

FORMALDEHID U OKOLIŠU I NJEGOV UTJECAJ NA ZDRAVLJE

NATAŠA KALINIĆ

*Institut za medicinska istraživanja i
medicinu rada, Zagreb*

Primljeno 13. ožujka 1995.

Formaldehid se stvara u troposferi tijekom oksidacije ugljikovodika, posebno metana, pirolitički je produkt pri izgaranju mnogih organskih materijala, a pojavljuje se i kao produkt nepotpunog izgaranja. Znakovita je njegova prisutnost u zraku zatvorenih prostora kamo dospijeva otpuštanjem materijala za gradnju i opremu prostora, kao i korištenjem sredstava za čišćenje i dezinfekciju. U ovom radu je dan pregled prirodnih i ljudskim radom uvjetovanih izvora formaldehida i njegove raširenosti u okolišu, njegovih zdravstvenih učinaka, kao i prijedlog smanjenja koncentracije formaldehida u zatvorenim prostorima.

Ključne riječi:
izvori formaldehida, mjere sanacije, onečišćenje zraka u prostorijama, zdravstvene smetnje

Zbog svoje široke primjene formaldehid (HCHO) prisutan je u svim medijima okoliša. Posebno je znakovita njegova prisutnost u zraku zatvorenih prostora, budući da pripada skupini spojeva koje otpuštaju materijali što se rabe za gradnju i opremu prostora, proizvod su ljudskih aktivnosti, a manjim dijelom prodiru i iz vanjske atmosfere. Interes za te spojeve porastao je spoznajom kako čovjek oko 80% ukupnog vremena provede u zatvorenom prostoru (1).

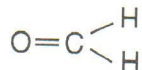
Formaldehid je nadražljivac gornjeg dijela respiratornog trakta. Zdravstveni učinci mogu se objasniti njegovom topljivosti u vodi (1980 volumena HCHO u jednom volumenu vode pri normalnoj temperaturi i tlaku) (2).

Kada je riječ o biološkoj izloženosti formaldehidu, treba imati na umu činjenicu kako se u prostoru gdje se taj plin potencijalno javlja uvijek razvija i određena količina prašine. Tako postoji mogućnost adsorpcije formaldehida na čestice prašine i unošenje udisanjem u duboke dijelove respiratornog trakta, kamo on inače ne dospijeva.

Formaldehid je kod obične temperature bezbojan plin, karakteristična jaka, neugodna, prodorna mirisa, molekulske mase 30,03, tališta -118°C , a vrelišta

-19,2 °C (3, 4), premda u literaturi postoje i podaci o talištu -92 °C i vrelištu -21 °C (5).

Struktura molekule je specifična zbog karbonilne skupine vezane na dva atoma vodika (razlika od svih drugih spojeva koji imaju karbonilnu skupinu):



Formaldehid je jedan od najreaktivnijih organskih spojeva (6). Prema nazivlju Međunarodne unije za čistu i primijenjenu kemiju (IUPAC) naziv formaldehida je metanal, a uobičajeni sinonimi su: formaldehid, metilen oksid, metilaldehid, oksometan, oksimetilen.

U trgovini se pojavljuje kao 37-50% otopina (pod nazivom otopina formaldehida, formalin, formol), koja već kod sobne temperature polimerizira stvarajući polioksimetilene $(\text{CH}_2\text{O})_n$, od kojih je najpoznatiji paraformaldehid $(\text{CH}_2\text{O})_n \cdot x \text{H}_2\text{O}$, trioksimetilen ili metaformaldehid $(\text{CH}_2\text{O})_3$ i tetraoksimetilen $(\text{CH}_2\text{O})_4$. Da bi se spriječila polimerizacija, u otopinu se dodaje metanol (1-5%) ili neki drugi spojevi radi stabilizacije (7).

Upotreba trioksimetilena $(\text{CH}_2\text{O})_3$ i njegova polimera para-formaldehida s 8-100 monomernih jedinica formaldehida, u suvremenoj kemijskoj industriji je velika.

IZVORI FORMALDEHIDA

Prirodni izvori

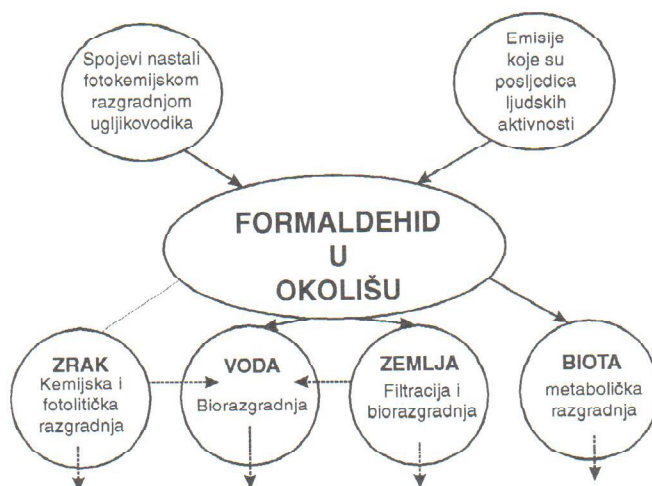
Formaldehid se stvara u troposferi tijekom oksidacije ugljikovodika, posebno metana, koncentracija kojega u sjevernoj hemisferi iznosi oko 1,18 mg/m³, pa je to ujedno i glavni prirodni izvor formaldehida. Izračunano je da je prosječna proizvodnja formaldehida iz metana u troposferi 4×10^{11} kg na godinu, a samo neznatne količine nastaju procesom truljenja vegetacije. Formaldehid je visokoreaktivan spoj s vremenom poluraspada u atmosferi od oko 1-3 sata (3).

Formaldehid kao produkt aktivnosti stanovnika

Formaldehid je pirolitički produkt pri izgaranju mnogih organskih materijala, a pojavljuje se i kao produkt nepotpunog sagorijevanja. Kao takav sastavni je dio atmosferskog onečišćenja, jer ispušni plinovi iz benzinskih i diesel motora bez katalizatora, pa čak i dim od cigarete, sadrže formaldehid. Koncentracija ukupnih aldehida u ispušnim plinovima motornih vozila iznosi 12,5-37,5 mg/m³ (8), od čega oko 60% do 80% otpada na formaldehid i akrolein, a identificirano je još

11 aldehida od kojih su tri aromatska (9). Sadržaj formaldehida u dimu cigarete je 0,02-0,04 mg po cigareti. Uz formaldehid prisutni su i drugi aldehidi kao npr. akrolein, acetaldehid itd.

Čimbenici koji utječu na koncentracije formaldehida u okolišu prikazani su na slici 1.



Slika 1. Čimbenici koji utječu na koncentracije formaldehida u okolišu

Proizvodnja i upotreba formaldehida

Oksidacija metanola osnovni je postupak za proizvodnju formaldehida, a poznati su tipovi oksidacije: oksidacija na srebrnim kristalima ili srebrnim nitima pri 600-700 °C i oksidacija željezo-molibdenovim oksidom pri 270-380 °C. Formaldehid se može proizvesti i kao nusprodukt oksidacije ugljikovodika, ali metoda još nije potanko razrađena.

Koliko je rasprostranjena upotreba i potrošnja formaldehida, najbolje pokazuje tablica 1. s podacima o europskoj proizvodnji i proizvodnim kapacitetima formaldehida (10). Važno je napomenuti kako se oko 50% ukupne proizvodnje formaldehida upotrebljava za proizvodnju urea-formaldehidnih smola (7).

Reakcijom formaldehida s ureom ili melaminom nastaju urea-formaldehidne (UF) ili melamin-formaldehidne (MF) smole, koje se upotrebljavaju kao ljepljiva u proizvodnji iverice. Melaminske smole su nepropusnije i stabilnije, ali i mnogo skuplje. Značajna je i upotreba urea-formaldehidnih smola kao izolacijskog sredstva (UFFI - urea formaldehyde foam isolation) u zgradarstvu (11). Otpuštanje formaldehida zbog nezavršene polimerizacije ili pirolitičke razgradnje najviše je u prvim godinama, a zatim se eksponencijalno smanjuje.

Tablica 1. Proizvodnja i proizvodni kapaciteti formaldehida u Europi u 1000 tona

ZEMLJA	PROIZVODNJA		PROIZVODNI KAPACITETI		
	1985.	1987.	1987.	1990.	1995.
Austrija	160	155	231	231	231
Belgija	45	50	80	80	80
Danska	40	40	70	70	70
Finska	95	95	169	169	169
Francuska	250	220	525	525	425
SR Njemačka	1550	1650	2323	2323	2323
Grčka	20	15	22	22	22
Italija	375	370	836	836	836
Nizozemska	240	210	313	313	31
Norveška	85	90	185	185	185
Portugal	75	90	102	102	102
Španjolska	215	200	450	450	468
Švedska	225	220	335	335	335
Švicarska	25	25	40	40	40
Velika Britanija	270	305	488	452	452
Zapadna Europa	3670	3735	6169	6133	6051

Aminoplasti (UF i MF) upotrebljavaju se kao ljepila za proizvodnju šperiranog drva u industriji namještaja. Kondenzirani aminoplasti zbog svoje niske molekulske mase upotrebljavaju se u tekstilnoj industriji pri završnoj obradi materijala protiv gužvanja. U zadnjih desetak godina dorada materijala formaldehidnim smolama znatno se poboljšala pa slobodnog formaldehida ima u vrlo niskim koncentracijama. Slični spojevi koji se upotrebljavaju u završnoj obradi tekstila rabe se i u kožnoj industriji, u proizvodnji određenih boja i lakova (npr. za automobile), sredstava za poljoprivredu itd.

Fenoplasti (fenolske smole) jesu spojevi u kojima je formaldehid kondenziran s fenolima (fenol, krezol, rezorcinol), imaju sličnu primjenu kao i druge formaldehidne smole, a otpuštanje formaldehida je manje.

Novija tehnološka dostignuća omogućila su u pojedinim proizvodnim procesima zamjenu formaldehida drugim spojevima, čije je djelovanje na zdravlje čovjeka manje štetno (silikoni umjesto formaldehidnih smola u doradi tekstilnih vlakana) ili smolama koje otpuštaju manje formaldehida (u drvenoj industriji fenol-formaldehidne smole umjesto urea-formaldehidnih i melamin-formaldehidnih smola). Na žalost, visoke cijene ovih spojeva često su razlog njihove malene upotrebe u nas.

Uloga formaldehida kao dezinfekcijskog sredstva u medicini (1,5% od ukupne proizvodnje), sredstva za čuvanje kvalitete konzervirane hrane, aditiva u kozmetici itd. velika je i nezaobilazna (3).

FORMALDEHID U ZRAKU

Formaldehid u vanjskoj atmosferi

Spomenuto je da je koncentracija formaldehida u vanjskoj atmosferi malena zbog brza raspada. Ona ovisi o izvorima emisija koje se eventualno nalaze u blizini mjesta uzorkovanja, a ujedno su funkcija jačine sunčeve svjetlosti, relativne vlažnosti zraka i temperature.

S obzirom na spoznaju o formaldehidu prisutnom u ispušnim plinovima automobila bez katalizatora, uočljiva je značajna razlika u razinama izmjerenih koncentracija u urbanom i ruralnom području. Prema podacima iz literature te su vrijednosti u ruralnom području nekoliko $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dok u urbanom području mogu biti i desetak puta veće (7).

Neki su autori mjerili i koncentraciju formaldehida prisutnog u atmosferskim aerosolima. Dobivene vrijednosti su mnogo niže nego za plinoviti formaldehid, a iznose za ruralno područje do $45 \text{ ng}/\text{m}^3$, a za urbano do $65 \text{ ng}/\text{m}^3$ (12).

Zbog svoje nestabilnosti, a time i kratkotrajne prisutnosti u vanjskoj atmosferi, formaldehid ne ubrajamo u onečišćenja prisutnost kojih bitno pridonosi onečišćenju zraka, pa to objašnjava nepostojanje preporuka o graničnim vrijednostima formaldehida u vanjskoj atmosferi.

Formaldehid u zraku zatvorenih prostora

Sveprisutnost formaldehida u zatvorenom prostoru i spoznaja o vremenu koje čovjek svakodnevno provodi u tom prostoru (stan, poslovni prostor, trgovine, škola, vrtić, kazalište, kinodvorane, prijevozna sredstva itd.) imala je za posljedicu sve intenzivnije proučavanje tog onečišćenja.

Mogući izvori formaldehida u zatvorenom prostoru su: cigarete i drugi duhanski proizvodi, namještaj od iverice, urea-formaldehidna pjena kao sredstvo za izolaciju (UFFI) u zgradarstvu, izgaranje plina u domaćinstvu, razni plastificirani materijali koji se rabe u zgradarstvu, lakovi za parkete, sagovi i zavjese, boje i sredstva za dezinfekciju i sterilizaciju.

Velik je broj radova koji se odnose na mjerenja koncentracije formaldehida u zraku prostorija različite namjene, u kojima formaldehid ne nastaje kao proizvod rada (13-16). U svim radovima vodilo se računa o starosti objekta (budući da se tijekom godina očekuje izvjetavanje formaldehida), načinu gradnje, upotrijebljenom građevinskom materijalu, opremi objekta itd. Izmjerene vrijednosti koncentracije formaldehida variraju od nekoliko mikrograma pa do više od $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zraka.

Uočljiva je razlika u koncentracijama između klasično građenih objekata i montažnih objekata, a posebno pokretnih objekata (mobile house) karakterističnih za stanovanje u SAD i Kanadi (16-18).

Porast otpuštanja formaldehida upravo je proporcionalan temperaturi i vlazi, a obrnuto proporcionalan broju izmjena zraka u zatvorenim prostorima. O važnosti utjecaja meteoroloških uvjeta govori i podatak kako povećanje temperature od $7 \text{ }^\circ\text{C}$ u intervalu od 14 do $35 \text{ }^\circ\text{C}$ udvostručuje otpušteni formaldehid, a to isto

se događa i s povećanjem relativne vlage od 30 na 70% (2), ili podatak da porast temperature od 1 °C odgovara porastu koncentracije formaldehida od 11% (13).

Podatak o dužini vremena provedenog u zatvorenom prostoru bio je povod istraživanju povezanosti prisutnih onečišćenja u zatvorenom prostoru (posebno formaldehida kao jakog iritansa) sa zdravstvenim problemima kod djece kao posebno osjetljive populacije (13-15).

Formaldehid u zraku radnih prostora

Milijuni tona formaldehida proizvedenog i upotrijebljenog u najraznovrsnijim tehnološkim procesima i zdravstvene smetnje koje su se javile kod određenog broja djelatnika izloženih ovom jakom nadražljivcu, nametnule su u prvi plan izučavanje veze između mjerljivih zdravstvenih parametara i osobne izloženosti radnika formaldehidu u zraku radnih prostorija. Neka od zanimanja u kojima su radnici izloženi formaldehidu su: anatomi, biolozi, poljoprivredni radnici, radnici u proizvodnji sagova, tekstilni radnici, radnici u prodavaonicama tekstila, radnici u drvnoj industriji (proizvodnja iverice, proizvodnja namještaja), radnici u prodavaonicama iverice i namještaja, radnici u proizvodnji ljepila i smola, radnici u proizvodnji plastičnih masa itd. (3). Prema podacima iz literature masene koncentracije formaldehida u zraku radnih prostorija kreću se od tako niskih vrijednosti koje nije moguće otkriti postojećim metodama do nekoliko $\mu\text{g}/\text{m}^3$ zraka (7, 19-21). Očigledna je zastupljenost djelatnika u biološkim (histološkim i patološkim) laboratorijima zdravstvenih ustanova, gdje se preparati čuvaju i konzerviraju u formalinu (37-50% vodena otopina formaldehida) (22), kao i u operacijskim dvoranama i stacionarima, gdje se formalin rabi kao sredstvo za dezinfekciju (23).

Formaldehid u vodi

Zbog svoje topljivosti u vodi, formaldehid kao i drugi aldehidi s manjom molekulskom masom, mogu se detektirati u padavinama, vodama mora i oceana, kao i u drugim površinskim vodama.

Izmjerene koncentracije formaldehida u padavinama u rasponu su od 0,31 do 1,38 mg/dm^3 (24).

Koncentracije u pitkoj vodi manje su od 0,1 mg/dm^3 , što znači da je, ako izuzmemo akcidentne događaje upotrebe za piće vode kontaminirane formaldehidom, dnevni unos formaldehida u organizam vodom za piće beznačajan: manje od 0,2 mg/dan (25).

Formaldehid u tlu

Formaldehid koji je nastao truljenjem biljaka razgrađuju bakterije prisutne u zemlji i zbog toga bioakumulacija nije moguća. Potpuno polimerizirane urea-formaldehidne smole su stabilne u okolišu, tj. ne otpuštaju formaldehid, dok se djelomično polimerizirani produkti niske molekulske mase razgrađuju postepeno pa mikroflora iz tla može reagirati s plinovitim formaldehidom.

Formaldehid u hrani

Razine formaldehida prisutnog u sirovoj hrani mogu se vidjeti iz tablice 2. (3). Akcidentalna kontaminacija moguća je fumigacijom (npr. grašak) ili uporabom aditiva koji sadržavaju formaldehid u proizvodnji hrane. Formaldehid kao produkt izgaranja može dospjeti u hranu kuhanjem, a osobito dimljenjem hrane. Posuđe napravljeno od formaldehidnih smola u kontaktu s vodom, octenom kiselinom ili alkoholom može također otpuštati formaldehid u malim koncentracijama.

Tablica 2. Formaldehid prisutan u hrani

Vrsta hrane	Sadržaj formaldehida (mg/kg)
VOĆE I POVRĆE	
- jabuka	17,3
- kelj	4,7
- mrkva	6,7
- špinat	13,3
- rajčica	3,7
MESO	
- svinjetina	20
- ovčetina	8
- perad	5,7
MLIJEKO I MLJEČNE PRERAĐEVINE	
- kravlje mlijeko	do 3,3
- sir	do 3,3
RIBE	
- riječne sušene	8,8
- morske sušene	20
- bakalar	20
- rakovi (Sredozemlje)	1-60
- rakovi (Ocean)	3-98

Dnevni unos formaldehida hranom vrlo je teško izračunati, ali grubom procjenom došlo se do podatka od 1,5 do 14 mg/dan za odraslog čovjeka (3).

UTJECAJ FORMALDEHIDA NA ZDRAVLJE LJUDI

Najveći broj ljudi izložen je niskim koncentracijama formaldehida. Zdravstvene smetnje vezane uz određene koncentracije formaldehida prisutnog u zraku prikazane su na tablici 3. (7). Iritacija sluznice i gornjih dišnih putova, kao i osjetljivost kože, simptomi su koji se najčešće pojavljuju kao posljedica izloženosti formaldehidu.

Tablica 3. Zdravstveni učinci formaldehida u ovisnosti o koncentracijama

Zdravstveni učinci	Prosječne koncentracije formaldehida (mg/m ³)
nema ih	0 – 0,06
neuropsihološki učinci	0,06 – 1,8
prag mirisa	0,06 – 0,22
iritacija očiju	0,01 – 2,4
iritacija gornjih respiratornih puteva i smetnje na plućima	6 – 36
edem pluća, upala pluća	60 – 120
smrt	> 120

Preporuka Nacionalnog instituta za sigurnost i zdravlje na radu (NIOSH) još 1976. godine bila je da maksimalno dopustiva koncentracija formaldehida za radne prostore bude 1,2 mg/m³ (7). Prema novom Pravilniku o maksimalno dopustivim koncentracijama štetnih tvari u atmosferi radnih prostorija i prostora Republike Hrvatske (26) ta je vrijednost do 0,60 mg/m³ (tablica 4). Na istoj su tablici prikazane granične vrijednosti formaldehida, preporučene vrijednosti u unutarnjoj atmosferi i maksimalno dopustive koncentracije u radnoj atmosferi u nekoliko europskih zemalja (27).

Tablica 4. Granične (GV) i preporučene vrijednosti (PV) formaldehida u zatvorenom prostoru i maksimalno dopustive koncentracije (MDK) u radnim prostorima (mg/m³)

Zemlja	HCHO u zatvorenom prostoru		HCHO u radnom prostoru	
	GV	PV	MDK	PV
Francuska	0,36–0,24	0,24–0,12	2,4	
Finska	0,30 (0,144*)	0,12	2,4	
Belgija			2,4	
Danska	0,144		1,2	
SR Njemačka	0,12	0,12	1,44	
Švedska	0,48	0,24	1,2	0,84
Italija			2,4	
Nizozemska	0,12		2,4	0,60
Hrvatska			0,60	
Smjernica SZO		0,12		

* – kuće izgrađene poslije 1.1.1983.
SZO – Svjetska zdravstvena organizacija

Osjetilni učinci

Premda je prag mirisa subjektivna kategorija, on se može objektivizirati tako da skupinu ispitanika izložimo različitim razinama koncentracije formaldehida. Onu koncentraciju kod koje barem 50% ispitanika može otkriti miris smatramo pragom mirisa. Za formaldehid je to, kako je navedeno na prethodnoj tablici, između 0,06 i 0,22 mg/m³. *Berglund i suradnici* (28) su ponovili istraživanje na istoj skupini ispitanika nakon godinu dana – prag mirisa ostao je nepromijenjen. Različite literaturne podatke o apsolutnom pragu mirisa isti autori objašnjavaju kvalitetom provedenih olfaktometrijskih (njušnih) ili psihofizičkih postupaka tijekom istraživanja.

Nadražaj dišnih organa prva je ljudska reakcija na formaldehid, što se može zaključiti iz istraživanja u kontroliranim uvjetima u komorama te iz pritužbi ljudi izloženih formaldehidu.

Toksični učinci

Klinički pokazatelji toksičnosti formaldehida jesu: slabost, glavobolja, bolovi u trbuhu, vrtoglavica, smetenost, reakcije u nosu i grlu, konvulzije, depresija središnjega živčanog sustava, nekroza mukoznih membrana i gastro-intestinalnog trakta, povraćanje, promuklost, bljedilo, šok i omama (ukočenost).

Akutna ingestija može uzrokovati oštećenje bubrega i drugih organa, a smrt nastupa zbog plućnog edema, prestanka disanja ili cirkulatornog kolapsa. Podatak iz literature pokazuje da je 120 cm³ ingestiranog formaldehida najveća količina nakon koje se unesrećeni oporavio (3).

Respiratorni učinci

Pri visokoj koncentraciji formaldehida respiratorni sustav može reagirati teškim disanjem, fićukanjem u prsima, bronhospazmom, opstruktivnim traheobronhitisom, upalom pluća i plućnim edemom. Također se može javiti dermatitis, nekroza kože, lakrimacija (suženje očiju), nagrizanje očiju, dvostruka slika i konjunktivitis.

Nije poznata točna granica iznad koje ljudi počinju osjećati smetnje u dišnim funkcijama, a prema većini autora to su vrijednosti između 0,1–3,1 mg/m³. Smrtni slučajevi uzrokovani inhalacijom formaldehida nisu zabilježeni.

Veza između profesionalne izloženosti formaldehidu i učestalosti kroničnih respiratornih bolesti još je prijeporna. U jednom ispitivanju u drvnj industriji (3) ustanovljena je pojava kroničnih bolesti gornjeg dijela respiratornog trakta veća u radnika profesionalno izloženih formaldehidu nego u ispitanika kontrolne skupine. Osnovni je nedostatak u tom radu što nisu mjerene masene koncentracije formaldehida prisutnog u radnoj okolini.

Schoenberg i Mitchell (29) ispitivali su plućne funkcije 63 radnika zaposlenih u proizvodnji akrilnih vlakana (15 radnika nije bilo iz same proizvodnje), s pomoću

standardiziranih anketnih upitnika i spirometrijskih testova, uključujući forsirani vitalni kapacitet (FVK), forsirani ekspiratorni volumen u 1. sekundi (FEV₁) i maksimalni ekspiratorni protok kod 50% VK (MEP_{50%}). Izmjerene razine koncentracije formaldehida bile su od 0,5 do 1 mg/m³, a razine fenola između 7 i 10 mg/m³. Uprkos činjenici da je 85% ispitanika odgovorilo da ima akutne respiratorne simptome, nađena je mala razlika u plućnim funkcijama u usporedbi s kontrolnom skupinom, i ta razlika nije bila statistički značajna.

Provedena su ispitivanja i u komorama u kontroliranim uvjetima, gdje također nije nađena statistički značajna razlika između eksponirane i neeksponirane skupine ispitanika, a glavni nedostatak ovih ispitivanja je malen broj ispitanika (30).

Posebno poglavlje su istraživanja o povezanosti respiratornih smetnji i razine koncentracija formaldehida provedena u pokretnim objektima za stanovanje (mobile house) u Kanadi i SAD-u, gdje je relativno velik dio populacije kontinuirano izložen, pa makar i niskim, koncentracijama formaldehida. *Liu i suradnici* (16) u svom su radu dokazali značajnu povezanost niskih prosječnih tjednih koncentracija formaldehida i iritirajućih učinaka na stanovnike koji prebivaju u pokretnim objektima. Važno je napomenuti da se kod ovog istraživanja radi isključivo o populaciji koja nije imala nikakve pritužbe na uvjete boravka u tim objektima.

Provedena su laboratorijska istraživanja čiji je cilj bio ocijeniti mogućnost adsorpcije formaldehida na površini čestica s obzirom na to da se u zatvorenim prostorima očekuje njihova istodobna prisutnost. Dobiveni rezultati pokazuju da je opravdana pretpostavka o mogućoj adsorpciji što omogućava i unošenje formaldehida dublje u respiratorni trakt. Desorpcija formaldehida nije potpuna, a postotak desorpcije ovisi o veličini i vrsti čestica na koje se formaldehid adsorbirao (31).

Nadražaj kože

Dokazano je kako do nadražaja kože (dermatitisa) dolazi direktnim kontaktom s formaldehidom, iako su mišljenja o koncentracijama formaldehida koje ga izazivaju različita. *Niemelä i Vainio* (8) su pokazali da je u Finskoj u periodu od 1975. do 1979. godine zabilježeno više od 100 slučajeva profesionalnog egzema uzrokovanog formaldehidom.

Kozmetički proizvodi sadržavaju od 0,2 do čak 5% formaldehida (neka sredstva za njegu ruku) i dokazano je da su to razine koje ne izazivaju toksične niti iritativne reakcije u kontaktu sa zdravom kožom. Ne postoje objavljeni podaci o kontaktnom dermatitisu uzrokovanom plinovitim formaldehidom.

Genotoksični učinci

Reaktivnost formaldehida i izrazita sklonost specifičnog vezanja za amino-skupine proteina i nukleinskih kiselina nije samo odgovorna za njegovo toksičko, nego i za njegovo mutageno djelovanje. Ono je dokazano istraživanjima na nekim bakterijama, kvaščevoj gljivici i vinskoj mušici (6).

Istraživanja provedena na radnicima profesionalno izloženim formaldehidu (prosječna dužina izloženosti bila je 28 godina) ne upućuju na porast incidencije kromosomskih aberacija u odnosu na kontrolnu skupinu (32).

Učinci na reprodukciju

Iako postoje podaci o utjecaju formaldehida na porast incidencije menstrualnih tegoba i problema u trudnoći, u 446 žena izloženih formaldehidu u proizvodnji urea-formaldehidnih smola (130 žena bilo je izloženo koncentracijama od 1,4 do 4,3 mg/m³, a 316 koncentracijama od 0,005 do 0,67 mg/m³), u odnosu na kontrolnu skupinu nije ustanovljena statistički značajna razlika u fertilitetu, ali su anemija i mala porođajna težina djece češći nalaz u izloženoj skupini. Nedostatak ovog istraživanja je zanemarivanje socioekonomskog statusa kontrolne i izložene skupine kao i oskudni podaci o radnoj okolini žena izloženih formaldehidu (3).

Nije utvrđena statistički značajna razlika u učestalosti spontanih pobačaja među zdravstvenim radnicama koje za sterilizaciju instrumenata upotrebljavaju formalin i onih koje upotrebljavaju druge kemijske agense (33).

Karcinogeni učinci

Podaci o karcinogenosti formaldehida vrlo su oskudni, pa postoji mali broj radova koji upozoravaju na maligne bolesti radnika profesionalno izloženih formaldehidu. U svim studijama radi se o dugotrajnoj izloženosti, i to radnika koji rade u drvnoj industriji, proizvodnji namještaja (ponajprije od iverice), proizvodnji formaldehidnih smola i ljepila te kod djelatnika koji rade u medicinskim ustanovama gdje se formalin rabi za prepariranje i konzerviranje tkiva.

Interes pobuđuje rad u kojem je opisana povećana incidencija vrlo rijetke vrste adenokarcinoma nazalnih sinusa u radnika koji rade u drvnoj industriji (34).

Kad se govori o karcinogenosti formaldehida, treba spomenuti i moguće sinergističko djelovanje pušenja i nekih drugih kemijskih agensa. Istraživala se i karcinogenost haloetera koji nastaju od formaldehida i klorovodika, ali su dobiveni rezultati prijeporni (6).

ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Iz svega navedenog je vidljivo da su ljudi najviše izloženi formaldehidu u zatvorenim prostorima u kojima je otpuštanje formaldehida iz materijala upotrijebljenih za gradnju i opremu stanova, uredskih prostora škola i vrtića stalan i dugotrajan proces. Izmjerene koncentracije formaldehida prisutnog u zraku zatvorenih prostora nerijetko su višestruko veće od preporučenih graničnih vrijednosti (tablica

4), a ne smije se zanemariti činjenica da su među izloženim osobama i djeca, bolesnici i osobe starije životne dobi kao posebno osjetljiva populacija.

Većina naših proizvođača namještaja danas upotrebljava najkvalitetniju ivericu tj. ivericu s najmanje slobodnog formaldehida (<10 mg/100 g), a i u proizvodnji ljepila i smola, tekstilnoj industriji itd. nastoji se smanjiti upotreba formaldehida.

Ostaje problem sanacije postojećih objekata, a naša istraživanja (31) i istraživanja drugih autora (35) pokazuju da smanjenje otpuštanja formaldehida prirodnim putem (izvjetranjem) lijekom više od 10 godina nije dostatno, pa su se tražile prihvatljive metode za stvaranje optimalnih uvjeta boravka u takvim prostorima.

Tri su glavne mogućnosti za smanjenje otpuštanja formaldehida: uklanjanje iverice i zamjena drugim materijalima, pojačano grijanje praznih zatvorenih prostorija, kemijsko vezanje emitiranog formaldehida.

Prva je mogućnost najučinkovitija, ali izuzetno skupa. Druga je mogućnost jednostavna za izvedbu, odnosno zahtijeva samo planiranje dodatnog vremena i neznatnih troškova prije upotrebe objekta ili, u starijim objektima, tijekom školskih praznika ili godišnjih odmora. Treća je mogućnost najpoznatija i najčešće rabljena metoda. Provodi se tretiranjem zidova prostorije bojama koje u sebi sadržavaju ureu, amonijeve soli itd. Učinkovito je tretiranje cijelog montažnog objekta plinovitim amonijakom (NH_3) koji reagira na dva načina. Prvo reagira sa slobodnim formaldehidom te nastaje heksametilen-tetraamin, a osim toga porastom pH vrijednosti u oblozi zidova reakcija hidrolize UF-ljepila se znatno usporuje. Pokazalo se da je nakon tretiranja montažnog objekta plinovitim amonijakom emisija formaldehida smanjena tri do četiri puta (tablica 5) (35). Nedostatak je u tome što se zbog tretmana amonijakom i dva do četiri tjedna poslije toga montažni objekt ne može upotrebljavati za stanovanje. Postoji podatak da se čak i nakon četiri mjeseca može osjetiti neugodan miris amonijaka, osobito pri višim temperaturama i nedovoljnom broju izmjena zraka.

Tablica 5. Koncentracije formaldehida i amonijaka u montažnim objektima prije i poslije tretiranja plinovitim amonijakom

Vrijeme mjerenja*	Masena koncentracija (ppm)	
	Formaldehid	Amonijak
prije tretiranja	0,20 – 0,30	<0,2
poslije: 1 mjesec	0,03 – 0,04	3,0 – 5,0
2 mjeseca	0,05 – 0,06	1,5 – 2,0
4 mjeseca	0,05 – 0,07	0,3 – 0,4
11 mjeseci	0,05 – 0,07	<0,2
24 mjeseca	0,05 – 0,07	<0,2
48 mjeseca	0,05 – 0,07	<0,2

* Vrijednosti izmjerene 3 do 4 sata poslije otvaranja prozora i vrata

Izabrati prikladan način smanjenja emisije formaldehida vrlo je zahtjevan i odgovoran posao, ali je sanaciju nužno provesti, osobito kada se radi o zaštiti djece iz vrtića i osnovnih škola.

LITERATURA

1. *Moschandreas DJ*. Exposure to pollutants and daily time budgets of people, *Bull NY Acad Med* 1981;57:845-59.
2. *Andersen IB, Lundqvist GR, Molhave L*. Indoor air pollution due to chipboard used as a construction material. *Atmosph Environ* 1975;9:1121-7.
3. *Environmental Health Criteria 89: Formaldehyde*. Geneva: World Health Organization, 1989.
4. *Kirk RE, Othmer DF*. Encyclopedia of Chemical Technology. New York: The Interscience Encyclopedia, Inc. 1951;6:858-74.
5. *Hodgman ChD, Weast RC, Selby SM*. Handbook of chemistry and physics. Chemical Rubber Publishing Co. Cleveland, Ohio 1956; 932.
6. *Berčić T, Kovač S, Dimov D*. Formaldehid u suvremenoj ekološkoj toksikologiji. *Arh hig rada toksikol* 1981;32:363-94.
7. *National Research Council, NRC*. Formaldehyde and Other Aldehydes. Washington, DC,: National Academy Press, 1981.
8. *Niemelä R, Vainio H*. Formaldehyde exposure in work and the general environment. *Scand J Work Environ Health* 1981;7:95-102.
9. *Perry R, Young RJ*. Handbook of air pollution analysis. London: Chapman and Hall, 1977:322-31.
10. *COST Project 613: Indoor Air Pollution by Formaldehyde in European Countries*, Report No. 7 prepared by the Community-COST Concertation Committee. Commission of the European Communities, Directorate General for Science, Research and Development, Joint Research Centre, Environment Institute. EUR 13216 EN, 1990.
11. *Stock TH*. Formaldehyde concentrations inside conventional housing. *JAPCA* 1987;37:913-8.
12. *Klippel W, Warneck P*. The formaldehyde content of the atmospheric aerosol. *Atmosph Environ* 1980;14:809-18.
13. *Van der Wall JF*. Formaldehyde measurements in Dutch houses, schools and offices in the years 1977-1980. *Atmosph Environ* 1982;16:2471-8.
14. *Kalinić N, Fugaš M, Šega K, Šišović A*. Formaldehyde levels in selected indoor microenvironments. *Environ Inter* 1986;12:297-9.
15. *Sexton K, Liu KS, Petreas MX*. Formaldehyde concentrations inside private residences: A mail out approach to indoor air monitoring. *JAPCA* 1986;36:698-704.
16. *Liu KS, Huang FY, Hayward SB, Weslowski J, Sexton K*. Irritant effects of formaldehyde exposure in mobile homes. *Environ Health Perspect* 1991;94:91-4.
17. *Cohn MS, Ulsamer GA, Preuss PW*. Sources contributing to formaldehyde indoor air levels, U: Berglund B, Lindwall T, Sundell J. ur. Proceedings of the Third International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Stockholm 1984, Swedish Council for Building Research 1984;3:133-7.
18. *Sexton K, Petreas MX, Liu KSh, Kulasingam GC*. Formaldehyde concentrations measured in California mobile homes. Proceedings of 78th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, Detroit, MI, 1982:85.
19. *Kauppinen TP, Niemelä R*. Occupational exposure to chemical agents in the particleboard industry. *Scand J Environ Health* 1985;11:357-363.

20. *Kauppinen TP*. Occupational the exposure to chemical agents in plywood industry. *Ann Occup Hyg* 1986;30:19-29.
21. *Kuljak S, Hamzagić B, Ristić Lj*. Efekti iritacija i zaštita od formaldehida u prostorijama nakon ugradnje medijapan-ploča. *Zašt Atm* (3-4) 1984;10:35-40.
22. *Kilburn RW, Warshaw R, Thorton JC*. Formaldehyde impairs memory, equilibrium and dexterity in histology technicians: effects which persist for days after exposure. *Arch Environ Health* 1987;42:117-20.
23. *Binding N, Witting V*. Exposure to formaldehyde and glutardialdehyde in operating theatres. *Int Occup Environ Health* 1990;62:233-8.
24. *Kitchens JF, Casner RE, Edwards GS, Harward WE, Macri BJ*. Investigation of selected potential environmental contaminants: formaldehyde. Washington, DC: US Environmental Protection Agency 1976;(ARC-49-5681) 204.
25. *World Health Organization, Regional Office for Europe*. Air quality guidelines for Europe. Copenhagen: WHO Regional Publications, European Series No. 23.
26. Pravilnik o maksimalno dopustivim koncentracijama štetnih tvari u atmosferi radnih prostorija i prostora (MDK) i o biološkim graničnim vrijednostima (BGV) Republike Hrvatske s pripadajućim međunarodnim konvencijama, ANT Laboratorij za analitiku i toksikologiju, Zagreb, 1993.
27. ACS Symposium series 316: Formaldehyde Release from Wood Products. In: Meyer B, Andrews BAK, Reinhardt RM. Developed from a symposium sponsored by the Division of Cellulose, Paper and Textile Chemistry at the 189th Meeting of the American Chemical Society, Miami Beach, Florida 1985. American Chemical Society, Washington DC 1986.
28. *Berglund B, Berglund U, Högman L*. The psychophysics of formaldehyde odor. U: Seifert B, Edsorn H, Fisher M, Rüden H, Wegner J, ur. *Indoor Air'87*. Environmental tobacco smoke, multicomponent studies, radon, sick buildings, odours and irritants, hiperreactivities and allergies. Berlin: Institute for Water, Soil and Air Hygiene 1987;2:655-60.
29. *Schoenberg JB, Mitchell CA*. Airway disease caused by phenolic (phenol-formaldehyde) resin exposure. *Arch Environ Health* 1975;30:574-7.
30. *Day JH, Lees REM, Clark RH, Pattee PL*. Respiratory response to formaldehyde and off-gas of urea formaldehyde foam insulation. *Can Med Assoc J* 1984;131:1061-5.
31. *Kalinić N*. Izloženost formaldehidu u zraku zatvorenih prostora (Disertacija). Sveučilište u Zagrebu: Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada 1994.
32. *Fleig I, Petri N, Stocker WG, Thies AM*. Cytogenetic analyses of blood lymphocytes of workers exposed to formaldehyde in formaldehyde manufacturing and processing. *J Occup Med* 1982;24:1009-12.
33. *Hemminki K, Mutanen P, Niemi ML*. Letter: Spontaneous abortions in hospital sterilizing staff. *Br Med J* 1983;286:1976-1977.
34. *Hernberg S, Kuosma E, Englund A, Engzell U, Sand Hansen H, Mutaten P*. Nasal and sinonasal cancer. *Scand J Work Environ Health* 1983;9:314-32.
35. *Marutzky R*. Odours, irritants, and formaldehyde. U: Seifert B, Edsorn H, Fisher M, Rüden H, Wegner J, ur. *Indoor Air'87*. Environmental tobacco smoke, multicomponent studies, radon, sick buildings, odours and irritants, hyperreactivities and alergies. Berlin: Institute for Water, Soil and Air Hygiene 1987;2:691-4.

Summary

FORMALDEHYDE IN THE ENVIRONMENT AND EFFECTS ON HEALTH

The presence of formaldehyde in the environment is due to natural processes and to man-made sources. It is produced in large quantities and has varied applications. One of the most common uses is in urea-formaldehyde and melamine-formaldehyde resins. There are several indoor environmental sources that can result in human exposure including furniture containing formaldehyde-based resins, building materials, paints, disinfectants, carpets etc. Emphasis is placed on indoor formaldehyde levels and on the ways of their reduction or elimination.

Key terms:

formaldehyde sources, health effects, indoor air pollution, remedial measures

Requests for reprints:

Nataša Kalinić, Ph.D.
Institut za medicinska istraživanja
i medicinu rada
Ksaverska cesta 2
10000 ZAGREB