

Afgivelse af formaldehyd fra byggevarer og forbrugerprodukter



Afgivelse af formaldehyd fra byggevarer og forbrugerprodukter

Barbara Kolarik
Lars Gunnarsen
Lis Winther Funch

Titel Afgivelse af formaldehyd fra byggevarer og forbrugerprodukter
Serietitel SBI 2010:09
Udgave 1. udgave
Udgivelsesår 2010
Forfattere Barbara Kolarik, Lars Gunnarsen, Lis Winther Funch
Sprog Dansk
Sidetal 15
Litteratur-
henvisninger Side 15
Emneord Formaldehyd, indeklime, boliger, byggematerialer, tæpper, rengøringsmidler

ISBN 978-87-563-1417-6

Omslag Foto: Barbara Kolarik

Udgiver Statens Byggeforskningsinstitut,
Dr. Neergaards Vej 15, DK-2970 Hørsholm
E-post sbi@sbi.dk
www.sbi.dk

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen: SBI 2010:09: *Afgivelse af formaldehyd fra byggevarer og forbrugerprodukter. (2010)*

Indhold

Forord	4
Sammenfatning	5
Baggrund	6
Metode.....	7
Materialeforberedelse	7
Måleprocedure	8
Dataanalyse	8
Resultater	9
Diskussion	11
Konklusioner.....	14
Referencer.....	15

Forord

Formaldehyd er en forureningskomponent med en lang række mulige kilder i indeklimaet. Formaldehyd har i mange år været kendt som væsentlig irritant i indeluften, og i 2006 blev det anerkendt, at stoffet er kræftfremkaldende for mennesker.

Formaldehydafgivelsen fra byggevarer har været en af de markante årsager til dårlig luftkvalitet i bygninger lige siden det fra begyndelsen af 1950'erne blev almindeligt at bruge limebaserede træplader, der kan fraspalte formaldehyd fra de anvendte lime. Ved allerede i 1980 at stille krav til formaldehydafgivelsen fra spånplader var Danmark blandt de allerførste lande, der regulerede formaldehydafgivelsen fra byggevarer. I dag findes europæiske normer på området. Afhængigt af formaldehydafgivelsen opdeles træplader i tre klasser. Kun CE mærkede plader efter den bedste klasse må anvendes som byggevarer i Danmark.

Siden 1980 er træpladerne blevet langt bedre, men i samme periode er viden om lugt, irritation og alvorlige sygdomme forårsaget af formaldehyd også udbygget. Der er i forlængelse heraf mistanke om, at der findes for høje formaldehydkoncentrationer i danske boliger, hvilket har foranlediget denne undersøgelse af emission af formaldehyd fra udvalgte byggevarer.

Rapporten præsenterer resultatet af en undersøgelse af formaldehydafgivelsen fra en række byggevarer. Undersøgelsen er gennemført for at finde årsagen til de høje koncentrationer af formaldehyd i indeluften, der blev fundet i nybyggede danske boliger under en foregående undersøgelse. Rapporten viser også beregninger af formaldehydekonzentrationen i et rum hvor gulv, væg og loft er dækket med godkendte materialer.

Projektet er gennemført i samarbejde mellem Statens Byggeforskningsinstitut og Teknologisk Institut og arbejdet er støttet af Erhvervs og Byggestyrelsen.

Vi takker Lasse B. Eriksen fra SBI for hjælp med materialeforberedelse og Susanne Borg Calundann fra Teknologisk Institut for hjælp med målingerne.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Byggeri og sundhed
Maj 2010

Niels-Jørgen Aagaard
Forskningschef

Sammenfatning

Denne rapport præsenterer resultatet af en undersøgelse af formaldehydafgivelsen fra en række mulige kilder i indeklimaet. Undersøgelsen er gennemført for om muligt at finde årsagen til de høje koncentrationer af formaldehyd i indeluften, der blev fundet i danske boliger under en foregående undersøgelse. To af måleværdierne overskred WHO's retningslinjer for formaldehydindholdet i indeluften. Det samlede arbejde er gennemført for at undersøge, om indeluftens formaldehydindhold er tilfredsstillende i forhold til WHO's vejledende grænseværdi på $0,1 \text{ mg/m}^3$ og skabe baggrundsviden til en prioritering af indsatsen for at begrænse formaldehyd i indeluften i danske boliger.

Formaldehydafgivelsen blev bestemt under laboratorieforhold, og for træbaserede plader blev de gennemført i overensstemmelse med klassifikationsbestemmelserne i DS/EN 13986 som krævet for træbaserede plader i Bygningsreglementet 2008. Målingerne foregik under kammerbetingelser specificeret i DS/EN 717-1:2004, og prøveemnerne blev udformet i overensstemmelse med DS/EN ISO 16000-11. Målingerne af de andre materialer fulgte så vidt muligt de samme standarder. Formaldehydafgivelsen blev bestemt fra prøveemner tilvirket af indkøbte byggevarer og forbrugerprodukter blandt følgende mulige formaldehydkilder: Træplader, isoleringsmaterialer, tæpper, tekstiler, malinger og rengøringsmidler. I alt blev 22 mulige kilder afprøvet.

Koncentrationen i prøvekommeret blev bestemt løbende, indtil koncentrationen var faldet til under $0,01 \text{ mg/m}^3$, eller til den havde stabiliseret sig på et højere niveau. Målingerne blev stoppet efter maksimalt 13 dage. Koncentrationen kom under $0,01 \text{ mg/m}^3$ for fjorten af prøveemnerne. De resterende 8 emner havde ved måleperiodens udløb stabiliseret sig på et niveau mellem $0,01$ og $0,1 \text{ mg/m}^3$.

Alle de undersøgte prøver overholdt således kravet i Bygningsreglementet til træbaserede plader om under $0,124 \text{ mg/m}^3$ i kammerluften under standardiseret afprøvning.

Beregninger af formaldehydkoncentrationen i et mindre beboelsesrum viser dog, at den kan blive så høj som seks gange over den af WHO anbefalede grænseværdi for indeluften alene med overfladematerialer, der hver især overholder kravene til formaldehydafgivelse fra træbaserede plader. Det forudsætter at alle væggene, loftet og gulvet i rummet uden yderligere indkapsling er dækket med materialer, som afgiver $0,124 \text{ mg/m}^3$ af formaldehyd, der er det maksimalt tilladte. Sådan er der kun meget få, der vil opbygge et rum, og feltmålinger viser da også langt mindre overskridelser af grænseværdien i det færdige byggeri. Beregningerne blev gennemført for et modelrum på 7 m^2 med et luftskifte på $0,5 \text{ h}^{-1}$. Der blev set bort fra eventuelle bidrag fra møbler og andre kilder inde i boligen. Selv ved flere typiske og almindeligt forekommende kombinationer af de afprøvede materialer (fx. gulvet dækket med træbaserede plader og væggene og loftet kun malet) kan det forventes, at WHO's vejledende grænseværdi for indeluften vil overskrides alene baseret på synlige byggevarers bidrag.

Baggrund

Formaldehyd er en almindelig forureningskomponent med en lang række mulige kilder i indeklimaet. Byggematerialer og overfladematerialer udgør nogle af de største kilder til forurening af indeluften i boliger. Afgivelsen af formaldehyd fra først spånplader og siden andre træbaserede plader har været lovgivningsmæssigt reguleret i Danmark lige siden 1980.

Den årlige produktion af formaldehyd er på verdensplan 21 millioner ton (IARC, 2006). Formaldehyd bruges under produktionen af fenol-, urea-, melamin- og polyacetatbaserede lime og bindemidler i produkter baseret på træ, papir, samt mineralske og syntetiske fibre. Det bruges også i en vandig opløsning (formalin) som desinfektions- eller konserveringsmiddel. Der frigives endvidere formaldehyd ved forbrændingsprocesser i forbindelse med brændeovne, gaskomfurer og tobaksrygning (IARC, 2006). Desuden kan der dannes formaldehyd ved oxidation af molekyler med dobbeltbindinger ved enderne (Weschler, 2009). Endelig frigiver en række pesticider formaldehyd som en del af deres pesticidvirkning. De væsentligste kilder inden døre er formodentlig visse limede træplader.

Formaldehyd har i mange år været kendt som væsentlig irritant i indeluften. Stoffet forårsager irritation i øjne, næse og hals (IARC, 2006). Eksposering for højere koncentrationer af formaldehyd kan føre til astmatiske anfald selv blandt ikke sensibiliserede personer (IARC, 2006). I år 2006 blev formaldehyd anerkendt som værende kræftfremkaldende for mennesker (IARC, 2006). Følsomme personer kan mærke lugten af formaldehydkoncentrationer så lave som $0,03 \text{ mg/m}^3$ og koncentrationer over $0,1 \text{ mg/m}^3$ kan forårsage irritation i øjne og næse (WHO, 2000). Denne sidste koncentration på $0,1 \text{ mg/m}^3$ er fastsat som vejledende grænseværdi for 30 minutters gennemsnitlig eksponering i indeluften af WHO (WHO, 2000).

Udeluftens formaldehydkoncentration er normalt under $0,001 \text{ mg/m}^3$ i landlige områder og under $0,02 \text{ mg/m}^3$ i byerne (IARC, 2006). Tidligere målinger i indeluften viste i 1970'erne og 80'erne koncentrationer fra $0,01 \text{ mg/m}^3$ helt op til 10 mg/m^3 (Dally et al., 1981). Siden slutningen af 1970'erne har byggevarerbranchen ved en indsats understøttet af krav og standarder fra myndighederne arbejdet på at sænke indeluftens formaldehydindhold med faldende koncentrationer som det positive resultat. I Danmark stilles der udelukkende krav til formaldehydavgivelsen fra træbaserede plader. Kravene er stillet til koncentrationen i et klimakammer under standardiserede forhold. I prøve-kammeret må koncentrationen ikke være højere end $0,124 \text{ mg/m}^3$ (DS/EN 13986:2004). Der stilles dog ikke krav til formaldehydkoncentrationen i det færdige hus. Det er da også vist ved en række nyere undersøgelser, at formaldehydkoncentrationerne overskrider WHO's vejledende grænse (Dingle and Franklin, 2002; Marchand et al., 2006; Vaizoglu et al., 2003).

Reguleringen af formaldehydavgivelsen fra træbaserede plader kan have startet en udvikling, der har ført til, at traditionelle formaldehydkilder i mindre grad udsender formaldehyd, og at indeluftens formaldehydindhold i stedet er forårsaget af mange andre mindre kilder herunder formaldehydfrigørelse fra fungicider og konserveringsmidler.

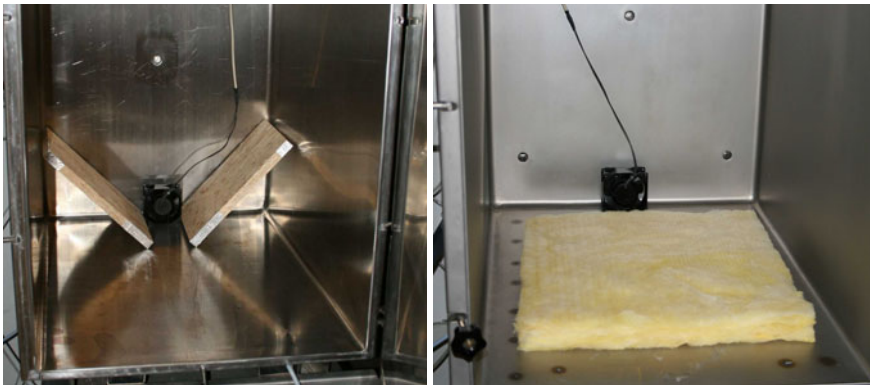
Målet med nærværende undersøgelse var at identificere eventuelle kilder til formaldehyd i indeluften i danske boliger udvalgt blandt byggevarer og forbrugerprodukter, der kunne mistænkes for at afgive formaldehyd.

Metode

Følgende materialer indgik i undersøgelsen: 9 træbaserede plader, 2 masseproducerede dele af møbler, 2 isoleringsmaterialer, 2 typer maling til indendørs brug, 3 rengøringsmidler, 2 tæpper, 1 rullegardin og 1 gardin.

Materialeforberedelse

De 9 træbaserede plader var 3 krydsfinerplader, 2 spånplader, 2 MDF plader (Medium Density Fibreboards) og 2 OSB plader (Oriented Strand Board). De 2 møbeldele var lavet af spånplade. Alle træbaserede plader som blev afprøvet var klasse E1 (formaldehyd afgivelse mindre end 0,124 mg/m³). Efter indkøb i byggemarkeder blev prøveemnerne placeret i en stor velventileret hal med en temperatur på 20-24 °C og 30-50 %RH i 2-3 uger. Herefter blev pladerne udskåret til en let håndterbar størrelse og pakket i aluminiumsfolie og transporteret til laboratoriet. Umiddelbart før placering i kamrene blev de skåret i den krævede størrelse efter DS/EN ISO 16000-11:2006. Kanterne blev delvist forseglet således, at forholdet mellem uforseglet kant og prøveemnets areal var 1,5 m/m², hvilket var i overensstemmelse med DS/EN 717-1:2004. Pladerne blev placeret oprejst i kamrene, således at begge sider var frie. Møblerne blev opbevaret og overført til laboratoriet i deres originale indpakning. Her blev de behandlet som pladerne. De forskellige dele blev dog hver især skåret til prøveemner med arealer svarende til deres relative andel af møblet, som de indgik i. Nogle eksempler på materialernes placering i kamrene er vist i figur 1.



Figur 1. Eksempler på placeringen af forskellige materialer i kammeret.

Isoleringsmaterialerne blev opbevaret og overført til laboratoriet i deres originale indpakning. Det var ikke muligt at forsegle kanterne, og derfor blev arealet af kanterne medtaget i fuld udstrækning i beregningen af arealet af prøveemnerne. Isoleringsmaterialerne blev placeret vandret liggende på bunden af kammeret. Derfor indgik undersiden ikke i arealet.

Malingen blev påført den ene side af gipsplader, der ikke frigav formaldehyd i sig selv. Mængden af maling, der blev påført per gang, var i overensstemmelse med producentens anbefaling på omkring 0,1 l/m². På denne måde blev påført to lag maling. De malede emner blev placeret vandret på bunden af kammeret umiddelbart efter, at sidste lag maling var påført.

Rengøringsmidlerne blev afprøvet på gulvbelægning af blød PVC. Eftersom fortyndingen ved normal brug var meget stor, blev midlerne afprøvet efter mindre fortynding end anbefalet af producenten. Et produkt til rengøring

af køkken og badeværelse blev testet i fortyndingen 1:100, hvor producenten anbefalede 1:1000, og to produkter til rengøring af trægulve blev afprøvet i fortyndingen 1:10 i stedet for de anbefalede fortyndinger på henholdsvis 1:100 og 1:20. Afprøvningen i kammeret startede umiddelbar efter påføringen, og prøveemnerne blev placeret vandret på kammerets gulv.

Tæpperne blev pakket i aluminiumsfolie umiddelbart efter de var købt. Heri blev de opbevaret på linje med træpladerne og overført til laboratoriet. Her blev de skåret til den krævede størrelse og placeret i kammeret vandret med undersiden mod gulvet i kammeret. Undersiden indgik ikke i tæppernes areal.

Rullegardinet og det almindelige gardin blev opbevaret i deres originale indpakning, indtil de blev overført til laboratoriet og tilskåret. Begge sider indgik i arealet, og afprøvning foregik vandret, mens emnerne var placeret på et net af metal, så begge sider var fri.

Måleprocedure

Måleopstillingen var opbygget i overensstemmelse med DS/EN 717-1:2004, Annex A3. Målingerne foregik i polerede kamre af rustfrit stål med et volumen på 0,225 m³. Temperaturen blev holdt på 23 °C (+/- 0,5 °C) og den relative fugtighed på 45 %RH (+/- 3 %RH). Luftskeftet var 1 h⁻¹ (+/- 0,05 h⁻¹), og dermed kunne den arealspecifikke ventilationsrate for prøveemnerne bestemmes til 1 m³/(m²h). Fastsættelse af netop denne ventilationsrate bevirker, at koncentrationen i kamrene (mg/m³) og prøvemernes arealspecifikke emissionsrate med enheden mg/m²h har samme talværdi. Formaldehydkoncentrationen blev målt kontinuert med en Skalar Online Process Analyser model SA 9101 med en detektionsgrænse på 0,01 mg/m³. Målerne fra instrumentet blev brugt til at følge koncentrationens henfald og beslutte, hvornår der var nået stabile forhold. Ifølge standarden DS/EN 717-1:2004 skal målingerne fortsætte indtil stabile forhold er nået. Målingerne blev dog også stoppet for at spare på udgifterne allerede efter 5-6 dage i de tilfælde, hvor koncentrationen faldt til under 0,01 mg/m³. For alle prøvemner, der resulterede højere koncentrationer, blev målingerne fortsat til, der var nået stabile forhold, hvilket i alle tilfælde blev nået inden for 13 døgn. Slutkoncentrationen blev også bestemt manuelt med acetylacetone-metoden, der er beskrevet i DS/EN 717-1:2004. Denne bestemmelse indgik som den stabile koncentration i det videre arbejde.

Dataanalyse

Laboratoriemålingerne af kammerkonzentrationer blev omregnet til forventede maksimale koncentrationer i virkelige rum i boliger baseret på følgende formel:

$$C = \sum \frac{E_i \cdot A_i}{V \cdot n}$$

Heri er C koncentrationen af formaldehyd i det realistiske rum (mg/m³), E_i er emissionsraten fra det aktuelle materiale baseret på kamtermålingen (mg/m²h), A_i er arealet af overflade i rummet som tænkes at bestå af det aktuelle materiale (m²), V er rummets volumen (m³) og n er rummets luftskefte (h⁻¹).

Resultater

Koncentrationerne i kammeret var forskellig for de forskellige materialer. Koncentrationen i starten af målingerne varierede mellem 0,01 mg/m³ for det ene rengøringsmiddel til 0,690 mg/m³, der blev målt for rullegardinet. Startkoncentrationerne er vist i tabel 1 sammen med slutkoncentrationen. Den stabile slutkoncentration var under 0,01 mg/m³ for 14 af de 22 afprøvede materialer. De resterende 8 materialer havde slutkoncentrationer i området 0,01 – 0,1 mg/m³.

Tabel 1. Start og steady-state formaldehydkoncentrationer (mg/m³) i undersøgelseskammeret.

Materiale	Start koncentrationen mg/m ³	Steady-state koncentrationen ^a mg/m ³
Krydsfiner plade 1	0,033	<0,01 (0,006)
Krydsfiner plade 2	0,014	<0,01 (0,004)
Krydsfiner plade 3	^b	<0,01 (0,007)
Spånplade 1	0,117	0,098
Spånplade 2	0,059	0,042
MDF plade 1	0,108	0,101
MDF plade 2	0,011	<0,01 (0,005)
OSB plade 1	0,018	<0,01 (0,006)
OSB plade 2	0,072	0,042
Spånplade reol	0,047	0,027
Spånplade skuffe	0,049	0,046
Isolering 1	0,034	0,011
Isolering 2	0,049	<0,01 (0,006)
Farve 1 (glans 6)	0,043	0,010
Farve 2 (glans 30)	0,023	<0,01 (0,005)
Rengøring produkt 1	0,009	<0,01 (0,002)
Rengøring produkt 2	0,015	<0,01 (0,002)
Rengøring produkt 3	0,011	<0,01 (0,002)
Tæppe 1	0,009	<0,01 (0,002)
Tæppe 2	0,011	<0,01 (0,002)
Panelgardin	0,690	0,047
Gardin	0,011	<0,01 (0,004)

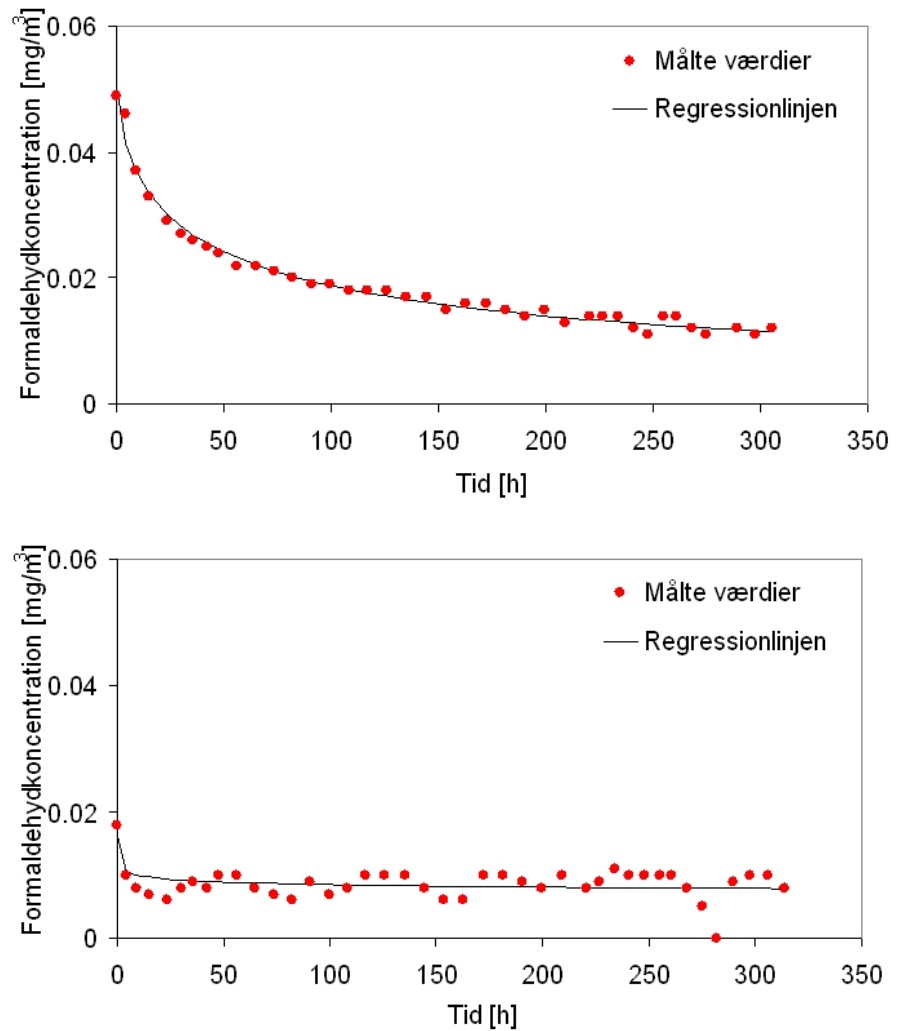
^aKoncentration målt med acetylacetone-metode.

^bOplysningen er ikke disponibel på grund af problemer med måleinstrumentet.

Krydsfiner, isoleringsmateriale, tæpper og rengøringsmidler havde alle meget lave slutkoncentrationer. Spånplader sammen med møblerne af spånplader havde højere formaldehydafgivelse. Deres højeste stabile afgivelse var 0,098 mg/m³, og den mindste var 0,027 mg/m³. Der blev fundet store forskelle mellem de to forskellige MDF plader. Den ene afgav kun lidt formaldehyd, mens den anden gav anledning til den højeste stabile formaldehydkoncentration, der blev målt i denne undersøgelse (0,101 mg/m³). OSB pladerne, rullegardinet og det almindelige gardin viste et stort fald fra den første til den sidste stabile koncentration. Særligt rullegardinets første koncentration på så meget som 0,690 mg/m³ var bemærkelsesværdig. Koncentrationen faldt dog betydeligt ned til 0,047 mg/m³ i løbet af måleperioden.

Ingen af prøveemnerne overskred den maksimale stabile koncentration, der er tilladt for klasse E1 ifølge DS/EN 13986:2004.

Et par eksempler på kurveformen for det tidlige forløb af formaldehydkoncentrationen i kammeret er vist i figur 2. Krydsfiner og isoleringsmaterialer viste et eksponentielt henfald af koncentrationen, mens MDF og OSB plader viste ret konstant formaldehydafgivelse gennem hele måleperioden. Spredningen af målingerne for de våde produkter maling og rengøringsmidler var høj, men målingerne viste ingen tydelig tendens til henfald.



Figur 2. Formaldehydafgivelse fra isolering 2 (oppe) og OSB 1 (nede).

Diskussion

I 1989 blev der gennemført en undersøgelse af formaldehydkoncentrationen med passive samplers og en måleperiode på 7-12 dage i 102 Østsjællandske boliger (Bergsøe 1990). Boligerne var bygget i årene 1982 – 1989 og alle havde mekanisk udsugning. Formaldehydkoncentrationen viste sig i en-familiehuse at være i gennemsnit $0,009 \text{ mg/m}^3$, standardafvigelse på $0,003 \text{ mg/m}^3$ og i etageboliger i gennemsnit $0,010 \text{ mg/m}^3$, standardafvigelse på $0,004 \text{ mg/m}^3$. Undersøgelsen viste ingen sammenhæng mellem formaldehydkoncentrationen i boligen og henholdsvis beboernes rygevaner, boligens størrelse, luftskifte og antal beboere pr. m^2 . De målte formaldehydkoncentrationer var overraskende lave sammenlignet med andre men mindre omfattende undersøgelser i samme periode i både Danmark og andre lande.

Den nyere undersøgelse viser at så meget som 10 % af den danske befolkning kan forventes at blive udsat for formaldehydkoncentrationer, der overskrider WHO's anbefalede grænseværdi på $0,1 \text{ mg/m}^3$ (Logadóttir og Gunnarsen 2008). I den undersøgelse blev formaldehydkoncentration undersøgt med aktiv sampling over 30 minutter i 20 nybyggede huse i Nord-sjælland i perioden mellem februar og juni 2007. Formaldehydmålingerne viste en middelværdi på $0,050 \text{ mg/m}^3$ (standardafvigelse $0,026 \text{ mg/m}^3$). Formaldehydkoncentration overskred WHO's anbefalede grænseværdi i to boliger (10%). Endvidere viste resultaterne, at de nyeste og de største huse har en tendens til at have de højeste formaldehydkoncentrationer. Målingerne foregik over 30 minutter på linje med WHO's grænseværdi der også er formuleret som et krav til middelværdien over 30 minutter.

De to undersøgelser gav meget forskellige resultater, hvor særligt den tidligere undersøgelse gav lave koncentrationer (Logadóttir og Gunnarsen 2008, Bergsøe 1990).

I 2003-2005 blev formaldehydkoncentrationer målet i 567 boliger i Frankrig (Kirchner et al. 2006). Målemetoden i denne undersøgelse lignede metoden i den tidligere danske undersøgelse (Bergsøe 1990). Prøverne af luften var taget med pasiv prøveudtager i løbet af 7 dage. 35 % af målingerne foregik om sommeren. Median formaldehydkoncentrationen viste sig at være $0,0196 \text{ mg/m}^3$ med 95 percentil på $0,046.6 \text{ mg/m}^3$ (Kirchner et al. 2006). Resultaterne var meget højere end i Bergsøes undersøgelse (Bergsøe 1990), men de var dog næsten to gange lavere end i den nyere danske undersøgelse (Logadóttir og Gunnarsen 2008). Formaldehydkoncentration i udenluft er meget lav, derfor kan udluftningsadfærd og også målinger i varme perioder give store forskelle mellem koncentrationen målt som gennemsnittet over nogen dage og over kun 30 minutter (som anbefalet af WHO). I den franske undersøgelse henviser de derfor ikke så meget til den WHO anbefalede grænseværdi, men til en lavere værdi på 0.03 mg/m^3 som blev foreslået som koncentrationen, der ikke giver sundhedseffekter i en almindelig befolkning (Koistinen et al. 2005). Målebetingelserne lægger sig i højere grad op ad WHO's grænseværdi i den nyeste danske undersøgelse.

Resultaterne fra den første del af programmet (Logadóttir og Gunnarsen 2008) gjorde det ikke muligt at identificere markante kilder blandt de afprøvede produkter og blev baggrunden for at gennemføre denne undersøgelse, med målet at identificere eventuelle kilder til formaldehyd i indeluften i danske boliger udvalgt blandt byggevarer og forbrugerprodukter, der kunne mistænkes for at afgive formaldehyd.

Resultaterne vi har fået er sammenlignelige eller lidt under nogle tidligere undersøgelser. Kelly et al. (1999) undersøgte i USA formaldehydafgivelsen fra et stort antal materialer inklusive både tørre og våde produkter. Koncen-

trationerne blev målt til at ligge mellem $0,001 \text{ mg/m}^3$, der blev fundet for melaminbelagt træplade, og $0,73 \text{ mg/m}^3$, der blev fundet for ureaformaldehyd limet spånplade. Blandt de ikke-laminerede produkter blev de laveste koncentrationer fundet for krydsfiner ($0,002\text{-}0,078 \text{ mg/m}^3$) og de højeste for spånplader ($0,048\text{-}0,727 \text{ mg/m}^3$). Der blev også fundet lave koncentrationer for krydsfiner og høje for spånplader i nærværende undersøgelse, men den højeste koncentration, vi fandt, var syv gange lavere end den højeste i det foregående studie. Malingerne i det foregående studie var karakteriseret af en forholdsvis høj startkoncentration og op til 65 gange lavere stabil koncentration. Vi fandt en betydelig mindre forskel mellem starten og den stabile tilstand, hvilket tyder på et betydeligt lavere indhold af fri formaldehyd i moderne maling sammenlignet med indholdet i slutningen af 90'erne.

Brown (1999) målte formaldehydafgivelsen fra MDF og spånplader. Målingerne startede 7 dage efter pladerne var fremstillet, og de fortsatte i 20 dage. Efter denne måleperiode blev pladerne opbevaret under kontrollerede forhold i adskillige måneder, og herefter blev deres langtids-emissionsrate målt over to dage. Spånpladerne havde den højeste initiale koncentration på $0,159\text{-}0,219 \text{ mg/m}^3$, og MDF pladernes initiale koncentration var $0,131\text{-}0,156 \text{ mg/m}^3$. Emissionens henfald kunne beskrives med et første ordens eksponentielt henfald, og henfaldet var tydeligst for spånpladerne. Da resultaterne af langtids-målingerne blev inkluderet, var det tydeligt, at henfaldet foregik meget langsommere og bedre kunne beskrives med et dobbelt eksponentielt henfald, som faldt hurtigt i de første uger og meget langsommere den følgende tid.

Vi har ikke oplysninger om det præcise fremstillingstidspunkt for emnerne, som vi har brugt i denne undersøgelse. Materialer blev fremskaffet på samme måde, som almindelige kunder ville kunne købe dem i byggemarkeder. Det langsomme henfald, vi har fundet for nogle af materialerne, kunne forklares med et længere tidsrum mellem fremstilling og afprøvning.

Formaldehydafgivelsen fra alle produkterne i nærværende undersøgelse var under grænserne for træbaserede plader i Bygningsreglementet. Derfor giver resultaterne ikke en direkte forklaring på de høje formaldehydkoncentrationer, vi målte i den tidligere undersøgelse. Desuden viste den tidligere undersøgelse ingen statistisk betydningsfuld sammenhæng mellem formaldehydkoncentration og luftskifte.

Vi præsenterer derfor den hypotese, at de høje koncentrationer ikke er forårsaget af enkelte kraftige kilder, men af bidrag fra mange små kilder. Baseret først på de maksimalt tilladte emissioner for E1 produkter (DS/EN 13986:2004) og derefter på de målte emissioner har vi beregnet de forventede formaldehydkoncentrationer i forskellige rumtyper. Disse beregninger, der er vist i tabel 2, understøtter hypotesen om mange små bidrag.

Tabel 2. Formaldehydkoncentrationer beregnet på baggrund af målte afgivelser (0,1 mg/m³ - gulvlægning og 0,01 mg/m³- maling) og på grund af højest tilladelig afgivelse fra E1 produkter (0,124 mg/m³, DS/EN 13986:2004).

	Loftshøjde m	Længde/ Bredde m/m	Gulv areal m ²	Væg areal m ²	Luftskifte h ⁻¹	Beregnet kon- centration mg/m ³
Modelværelset, anbefalet luftskifte, målte afgivelser	2,40	3,20/2,20	7,0	24,0	0,50	0,12
Modelværelset, anbefalet luftskifte, højest tilladelig afgivelse	2,40	3,20/2,20	7,0	24,0	0,50	0,54
Mindste værelse, gennemsnitligt luftskifte, målte afgivelser	2,60	3,10/2,30	7,1	28,8	0,44	0,13
Mindste værelse, anbefalet luftskifte, højest tilladelig afgivelse	2,60	3,10/2,30	7,1	28,8	0,50	0,58
Største værelse, gennemsnitligt luftskifte, målte afgivelser	2,36	3,85/4,80	18,5	40,8	0,44	0,13
Største værelse, anbefalet luftskifte, højest tilladelig afgivelse	2,36	3,85/4,80	18,5	40,8	0,50	0,44

I modelværelset (DS/EN ISO 16000-9:2006) med et gulvareal på 7 m², et vægareal på 24 m², et volumen på 17,4 m³ og et udeluftskifte på 0,5 h⁻¹ kan formaldehydkoncentrationen blive 0,58 mg/m³, hvis alle gulv-, væg- og loftoverflader er dækket af synlige E1 produkter med den højest tilladelige formaldehydkoncentration under prøvebetingelserne på 0,124 mg/m³ (DS/EN 13986:2004). Den beregnede maksimale koncentration er næsten seks gange over WHO's vejledende grænseværdi. Det er "worst case" scenarie, hvor det forudsættes, at alle produkter faktisk afgiver formaldehyd lige til grænsen, og der er set bort fra en eventuel reduktion af formaldehydafgivelsen, som malerbehandling mm vil kunne give anledning til. Så høje koncentrationer måles derfor ikke så ofte, som det også blev vist i den første del af projektet. Imidlertid kan formaldehydkoncentrationen beregnes til 1,2 mg/m³, hvis vægge og loft er malet med maling (stabil formaldehydafgivelse på 0,01 mg/m²h), og gulvet er lavet af MDF 1 (0,1 mg/m²h). Lignende koncentrationer kan findes, hvis beregningerne blev gennemført med de rum, som målingerne faktisk foregik i under den foregående undersøgelse.

I praksis vil en række yderligere forhold som ældning, malerbehandling og anden indkapsling kunne påvirke formaldehydkoncentrationerne, og modelberegningerne er derfor behæftet med nogen usikkerhed.

Round robin test af prøveemner af samme plade har ifølge DS/EN 717-1:2004 en standardafvigelse på 14-18%. Afprøvningen er således foregået med en betydelig usikkerhed, der i høj grad kan tilskrives stokastiske variationer i materialeegenskaberne selv i den samme plade. Denne usikkerhed er formodentlig mindre end den usikkerhed, der knytter sig til modelberegningerne. Den resulterende større samlede usikkerhed på målinger og beregninger er dog i alle tilfælde lille sammenlignet med den store overskridelse af WHO's vejledende grænseværdi for indeluften, der er beregnet.

Det skal endvidere bemærkes at ingen af beregningerne medtager eventuelle bidrag fra møbler og aktiviteter i rummene.

Konklusioner

Spånplader af MDF plader blev identificeret som de stærkeste formaldehydkilder, men alle 22 prøveemner overholdt de grænser, der er opstillet i Danmark og EU for formaldehydafgivelsen for træbaserede plader.

Beregninger af den forventede formaldehydkoncentration i et lille rum viser, at koncentrationen bliver over $0,1 \text{ mg/m}^3$ i indeluften, hvis rummet har maling på vægge og loft og træplader på gulvet med formaldehydafgivelser som målt i nærværende undersøgelse. Koncentrationen kan blive op til 6 gange højere med materialer på både vægge, gulv og loft der er tættere på grænsen for godkendelse. Dette forudsætter dog at materialerne ikke er indkapslede eller på anden måde tildækket så formaldehydafgivelsen mindskes i forhold til det maksimalt tilladelige.

CE mærkning af byggevarerne sikrer ikke, at formaldehydkoncentrationen i bygningerne lavet af mærkede træplader overholder WHO's anbefalede grænseværdi.

Referencer

Brown, S.K. (1999). Chamber assessment of formaldehyde and VOC emissions from wood-based panels. *Indoor Air* 9:209-215.

Dally, K.A., Hanrahan, L.P., Woodbury, M.A. & Kanarek, M.S. (1981). Formaldehyde exposure in nonoccupational environments. *Archives of Environmental Health* 36(6):277-284.

Dingle, P. & Franklin P. (2002). Formaldehyde levels and the factors affecting these levels in homes in Perth, Western Australia. *Indoor and Built Environment* 11:111-116.

DS/EN 13986:2004. Wood-based panels for use in construction – characteristics, evaluation of conformity and marking.

DS/EN 717-1:2004. Wood-based panels – Determination of formaldehyde release – Part 1: Formaldehyde emission by the chamber method.

DS/EN ISO 16000-11:2006. Indoor Air – Part 11: determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing – Sampling, storage of samples and preparation of test specimens.

DS/EN ISO 16000-9:2006. Indoor Air – Part 9: determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing – Emission test chamber method.

IARC. (2006). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk in Humans. 2006. Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tret-Butoxypropan-2-ol. Volume 88.

Kelly, T., Smith, D.L., Satola, J. (1999). Emission rates of formaldehyde from materials and consumer products found in California Homes. *Environmental Science & Technology* 33:81-88.

Logadóttir, A, & Gunnarsen, L. (2008). Formaldehydkoncentrationen I nybyggede huse I Danmark. SBI-rapport 2008:20. Statens Byggeforskningsinstitut.

Marchand, C., Bulliot, B., Le Calve, S. & Mirabel, Ph. (2006). Aldehyde measurements in indoor environments in Strasbourg (France). *Atmospheric Environment* 40:1336-1345.

Vaizoglu, S.A, Aycan, S., Devecia, M.A, Acer, T., Bulut, B., Bayraktar, U.D, et al. (2003). Determining domestic formaldehyde levels in Ankara, Turkey. *Indoor and Built Environment* 12:329-335.

Weschler, C.J. (2009). Changes in indoor pollutants since the 1950s. *Atmospheric Environment* 43:153-169.

WHO. (2000). Air Quality Guidelines for Europe. Second edition. WHO regional publications, European Series, No 91.

Rapporten præsenterer resultatet af en undersøgelse af formaldehydafgivelse fra 22 mulige kilder i indeklimaet. Undersøgelsen er gennemført for om muligt at finde årsagen til de høje koncentrationer af formaldehyd i indeluften, der blev fundet i enkelte danske boliger under en foregående undersøgelse.

Målingerne er gennemført i laboratorium.

Alle de undersøgte prøver overholdt kravet i Bygningsreglement BR08 til træbaserede plader om, at der skal være under 0,124mg/m³ i kammerluften under standardiseret prøvning.

Alligevel viser beregninger af formaldehydkoncentrationen i et mindre beboelsesrum, at den kan blive seks gange højere end WHO's anbefalede grænseværdi for indeluften ved omfattende brug af overfladematerialer, der hver især overholder kravene til formaldehydafgivelse fra træbaserede plader.

1. udgave, 2010

ISBN 978-87-563-1417-6