farvestoffer, lædervarer, visse medicinalvarer, papirvarer, tekstiler m. v. (25). Erhvervsbetinget overfølsomhed over for formaldehyd er velkendt, men det er ikke muligt at angive en koncentrationstærskel for udvikling af allergisk hudaffektion (21). Man kender ikke tilfælde, hvor en dermatit er udløst ved indånding af formaldehyddampe (14), og der er ikke beskrevet overfølsomhed for formaldehyd erhvervet ved ophold i en bolig med skillevægge, inventar m. v. fremstillet af

spånplade, eller forværring af tilstanden hos formaldehydoverfølsomme patienter ved ophold i en sådan bolig.

Øjenirritation i form af svien og brænden i conjunctiva skyldes formaldehyds store affinitet til vand og dets proteindenaturerende virkning. Tærskelværdien herfor angives meget forskelligt – fra 0,01 til 1,1 mg/m³ luft, men oftest i området 0,12 til 0,30 mg/m³ (17). Der er ikke i litteraturen beskrevet tilfælde udløst ved ophold i boliger, men derimod ved erhvervsmæssig udsættelse og ved ophold i fotokemisk smog; skoleeksemplet på sidstnævnte er Los Angeles området (24).

Den vigtigste virkning af formaldehyd i lavere koncentrationer er luftvejsvirkningen med irritation af slimhinderne i næsen og i den øverste del af luftvejene, hvilket skyldes formaldehyds meget store vandopløselighed (1.980 vol. formaldehyd opløses ved 20° C og 1 atm i ét vol. vand). Luftvejsirritation optræder ved koncentrationer større end 2 til 3 mg/m³ luft, medens lugttærsklen er ca. 1 mg/m³.

Formaldehyds optagelse i luftvejene hos mennesker er ikke undersøgt, men det vides fra dyreforsøg, at den hæmmer mukociliær transport. Formaldehyd er ciliotoksisk, hvilket er en fælles egenskab for aldehyder, men stærkest udtalt hos formaldehyd, der også har den stejleste dosis-virkningskurve på dette område (9). I forsøg med rotter, udsat for 31 mg formaldehyd/m³ luft to timer daglig gennem 70 dage, blev slimhinderne i de øvre luftveje udtørret og cilieret søjleepitel omdannet til flerlaget pladeepitel (10). At det især er de øvre luftveje, der påvirkes, bekræftes af undersøgelser på hunde, hvor der i koncentrationsområdet 170–1.200 mg formaldehyd/m³ luft er næsten 100 % retention af formaldehyd i næse-svælg-trachea såvel ved spontan ånding som ved ét- eller tovejs gennemstrømning hos trakeostomerede dyr (12). Det synes tilladeligt at betragte forsøgsresultaterne fra disse hundeforsøg som repræsentative for mennesker, idet acetaldehyd har samme retentionsforhold hos mennesker og hos hunde (11). Optagelsen af svovldioksyd, der ligesom formaldehyd har stor affinitet til vand (39 l svovldioksyd opløses i én l vand ved 20° C og 1 atm), er derimod undersøgt hos mennesker, hvor det bevirker en nedsættelse af den nasale mukociliære transport hastighed mest udtalt i næsens forreste del (7) og sandsynligvis en forøget frekvens af forkølelser og andre sygdomme i de øvre luftveje (16). Den nasale absorption af svovldioksyd er så betydelig, at der selv efter udsættelse for 25 parts per million SO₂ gennem 6 timer er mindre end 1 % af den indåndede mængde i faryngealluften. Det er derfor ikke sandsynligt, at formaldehyd i en i øvrigt ren luft vil påvirke trachea, bronkier eller alveoler under normal ånding, men derimod nok ved mundånding – enten spontan eller forårsaget af fysisk arbejde. En påvirkning af de nedre luftveje vil sandsynligvis også kunne fremkaldes af formaldehyddampe i partikelholdig luft, således som det normalt vil være tilfældet under indendørsforhold. Hos marsvin optræder forøget åndingsmodstand efter 1 times ophold i formaldehyd 0,4 mg/m³ eller mere, medens 0,07 mg/m³ i samme tidsrum ikke ændrer åndingsmodstanden. Samtidig indånding af formaldehyd og en aerosol 10 mg/m³ af natriumkloridpartikler i submikronområdet bevirker en potensering og forlængelse af formaldehydvirkningen, medens en natriumklorid-aerosol ikke i sig selv udløser forandringer (1).

Absorption af formaldehyd i næseslimhinden kan udløse sanseindtryk dels i det olfaktoriske område, hvor et egentligt lugteindtryk udløses med transmission gennem nervi olfactorii, dels i næseslimhinden i sin helhed med impulsoverføring gennem nervi trigemini. Sidstnævnte påvirkning kan bl. a. ændre respirationsfrekvensen (23). Lugttærsklen for formaldehyd angives i en oversigt (17) fra 0,06 til 1,2 mg/m³, dog med de fleste undersøgelser omkring sidstnævnte værdi, der også anføres i et omfattende referenceværk (8). Det elektrofysiologiske respons i n. trigeminus er blevet undersøgt ved indånding af standardlugt efter påvirkning med formaldehyddampe (18). Der er fundet nedsat respons ved den laveste koncentration i undersøgelsen 0,6 mg formaldehyd/m³ luft; gennemstrømning af ren luft i én time giver forbedrede, men ikke helt normale forhold.

De i nærværende undersøgelse fundne formaldehydkoncentrationer i danske boliger er af en sådan størrelse, at der hos beboerne i mange tilfælde må forventes at være en nedsættelse af den mukociliære transport hastighed især i næsehulen, men på grund af luftens partikelindhold muligvis også i de nedre luftveje. En sådan indvirkning må antages at nedsætte organismens modstandskraft mod forureningskomponenter såvel i form af gasarter som partikler af levende eller dødt materiale. Det må forventes, at åndingsmodstanden forøges, og at næseslimhindens tærskel for lugtopfattelse nedsættes, hvorimod et egentligt lugtindtryk af formalin kun vil optræde i sjældnere tilfælde og da sandsynligvis oftest i nybyggeri. Hos mange vil der være mulighed for slimhindeirritation i næse og conjunctiva, medens hudsymptomer ikke vil forekomme. Det må derfor anbefales, at læger og især speciallæger inden for de nævnte organområder har opmærksomheden henvendt på muligheden af formaldehydpåvirkning i boliger.

Hygiejnisk grænseværdi for formaldehydpåvirkning

Det er uholdbart, at mennesker ved ophold i almindelige boliger kan blive udsat for uønskede kemiske produkter i sundhedsfarlige koncentrationer. Der bør derfor fastsættes en passende hygiejnisk grænseværdi for længerevarende udsættelse for formaldehyd, og der må iværksættes kontrolforanstaltninger, således at denne grænseværdi ikke overskrides. Ved erhvervsmæssig påvirkning fastlægges grænseværdier* under hensyn til, at sundhedsskadelige virkninger ikke må opstå ved normalt arbejde 8 timer om dagen, 40 timer om ugen i ca. 40 år. De amerikanske normer – de såkaldte *Threshold Limit Values* (TLV), er for formaldehyds vedkommende i de seneste år blevet nedsat fra 12 mg/m³ over 6 til nu (gældende fra 1972) 3 mg/m³ luft, idet denne værdi samtidig er tilføjet en C-anmærkning (*ceiling-værdi*), der udtrykker, at den angivne værdi absolut ikke må overskrides (2, 3). Den tilsvarende tyske MAK-værdi er endnu lavere, idet værdien for formaldehyd siden 1971 har været 1,2 mg/m³ (17). Den russiske værdi er 1 mg/m³ (19). Det skal tilføjes, at ingen af de nævnte værdier tager hensyn til synergistiske virkninger, som f. eks. samtidig tilstedeværelse af aerosoler og formaldehyd; forhold af denne art vil kræve endnu lavere værdier.

I nærværende undersøgelse er normen for erhvervsmæssig udsættelse (1,2 mg/m³ luft) overskredet i 2 tilfælde. Denne norm er imidlertid ikke tilstrækkeligt

lav, når det drejer sig om en befolknings udsættelse for en forureningskomponent, da befolkningen kan være udsat for den givne komponent 24 timer i døgnet mod arbejdspladsens 8 timer i døgnet; i befolkningen er der endvidere særlig følsomme individer som børn, gamle og syge. Der er ikke i noget land for boliger udarbejdet normværdier med hensyn til indeluftens indhold af forureningskomponenter, men flere lande bl. a. USA, Vesttyskland og USSR, har normer for et begrænset antal forureningskomponenter i udeluften, såkaldte MIK-værdier. I USA er normen for formaldehyd ikke officiel, men fastsat af *The American Industrial Hygiene Association* til $0,12 \text{ mg/m}^3$ (4). I Vesttyskland er normværdien for udeluftens indhold af formaldehyd $0,03 \text{ mg/m}^3$ (26), og den tilsvarende russiske værdi er $0,012 \text{ mg/m}^3$ (15).

Kun sjældent foreligger undersøgelser af den biologiske effekt ved langtidsudsættelse for lave koncentrationer af en given komponent, og undersøgelser af denne art er ikke foretaget for formaldehyd. Værdierne for erhvervsmæssig udsættelse for forureningskomponenter er derimod baseret på et betydeligt forsøgs- og erfaringsmateriale, hvorfor værdier for udeluftens indhold af en forureningskomponent ofte beregnes ud fra disse værdier. Ved beregningerne reduceres de industrielle værdier først til $\frac{1}{4}$ svarende til tre gange længere opholdstid, hvorefter der foretages en yderligere, i det væsentlige skønsmæssig reduktion af hensyn til særlig følsomme individer. For formaldehyd er sidstnævnte reduktionsfaktor 10 i USA, medens den tyske faktor er 12.

Ved fastsættelse af en normalværdi bør der tages hensyn til den naturlige baggrundsværdi og dennes variation, da det i dag må anses for meningsløst at have en normalværdi af samme eller lavere størrelse end baggrundsværdien. Udeluftens indhold af formaldehyd er imidlertid ikke systematisk undersøgt hverken i Danmark eller udlandet. Ved spredte målinger er i Los Angeles i 1961 fundet koncentrationer fra $0,006$ til $0,1 \text{ mg/m}^3$, men netop denne geografiske lokalitet har kraftigt solindfald og stor biltrafik og derfor en betydelig fotokemisk formaldehyddannelse i atmosfæren (22). I et refererende værk (20) angives mængden af formaldehyd i udeluft til $0,006 \text{ mg/m}^3$, men de nærmere omstændigheder ved målingerne anføres ikke. Baggrundsmålinger i et klimakammer i Danmark med store luftskifter har givet værdier lavere end den med udstyret mindste detekterbare koncentration på $0,1 \text{ mg/m}^3$ (5), dvs. af samme størrelsesorden som de to laveste koncentrationer ($0,08$ og $0,07 \text{ mg/m}^3$) i de 25 rum, der er omfattet af nærværende undersøgelse (Tabel II). Disse rum var $3\frac{1}{2}$ år gamle lejligheder med meget lavt spånpladeindhold ($0,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$ rum).

Forslag til handlingsprogram

Der findes ikke i dag danske bestemmelser om indeluftens sammensætning i boliger, men nærværende undersøgelse viser nødvendigheden af at fastsætte sådanne for formaldehyd.

Fastsættelsen af en grænseværdi for indeluftens formaldehydindhold bør baseres på sundhedsmæssige hensyn og ikke på ønsker om at opnå »naturlige« forhold. Under hensyn til den nuværende og ret usikre viden om langtidsvirkningen af lave formaldehydkoncentrationer synes det rimeligt at foreslå, at fastsættelsen af grænseværdien bør gennemløbe to faser. I

første fase, der bør iværksættes omgående, må fastsættes en grænseværdi, der sikrer mod umiddelbar sundhedsfare, og det foreslås her at anvende den såkaldte MAKred på $0,40 \text{ mg/m}^3$ baseret på en beregningsmæssig reduktion af den arbejds-hygieniske MAK-værdi. Koncentrationer højere end denne værdi må per definition betegnes som sundhedsfarlige ved langtidseksposition, medens lavere koncentrationer med stor sikkerhed kan forudsiges ikke at ville forårsage skadevirkninger over en kortere årrække, men muligvis ved livslang eksposition.

Overholdelse af en midlertidig grænseværdi på $0,40 \text{ mg formaldehyd/m}^3$ luft vil betyde indførelse af øjeblikkelige materiale- og byggetekniske indgreb, da nærværende undersøgelse tyder på, at overskridelser heraf forekommer både i nye og nyere danske boliger. Vejledning om relevante tekniske indgreb vil kunne opnås ved hjælp af en af forfatterne udviklet matematisk model for formaldehydkoncentrationer i inde-luft (6).

Anden fase vil være fastsættelsen af en endelig grænseværdi for indeluftens formaldehydindhold, der sikrer, at sundhedsskadelige virkninger ikke vil opstå selv hos særlig følsomme individer ved livslang påvirkning. En sådan grænseværdi kan ikke i dag angives med rimelig sikkerhed, men må baseres på eksperimentelle studier af de øvre luftvejers funktion, f. eks. med teknik af en art som beskrevet i en efterfølgende artikel (7). Formaldehyds akutte og subakutte virkning vil kunne studeres i forsøg med mennesker, medens undersøgelsen af langtidseffekten af lave formaldehydkoncentrationer nødvendigvis må baseres på dyreforsøg.

En realistisk tidsramme for disse eksperimentelle undersøgelser vil være fem år. De hygiejnisk-medicinske undersøgelser i dette tidsrum må samtidig suppleres med tekniske og administrative undersøgelser, således at det sikres, at den endelige grænseværdi er teknisk gennemførlig og kontrolleret med passende foranstaltninger.

RESUMÉ

Spånplade er et materiale, der i stigende mængde anvendes til bygningskonstruktioner, inventar og møbler; det fremstilles oftest af træspåner og formaldehydurealim, hvorfra formaldehyd kan afgives.

I 25 rum i 23 boliger, fortrinsvis nye og nyere (< $4\frac{1}{2}$ år) parcelhuse med varierende spånplademængde, er foretaget 100 målinger af indeluftens formaldehydindhold samt inde- og udeklimatiske parametre.

Formaldehydindholdet i indeluften var i gennemsnit $0,62 \text{ mg/m}^3$ luft med ydergrænserne $0,08$ og $2,24 \text{ mg/m}^3$ luft. Koncentrationen i to rum var højere end grænseværdien for arbejdspladser ($1,2 \text{ mg/m}^3$), i 17 rum højere end en beregnet værdi for langtidsudsættelse ($0,40 \text{ mg/m}^3$) og i 8 rum lavere end denne værdi. Alle værdier var dog højere end den anbefalede grænseværdi for udeluft ($0,03 \text{ mg/m}^3$). Nybyggede boliger havde de højeste formaldehydkoncentrationer i indeluften, og ved stigende boligalder aftog koncentrationen. Der var aftagende formaldehydkoncentration ved stigende luftskifte.

Formaldehydkoncentrationerne i de undersøgte boliger lå for flertallets vedkommende over de hygiejni-

ske grænseværdier for langtidsophold. Det må antages, at der hos beboere i disse boliger vil være påvirkninger af de øvre luftveje i form af nedsat mukociliær transporthastighed, nedsat lugttærskel, forøget åndingsmodstand samt slimhindeirritation i næse og conjunctiva.

Der opstilles et handlingsprogram med forslag til midlertidige og endelige hygiejnisk-tekniske foranstaltninger.

Arbejdet er udført med støtte fra Statens naturvidenskabelige forskningsråd samt fra Nordalim, Dansk Spånplade Kompagni og Novopan træindustri.

SUMMARY

IB ANDERSEN, GUNNAR R. LUNDQVIST & LARS MØLHAVE: Formaldehyde in the atmosphere in Danish homes.

Ugeskr. Læg. 1974:136:2133-2139.

Particle board is a material which is being employed to an increasing extent in buildings, fixtures and furniture. It is most frequently made from wood shavings and formaldehyde-urea glue from which formaldehyde is liberated.

In 25 rooms in 23 dwellings mainly in new or recent (4½ year old) one-family houses with varying quantities of particle board, 100 measurements of the formaldehyde content of the indoor atmosphere were undertaken as well as measurements of indoor and outdoor climatic parameters.

The formaldehyde content in the indoor atmosphere averaged 0.62 mg/m³ air with a range from 0.08 to 2.24 mg/m³ air. Concentrations in two rooms were higher than the permitted upper values for workshops (1.2 mg/m³), in 17 rooms the values were higher than a calculated value for long-term exposure (0.40 mg/m³) and in eight rooms the values found were lower than this value. All of the values were, however, higher than the recommended values for outdoor air of 0.03 mg/m³. Newly-built dwellings had the highest formaldehyde concentrations in the indoor air and this concentration decreased with increasing age of the building. The formaldehyde concentration also diminished with increasing rates of ventilation.

In the main part of the dwellings investigated, the formaldehyd concentrations were higher than the calculated value for long term exposure. It must be presumed that the inhabitants of these dwellings will experience effects in the upper respiratory tracts in the form of lowered mucociliary rate of transport, lowered threshold for sense of smell, increased airway resistance and irritation of the mucosa in the nose and conjunctiva.

An action programme is advanced with proposals for temporary and permanent public health measures.

Send reprint requests to IB ANDERSEN, Hygiejnisk Institut, Universitetsparken, DK-8000 Århus C.

Litteratur:

- 1) Amdur, M. O.: Int. J. Air Pollut. 1960:3:201-220.
- 2) American Conference of Governmental Industrial Hygienists: Documentation of the threshold limit values. Cincinnati, Ohio 1971.
- 3) Threshold limit values for 1972. Cincinnati, Ohio 1972.

- 4) American industrial hygiene association: Amer. indust. Hyg. Ass. J. 1968:29:404-512.
- 5) Andersen, I., Lundqvist, G. R. & Mølhav, L.: Ugeskr. Læg. 1974:136:2140-2145.
- 6) Andersen, I., Lundqvist, G. R. & Mølhav, L.: Ugeskr. Læg. 1974:136:2145-2150.
- 7) Andersen, I., Lundqvist, G. R., Jensen, P. L. & Proctor, D. F.: Ugeskr. Læg. 1974:136:2151-2158.
- 8) Byrd, J. F. & Phelps Jr., A. H.: Odor and its measurement; i: Stern, A. C. (ed.): Air pollution, vol. II. Academic Press, New York 1968.
- 9) Dalhamn, T. & Rosengren, A.: Arch. otolaryng. 1971:93:496-500.
- 10) Drobysheva, R. A., Mitin, Y. V. & Eskin, A. M.: Zh. ushn. nos. gorlov. Bolezn. 1972:32:4-7.
- 11) Egle, J. L.: Arch. environm. Hlth 1972:24:354-357.
- 12) Egle, J. L.: Arch. environm. Hlth 1972:25:119-124.
- 13) Epstein, E. & Maibach, H.: Arch. Derm. 1966:111:186-190.
- 14) Fassett, D. W.: Aldehydes and acetals; i: Fassett, D. W. & Irish, D. D. (ed.): Industrial hygiene and toxicology. Interscience Publ., New York 1963.
- 15) Feldman, Y. G. & Bonashevskaya, T. I.: Gig. i Sanit. 1971:36:6-11.
- 16) French, J. G. et al: Arch. environm. Hlth 1973:27:129-133.
- 17) Henschler, D.: Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe. Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten. Chemie, Weinheim 1972.
- 18) Kulle, T. J.: The effects of ozone and formaldehyde on the trigeminal nasal sensory system. (Disp.) University of Cincinnati, Ohio 1972.
- 19) Masek, V.: Zbl. Arbeitsmed. 1971:5:144-149.
- 20) Sargent, I. F. & Tromp, S. W.: A survey of human biometeorology. Wld meteorol. Org., techn. Note no. 65, Genève 1964.
- 21) Stokinger, H. E. & Coffin, D. L.: Biologic effects of air pollutants; i: Stern, A. C. (ed.): Air pollution vol. I. Academic Press, New York 1968.
- 22) Tabershaw, I. R., Ottoboni, F. & Coopers, W. C.: J. occup. Med. 1968:10:464-480.
- 23) Ulrich, C. E., Haddock, M. P. & Alaire, Y.: Arch. environm. Hlth 1972:24:37-42.
- 24) U. S. Dept. of Health, Education and Welfare: Air criteria for hydrocarbons. Nat. Air Pollution Control Administration D.C. 1970.
- 25) Walker, J. F.: Formaldehyde. Reinhold Publ. Corp. New York 1964 (3. udg.).
- 26) VDI-Kommission Reinhaltung der Luft: Maximale Immissions-Konzentrationen (MIK), Organische Verbindungen (VDI 2306) VDI, Düsseldorf 1966.