

# FORMALDEHID V GRAJENEM OKOLJU IN MOŽEN VPLIV NA ZDRAVJE LJUDI

## FORMALDEHYDE IN THE BUILT ENVIRONMENT AND ITS POTENTIAL IMPACT ON HUMAN HEALTH

**Primož Šestan, dipl. inž. grad.**  
**doc. dr. Živa Kristl, univ. dipl. inž. arh.**  
zkristl@fgg.uni-lj.si

**asist. dr. Mateja Dovjak, dipl. san. inž.**  
mdovjak@fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova 2, Ljubljana

**Znanstveni članek**

UDK 351.777:547.281.1:628.85

**Povzetek** | Formaldehid je pomemben onesnaževalec notranjega zraka stavb. Prisoten je v gradbenih proizvodih in opremi iz lesa, v barvah, premazih, lakih, sredstvih za razkuževanje in čiščenje ter v predmetih za splošno uporabo. Zaradi številnih notranjih virov in nezadostnega prezračevanja koncentracije formaldehida v notranjem zraku stavb pogosto doseže vrednosti, ki pri uporabnikih lahko povzročajo negativen vpliv na zdravje. S sistematičnim pregledom literature smo preučili razširjenost pojavljanja formaldehida v notranjem zraku stavb in posredno ocenili možen vpliv na zdravje uporabnikov. Analizirali smo zakonska določila glede vsebnosti formaldehida v gradbenih proizvodih, mejne vrednosti emisij formaldehida v bivalnem in delovnem okolju, vpliv življenjskega cikla gradbenega proizvoda z vplivnimi parametri na emisije formaldehida. Na osnovi ugotovitev smo predlagali ukrepe, s katerimi preprečimo ali omejimo možen negativen vpliv formaldehida na uporabnike grajenega okolja. Sistematični pregled literature smo opravili v trinajstih iskalnih bibliografskih in faktografskih bazah podatkov in na drugih spletnih naslovih. Pregled študij je pokazal, da koncentracije formaldehida v notranjem zraku pogosto presežejo zunanje vrednosti. Glavnina študij obravnava problem formaldehida v stanovanjskih stavbah, v katerih je koncentracija odvisna od starosti vira, vrste materialov, načina ogrevanja in prezračevanja, mikroklimatskih razmer in prisotnosti sekundarnih virov. Koncentracije, izmerjene v številnih študijah, so presegle predpisane ali priporočene mejne vrednosti, kar lahko pri izpostavljenih ljudeh povzroča negativne vplive na zdravje. Za preprečevanje emisij formaldehida je treba izpeljati ukrepe, ki se nanašajo na celoten življenjski cikel proizvoda. Pri proizvodnji je treba poiskati zdravju in okolju ustrežnejše alternative. Nadzor nad izdelki naj bo stalen. Izbor gradbenih proizvodov in opreme, ki so nizko emisijski, je tudi glavni ukrep za doseganje dobre kvalitete notranjega zraka in učinkovitega zmanjševanja tveganja zaradi izpostavljenosti onesnaževalcem. Navedeno bi moralo biti podprto s pravnimi akti.

Ključne besede: formaldehid, grajeno okolje, gradbeni proizvodi, zdravje ljudi, mejne vrednosti, življenjski cikel

**Summary** | Formaldehyde is an important indoor air contaminant. The main indoor sources are construction products and wooden furniture, paints, adhesives, varnishes, floor finishes, disinfectants, cleaning agents and other household products. Numerous indoor sources and insufficient ventilation often result in higher formaldehyde levels and adverse health effects. The occurrence of formaldehyde in indoor air and its adverse health effects were analysed with systematic literature review. The main focus was on

the legal provisions for construction products, limitations of the content of formaldehyde in products, exposure limits for formaldehyde in indoor air, the impact of the product life cycle on the emission rates and its influencing factors. Based on the findings, recommendations for prevention against adverse health effects of formaldehyde in the built environment were defined. Relevant literature was searched in 13 bibliographical and factographical databases and other relevant web pages. The studies showed that indoor concentrations often exceed those of outdoors. The majority of studies addressed the problem of formaldehyde in residential buildings, where emissions were closely related to the age of the indoor source, the type of the material, efficiency of HVAC systems, microclimate conditions and the presence of secondary sources of air pollution. Measured concentrations in the analysed studies often exceed the exposure limits and may cause adverse health effects. Measures that include the entire life cycle of the product should be implemented. The production phase should be oriented towards health and environment friendly alternatives. All constructional products have to be under permanent supervision. The use of low-emitting materials presents the most important risk reduction strategy. All the above measures have to be supported by legislation.

Key-words: formaldehyde, built environment, constructional products, health, exposure limits, life cycle

## 1 • UVOD

Formaldehid (metanal) je brezbarven plin z značilnim ostrim vonjem. Njegovi viri so zunanji in notranji ter so naravnega in antropogenega izvora. V naravi nastane kot vmesni produkt pri gorenju metana in drugih spojin. Najdemo ga v gozdnih požarih, izpušnih plinih avtomobilskih motorjev in tobačnem dimu ((OEHA, 1991), (EPA, 1997), (Wolkoff, 2010)). Zelo majhne količine formaldehida vsebuje tudi neobdelan les, v katerem je formaldehid naravno prisoten (npr. emisija formaldehida iz hrastovega lesa 0,009 ppm (0,011 mg/m<sup>3</sup>), iz bukovega lesa 0,002 ppm (0,00245 mg/m<sup>3</sup>)) (APA, 2013). S predelavo in obdelavo lesa se vsebnost formaldehida in njegovo posledično sproščanje poveča (APA, 2013). Formaldehid, njegovi oligomeri in hidrati so redko prisotni v živih organizmih (Interchem, 2010).

V grajenem okolju je formaldehid zelo razširjen. Vsebujejo ga polikondenzacijska

lepila, ki se uporabljajo v proizvodnji gradbenih proizvodov in elementov pohištva (npr. vezane, iverne, vlaknene, OSB- in panelne plošče, toplotnoizolacijske pene iz ureaformaldehida ipd.). Prisoten je v številnih barvah, premazih, lakih, sredstvih za razkuževanje in čiščenje ter v številnih predmetih za splošno uporabo (otroška kozmetika, izdelki za lase, laki za nohte, zobne paste, mila, osvežilci zraka) ((OEHA, 1991), (EPA, 1997)). V svetovnem merilu znaša letna proizvodnja 37 % formaldehida 20 milijonov ton. Med glavne proizvajalce formaldehida prištevamo Kitajsko, ZDA in Nemčijo (Hauptmann, 2006).

Pri proizvodnji gradbenih proizvodov in elementov pohištva se del formaldehida porabi za reakcijo utrjevanja, del pa se emitira v neposredno okolje (Grajšek, 2008). Stopnja njegove emisije je odvisna od starosti vira in mikroklimatskih razmer (EPA, 2012a). Zaradi

njegove široke uporabe in ob nezadostnem prezračevanju lahko koncentracije formaldehida v stavbah dosežejo vrednosti, ki pri uporabnikih povzročajo nezadovoljstvo zaradi slabe kvalitete zraka in imajo negativen vpliv na zdravje ((Böhm, 2012)), (ARB, 2004), (Likar, 1998)). Študije ((Hendrick, 1977), (ECA, 1989), (Böhm, 2012), (Salthammer, 2010)) navajajo, da prištevamo formaldehid med pomembne kemične onesnaževalce, ki povzročajo sindrome bolnih stavb (SBS).

S sistematičnim pregledom literature bomo preučili razširjenost problema formaldehida v notranjem zraku stavb in posredno ocenili možen vpliv na zdravje uporabnikov. S tem namenom bomo analizirali zakonske prepovedi in omejitve vsebnosti formaldehida v gradbenih proizvodih, mejne vrednosti emisij formaldehida v bivalnem in delovnem okolju, vpliv življenjskega cikla gradbenega proizvoda in vplivne parametre na emisije formaldehida. Na osnovi ugotovitev bomo predlagali ukrepe, s katerimi lahko preprečimo ali omejimo možen negativen vpliv formaldehida na uporabnika grajenega okolja.

## 2 • TEORETIČNE OSNOVE

### 2.1 Fizikalne in kemične lastnosti formaldehida

Formaldehid (HCHO) je pri temperaturi 20 °C dobro topen v vodi in maščobah ((OEHA,

1991), (MSDS, 2012), (Varnostni list, 2011)). Temperaturo tališča ima pod -15 °C. Na zraku počasi oksidira in tvori mravljinčno kislino (MSDS, 2012). Pod vplivom nizkih tempera-

tur lahko postane moten in se pretvori v triksimetilen. Primerne temperature za skladiščenje so med +15 in +25 °C (Varnostni list, 2011). Fizikalne in kemične lastnosti so navedene v preglednici 1.

Hlapi/pare formaldehida so težji od zraka, zato se širijo po tleh. Pri visokih temperaturah tvori eksplozivno mešanico z zrakom. V primeru požara lahko tvori zdravju škodljive pline ali hlape. Formaldehid je nezdravljiv z materiali, kot so mehko jeklo, baker, različne kovine in zlitine (Varnostni list, 2011).

Empirična formula:	CH <sub>2</sub> O
CAS No.:	50-00-0
Točka vrelišča/območje vrelišča:	93–96 °C pri 760 mm Hg
Parni tlak:	Ni razpoložljivih informacij
Relativna gostota:	1,09 g/cm <sup>3</sup> , pri 20 °C
Plamenišče:	62–85 °C
Spodnja eksplozivna meja:	7 %
Zgornja eksplozivna meja:	73 %
pH:	2,8–4,0 pri 20 °C
Vrelišče:	~ 96 °C pri 760 mm Hg

Preglednica 1 • Fizikalno-kemične lastnosti formaldehida ((MSDS, 2012), (Varnostni list, 2011))

### 3 • METODA

Sistematični pregled literature smo opravili v iskalnih bibliografskih in faktografskih bazah podatkov, kot so Science Direct, Pub Med, Co-biss, Eric, Toxnet, Biosis in The Internet Public Library. Relevantne vire literature smo iskali tudi na drugih spletnih naslovih, kot so World Health Organization (WHO), European Commission, International Labour Organization (ILO), Eurostat, Statistični urad RS (SURs), Uradni list EU, Uradni list RS, Register predpisov, Ministrstvo za zdravje RS, Ministrstvo za delo, družino in socialne zadeve in enake možnosti RS, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje RS, Ministrstvo za infrastrukturo in prostor RS. Iskalni niz besed je bil izdelan v slovenščini in angleščini: »Formaldehid IN notranji zrak IN zdravje«, angleško

»Formaldehyde AND indoor air AND health«. Pregledali smo relevantno literaturo, objavljeno med letoma 1997 in 2013. Mejne vrednosti smo iskali na spletnih naslovih American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH), DFG Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area, MAK Commission, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Environmental Protection Agency (EPA), World Health Organization (WHO), Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA), European Chemicals Agency (ECHA), European Commission, Ministrstvo za delo, družino in socialne zadeve in

enake možnosti RS, Ministrstvo za zdravje RS, Urad Republike Slovenije za kemikalije in Inštitut za varovanje zdravja (IVZ).

S sistematičnim pregledom literature name ravamo: 1. preučiti zakonske prepovedi in omejitve glede vsebnosti formaldehida v gradbenih proizvodih, mejne vrednosti emisij formaldehida v bivalnem in delovnem okolju; 2. preučiti razširjenost problematike formaldehida v notranjem zraku stavb; 3. preučiti vpliv življenjskega cikla gradbenega proizvoda in vplivnih parametrov na emisije formaldehida; 4. primerjati izmerjene koncentracije iz študij s predpisanimi in priporočenimi vrednostmi za bivalno in delovno okolje; 5. na osnovi znanstvenih dognanj posredno oceniti možen negativen vpliv na zdravje uporabnikov; 6. definirati ukrepe, s katerimi lahko omejimo oziroma zmanjšamo vpliv formaldehida na uporabnika grajenega okolja.

### 4 • ZAKONODAJNI OKVIR

Uredba (EU) 305/2011 eksplicitno navaja, da morajo biti gradbeni objekti načrtovani in zgrajeni tako, da ne ogrožajo varnosti ljudi, domačih živali ali imetja ter ne škodujejo okolju (Uredba (EU) 305/2011). Osnovni zahtevi številka 3 (Higiena zdravje in okolje) in št. 7 (Trajnostna raba naravnih virov) Uredbe (EU) 305/2011 natančneje opredeljujeta zahteve, ki se nanašajo na higiensko ustreznost, neškodljivost za zdravje in okolje v celotnem življenjskem ciklu stavbe. S tem namenom je treba preprečiti vsakršno sproščanje strupenih

plinov in emisij nevarnih snovi ter lahko hlapnih organskih spojin (VOC) iz gradbenih proizvodov v okolje. Vsi gradbeni proizvodi morajo biti opremljeni z izjavo o lastnostih, ki vključuje informacije o vsebnosti nevarnih snovi. Navedeno je potrjeno s CE-oznako. Zahteve Uredbe (EU) 305/2011 morajo biti prenesene na nivo nacionalne zakonodaje. Zahteve, ki se nanašajo na fazo proizvodnje ivernih in vlaknastih plošč, so določene v Odločbi Komisije 2009/894/ES. Ta navaja, da emisije formaldehida iz ivernih in

vlaknastih plošč v surovem stanju (pred strojno obdelavo ali nanašanjem premaza) ne smejo presegati 50 % mejne vrednosti (0,05 ppm; 0,062 mg/m<sup>3</sup>) (Odločba Komisije 2009/894/ES). Uredba o zelenem javnem naročanju (Ur. l. RS, št. 102/2011) omejuje izhajanje prostega formaldehida iz lesnih tvoriv, ki ne sme biti višja od 8 mg/100 g suhe snovi. Za OSB- in vezane plošče na trgu EU so definirane tudi mejne vrednosti emisije formaldehida (0,101 ppm; 0,124 mg/m<sup>3</sup>) ((EN 3000: 1996), (EN-717-1: 2004)). Lesni ostanki, vezane lesne plošče, iverne plošče, lesonitne plošče, plošče in drugi lepiljeni izdelki iz lesa, ki vsebujejo halogenirane organske spojine, zahtevajo posebno ravnanje

z odpadki. V skladu z Uredbo o ravnanju z odpadki (Priloga 7: Klasifikacijski seznam odpadkov, Ur. l. RS, št. 34/2008, 103/2011) uvrščamo odpadke iz obdelave in predelave lesa ter iz proizvodnje ivernih plošč in pohištva v skupino 03 01. Po uporabi pa iverne in vlaknene plošče uvrščamo v skupino 17 02 (gradbeni odpadki in odpadki iz rušenja objektov, les, steklo in plastika) (Uredba o ravnanju z odpadki, Ur. l. RS, št. 34/2008, 103/2011). Zahteve, ki se nanašajo na fazo uporabe gradbenih proizvodov in emisije formaldehida v notranje okolje stavb, so definirane v Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb (Ur. l. RS, št. 42/2002, 105/2002). Pravilnik navaja, da je treba pri projektiranju predvideti uporabo materialov z najnižjo emisijo onesnaževalcev z upoštevanjem značilnosti vlažnosti, enostavnosti čiščenja, trajnosti in zahtevanih lastnosti njihove sestave. Zahteve za načrtovanje prezračevalnih sistemov vključujejo tudi mejne vrednosti koncentracij formaldehida v notranjem zraku ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 30 min; izpostavljenost navedeni časovno uteženi povprečni koncentraciji formaldehida  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ne sme biti daljša od 30 min. in se ne sme ponoviti znotraj osmih ur) ((Ur. l. RS, št. 42/2002, 105/2002), (CR 1752: 1998)). S ciljem, da se prepreči negativen vpliv na zdravje in doseže primerno kvaliteto notranjega zraka, so definirane priporočene ali predpisane mejne vrednosti za bivalna in delovna okolja (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010). Glavnina mejnih vrednosti je podana za delovna okolja in zaščiti v večji meri le splošno populacijo. Zgoraj obravnavani viri navajajo mejne vrednosti koncentracij formaldehida, ki pri izpostavljeni populaciji povzročajo negativen vpliv na zdravje (v odvisnosti od časa izpostavljenosti, vnos z inhalacijo). Določene so bile na osnovi toksikoloških in epidemioloških raziskav:  $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$  ( $0,081 \text{ ppm}$ ) (30 min.) (WHO; zasnovano na osnovi koncentracije, ki izzove iritacijo v občutljivi skupini po 30-minutni izpostavljenosti);  $0,0331 \text{ mg}/\text{m}^3$  ( $0,027 \text{ ppm}$ ) (8 ur) (California Air Resources Board, CARB; koncentracija ne sme biti presežena, v nasprotnem primeru pride do iritacije v občutljivi skupini);  $0,045 \text{ ppm}$  ( $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (1 ura) in  $0,0073 \text{ ppm}$  ( $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (8 ur) (Office of Environmental Health Hazard Assessment, OEHHA; akutna in 8-urna nekancerogena priporočena mejna vrednost izpostavljenosti (REL, recommended exposure limit); draženje, respiratorni simptomi, možna rakotvornost). OEHHA REL (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010)

Predpisane mejne vrednosti (ppm, mg/m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	
OSHA <sup>2</sup> (OSHA, 2011)	0,75 ppm ( $0,92 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) TWA <sup>3</sup>
	2 ppm ( $2,454 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) STEL <sup>4</sup>
	0,5 ppm ( $0,613 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) raven ukrepanja
MAK <sup>5</sup> (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010)	0,3 ppm ( $0,368 \text{ mg}/\text{m}^3$ )
	1 ppm ( $1,227 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) nikoli preseženo
CAL/OSHA PELs splošna industrija <sup>2, 6, 7</sup> (OSHA, 2011)	0,75 ppm ( $0,92 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) TWA <sup>3</sup>
	2 ppm ( $2,454 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) STEL <sup>4</sup>
	0,5 ppm ( $0,613 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) nivo ukrepanja
Priporočene mejne vrednosti (ppm, mg/m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	
WHO <sup>8</sup> (WHO, 2010)	0,081 ppm ( $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) (30 min)
Canadian <sup>9</sup> (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010)	0,1 ppm ( $0,123 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) dolgotrajna izpostavljenost
	0,05 ppm ( $0,0614 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) dolgotrajna izpostavljenost
US Department of housing and urban development (24 CFR Part 3280)	0,4 ppm ( $0,491 \text{ mg}/\text{m}^3$ )
NIOSH <sup>10</sup> (NIOSH, 2010)	0,016 ppm ( $0,0196 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) TWA <sup>3</sup>
	0,1 ppm ( $0,123 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) CEIL <sup>11</sup> (15 min.)
ACGIH, TLV <sup>12, 13</sup> (ACGIH, 2007)	0,3 ppm ( $0,368 \text{ mg}/\text{m}^3$ )
	0,37 mg/m <sup>3</sup> ( $0,454 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) CEIL <sup>11</sup>
FEMA <sup>14</sup> , mobilne hiške (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010)	0,016 ppm ( $0,0196 \text{ mg}/\text{m}^3$ )

<sup>1</sup> Pretvorba pri temperaturi 25 °C in tlaku 1 atm.

<sup>2</sup> OSHA – Occupational Safety and Health Administration (maksimalne dovoljene koncentracije v delovnem okolju, mejne vrednosti ne zaščitijo občutljivih skupin).

<sup>3</sup> TWA – Time Weighted Average exposure, povprečna mejna vrednost, časovno uravnotežena koncentracija za 8-urni delovni dan in 40-urni delovni teden.

<sup>4</sup> STEL – Short-Term Exposure Limit, izpostavljenost kratkotrajni vrednosti, dovoljena koncentracija, ki je višja od mejne vrednosti in ji je delavec lahko izpostavljen le kratek čas. Traja lahko največ 15 min. in se sme ponoviti največ 4-krat dnevno, pri čemer mora biti čas med dvema izpostavitvama takšni koncentraciji daljši od ene ure. Dnevna povprečna mejna vrednost ne sme biti presežena.

<sup>5</sup> MAK – Maximum Concentrations at the Workplace, Deutsche Forschungs Gemeinchaft (priporočene maksimalne koncentracije v delovnem okolju, mejne vrednosti ne zaščitijo občutljivih skupin).

<sup>6</sup> CAL/OSHA – Division of Occupational Safety and Health, California.

<sup>7</sup> PEL – Permissible Exposure Limit, dopustna meja izpostavljenosti za 8-urno časovno uravnoteženo koncentracijo (TWA).

<sup>8</sup> WHO – World Health Organisation (za zunanje in notranje okolje).

<sup>9</sup> Canadian – priporočene maksimalne koncentracije v bivalnem okolju.

<sup>10</sup> NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health (priporočena maksimalna koncentracija v delovnem okolju, mejna vrednost ne zaščiti občutljivih skupin).

<sup>11</sup> CEIL – Ceiling C ali TLV-C, najvišja mejna vrednost, koncentracija, ki ne sme biti presežena niti za kratek čas.

<sup>12</sup> ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienist (priporočena maksimalna koncentracija, mejna vrednost ne zaščiti občutljivih skupin).

<sup>13</sup> TLV – Threshold Limit Value, zgornja omejitev izpostavljenosti, izražena kot časovno uravnotežena koncentracija TWA, za 8-urni delovni dan in 40-urni delovni teden.

<sup>14</sup> FEMA – Travel Trailer or Mobile Home.

Preglednica 2 • **Predpisane in priporočene mejne vrednosti formaldehida v bivalnem in delovnem okolju ((Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010), (OSHA, 2011), (ACGIH, 2007), (NIOSH, 2010), (24 CFR Part 3280))**

definira koncentracijo  $0,045 \text{ ppm}$  ( $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) za akutno izpostavljenost (povprečen čas izpostavljenosti ena ura);  $0,0073 \text{ ppm}$  ( $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) za 8-urno in ponavljajočo se izpostavljenost ter  $0,0073 \text{ ppm}$  ( $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) za

kronično izpostavljenost. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR, MRL, inhalation minimal risk level, MRL) definira koncentracijo  $0,04 \text{ ppm}$  ( $0,04908 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) za akutno izpostavljenost (14 dni ali manj)

na osnovi toksikoloških profilov), 0,03 ppm (0,03681 mg/m<sup>3</sup>) za izpostavljenost od 15 do 364 dni ter 0,008 ppm (0,00982 mg/m<sup>3</sup>) za kronično izpostavljenost (365 dni ali več na osnovi toksikoloških profilov)). Koncentracija formaldehida v notranjem zraku, ki povzroča možno tveganje za razvoj rakastih obolenj, znaša 0,05 ppm (0,0614 mg/m<sup>3</sup>) (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010). Koncentracija formaldehida v notranjem zraku 20 ppm (24,54 mg/m<sup>3</sup>) predstavlja tveganje za življenje in zdravje (IDLH,

immediately dangerous to life and health) (NIOSH, 2010).

Področje varovanja in zaščite delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti možnim emisijam formaldehida v fazi proizvodnje je urejeno s Pravilnikom o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti kemičnim snovem pri delu (Ur. l. RS, št. 100/2001, 39/2005, 53/2007, 102/2010, 43/2011). V prilogi 3 pravilnika je izrecno navedeno, da je prepovedana proizvodnja, izdelava ali uporaba kemičnih snovi in dejavnosti, ki so navedene

v seznamu, ki vključuje tudi formaldehid. Prepoved ne velja, če je kemična snov (formaldehid) prisotna v drugi kemični snovi, ali za proizvodnjo kemičnih snovi, ki so polizdelki, in če je sestavni del odpadkov, kolikor je vsebnost posamične kemične snovi nižja od določenega masnega odstotka. Kljub navedenemu pa mora delodajalec zagotoviti, da se proizvodnja in čimprejšnja uporaba polizdelkov izvaja v zaprtem sistemu, iz katerega se lahko kemična snov odstrani samo, kolikor je to potrebno za nadzorovanje procesa ali popravilo sistema.

## 5 • REZULTATI SISTEMATIČNEGA PREGLEDA LITERATURE

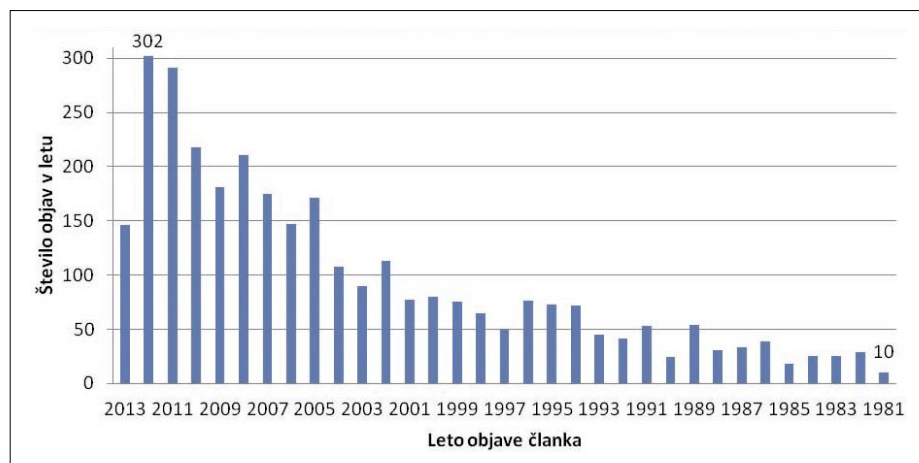
### 5.1 Raziskanost področja

Obširen pregled študij je pokazal, da je področje razširjenosti uporabe formaldehida v gradbenih proizvodih in posledičnega vpliva na zdravje uporabnikov dobro raziskano v tujem prostoru. V Sloveniji je področje manj raziskano. 26. aprila 2013 smo največ zadevkov dobili v bazi podatkov Science Direct (skupaj 3013 zadevkov). Z bistveno manj zadevki so sledile baze TOXNET (752 zadevkov), WHO in Pub Med s po 302 zadevkoma in z 293 zadevki. Najmanj zadevkov smo dobili v bazah Cobiss, Eric in The Internet Public Library (11, 4, 2 zadevka).

Slika 1 prikazuje raziskanost področja v bazi Science Direct na dan 26. 4. 2013. Prve študije, ki so bile zavedene v Science Direkt, so se pojavile v letu 1981 (skupaj deset študij). Z leti se je število študij povečevalo in v letu 2012 doseglo število 302.

### 5.2 Zunanja in notranja onesnaženost zraka s formaldehidom

Likar je v monografiji Onesnaževalci okolja (Likar, 1998) povzel tipične koncentracije formaldehida v zunanjem in notranjem zraku za izbrane vire formaldehida (preglednica 3). V urbanem zraku so zaradi antropogenih virov (avtomobilski izpuhi, dimi iz kurišč na drva, cigaretni dim) dosežene višje koncentracije kot v ruralnem zraku. Navedeno problematiko onesnaženosti zraka s formaldehidom v urbanih okoljih potrjuje tudi študija (Dasgupta, 2005), v kateri so med letoma 1999 in 2002 v petih večjih mestih v ZDA izmerili emisije formaldehida in dobili naslednje rezultate: Houston več kot 0,047 ppm (0,058 mg/m<sup>3</sup>), Atlanta več kot 0,018 ppm (0,022 mg/m<sup>3</sup>),



Slika 1 • Časovna skala raziskanosti področja v bazi Science Direct na dan 26. 4. 2013

Tampa 0,0093 ppm (0,0114 mg/m<sup>3</sup>), Nashville 0,013 ppm (0,016 mg/m<sup>3</sup>), Philadelphia 0,010 ppm (0,012 mg/m<sup>3</sup>). V študijah in drugih virih literature ((ARB, 2004), (Järnström, 2006), (Likar, 1998)) znašajo maksimalne koncentracije formaldehida v zunanjem zraku 0,1 ppm (0,123 mg/m<sup>3</sup>).

Več študij navaja, da je z vidika kvalitete zraka in njegove onesnaženosti s formaldehidom mnogo bolj problematičen notranji zrak.

Študija (Blondel, 2011), ki je bila opravljena v Franciji, je pokazala, da znaša razmerje med notranjo in zunanjo onesnaženostjo s formaldehidom približno 6,3. Do podobnih rezultatov so prišli tudi v študiji (Sakai, 2004), ki je bila opravljena v Uppsali na Švedskem. V Nagoji na Japonskem znaša razmerje vrednosti 3 (Sakai, 2004). Študija v Kaliforniji (ARB, 2004) pa navaja celo višje vrednosti razmerja, od 13 do 18.

Zrak v notranjem okolju:	0,001–0,03 ppm (0,00123–0,03681 mg/m <sup>3</sup> )
Cigaretni dim:	0,4 mg/20 cigaret na dan
Zrak v velemestih:	0,05–0,12 ppm (0,06135–0,147 mg/m <sup>3</sup> )
Avtomobilski izpuh:	29–43 ppm (35,583–52,761 mg/m <sup>3</sup> )

Preglednica 3 • Koncentracije formaldehida (ppm, mg/m<sup>3</sup>) v notranjem in zunanjem zraku, izbrani naravni in antropogeni viri ((Report on the Consensus Workshop on Formaldehyde, 1984), (Likar, 1998))



### 5.3 Razširjenost problema onesnaženosti notranjega zraka stavb s formaldehidom

Sistematičen pregled študij je pokazal, da je problem onesnaženosti notranjega zraka s formaldehidom zelo razširjen. Glavnina študij obravnava problematiko v stanovanjskih stavbah, pojavi pa se tudi v povezavi z javnimi stavbami.

Meritve koncentracij formaldehida v stanovanjskih in javnih stavbah v Kaliforniji, navedene v priporočilih California Environmental Protection Agency (ARB, 2004), so pokazale, da maksimalne koncentracije presegajo vrednost 0,20 ppm (0,245 mg/m<sup>3</sup>). Geometrijsko povprečje izmerjenih koncentracij formaldehida se je razlikovalo med vrstami stavb. Višje koncentracije so bile izmerjene v montažnih stavbah (0,048 ppm; 0,0589 mg/m<sup>3</sup>) in nižje v klasično zidanih stavbah (0,015 ppm; 0,0184 mg/m<sup>3</sup>). Visoke koncentracije formaldehida so bile izmerjene tudi v učilnicah (maksimalne so znašale približno 0,12 ppm (0,147 mg/m<sup>3</sup>), povprečne 0,019 ppm (0,0233 mg/m<sup>3</sup>)). Najnižje koncentracije so bile izmerjene v poslovnih stavbah (maksimalne 0,015 ppm (0,0184 mg/m<sup>3</sup>), povprečne 0,04 ppm (0,0491 mg/m<sup>3</sup>)). Podobno študijo je opravil tudi Hodgson s sodelavci (Hodgson, 2000) v izbranih stanovanjskih stavbah v ZDA. Vse obravnavane stavbe v študiji so bile nezasedene, stopnja prezračevanja je bila manjša od priporočenih vrednosti po ASHRAE. Ugotovili so, da med novimi montažnimi in zidanimi stanovanjskimi stavbami ni velikih razlik v izmerjenih koncentracijah formaldehida. Koncentracije formaldehida so v vseh obravnavanih stavbah znašale manj ali enako 50 ppb (0,061 mg/m<sup>3</sup>), v povprečju 40 ppb (0,049 mg/m<sup>3</sup>). V mestu Qubec City v Kanadi je Gilbert s sodelavci (Gilbert, 2006) izmeril koncentracije formaldehida v 96 stanovanjih. Izmerjene koncentracije formaldehida so bile v razponu od 0,0078 ppm do 0,0734 ppm (od 9,6 do 90,0 µg/m<sup>3</sup>) (geometrijsko povprečje 0,0240 ppm; 29,5 µg/m<sup>3</sup>), maksimalne koncentracije so bile 0,0734 ppm (90 µg/m<sup>3</sup>). Izmerjene koncentracije so bile nižje od izmerjenih koncentracij v stanovanjskih stavbah v Kaliforniji (ARB, 2004) in v ZDA (Hodgson, 2000).

V stanovanjskih stavbah v Nagoji na Japonskem in v Uppsali na Švedskem je Sakai s sodelavci (Sakai, 2004) opravil primerjavo različnih onesnaževalcev zraka (formaldehid, dušikov oksid in klorirane hlapne organske spojine). Geometrijsko povprečje koncentracij formaldehida v notranjem zraku stanovanj je znašalo 0,0143 ppm (17,6 µg/m<sup>3</sup>)

na Japonskem in 0,00676 ppm (8,3 µg/m<sup>3</sup>) na Švedskem. Maksimalne koncentracije so znašale 0,060 ppm (73 µg/m<sup>3</sup>) na Japonskem in 0,016 ppm (19 µg/m<sup>3</sup>) na Švedskem. V industrijskem mestu Shimizu na Japonskem je Ohura s sodelavci (Ohura, 2006) opravil meritve zunanjih in notranjih koncentracij 38 organskih onesnaževalcev zraka. Ugotovili so, da je bila koncentracija formaldehida v notranjem zraku mnogo višja kot v zunanem. Geometrijsko povprečje izmerjenih koncentracij formaldehida v notranjem zraku stanovanj je znašalo 0,016 ppm (19 µg/m<sup>3</sup>) in je bilo primerljivo s koncentracijami, ki so jih je izmerili (Sakai, 2004) v stavbah na Japonskem. Brown (Brown, 2002) je opravil primerjavo med izmerjenimi koncentracijami formaldehida v novih in obstoječih stanovanjskih stavbah v Melbournu v Avstraliji. Ugotovil je, da so bile koncentracije formaldehida višje v novih kot v obstoječih stavbah. V času merjenja od dveh dni do 35 tednov so se koncentracije formaldehida postopoma zniževale, od 0,0978 do 0,0375 ppm (od 120 do 46 µg/m<sup>3</sup>). Podobna študija je bila opravljena tudi na Japonskem (Park, 2006). Park in Ikeda sta v novih in starih stanovanjskih stavbah na Japonskem opravila meritve VOC vključno s formaldehidom. Meritve so trajale tri leta. V prvem letu je koncentracija formaldehida znašala 0,109 ppm (134 µg/m<sup>3</sup>), v tretjem letu pa 0,0701 ppm (86 µg/m<sup>3</sup>). Avtorji poudarijo, da je glavni razlog za znižanje koncentracije formaldehida staranje notranjih virov in ne učinkovitost prezračevalnega sistema.

Meritve koncentracij formaldehida so opravili tudi v novih stanovanjskih stavbah v Kuopiu na Finskem (Järnström, 2006), kjer so maksimalne koncentracije znašale 0,030 ppm (37 µg/m<sup>3</sup>). V študiji (Raw, 2004), ki je vključevala 876 stanovanj v Angliji, so izmerili 4,6-krat višje maksimalne koncentracije formaldehida (maksimum 0,139 ppm; 171 µg/m<sup>3</sup>, geometrijsko povprečje 0,0181 ppm; 22,2 µg/m<sup>3</sup>) kot v študiji v Kuopiu na Finskem (Järnström, 2006).

V študentskih domovih v mestu Lille v Franciji sta Blondel in Plaisance (Blondel, 2011) ugotavljala prispevek notranjih virov ter vpliv števila izmenjav zraka k skupnim koncentracijam formaldehida. Najvišja stopnja emisije je bila v območju postelje (131 µg/m<sup>2</sup>h), ki predstavlja pomemben notranji vir formaldehida. Najnižja stopnja emisije je znašala 1 µg/m<sup>2</sup>h, povprečna koncentracija je bila 0,0174 ppm (21,3 µg/m<sup>3</sup>). V severni, južni in vzhodni Franciji je Kirchner s sodelavci (Kirchner, 2003) opravljal meritve koncentracij lahkohlapnih

organskih spojin (VOC) in formaldehida v 90 stanovanjih. Preučevana prostora sta bila kuhinja in spalnica, kjer so izmerili primerljive koncentracije formaldehida (geometrijsko povprečje 0,0171 ppm (21 µg/m<sup>3</sup>) v kuhinji in 0,0188 ppm (23 µg/m<sup>3</sup>) v spalnici). Razpon koncentracij formaldehida je znašal od 0,0016 do 0,0611 ppm (od 2 do 75 µg/m<sup>3</sup>).

### 5.4 Vpliv življenjskega cikla gradbenega proizvoda na emisije formaldehida in vplivni parametri

Silva s sodelavci (Silva, 2013) navaja, da gradbeni proizvodi obdržijo in emitirajo formaldehid skozi celotno življenjsko dobo. Stopnja njegove emisije je odvisna od faze življenjskega cikla, v kateri je gradbeni proizvod. Böhm s sodelavci (Böhm, 2012) je preučeval koncentracijo formaldehida, ki se emitira iz gradbenih proizvodov in lesene opreme med fazo proizvodnje in po njej. Analizirani so bili gradbeni proizvodi in oprema, izdelana iz masivnega lesa, vezanih plošč, panelnih plošč, ter nekateri talni izdelki. Preučevali so šest različnih vrst lesa (bukev, smreka, bor, hrast, breza in topol). **V fazi proizvodnje** so ugotovili, da so emisije formaldehida iz plošč največje v procesu stiskanja, nato pa se postopoma zmanjšujejo. Po fazi proizvodnje so bile emisije v prvem tednu mnogo višje kot v drugem tednu. Po poteku enega meseca se je emisija prostega formaldehida iz gradbenega proizvoda znižala za okoli 26 %, v šestih mesecih pa kar za polovico. Rezultati študije so dokazali, da vrsta lesa, tip vezane plošče in njena debelina vplivajo na emisijo formaldehida.

**V fazi vgradnje in uporabe gradbenih proizvodov** se formaldehid še vedno emitira v okolje. Številni avtorji ((Sakai, 2004), (Gilbert, 2006), (Järnström, 2006)) so preučevali vplivne parametre, kot so starost stavbe, starost gradbenih proizvodov, vrsta uporabljenih materialov za nosilno konstrukcijo, finalna obdelava in oprema, na stopnjo emisije formaldehida. Sakai s sodelavci je v stanovanjskih stavbah na Japonskem in na Švedskem ugotovil, da se v primerjavi s starejšimi stanovanji višje koncentracije pojavijo v novejših stanovanjih. Do podobnih zaključkov so prišle tudi študije, opravljene v stanovanjskih stavbah na Japonskem ((Ohura, 2006), (Park, 2006)). Sakai s sodelavci je v novejših stanovanjih, zgrajenih iz betona, izmeril višje koncentracije formaldehida kot pa v starejših lesenih stanovanjih. Med glavne razloge za višje koncentracije je navedel visoko zrakotesnost stavbnega ovoja, debelejša betonske zidove in novejšo notranjo opremo. Gilbert s sodelavci (Gilbert,

2006) je v notranjem zraku stanovanjskih stavb v mestu Quebec City, Kanada, ugotovil, da novi izdelki iz lesa, na novo pobarvani ali prelakirani izdelki iz lesa emitirajo višje koncentracije formaldehida kot pa starejši izdelki iz lesa.

Na koncentracijo formaldehida vpliva tudi vrsta materialov za gradbene proizvode in opremo. Järnström s sodelavci (Järnström, 2006) je v tipičnih novozgrajenih stanovanjskih stavbah na Finskem ugotovil, da se višja koncentracija formaldehida (za 0,017 ppm; 0,0212 mg/m<sup>3</sup>) pojavi v stanovanjih s talno oblogo iz parketa v primerjavi s stanovanji, ki imajo talno oblogo iz PVC-ja. Zavedati pa se je treba, da lahko tudi talne obloge PVC emitirajo zdravju škodljive snovi (Dovjak, 2011). Järnström s sodelavci je v svoji študiji navedel, da so bili vsi uporabljeni materiali deklarirani kot materiali z nizko stopnjo emisije snovi. Blondel in Plaisance (Blondel, 2011) sta v študentskih domovih v Lillu, Francija, ugotovila, da so bile visoke koncentracije formaldehida posledica notranjih virov formaldehida, kot so gradbeni proizvodi in oprema. Za tla sta bila uporabljena linolej in parket, stene so bile izdelane iz mavčnokartonskih plošč, na katere so bile nalepljene tapete, strop je bil pobarvana armiranobetonska plošča, pohištvo pa je bilo narejeno iz vezanih in ivernih plošč. Koncentracije formaldehida iz pohištva se niso bistveno razlikovale od koncentracij, ki so bile emitirane iz gradbenih materialov. Hodgson s sodelavci (Hodgson, 2000) je v svoji študiji izpostavil, da so glavni notranji viri VOC in formaldehida vezane plošče, lateks barve in vinilne talne obloge. Časovno trajanje emisije formaldehida iz notranjih virov stanovanjskih stavb na Japonskem sta preučevala Park in Ikeda (Park, 2006). Dokazala sta, da je časovno trajanje emisije formaldehida iz lesenih izdelkov mnogo daljše, kot je časovno trajanje emisij za druge snovi (VOC).

Študije ((Gilbert, 2006), (Sakai, 2004), (Järnström, 2006)) so izpostavile, da imajo tudi način ogrevanja, prezračevanja in mikroklimatske razmere v stavbi (temperatura zraka in relativna vlažnost zraka) velik vpliv na stopnjo emisije formaldehida iz notranjih virov.

Pomemben je tudi vpliv načina ogrevanja in prezračevanja. Gilbert s sodelavci (Gilbert, 2006) je ugotovil, da so koncentracije formaldehida višje v zraku stanovanj, ki so ogrevana s stacionarnimi električnimi grelniki, kot v zraku stanovanj, ki so ogrevana z napravo na drva. Vzrok za višje koncentracije formaldehida v stanovanjih, ogrevanih s stacionarnimi električnimi grelci, je v točkovnem oddajanju

toplote iz grelnika in posledičnem točkovnem segrevanju pohištva. Posledica navedenega je, da se emisije formaldehida hitreje sproščajo. Järnström s sodelavci (Järnström, 2006) je v notranjem zraku v tipičnih novozgrajenih stanovanjskih stavbah na Finskem ugotovil, da imajo stavbe, opremljene z mehanskim prezračevanjem, nižje koncentracije formaldehida v primerjavi s stavbami, opremljenimi z naravnim prezračevanjem. Dobro načrtovano mehansko prezračevanje je omogočilo večjo in bolj kontrolirano izmenjavo zraka ter hitrejši odvod emisij formaldehida iz zaprtega prostora. Blondel in Plaisance (Blondel, 2011) pa v svoji študiji poudarita, da ima zamenjava notranjih virov z manj emisivnimi mnogo večji vpliv na znižanje koncentracij formaldehida v notranjem zraku kot povečanje števila izmenjav zraka.

Järnström s sodelavci (Järnström, 2006) je spremljal tudi vpliv letnega časa in mikroklimatskih razmer na koncentracijo formaldehida v stanovanjskih stavbah na Finskem. Koncentracija formaldehida se je nekoliko povečala v poletnem času (višja temperatura zraka in relativna vlažnost tudi do 70 %). Nižje koncentracije formaldehida so izmerili pozimi (nižja temperatura zraka, suh zrak z relativno vlažnostjo okoli 15 %). Do podobnih zaključkov je prišel Sakai s sodelavci v stanovanjskih stavbah na Japonskem in na Švedskem (Sakai, 2004). Višje koncentracije so izmerili poleti in nižje pozimi. Vpliv temperature zraka na emisijo formaldehida iz gradbenih proizvodov in opreme sta dokazala tudi Blondel in Plaisance (Blondel, 2011) s študijo v študentskih domovih v Franciji. Do podobnih zaključkov pa so prišli tudi v študiji, ki je bila opravljena v laboratorijskih razmerah (Zhang, 2007). Zhang s sodelavci je ugotovil, da se z zviševanjem temperature zraka (v razponu od 18 °C do 50 °C) emisija formaldehida iz preučevanih materialov zelo poveča.

Zanimiv je tudi vpliv sekundarnih virov. Mikroklimatske razmere v prostoru imajo vpliv na emisijo formaldehida tudi iz drugih notranjih virov, iz katerih se običajno ne emitira. Emitiran formaldehid iz gradbenih materialov ali pohištva se lahko ujame med vlakna preproge in se sprost kasneje, ko se spremenita temperatura in vlažnost zraka ((Chemical Encyclopedia, 1997), (Järnström, 2006)). Ohura s sodelavci (Ohura, 2006) je v stanovanjskih stavbah v Shimizu na Japonskem dokazal, da ima prisotnost preprog pomemben vpliv na koncentracije formaldehida v notranjem zraku. Gradbeni proizvodi in oprema s formaldehidom so problematični tudi po njihovi upo-

rabi, **v fazi odpadka**. Vsakršno nenadzorovano ravnanje z odpadki, kot so odprti sežigi, ima negativne posledice na okolje in posledično na ljudi. Silva s sodelavci (Silva, 2013) je z LCA-analizo ureaformaldehidnih smol v lesnih izdelkih dokazal negativen vpliv med celotnim življenjskim ciklom. Glavni problem predstavlja ekotoksičnost za teršični in vodni ekosistem ter toksičnost za ljudi. Problem pa predstavljajo tudi emisije NOx iz uree (surov material) in ne le emisije formaldehida.

## 5.5 Negativen vpliv formaldehida na zdravje ljudi

Formaldehid je zelo topen v vodi, zato se hitro absorbira v respiratornem in gastrointestinalnem traktu (Salthammer, 2010) in ima dokazan negativen vpliv na zdravje. Prve študije o negativnem vplivu formaldehida na zdravje ljudi v grajenem okolju segajo v sredino šestdesetih let prejšnjega stoletja ((Murphy, 1964), (Salthammer, 2010)). Simptomi so vključevali draženje oči in zgornjih dihalnih poti (Salthammer, 2010). Znanstvene razprave o kancerogenosti formaldehida so se začele v letu 1980. Kancerogeni učinek formaldehida na laboratorijskih živalih je bil dokazan s študijo (Kerns, 1983). Danes se glavna študija ukvarja s preučevanjem negativnega vpliva formaldehida, ki nastane kot posledica akutne in kronične izpostavljenosti.

Böhm s sodelavci (Böhm, 2012) je ugotovil, da lahko formaldehid odkrijemo po vonju pri koncentracijah med 0,1 ppm (0,123 mg/m<sup>3</sup>) in 0,5 ppm (0,613 mg/m<sup>3</sup>). Te koncentracije pa pri nekaterih občutljivih ljudeh že rahlo dražijo oči, nos in grlo. Koncentracije nad 0,1 ppm (0,123 mg/m<sup>3</sup>) lahko povzročajo tudi slabost, glavobole, težave z dihanjem in alergije. Koncentracija formaldehida med 0,5 ppm (0,613 mg/m<sup>3</sup>) in 1,0 ppm (1,227 mg/m<sup>3</sup>) že pri večini ljudi povzroča draženje oči, nosu in grlu, medtem ko pri koncentracijah nad 1,0 ppm (1,227 mg/m<sup>3</sup>) izpostavljenosti formaldehidu povzroča izjemno neugodje. Visoke koncentracije lahko tudi sprožijo napade pri ljudeh z astmo. Višje koncentracije od 0,7 ppm (0,859 mg/m<sup>3</sup>) povečajo tveganje za razvoj rakavega obolenja na pljučih, žrelu in nosu (OSHA, 2011). Dokazano je ((OEHA, 1991), (WHO, 2006), (DermNet, 2012), (NIST, 2011), (ECA, 1989)), da formaldehid lahko povzroči raka pri živalih in je možen povzročitelj raka v nosni votlini in grlu pri ljudeh.

International Agency for Research on Cancer (IARC) uvršča formaldehid v skupino 1 (snov (pripravek) je rakotvorna za človeka;

okoliščina izpostavljenosti ima za posledico, da so izpostavljenosti rakotvorne za človeka) (IARC, 2004). V skladu z EU-Direktivo 2001/58/CEE je formaldehid uvrščen v skupino 3, kamor prištevamo snovi, za katere se domneva, da povzročajo nastanek raka. EPA prišteva formaldehid v skupino možnih kancerogenov (EPA, 2012b). Po Uredbi 1272/2008, Uredbi 67/548/EGS in Direktivi 1999/45/ES je formaldehid razvrščen v skupino T (strupeno), C (jedko), Carc. Cat.3 (Skupina 3 rakotvornih snovi). Povzročča draženje, jedkost, alergične reakcije, kašelj, zasoplost, omamljenost, omočnost, glavobol, zaspanost, vznemirjenost, krče, motne vida, slepoto, narkozo, komo (Varnostni list, 2011). Koncentracije formaldehida v zraku in možen vpliv na zdravje so prikazani v preglednici 4. Mejne koncentracije in možen vpliv na zdravje pa so prikazani v preglednici 5 ((OSHA, 2011), (NIOSH, 2010), (ACGIH, 2007)).

Koncentracija formaldehida v zraku (ppm, mg/m <sup>3</sup> )	Možen vpliv na zdravje
0–0,05 ppm (0–0,06135 mg/m <sup>3</sup> )	Ni podatkov o škodljivosti
0,05–1,05 ppm (0,06135–1,288 mg/m <sup>3</sup> )	Nevrofiziološki učinki
0,05–1,0 ppm (0,06135–1,227 mg/m <sup>3</sup> )	Prag zaznave z vohom
0,10–25 ppm (0,123–30,675 mg/m <sup>3</sup> )	Draženje zgornjih dihal
5,0–30 ppm (6,135–36,81 mg/m <sup>3</sup> )	Učinki na pljučih
5,0–100 ppm (6,135–122,699 mg/m <sup>3</sup> )	Pljučnica, edem pljuč
> 100 ppm (122,699 mg/m <sup>3</sup> )	Smrt

Preglednica 4 • Koncentracija formaldehida v zraku (ppm, mg/m<sup>3</sup>) in možen vpliv na zdravje ((Report on the Consensus Workshop on Formaldehyde, 1984), (Likar, 1998))

Predpisane in priporočene mejne vrednosti (preglednica 5) so bile določene na podlagi toksikoloških in epidemioloških raziskav v splošni populaciji. Zavedati pa se moramo, da imajo tudi nižje koncentracije od navedenih lahko negativen vpliv na zdravje,

predvsem v občutljivih skupinah (otroci, starejši, astmatiki, alergiki, kronični bolniki). Poleg tega pri definiranju mejnih vrednosti nista upoštevana možen medsebojni vpliv drugih onesnaževalcev v notranjem zraku in vpliv mikroklimatskih parametrov.

Referenca	Mejne vrednosti (ppm, mg/m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	HE-koda <sup>2</sup>	Možen vpliv na zdravje
OSHA <sup>3</sup> (OSHA, 2011), splošna, gradbena in ladjedelniška industrija, predpisana mejna vrednost	0,75 ppm (0,92 mg/m <sup>3</sup> ) TWA <sup>4</sup>	HE1	Rak (pljuča, žrelo, nos, usta)
		HE9	Bronhialna astma
	2 ppm (2,454 mg/m <sup>3</sup> ) STEL <sup>5</sup> 0,5 ppm (0,613 mg/m <sup>3</sup> ), raven ukrepanja	HE11	Pljučnica, pljučni edem
		HE14	Draženje dihal, oči in kože, alergijski kontaktni dermatitis
NIOSH <sup>6</sup> (NIOSH, 2010), priporočena mejna vrednost	0,016 ppm (0,0196 mg/m <sup>3</sup> ) TWA <sup>4</sup> 0,1 ppm (0,123 mg/m <sup>3</sup> ) CEIL <sup>7</sup> (15 min)	HE4	Glavobol, občutek pritiska v glavi, razbijanje srca, bruhanje, krči, koma
		HE9	Preobčutljivost dihal
		HE11	Bronhitis, pljučnica, pljučni edem in odpoved dihal
		HE14	Draženje dihal in oči, z izgubo vida, dermatitis
ACGIH <sup>8</sup> (ACGIH, 2007), priporočena mejna vrednost	0,3 ppm (0,368 mg/m <sup>3</sup> ) 0,37 mg/m <sup>3</sup> (0,3 ppm) CEIL <sup>7</sup>	HE15	Draženje oči in zgornjih dihal
CAL/OSHA PELs <sup>9, 10</sup> (OSHA, 2011), predpisana mejna vrednost	0,75 ppm (0,992 mg/m <sup>3</sup> ) TWA <sup>4</sup> 2 ppm (2,64 mg/m <sup>3</sup> ) STEL <sup>5</sup> 0,5 ppm (0,661 mg/m <sup>3</sup> ), raven ukrepanja		

<sup>1</sup> Pretvorba pri temperaturi 25 °C in tlaku 1 atm.

<sup>2</sup> HE-koda (HE Code, Health code) se uporablja za določitev resnosti možnih vplivov na zdravje v primeru prekoračitve mejnih vrednosti.

<sup>3</sup> OSHA – Occupational Safety and Health Administration.

<sup>4</sup> TLV – Threshold Limit Value, zgornja omejitev izpostavljenosti, izražena kot časovno uravnotežena koncentracija TWA, za 8-urni delovni dan in 40 urni delovni teden.

<sup>5</sup> STEL – Short-Term Exposure Limit, izpostavljenost kratkotrajni vrednosti, dovoljena koncentracija, ki je višja od mejne vrednosti in ji je delavec lahko izpostavljen le kratek čas. Traja lahko največ 15 min. in se sme ponoviti največ 4-krat dnevno, pri čemer mora biti čas med dvema izpostavitvama takšni koncentraciji daljši od ene ure. Dnevna povprečna mejna vrednost ne sme biti presežena.

<sup>6</sup> NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health.

<sup>7</sup> CEIL – Ceiling C ali TLV-C, najvišja mejna vrednost, koncentracija, ki ne sme biti presežena niti za kratek čas.

<sup>8</sup> ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienist.

<sup>9</sup> CAL/OSHA – Division of Occupational Safety and Health, California.

<sup>10</sup> PEL – Permissible Exposure Limit, dopustna meja izpostavljenosti za 8-urno časovno uravnoteženo koncentracijo (TWA).

Preglednica 5 • Mejne vrednosti koncentracij formaldehid in možen vpliv na zdravje ((OSHA, 2011), (NIOSH, 2010), (ACGIH, 2007))



Referenca	Preučevano notranje okolje, lokacija	Izmerjene koncentracija formaldehida (geometrično povprečje, razpon)	Primerjava z mejno vrednostjo <sup>1, 2</sup>
(Hodgson, 2000)	Stanovanja, ZDA	0,04 ppm (49 µg/m <sup>3</sup> )	Izmerjena koncentracija v študiji <u>presega</u> mejne vrednosti: 0,016 ppm (0,0196 mg/m <sup>3</sup> ) TWA (NIOSH); 0,027 ppm (0,0331 mg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (CARB); 0,0073 ppm (9 µg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (OEHHA); 0,04 ppm (0,049 mg/m <sup>3</sup> ) (14 dni) (ATSDR); 0,03 ppm (0,0368 mg/m <sup>3</sup> ) (15–364 dni) (ATSDR); 0,008 ppm (0,00982 mg/m <sup>3</sup> ) (365 dni in več) (ATSDR) (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010).
(Brown, 2002)	Stanovanja, Avstralija	2 dni–35 tednov <sup>3</sup> 0,0978–0,0375 ppm (120–46 µg/m <sup>3</sup> )	Izmerjena koncentracija v študiji <u>presega</u> mejne vrednosti: 0,081 ppm (0,1 mg/m <sup>3</sup> ) (30 min.) (WHO); 0,05 ppm (0,0614 mg/m <sup>3</sup> ) dolgotrajna izpostavljenost (Canadian); 0,016 ppm (0,0196 mg/m <sup>3</sup> ) TWA (NIOSH); 0,027 ppm (0,0331 mg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (CARB); 0,045 ppm (55 µg/m <sup>3</sup> ) (1 h) (OEHHA); 0,0073 ppm (9 µg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (OEHHA); 0,04 ppm (0,049 mg/m <sup>3</sup> ) (14 dni) (ATSDR); 0,03 ppm (0,0368 mg/m <sup>3</sup> ) 15–364 dni (ATSDR); 0,008 ppm (0,00982 mg/m <sup>3</sup> ) 365 dni in več (ATSDR); 0,05 ppm (0,0614 mg/m <sup>3</sup> ) (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010); 100 µg/m <sup>3</sup> (30 min) (Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, Ur. l. RS, št. 42/2002, 105/2002; CR 1752: 1998).
(Kirchner, 2003)	Stanovanja, Francija	0,0171 ppm (21 µg/m <sup>3</sup> ) v kuhinji	Izmerjena koncentracija v študiji <u>presega</u> mejne vrednosti: 0,016 ppm (0,0196 mg/m <sup>3</sup> ) TWA (NIOSH); 0,0073 ppm (9 µg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (OEHHA); 0,008 ppm (0,00982 mg/m <sup>3</sup> ) 365 dni in več (ATSDR) (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010).
		0,0188 ppm (23 µg/m <sup>3</sup> ) v spalnici	Izmerjena koncentracija v študiji <u>presega</u> mejne vrednosti: 0,016 ppm (0,0196 mg/m <sup>3</sup> ) TWA (NIOSH); 0,0073 ppm (9 µg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (OEHHA); 0,008 ppm (0,00982 mg/m <sup>3</sup> ) 365 dni in več (ATSDR) (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010).
		0,0016–0,0611 ppm (2–75 µg/m <sup>3</sup> )	Izmerjena koncentracija v študiji <u>presega</u> mejne vrednosti: 0,05 ppm (0,0614 mg/m <sup>3</sup> ) dolgotrajna izpostavljenost (Canadian); 0,016 ppm (0,0196 mg/m <sup>3</sup> ) TWA (NIOSH); 0,027 ppm (0,0331 mg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (CARB); 0,045 ppm (55 µg/m <sup>3</sup> ) (1 h) (OEHHA); 0,0073 ppm (9 µg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (OEHHA); 0,04 ppm (0,049 mg/m <sup>3</sup> ) (14 dni) (ATSDR); 0,03 ppm (0,0368 mg/m <sup>3</sup> ) 15–364 dni (ATSDR); 0,008 ppm (0,00982 mg/m <sup>3</sup> ) 365 dni in več (ATSDR); 0,05 ppm (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010).
(Sakai, 2004)	Stanovanja, Švedska	0,00676 ppm (8,3 µg/m <sup>3</sup> )	Izmerjena koncentracija v študiji <u>ne presega</u> mejnih vrednosti.
(Sakai, 2004)	Stanovanja, Japonska	0,0143 ppm (17,6 µg/m <sup>3</sup> )	Izmerjena koncentracija v študiji <u>presega</u> mejne vrednosti: 0,0073 ppm (9 µg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (OEHHA); 0,008 ppm (0,00982 mg/m <sup>3</sup> ) 365 dni in več (ATSDR) (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010).
(Raw, 2004)	Stanovanja, Anglija	0,0181 ppm (22,2 µg/m <sup>3</sup> )	Izmerjena koncentracija v študiji <u>presega</u> mejne vrednosti: 0,016 ppm (0,0196 mg/m <sup>3</sup> ) TWA (NIOSH); 0,0073 ppm (9 µg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (OEHHA); 0,008 ppm (0,00982 mg/m <sup>3</sup> ) 365 dni in več (ATSDR) (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010).
(ARB, 2004)	Stanovanja, Kalifornija	Montažne: 0,048 ppm (0,0589 mg/m <sup>3</sup> )	Izmerjena koncentracija v študiji <u>presega</u> mejne vrednosti: 0,016 ppm (0,0196 mg/m <sup>3</sup> ) TWA (NIOSH); 0,027 ppm (0,0331 mg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (CARB); 0,045 ppm (55 µg/m <sup>3</sup> ) (1 h) (OEHHA); 0,0073 ppm (9 µg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (OEHHA); 0,04 ppm (0,049 mg/m <sup>3</sup> ) (14 dni) (ATSDR); 0,03 ppm (0,0368 mg/m <sup>3</sup> ) 15–364 dni (ATSDR);

			0,008 ppm (0,00982 mg/m <sup>3</sup> ) 365 dni in več (ATSDR) (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010).
		Klasično zidane: 0,015 ppm (0,0184 mg/m <sup>3</sup> )	Izmerjena koncentracija v študiji <b>presega</b> mejne vrednosti: 0,0073 ppm (9 µg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (OEHHA); 0,008 ppm (0,00982 mg/m <sup>3</sup> ) 365 dni in več (ATSDR) (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010).
(ARB, 2004)	Javne stavbe, Kalifornija	Učilnice: 0,019 ppm (0,0233 mg/m <sup>3</sup> )	Izmerjena koncentracija v študiji <b>presega</b> mejne vrednosti: 0,016 ppm (0,0196 mg/m <sup>3</sup> ) TWA (NIOSH); 0,0073 ppm (9 µg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (OEHHA); 0,008 ppm (0,00982 mg/m <sup>3</sup> ) 365 dni in več (ATSDR) (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010).
		Poslovne: 0,04 ppm (0,0491 mg/m <sup>3</sup> )	Izmerjena koncentracija v študiji <b>presega</b> mejne vrednosti: 0,016 ppm (0,0196 mg/m <sup>3</sup> ) TWA (NIOSH); 0,027 ppm (0,0331 mg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (CARB); 0,0073 ppm (9 µg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (OEHHA); 0,03 ppm (0,0368 mg/m <sup>3</sup> ) 15–364 dni (ATSDR); 0,008 ppm (0,00982 mg/m <sup>3</sup> ) 365 dni in več (ATSDR) (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010).
(Ohura, 2006)	Stanovanja, Japonska	0,016 ppm (19 µg/m <sup>3</sup> )	Izmerjena koncentracija v študiji <b>presega</b> mejne vrednosti: 0,0073 ppm (9 µg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (OEHHA); 0,008 ppm (0,00982 mg/m <sup>3</sup> ) 365 dni in več (ATSDR) (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010).
(Gilbert, 2006)	Stanovanja, Kanada	0,0240 ppm (29,5 µg/m <sup>3</sup> )	Izmerjena koncentracija v študiji <b>presega</b> mejne vrednosti: 0,016 ppm (0,0196 mg/m <sup>3</sup> ) TWA (NIOSH); 0,0073 ppm (9 µg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (OEHHA); 0,008 ppm (0,00982 mg/m <sup>3</sup> ) 365 dni in več (ATSDR) (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010).
		0,0078–0,0734 ppm (9,6–90,0 µg/m <sup>3</sup> )	Izmerjena koncentracija v študiji <b>presega</b> mejne vrednosti: 0,05 ppm (0,0614 mg/m <sup>3</sup> ) dolgotrajna izpostavljenost (Canadian); 0,016 ppm (0,0196 mg/m <sup>3</sup> ) TWA (NIOSH); 0,1 ppm (0,123 mg/m <sup>3</sup> ) CEIL (15 min) (NIOSH); 0,027 ppm (0,0331 mg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (CARB); 0,045 ppm (55 µg/m <sup>3</sup> ) (1 h) (OEHHA); 0,0073 ppm (9 µg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (OEHHA); 0,04 ppm (0,049 mg/m <sup>3</sup> ) (14 dni) (ATSDR); 0,03 ppm (0,0368 mg/m <sup>3</sup> ) 15–364 dni (ATSDR); 0,008 ppm (0,00982 mg/m <sup>3</sup> ) 365 dni in več (ATSDR); 0,05 ppm (0,0614 mg/m <sup>3</sup> ) (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010); 100 µg/m <sup>3</sup> (30 min) (Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, Ur. l. RS, št. 42/2002, 105/2002; CR 1752: 1998).
(Park, 2006)	Stanovanja, Japonska	1–3 let: 0,109–0,0701 ppm (134–86 µg/m <sup>3</sup> )	Izmerjena koncentracija v študiji <b>presega</b> mejne vrednosti: 0,081 ppm (0,1 mg/m <sup>3</sup> ) (30 min.) (WHO); 0,1 ppm (0,123 mg/m <sup>3</sup> ) dolgotrajna izpostavljenost (Canadian); 0,05 ppm (0,0614 mg/m <sup>3</sup> ) dolgotrajna izpostavljenost (Canadian); 0,016 ppm (0,0196 mg/m <sup>3</sup> ) TWA (NIOSH); 0,1 ppm (0,123 mg/m <sup>3</sup> ) CEIL (15 min.) (NIOSH); 0,027 ppm (0,0331 mg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (CARB); 0,045 ppm (55 µg/m <sup>3</sup> ) (1 h) (OEHHA); 0,0073 ppm (9 µg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (OEHHA); 0,04 ppm (0,049 mg/m <sup>3</sup> ) (14 dni) (ATSDR); 0,03 ppm (0,0368 mg/m <sup>3</sup> ) 15–364 dni (ATSDR); 0,008 ppm (0,00982 mg/m <sup>3</sup> ) 365 dni in več (ATSDR); 0,05 ppm (0,0614 mg/m <sup>3</sup> ) (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010); 100 µg/m <sup>3</sup> (30 min) (Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, Ur. l. RS, št. 42/2002, 105/2002; CR 1752).
(Järnström, 2006)	Stanovanja, Finska	Maksimalna: 0,030 ppm (37 µg/m <sup>3</sup> )	Izmerjena koncentracija v študiji <b>presega</b> mejne vrednosti: 0,016 ppm (0,0196 mg/m <sup>3</sup> ) TWA (NIOSH); 0,027 ppm (0,0331 mg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (CARB); 0,0073 ppm (9 µg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (OEHHA); 0,03 ppm (0,0368 mg/m <sup>3</sup> ) 15–364 dni (ATSDR);

			0,008 ppm (0,00982 mg/m <sup>3</sup> ) 365 dni in več (ATSDR) (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010).
(Blondel, 2011)	Študentske sobe, Francija	0,0174 ppm (21,3 µg/m <sup>3</sup> ) 1–131 µg/m <sup>2</sup> h	Izmerjena koncentracija v študiji presega mejne vrednosti: 0,016 ppm (0,0196 mg/m <sup>3</sup> ) TWA (NIOSH); 0,0073 ppm (9 µg/m <sup>3</sup> ) (8 h) (OEHHA); 0,008 ppm (0,00982 mg/m <sup>3</sup> ) 365 dni in več (ATSDR) (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010).

<sup>1</sup> Vrednosti, izmerjene v študijah, smo primerjali s predpisanimi ali priporočenimi vrednostmi za notranje okolje ((Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, Ur. l. RS, št. 42/2002, 105/2002), (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010)). V primeru presejanja je navedeno, katere mejna vrednost je presežena po organizaciji/instituciji, ki jo določajo (WHO, Canadian, NIOSH, OEHHA, ATSDR, CARB itd.).

<sup>2</sup> Pretvorba pri temperaturi 25 °C in tlaku 1 atm.

<sup>3</sup> Čas merjenja od dveh dni do 35 tednov.

Preglednica 6 • Pregled izmerjenih koncentracij formaldehida (ppm, mg/m<sup>3</sup>) v obravnavanih študijah in primerjava z mejno vrednostjo ((OSHA, 2011), (NIOSH, 2010), (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010), (Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, Ur. l. RS, št. 42/2002, 105/2002), (Järnström, 2008), (Hodgson, 2000), (Brown, 2002), (Kirchner, 2003), (Sakai, 2004), (Raw, 2004), (ARB, 2004), (Ohura, 2006), (Park, 2006), (Järnström, 2006), (Blondel, 2010), (Böhm, 2012), (Gilbert, 2006))

V nadaljevanju so predstavljeni izsledki primerjave med izmerjenimi koncentracijami formaldehida iz obravnavanih študij ter predpisanimi in priporočenimi vrednostmi ((Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, Ur. l. RS, št. 42/2002, 105/2002), (Informativna Priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010)).

Primerjava je pokazala, da vse izmerjene koncentracije iz obravnavanih študij (preglednica 6) presežejo predpisane ali priporočene mejne vrednosti formaldehida ((Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, Ur. l. RS, št. 42/2002, 105/2002), (Informativna priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010)), razen izmerjena koncentracija formaldehida v študiji (Sakai, 2004), ki je bila opravljena na Švedskem.

Izmerjene koncentracije formaldehida v obravnavanih študijah so znašale od 0,0016 ppm (2 µg/m<sup>3</sup>) do 0,109 ppm (134 µg/

m<sup>3</sup>). Izmerjene koncentracije v štirih študijah od pregledanih enajstih študij so dosegle prag zaznave z vohom (0,05–1,0 ppm; 0,0661–1,32 mg/m<sup>3</sup>). Izmerjene koncentracije v eni študiji od pregledanih enajstih so dosegle vrednosti, ki pri izpostavljenih posameznikih lahko povzročijo draženje zgornjih dihalnih poti (0,10–25 ppm; 0,123–30,675 mg/m<sup>3</sup>) ((Report on the Consensus Workshop on Formaldehyde, 1984), (Likar, 1998)). Izmerjene koncentracije v dveh študijah od pregledanih enajstih so presegle koncentracijo 0,081 ppm (0,1 mg/m<sup>3</sup>, WHO), kar lahko izzove iritacijo v občutljivi skupini po 30 min. izpostavljenosti (WHO, 2010). Izmerjene koncentracije v osmih študijah pa so presegle koncentracijo 0,027 ppm (0,0331 mg/m<sup>3</sup>, 8 ur, CARB), kar lahko povzroči iritacijo v občutljivi skupini (Informativna priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010). Doseg koncentracij 0,05–

1,05 ppm (0,0661–1,39 mg/m<sup>3</sup>) ima lahko za posledico nevrofiziološke učinke ((Report on the Consensus Workshop on Formaldehyde, 1984), (Likar, 1998)). V primeru prekoračitve 0,05 ppm (0,0614 mg/m<sup>3</sup>) se pojavi tveganje za razvoj rakastih obolenj (Informativna priloga B, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.: 2010).

Obširen pregled študij, ki ga je opravil Salthammer s sodelavci (Salthammer, 2010), je dokazal, da znaša povprečna izpostavljenost v splošni populaciji v normalnih bivalnih razmerah od 20 µg/m<sup>3</sup> (0,0163 ppm) do 40 µg/m<sup>3</sup> (0,0326 ppm). Salthammer poudari, da se v novejših stavbah in ob sprememljenih mikroklimatskih razmerah pogosto pojavijo mnogo višje povprečne in maksimalne koncentracije, ki vodijo do večje izpostavljenosti in zdravstvenega tveganja, predvsem med občutljivimi posamezniki.

## 6 • SKLEP

S sistematičnim pregledom literature smo ugotovili, da konkretnih zahtev, ki bi se nanašale na dovoljene vsebnosti formaldehida v gradbenih proizvodih in opremi, v Sloveniji ni. Niti ni zahtev, ki bi pokrile vse faze življenjskega cikla proizvoda. Problem se pojavi pri gradbenih proizvodih, ki so že vgrajeni in iz katerih se formaldehid še vedno emitira. Zakonske zahteve za kvaliteto notranjega zraka omejujejo onesnaževalce, vendar vrednosti zaščitijo le splošno populacijo in ne občutljivih skupin, kot so otroci, astmatiki in drugi. Mejne vrednosti so podane večinoma za delovno okolje in ne za bivalno.

Pregled študij je pokazal, da formaldehid prištevamo med pomembne onesnaževalce notranjega zraka. Prisoten je v številnih notranjih okoljih, tako v javnih kot v stanovanjskih stavbah. Formaldehid je problematičen med celotnim življenjskim ciklom stavbe in gradbenih proizvodov. Višje koncentracije so se pojavile predvsem v povezavi z novejšimi stavbami, novejšimi gradbenimi proizvodi in opremo. Na stopnjo emisije so imeli vpliv tudi način ogrevanja in prezračevanja ter mikroklimatske razmere v stavbi. Izmerjene koncentracije formaldehida v obravnavanih študijah so presegle pred-

pisane ali priporočene mejne vrednosti, ki pri izpostavljenih posameznikih lahko povzročajo negativen vpliv na zdravje. Četudi katere izmed koncentracij v notranjih okoljih ne presežejo mejnih vrednosti, se lahko pojavi negativen vpliv na zdravje. Vpliv na zdravje je namreč odvisen od vrste snovi, časa izpostavljenosti, doze in individualnih značilnosti posameznika (Yassi, 2001). V notranjih okoljih so v sklopu populacije prisotne tudi občutljive skupine (otroci, starejši, astmatiki, alergiki, kronični bolniki, kadilci), pri katerih se negativen vpliv na zdravje lahko pojavi tudi pri nižjih koncentracijah od predpisanih ali priporočenih. V bivalnem okolju so časi izpostavljenosti zelo dolgi, možen je vpliv mikroklimatskih parametrov, pogosto je prisotnih več različnih onesnaževalcev, kate-

rih medsebojni vplivi so manj znani. Da se zaščititi tudi občutljive posameznike, je treba izpeljati celovite ukrepe in preprečiti emisije nevarnih snovi iz gradbenih proizvodov in opreme v okolje.

Za preprečevanje emisij formaldehida je treba izpeljati ukrepe na ravni zakonodaje, stavbe, materialov in sistemov. Vzpostaviti bi bilo treba zakonske zahteve, ki bi omejile ali v celoti prepovedale uporabo formal-

dehida v vseh gradbenih proizvodih in opremi. Poleg tega bi bilo treba vzpostaviti zahteve, ki se nanašajo na označevanje vsebnosti formaldehida v proizvodu. Proizvodnja mora biti usmerjena v zdravju in okolju prijazne alternative, kot so izdelki brez vsebnosti formaldehida (formaldehyde free), ki so že na tržišču. Nadzor nad izdelki naj bo stalen in naj vključuje vse faze življenjskega cikla.

Čeprav se splošna in strokovna javnost večinoma zavedata problemov, povezanih s formaldehidom, v praksi ni enotnih in sistemskih ukrepov. Nadzor na viru z izborom gradbenih proizvodov in opreme, ki so nizkoemisijski, je tudi glavni ukrep za doseganje dobre kvalitete notranjega zraka in učinkovitega zmanjševanja tveganja zaradi izpostavljenosti onesnaževalcem ((Raw, 2004), (Toumainien, 2001), (CR 1752: 1998)).

## 7 • LITERATURA

- ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienist, TLVs and BEIs based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices, Cincinnati, Ohio, 2007.
- ARB, Air Resources Board, Indoor air quality guideline, povzeto 4. 11. 2012 po: <http://www.arb.ca.gov/research/indoor/formaldGL08-04.pdf>, 2004.
- ANSI/ASHRAE Standard 62.1., Ventilation for acceptable indoor air quality, ASHRAE, 2010.
- APA, The Engineered Wood Association, Formaldehyde Emissions and Exemptions, povzeto 20. 5. 2013 po: [http://www.apawood.org/level\\_b.cfm?content=svr\\_env\\_form](http://www.apawood.org/level_b.cfm?content=svr_env_form), 2013.
- Blondel, A., Plaisance, H., Screening of formaldehyde indoor sources and quantification of their emission using a passive sampler, *Building and Environment*, l. 46, št. 6, str. 1284–1291, 2011.
- Böhm, M., Salem, M. Z. M., Srba, J., Formaldehyde emission monitoring from a variety of solid wood, plywood, blockboard and flooring products manufactured for building and furnishing materials, *Journal of Hazardous Materials*, l. 221–222, št. 68–79, 2012.
- Brown, S. K., Volatile organic compounds in new and established buildings in Melbourne, Australia, *Indoor Air*, l. 12, št. 1, str. 55–63, 2002.
- Chemical Encyclopedia, Formaldehyde, povzeto 4. 1. 2013 po: <http://www.healthychild.org/issues/chemical-pop/formaldehyde/>, 1997.
- CR 1752, Ventilation for buildings-Design Criteria for the indoor environment, Technical Committee CEN/TC 156, 1998.
- Dasgupta, P. K., Li, J., Zhang, G., Luke, W. T., McClenny, W.A., Stutz, J., Fried, A., Summertime ambient formaldehyde in five U.S. metropolitan areas: Nashville, Atlanta, Houston, Philadelphia, and Tampa, *Environ Sci Technol*, l. 39, št. 13, str. 4767–83, 2005.
- DermNet, Formaldehyde allergy, povzeto 20. 10. 2012 po: <http://dermnetnz.org/dermatitis/formaldehyde-allergy.html>, 2012.
- Directiva 2001/58/EC, COMMISSION DIRECTIVE 2001/58/EC of 27 July 2001 amending for the second time Directive 91/155/EEC defining and laying down the detailed arrangements for the system of specific information relating to dangerous preparations in implementation of Article 14 of European Parliament and Council Directive 1999/45/EC and relating to dangerous substances in implementation of Article 27 of Council Directive 67/548/EEC (safety data sheets), 2001.
- Direktiva 1999/45/ES Evropskega Parlamenta in Sveta z dne 31. maja 1999 o približevanju zakonov in drugih predpisov držav članic v zvezi z razvrščanjem, pakiranjem in označevanjem nevarnih pripravkov, 1999.
- Dovjak, M., Kristl, Ž., Health concerns of PVC materials in the built environment. *International Journal Of Sanitary Engineering Research*, l. 5, št. 1, str. 4–26, 2011.
- ECA, European Concerted Action Indoor Air Quality & Its Impact On Man, Cost Project 61 3. Environment And Quality Of Life, Report No. 4. August 1989, SBS, A Practical Guide- Commission Of The European Communities Directorate-General Information Market And Innovation Batiment Jean Monnet Luxembourg, 1989.
- EN 717-1, Wood-based Panels – Determination of Formaldehyde Release – Formaldehyde emission by the chamber method, 2004.
- EN 300, Oriented Strand Boards (OSB) – Definitions, classification and specifications, 1996.
- EPA, Environmental Protection Agency, An Introduction to Indoor Air Quality (IAQ) Formaldehyde, povzeto 20. 10. 2012 po: <http://www.epa.gov/iaq/formaldehyde.html>, 1997.
- EPA, Environmental Protection Agency, Formaldehyde, povzeto 20. 5. 2013 po: <http://www.epa.gov/iaq/formaldehyde.html>, 2012a.
- EPA, Environmental Protection Agency, Formaldehyde (CASRN 50-00-0). Povzeto 5. 6. 2013 po: <http://www.epa.gov/iris/subst/0419.htm>, 2012b.
- Gilbert, N. L., Gauvin, D., Guay, M., Heroux, M. E., Dupuis, G., Legris, M., Chan, C. C., Dietz, R. N., Levesque, B., Housing characteristics and indoor concentrations of nitrogen dioxide and formaldehyde in Quebec City, Canada, *Environmental Research*, l. 102, št.1, str. 1–8, 2006.



- Grajšek, U., Vpliv deleža skorje v iverni plošči na vsebnost prostega formaldehida, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta oddelek za lesarstvo, 2008.
- Hauptmann, M., Straif, K., Pesch, B., V Handbuch der Umweltmedizin, Wichmann H.E., Schlipkötter H.W., Füllgraff G., (ur), Landsberg, ECOMED-Verlag, I. 3, str. 1–28, 2006.
- Hendrick, D.J., Lane, D.J., Occupational formalin asthma, Brit. J. Industr. Med., št. 34, str. 11–18, 1977.
- Hodgson, A. T., Rudd, A. F., Beal, D., Chandra, S. Volatile organic compound concentration and emission rates in new manufactured and site-built houses, Indoor Air, I. 10, str. 178–192, 2000.
- Kirchner, S., Gauvin, S., Golliot, F., Ramalho, O. and Pennequin, A., French permanent survey on indoor air quality microenvironmental concentrations of volatile organic compounds in 90 French dwellings, Proceedings of Healthy Buildings 2003, Singapore, str. 349–354, 2003.
- IARC, International Agency for Reserach on Cancer, IARC Classifies Formaldehyde As Carcinogenic To Humans, povzeto 5. 6. 2013 po: <http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2004/pr153.html>, 2004.
- Interchem, povzeto 24. 3. 2013 po: <http://www.interchem.si/ponudba/prehrambena-industrija/formaldehid/>, 2010.
- Järnström, H., Saarela, K., Kalliokoski, P., Pasanen, A. L., Reference values for indoor air pollutant concentrations in new, residential buildings in Finland, Atmospheric Environment, I. 40, št. 37, str. 7178–7191, 2006.
- Järnström, H., Reference values for building material emissions and indoor air quality in residential buildings, VTT PUBLICATIONS 672, ESPOO 2007, Edita Prima Oy, Helsinki, 2008.
- Kerns, W. D., Pavkov, K. L., Donofrio, D. J., Gralla, E. J., Swenberg, J. A., Carcinogenicity of formaldehyde in rats and mice after long-term inhalation exposure, Cancer Res., I. 43, št. 9, str. 4382–92, 1983.
- Likar, M., Formaldehyd, v: Vodnik po onesnaževalcih okolja, Zbornica sanitarnih tehnikov in inženirjev Slovenije, str. 152–153, 1998.
- MSDS. 2012. Material Safety Data Sheet, Formaldehyde, povzeto 12. 1. 2013 po: <http://www.kendon.com.au/catalogue/MSDS/Industrial/Formaldehyde.htm>, 2012.
- Murphy, S. D., Davis, H. V., Zaratzian, V. L., Biochemical effects in rats from irritating air contaminants, Toxicology and Applied Pharmacology, I. 6, št. 5, str. 520–528, 1964.
- NIOSH, NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards, CDC, Atlanta, 2010.
- NIST, Formaldehyde, National Institute of Standards and Technology, povzeto 22. 10. 2012 po: <http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C50000&Units=SI>, 2011.
- Odločba Komisije 2009/894/ES z dne 30. novembra 2009 o določitvi okoljskih meril za podelitev znaka Skupnosti za okolje za leseno pohištvo, Uradni list Evropske unije L 320/23 z dne 5. decembra 2009.
- OEHHA, Office of Environmental Health Hazard Assessment, Formaldehyde (methanal; oxoymethane; oxomethylene; methylene oxide; formic aldehyde; methyl aldehyde), povzeto 20. 10. 2012 po: [http://oehha.ca.gov/air/chronic\\_rels/pdf50000.pdf](http://oehha.ca.gov/air/chronic_rels/pdf50000.pdf), 1991.
- Ohura, T., Amagai, T., Senga, Y. and Fusaya, M., Organic air pollutants inside and outside residences in Shimizu, Japan: Levels, sources and risks, Science of the Total Environment, I. 366, str. 485–499, 2006.
- OSHA, Occupational Safety and Health Administration, Formaldehyde, povzeto 28. 10 2012 po: [http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH\\_242600.html](http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_242600.html), 2011.
- Park, J. S., Ikeda, K., Variations of formaldehyde and VOC levels during 3 years in new and older homes, Indoor Air, I. 16, št. 2, str. 129–135, 2006.
- Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti kemičnim snovem pri delu, Ur. I. RS, št. 100/2001, 39/2005, 53/2007, 102/2010, 43/2011.
- Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, Ur. I. RS, št. 42/2002, 105/2002.
- Raw, G. J., Coward, S. K. D., Brown, V. M., Crump, D. R., Exposure to air pollutants in English homes, Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, I. 14, S85–S94, 2004.
- Report on the Consensus Workshop on Formaldehyde, Environ Health Perspect, I. 58, str. 323–381, 1984.
- Sakai, K., Norbäck, D., Mi Y., Shibata, E., Kamijima, M., Yamada, T., Takeuchi, Y., A comparison of indoor air pollutants in Japan and Sweden: formaldehyde, nitrogen dioxide, and chlorinated volatile organic compounds, Environmental Research, I. 94, št. 1, str. 75–85, 2004.
- Salthammer, T., Mentese, S., Marutzky R., Formaldehyde in the Indoor Environment, Chem Rev., I. 110, št. 4, str. 2536–2572, 2010.
- Silva, D. A. L., Mendes, N. C., Varanda, L. D., Ometto, A. R., Lahr, F.A.R., Life cycle assessment of urea formaldehyde resin: comparison by CML (2001), EDIP (1997) and USEtox (2008) methods for toxicological impact categories, Re-engineering Manufacturing for Sustainability: Proceedings of the 20th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Singapore 17–19 April, 2013 I, XVI str. 529–534, 2013.
- Tuomainen, M., Pasanen, A.L., Tuomainen, A., Liesvuori, J., Juvonen, P., Usefulness of the Finnish classification of indoor climate, construction and finishing materials: comparison of indoor climate between two new blocks of flats in Finland, Atmospheric Environment, I. 35, št. 2, str. 305–313, 2001.

- Uredba (EU) št. 305/2011 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 9. marca 2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in razveljavitvi Direktive Sveta 89/106/EGS, 2011.
- Uredba o zelenem javnem naročanju, ZeJN, Ur. l. RS, št. 102/2011.
- Uredba o ravnanju z odpadki, Ur. l. RS, št. 34/2008, 103/2011.
- Uredba (ES) št. 1272/2008, Uredba (ES) št. 1272/2008 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 16. decembra 2008 o razvrščanju, označevanju in pakiranju snovi ter zmesi, o spremembi in razveljavitvi direktiv 67/548/EGS in 1999/45/ES ter spremembi Uredbe (ES) št. 1907/2006.
- Uredba 67/548/EEC, Council Directive 67/548/EEC of 27 June 1967 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions relating to the classification, packaging and labelling of dangerous substances, 1967.
- Varnostni list za formaldehid, v skladu z Uredbo (ES) št. 1907/2006, verzija 21.11, MERCK, 2011.
- WHO, 2006. World Health Organisation, Volume 88 Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol. Povzeto 20. 10. 2012 po: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/volume88.pdf>, 2006.
- WHO, WHO Guidelines for Indoor Air 2010, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2010.
- Wolkoff, P., Nielsen, G. D., Non-cancer effects of formaldehyde and relevance for setting an indoor air guideline. *Environment International*, l. 36, št. 7, str. 788–799, 2010.
- Yassi, A., Kjellström, T., de Kok, T., Guidotti, T., *Basic Environmental Health*, Oxford, Oxford University Press, 2001.
- Zhang, Z., Luo, X., Wang, X., Q. K., Zhao, R., Influence of temperature on formaldehyde emission parameters of dry building materials, *Atmospheric Environment*, l. 41, št. 15, str. 3203–3216, 2007.
- 24 CFR PART 3280 – MANUFACTURED HOME CONSTRUCTION AND SAFETY STANDARDS, US Department of housing and urban development.