

UČINKI RAKOTVORNIH KEMIKALIJ V ZRAKU NA ZDRAVJE

Andreja Kukec, Anja Jutraž, Zala Jan, An Galičič

Povzetek. Človek je v okoljih svojega bivanja in delovanja izpostavljen številnim onesnaževalom različnih koncentracij v zraku, med katerimi so tudi onesnaževala z rakotvornim učinkom. Po oceni Svetovne zdravstvene organizacije 6 % prezgodaj umrlih zaradi izpostavljenosti onesnaženemu zraku umre zaradi pljučnega raka. Med rakotvorne snovi za ljudi v zunanjem zraku uvrščamo trdne delce z aerodinamskim premerom do 10 μm in onesnaženi zunanji zrak kot mešanico različnih onesnaževal. Z vidika rakotvornega učinka na zdravje so v zunanjem zraku pomemben nevarnostni dejavnik tudi težke kovine, vezane na trdne delce. V notranjem zraku so kot rakotvorno onesnaževalo za ljudi opredeljeni benzen, policiklični aromatski ogljikovodiki in radon. Danes je velika grožnja tudi rakotvorni formaldehid, ki je zaradi svojega antimikrobnega delovanja zelo uporabljan.

UVOD

Zdrava odrasla oseba vdihne povprečno od 10 do 20 m^3 zraka dnevno – odvisno od konstitucije in telesne aktivnosti. V primerjavi s količino dnevnega vnosa tekočine in hrane v telo je ta količina relativno velika [1]. Človek v času svojega življenja biva in deluje v različnih okoljih, kot so bivalno in delovno okolje, javni prostori in drugi zaprti prostori, prevozna sredstva ter na prostem. V teh okoljih so lahko za zdravje različni nevarnostni dejavniki, med katere uvrščamo tudi onesnaženost zraka, vključno z onesnaževali notranjega in zunanjega zraka, ki so rakotvorna za ljudi [2].

Onesnaževala v zraku, tako v zaprtih prostorih kot na prostem, so lahko nevarna za zdravje ljudi že pri nizkih koncentracijah. Onesnažen zrak dokazano zveča umrljivost in zbolewnost po vsem svetu [3]. Zaradi onesnaženega zraka je leta 2012 umrlo 7 milijonov ljudi, od tega 6 % zaradi pljučnega raka [4]. Onesnaževala v zraku – zaradi mesta vstopa in poti širjenja v telesu – najbolj škodijo dihalom in obtočilom. Mesto delovanja plinastih onesnaževal oziroma globina prodiranja plinastih onesnaževal vzdolž dihalne poti je odvisno predvsem od topnosti plinastega onesnaževala in njegovih reakcijskih lastnosti. Globina prodiranja trdnih delcev vzdolž dihalne poti pa je odvisna od velikosti delcev [5].

V sodobnem času ljudje večino časa preživimo v zaprtih prostorih, a je kljub temu pomembno poznavanje razmerja med izpostavljenostjo zunanjemu in notranjemu zraku. Trije ključni elementi glede izpostavljenosti zunanjemu oziroma notranjemu zraku so prostorska razlika v koncentracijah onesnaževal v zunanjem zraku, prehajanje onesnaževal, nastalih v zunanjem okolju, v notranje okolje in viri onesnaževal zraka v zaprtih prostorih. Na razmerje koncentracij onesnaževal v zunanjem in notranjem zraku vplivajo

številni, tudi geografsko pogojeni dejavniki, kot tudi vrsta goriva za ogrevanje stanovanja in kuhanje [6].

Namen prispevka je na podlagi pregleda dokumentov Svetovne zdravstvene organizacije (SZO) in Mednarodne agencije za raziskovanje raka (IARC) ter epidemioloških raziskav opredeliti učinke rakotvornih kemikalij v zunanjem in notranjem zraku na zdravje.

ZUNANJI ZRAK

V zunanjem zraku se v epidemioloških raziskavah najpogosteje raziskuje vpliv trdnih delcev z aerodinamskim premerom do 10 μm (PM10), dušikovega dioksida (NO_2), ozona (O_3), ogljikovega monoksida (CO) in žveplovega dioksida (SO_2) na zdravje [7, 8]. Poleg dokazanega vpliva teh onesnaževal na zdravje ljudi (SZO, 2006), se navedena onesnaževala tudi spremlja na stalnih merilnih mestih [9]. V Sloveniji in Evropski uniji se v manjšem obsegu na stalnih merilnih mestih spremljajo tudi koncentracije težkih kovin – kadmija (Cd), svınca (Pb), arzena (As) in niklja (Ni) – ter benzena (C_6H_6) in benzo(a)pirena [9, 10].

Pri razvrstitvi snovi v okolju je IARC v skupino 1, kar pomeni rakotvorno snov za ljudi, razvrstil onesnažen zunanji zrak kot mešanico različnih onesnaževal [11]. Med najpogosteje raziskovanimi in spremljanimi posameznimi onesnaževali v zunanjem zraku so tudi dokazano rakotvorna onesnaževala. Trdne delci z aerodinamskim premerom do 10 μm (PM10) je IARC razvrstil med rakotvorne snovi za ljudi (skupina 1). Dokazano je, da PM10 povzroča raka na pljučih, obstaja pa tudi povezanost med onesnaženim zrakom in pojavljanjem raka na mehurju [11]. Hamra in sodelavci [12] so v metaanalizi ocenili, da se relativno tveganje za pljučnega raka zveča za 1,08-krat in za adenokarcinom za 1,29-krat ob zvišanju koncentracij PM10 za 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Izpusti delcev PM10 so predvsem rezultat razširjenega ogrevanja gospodinjstev z biomaso v zastarelih kurilnih napravah, hkrati pa pozimi zunanji zrak onesnažujejo tudi male kurilne naprave, ki prispevajo dve tretjini skupnih izpustov trdnih delcev. Velik del k onesnaženosti zunanjega zraka pripomorejo onesnaževala iz prometa, zaradi katerih se težave pojavljajo predvsem v velikih mestnih središčih. K visokim vrednostim trdnih delcev v zunanjem zraku pripomorejo tudi neugodne vremenske razmere v slabo prevetrenih dolinah in kotlinah celinskega dela Slovenije. Zaradi slabe prevetrenosti so pogoste temperaturne inverzije, ki povzročijo, da že manjša gostota izpustov povzroči čezmerno onesnaženost zunanjega zraka [9, 10].

V skupino rakotvornih snovi za ljudi (skupina 1) so uvrščeni tudi izpušni plini dizelskega motorja, ki dokazano povzročajo raka pljuč in mehurja pri izpostavljenih ljudeh [13].

Ostalih najpogostejših onesnaževal zunanjega zraka, O₃, NO₂ in SO₂, IARC ni razvrstil v skupine glede na rakotvornost za ljudi [14]. Vpliv omenjenih onesnaževal v zunanjem zraku na pojav kancerogenih sprememb pri ljudeh so nakazali v nekaterih epidemioloških raziskavah.

Tudi rakotvornost NO₂ pri ljudeh so nakazali v nekaterih epidemioloških raziskavah [6, 15]. Z raziskavami, v katerih so opazovali odrasle ljudi z rakom pljuč in otroke, ki so zboleli za levkemijo in tumorji centralnega živčnega sistema, so nakazali povezanost med rakavimi boleznimi in izpostavljenostjo izpušnim plinom iz prometa. Avtorji na podlagi rezultatov niso mogli potrditi, da je NO₂ povzročitelj rakavih bolezni pri opazovani populaciji. Raziskave nakazujejo, da naj bi obstajala povezanost med izpostavljenostjo nosečnic NO₂ in večjim tveganjem za pojavljanje limfoma pri njihovih otrocih [6]. Yang in sodelavci [15] ocenjujejo, da je dolgotrajna izpostavljenost NO₂ povezana z večjo grožnjo pljučnega raka. Avtorji raziskave so ocenili, da se tveganje za umrljivost ali zbolewnost za pljučnim rakom zveča za 13,17-krat ob povišanju vrednosti NO₂ v zunanjem zraku za 10 ppb [15].

Rakotvoren vpliv SO₂ na ljudi so nakazali v obsežni ameriški kohortni raziskavi, v kateri so spremljali več kot 6.000 nekadilcev. Rezultati so pokazali povezanost med izpostavljenostjo SO₂ in pojavom pljučnega raka tako pri moških kot tudi pri ženskah. Čeprav se je pljučni rak pojavil pri relativno majhnem številu opazovanih oseb, raziskava vseeno nakazuje pomembno povezanost med opazovanima pojavoma [6]. Ravno tako Yang in sodelavci [15] ocenjujejo, da je dolgotrajna izpostavljenost SO₂ povezana s z večjo grožnjo pljučnega raka. Ocenili so, da se tveganje za umrljivost ali zbolewnost za pljučnim rakom zveča za 14,76-krat ob povišanju koncentracij SO₂ v zunanjem zraku za 10 ppb. V preteklosti so bili najpomembnejši viri SO₂ energetika, industrija in kurjenje premoga v individualnih kuriščih [9, 10]. V Sloveniji so koncentracije SO₂ že nekaj let pod spodnjo ocenjevalno mejo, kar je bilo doseženo z različnimi okoljskimi ukrepi [9].

Potencialno rakotvorni vpliv O₃ na ljudi so raziskovali v 15 let trajajoči raziskavi, ki je proučevala vpliv izpostavljenosti O₃ na pojavljanje rakavih bolezni pljuč pri moških [6]. Izpostavljenost O₃ je v Sloveniji odvisna predvsem od čezmejne onesnaženosti zunanjega zraka oziroma širjenja O₃ na dolge razdalje. K onesnaženosti zunanjega zraka z O₃ vpliva tudi promet, saj so NO_x predhodniki O₃. Onesnaženost zunanjega zraka je v Sloveniji največja na Primorskem, ki je pod močnim vplivom čezmejnega transporta O₃ in njegovih predhodnikov, klimatski pogoji pa so zaradi visokih temperatur in več sončnega obsevanja ugodni za tvorbo O₃ [9, 10].

Težke kovine v zunanjem zraku

Težke kovine, ki se nahajajo v zunanjem zraku na območju Slovenije, so predvsem arzen (As), kadmij (Cd), svinec (Pb) in nikelj (Ni).

Arzen je kot rakotvorno onesnaževalo zunanjega zraka poznan od leta 1960 [16]. Izpostavljenost anorganskemu arzenu zveča tveganje za pojav rakavih bolezni zlasti pri ljudeh, poklicno izpostavljenim večjim koncentracijam arzena, ki ga vdihavajo, ali pa arzen prihaja v stik z njihovo kožo. Takšna delovna mesta so v topilnicah, tovarnah pesticidov in v vinogradništvu. Najpogosteje delavce ogrožajo pljučni in kožni rak ter rak mehurja in jeter. Kadilci imajo ob hkratni izpostavljenosti arzenu večje tveganje, da bodo zboleli za pljučnim rakom [17, 18].

Vpliv arzena na zdravje je odvisen predvsem od njegove kemijske sestave, saj je anorgansko vezani arzen bolj toksičen za zdravje od organsko vezanega. Arzen v zunanjem zraku je posledica naravnih in antropogenih virov, zlasti izpustov iz topilnic, uporabe pesticidov in izgorevanja goriv [9].

Kadmij. Pogosteje se pljučni rak pojavlja pri delavcih, ki so zaposleni v tovarnah, kjer izdelujejo kadmijeve baterije, topilnicah kadmija, pri izdelavi zlitin bakra in kadmija ter v procesih recikliranja izdelkov s kadmijem [17, 18].

Proizvodnja barvnih kovin, železa, jekla in cementa, izgorevanje fosilnih goriv v točkovnih virih in v prometu ter sežiganje odpadkov so najpomembnejši izpusti kadmija. Velik del izpusta kadmija v zunanji zrak predstavlja tudi gnojenje z mineralnimi in organskimi gnojili [9].

Svinec. V Evropi se je po izločitvi svinca iz prometa po letu 2001 močno zmanjšala onesnaženost s to težko kovino, saj je postala obvezna uporaba katalizatorjev v novih avtomobilih, kar je močno zmanjšalo uporabo osvinčenega bencina [9].

Nikelj. Zaposleni v rudnikih in topilnicah niklja ter zlitin z visoko vsebnostjo niklja so bolj ogroženi s pljučnim rakom, rakom nosne votline in obnosnih sinusov. Ni znanstveno dokazano, da so vse spojine niklja rakotvorne, saj je glede na razpoložljive dokaze nemogoče razbrati, katere nikljeve soli, ki so jim delavci izpostavljeni, večajo tveganje [17, 18]. Raaschou-Nielsen in sodelavci [19] so ocenili, da se razmerje ogroženosti za pljučnega raka zveča za 1,59, če koncentracije niklja, vezanega na PM10, narastejo za 2 ng/m³, standardizirano na spol, del leta, kajenje (intenzivnost, trajanje, izpostavljenost pasivnemu kajenju), delovno mesto, uživanje sadja, poklic,

stopnjo izobrazbe, status zaposlitve in socialnoekonomski status ter območje stalnega prebivališča.

Nikelj se nahaja v zemlji, vodi in ekosistemih. Pomembni naravni viri so povezani predvsem z vulkanskimi izbruhi in resuspenzijo zemlje. Zgorevanje naftnih derivatov je najpomembnejši antropogeni vir niklja, izpusti pa nastajajo tudi pri pridobivanju niklja in jekla, sežiganju odpadkov ter odpadnega blata, v elektronski industriji in pri zgorevanju premoga [9].

NOTRANJI ZRAK

Po oceni SZO je leta 2012 zaradi pljučnega raka kot posledico onesnaženega notranjega zraka prežgodaj umrlo 272.000 ljudi, kar je 6 % vseh smrti zaradi onesnaženega notranjega zraka [20]. Najpogostejša onesnaževala notranjega zraka, ki škodujejo zdravju ljudi, so benzen (C_6H_6), ogljikov monoksid (CO), formaldehid (CH_2O), naftalen ($C_{10}H_8$), dušikov dioksid (NO_2), policiklični aromatski ogljikovodiki (PAO), radon (Rn), trikloretilen (C_2HCl_3) in tetrakloretilen (C_2Cl_4) [21].

IARC v skupino rakotvornih snovi za ljudi (skupina 1) izmed onesnaževal notranjega zraka uvršča benzen, PAO in radon [14].

Benzen. V epidemioloških raziskavah je bilo dokazano, da koncentracije benzena, ki so pogoste v notranjem zraku, povzročajo kromosomske anomalije, ki lahko vodijo do nastanka levkemije [21]. Glavni viri benzena v stavbah so izhlapevanje le-tega iz gradbenih materialov in pohištva, cigaretni dim, čiščenje, barvanje ter uporaba repelentov, tiskalnikov in fotokopirnih naprav. Benzen v zgradbe prihaja tudi z vstopom iz zunanjega zraka, kjer je njegov največji vir promet, koncentracija pa je odvisna od letnega časa in vremenskih pogojev [21].

Policiklični aromatski ogljikovodiki (PAO) dokazano povzročajo pljučnega raka pri ljudeh, kaže pa se tudi močna povezanost med izpostavljenostjo PAO in rakom mehurja ter dojke. Večji del koncentracij PAO v zgradbah povzroči prehajanje le-teh iz zunanjega zraka. Notranji viri PAO so cigaretni dim, kuhanje, ogrevanje s kurilno pečjo in odprtimi kamini ter gorenje sveč [21].

Radon. Radon in njegovi razpadni produkti dokazano povzročajo pljučnega raka, zelo verjetno pa tudi levkemijo in raka zgornjih dihalnih poti [21]. Tveganje zboljenja in smrti zaradi pljučnega raka pri povišanih koncentracijah radona in njegovih razpadnih produktov je večje pri kadilcih kot nekadilcih [22–24]. Največji izvor radona v notranjem okolju je zemljišče

pod stavbo, manj pa gradbeni material, voda in plin za ogrevanje. Radon se nahaja v zaprtih prostorih, v katere prodira skozi slabo izolirana tla in vodovodna ter druga omrežja v stavbi, ki so v stiku z zemljino [25]. Vzrok povišanih koncentracij radona je v največji meri kamninska podlaga [26], zanemarljivi pa niso niti letni čas [27], nadstropje v stavbi [28–31] in tesnjenje oken [31].

Trikloroetilen in tetrakloroetilen sta verjetno rakotvorni snovi za ljudi (IARC, skupina 2A) v notranjem zraku [14]. Za trikloroetilen je dovolj znanstvenih dokazov, da povzroča raka na testisah, ledvicah, jetrih, žolčevodu in limfom pri živalih. Ni pa dovolj dokazov o povezanosti med izpostavljenostjo trikloroetilenom in pojavom rakavih bolezni pri ljudeh. Trikloroetilen nastaja pri delovnem procesu v tekstilnih čistilnicah in pri uporabi kartuš ter barv. Uporaba onesnažene vode s trikloroetilenom v gospodinjstvu lahko povzroči prehajanje le-tega v notranji zrak v obliki aerosolov med prhanjem in pomivanjem posode [21]. Izpostavljenost tetrakloroetilenom je pri živalih povzročila raka požiralnika in materničnega vratu ter limfom. Tetrakloroetilen lahko prehaja v notranji zrak z aerosoli, ki nastanejo med prhanjem in pomivanjem posode z vodo, v katero prehaja tetrakloroetilen iz cevi iz umetnih mas. Višjim koncentracijam tetrakloroetilena so izpostavljeni zaposleni v tekstilnih čistilnicah. Vzrok povišane koncentracije tetrakloroetilena v notranjem zraku so lahko tudi oblačila, ki so bila čiščena v čistilnici [21].

Naftalen. Naftalen je po IARC razporejen kot snov, ki je lahko rakotvorna za ljudi (skupina 2B), ker je dovolj dokazov, da je rakotvoren za živali [14]. Poskusne živali so zbolele za rakom dihalnih poti. Naftalen vstopa v stavbo z zunanjim zrakom zaradi nenadzorovanih izpustov industrije in izpušnih plinov motornih vozil, sicer pa je v notranjem zraku predvsem posledica kajenja in ogrevanja na kerozin [21].

IARC uvršča **formaldehid** med rakotvorne snovi za ljudi (skupina 1) [14]. V poskusih na živalih je bilo namreč zbranih dovolj znanstvenih dokazov, da formaldehid lahko povzroča raka nazofarinksa pri ljudeh. Da povzroča tudi raka v obnosnih sinusih, pa še ni dokazano. Novejše ugotovitve kažejo tudi na povezanost med izpostavljenostjo formaldehidu v notranjem zraku in pojavom levkemije pri ljudeh. Genotoksičnost formaldehida je bila dokazana z več poskusi *in vitro* pa tudi pri izpostavljenosti ljudi in poskusnih živali. Epidemiološke raziskave kažejo na genotoksičnost in citotoksičnost formaldehida pri izpostavljenih delavcih. Izpostavljenost formaldehidu na delovnem mestu pomembno prispeva k pojavu raka nosne sluznice, lahko pa tudi rakavih bolezni drugih delov dihalnih poti. Poskusi na živalih nakazujejo, da na organih, ki ne prihajajo v neposredni stik s formaldehidom, ni rakavih

sprememb, saj je formaldehid tako reaktiven, da se hitro lokalno presnavlja [21]. V poročilu o oceni tveganja za zdravje pri izpostavljenosti formaldehidu v prenovljenih stavbah so bili predstavljeni različni akutni in kronični škodljivi učinki na zdravje, med njimi tudi potencialni rakotvorni učinki (pljučni rak in levkemija pri otrocih) [32].

Raziskave kažejo, da izpostavljenost formaldehidu do $2,4 \text{ mg/m}^3$ ni prispevala k zvišanju koncentracije formaldehida v krvi, izpostavljenost koncentraciji do $0,5 \text{ mg/m}^3$ pa ni zvišala koncentracije formaldehida v urinu. Ugotovljeno je bilo tudi, da je priporočljiva kratkotrajna (30-minutna) izpostavljenost formaldehidu $0,1 \text{ mg/m}^3$, saj pri večini ljudi ta koncentracija še ne povzroča draženja oči in dihalnih poti [21]. Tveganje za nastanek negativnih zdravstvenih učinkov ob izpostavljenosti formaldehidu se lahko zniža ob uporabi gradbenih materialov in pohištva z majhno emisijo formaldehida. Prav tako učinkovito prezračevanje zaprtih prostorov lahko pripomore k zmanjšanju koncentracij formaldehida v notranjem zraku [21].

Formaldehid se nahaja povsod v zunanem zraku, saj nastaja pri gorenju biomase, zlasti v gozdnih požarih. Nastaja tudi pri razkrajanju biomase in pri vulkanskih izbruhih. Glavni antropogeni viri onesnaženja zunanjega zraka so industrijski izpusti formaldehida in emisije iz prometa. Formaldehid nastaja tudi v proizvodnji smole, ki ima antimikrobne učinke in je zato uporabna za zaščito in ohranjanje raznih izdelkov. Prav ti izdelki so največji vir onesnaženja notranjega zraka s formaldehidom, v katerega prehaja z izhlapevanjem. Del onesnaženja notranjega zraka s formaldehidom prispeva tudi cigaretni dim v zaprtih prostorih, kuhanje, ogrevanje in prižiganje sveč ter kadil [21].

ZAKLJUČEK

Tako v zunanem kot notranjem zraku je več za ljudi rakotvornih snovi. V zunanem zraku so predvsem poznani delci PM10 in zunanji zrak sam kot mešanica vrste onesnaževal. V notranjem zraku so kot rakotvorno onesnaževalo za ljudi opredeljeni benzen, policiklični aromatski ogljikovodiki in radon. Za nekatera ostala najpogostejša onesnaževala zunanjega in notranjega zraka obstajajo posamezne ocene, ki nakazujejo njihov rakotvorni učinek na ljudi, a niso dovolj močne, da bi bilo mogoče te snovi razglasiti kot rakotvorne za ljudi. Ker pa so verjetno ali lahko rakotvorne za ljudi, jih je treba obravnavati z vso pozornostjo in z zavedanjem njihovega potencialnega rakotvornega učinka. Z namenom preventivnega ravnanja in oblikovanja ter izvajanja javnozdravstvenih ukrepov je ključnega pomena poznavanje virov onesnaževal z rakotvornim učinkom ter njihov učinek na zdravje.

LITERATURA

1. Yassi A, Kjellstrom T, de Kok T, Guidotti TL. Basic environmental health. New York: Oxford University Press, 2001: 180–208.
2. Mednarodna agencija za raziskovanje raka (IARC). Air pollution and cancer. 2013. Pridobljeno 8. 8. 2016 s spletne strani https://www.iarc.fr/en/publications/books/sp_161/AirPollutionandCancer161.pdf.
3. Svetovna zdravstvena organizacija (SZO). WHO expert consultation: Available evidence for the future update of the WHO global air quality guidelines (AQGs). Meeting report Bonn, Germany 29 September–1 October 2015.
4. Svetovna zdravstvena organizacija (SZO). 7 million premature deaths annually linked to air pollution. 2014. Pridobljeno 12. 8. 2016 s spletne strani <http://www.who.int/media/centre/news/releases/2014/air-pollution/en/>.
5. Künzli N, Perez L, Rapp R. Air quality and health. Lausanne: European respiratory society, 2010.
6. Svetovna zdravstvena organizacija (SZO). Air quality guidelines. Global update 2005. Kopenhagen: Urad Svetovne zdravstvene organizacije za Evropo, 2006.
7. Künzli N, Kaiser R, Medina S, Studnicka M, Chanel O, Filliger P, et al. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a european assessment. *Lancet* 2000; 356 (9232): 795–801.
8. Galičič A, Zaletel-Kragelj L, Božnar MZ, Grašič B, Mlakar P, Kukec A. Methodology for defining the effects of outdoor air pollution on children's health at the population level – a systematic review. *IJSER* 2015; 9 (1): 35–49.
9. Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2014. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje, 2015.
10. Evropska agencija za okolje (EAO). Environment and human health. Luksemburg: Založniška zbornica Evropske unije, 2015.
11. Mednarodna agencija za raziskovanje raka (IARC). Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths. Press release No 221. 2013. Pridobljeno 1. 3. 2016 s spletne strani http://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/pr221_E.pdf.
12. Hamra GB, Guha N, Cohen A, Laden F, Raaschou-Nielsen O, Samet JM, et al. Outdoor particulate matter exposure and lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *Environ Health Perspect* 2014; 122(9): 906–11.
13. Mednarodna agencija za raziskovanje raka (IARC). Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes. Lyon: IARC, 2013.
14. Mednarodna agencija za raziskovanje raka (IARC). List of classifications. Volumes 1–116. Pridobljeno 28. 7. 2016 s spletne strani http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest_classif.php.
15. Yang WS, Zhao H, Wang X, Deng Q, Fan WY, Wang L. An evidence-based assessment for the association between long-term exposure to outdoor air pollution and the risk of lung cancer. *Eur J Cancer Prev* 2016; 25 (3): 163–72.
16. Mednarodna agencija za raziskovanje raka (IARC). Overall evaluations of carcinogenicity: An updating of IARC monographs. Volumes 1 to 42. IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans, 1987; Suppl 7.
17. Boffetta P. Epidemiology of environmental and occupational cancer. *Oncogene* 2004; 23 (38): 6392–403.
18. Hashim D, Boffetta P. Occupational and environmental exposures and cancers in developing countries. *Ann Glob Health* 2014; 80 (5): 393–411.

19. Raaschou-Nielsen O, Beelen R, Wang M, Hoek G, Andersen ZJ, Hoffmann B, et al. Particulate matter air pollution components and risk for lung cancer. *Environ Int* 2016; 87: 66–73.
20. Svetovna zdravstvena organizacija (SZO). Reducing global health risks through mitigation of short-lived climate pollutants. Scoping report for policy-makers. Švica: Svetovna zdravstvena organizacija, 2015.
21. Svetovna zdravstvena organizacija (SZO). WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Kopenhagen: Urad Svetovne zdravstvene organizacije za Evropo, 2010.
22. Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F, et al. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ* 2004; 330 (7485): 223.
23. Kreuzer M, McLaughlin J. Radon. In: WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Danska, 2010: 347–69.
24. US Environmental protection agency (EPA). A citizen's guide to radon. The guide to protecting yourself and your family from radon. Indoor environments division, 2012.
25. Gray A, Read S, McGale P, Darby S. Lung cancer deaths from indoor radon and the cost effectiveness and potential of policies to reduce them. *BMJ* 2009; 338: a3110.
26. Vaupotič J, Kobal I, Križman M. Background outdoor radon levels in Slovenia. *Nukleonika* 2010; 55 (4): 579–82.
27. Vaupotič J, Kobal I, Planinič J. Long-term radon investigation in four selected kindergartens in different geological and climate regions of Slovenia. *J Radioanal Nucl Chem* 1998; 238 (1–2): 61–6.
28. Zhu HC, Charlet JM, Tondeur F. Geological controls to the indoor radon distribution in southern Belgium. *Sci Total Environ* 1998; 220: 195–214.
29. Gallelli G, Panattono D, Lai P, Orlando P, Risso D. Relevance of main factors affecting radon concentration in multi-storey buildings in Liguria (Northern Italy). *J Environ Radioact* 1998; 39: 117–28.
30. Popović D, Todorović D. Radon indoor concentrations and activity of radionuclides in building materials in Serbia. *Physics, Chemistry Technol* 2006; 4: 11–20.
31. Leban M. Vpliv okolja in bivalnih navad na raven radona v domovih. Diplomsko delo. Nova Gorica: Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju, 2013.
32. Huang L, Mo J, Sundell J, Fan Z, Zhang Y. Health risk assessment of inhalation exposure to formaldehyde and benzene in newly remodeled buildings, Beijing. *PLoS One* 2013; 8 (11).