

# Vpliv radona na pojavljanje pljučnega raka v Sloveniji

## Impact of radon on lung cancer incidence in Slovenia

Birk Mojca<sup>1</sup>, Žagar Tina<sup>1</sup>, Tomšič Sonja<sup>1</sup>, Lokar Katarina<sup>1</sup>, Mihor Ana<sup>1</sup>, Bric Nika<sup>1</sup>, Mlakar Miran<sup>1</sup>, Zadnik Vesna<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Onkološki inštitut Ljubljana, Epidemiologija in register raka, Zaloška cesta 2, 1000 Ljubljana

Korespondenca: dr. Tina Žagar, univ. dipl. fiz.

E-mail: tzagar@onko-i.si

Poslano / Received: 3.10.2022

Sprejeto / Accepted: 18.10.2022

doi:10.25670/oi2022-008on

### IZVLEČEK

**Izhodišče:** Svetovna zdravstvena organizacija je opredelila radon v bivalnem okolju kot enega izmed 19 okoljskih karcinogenov. Radon je poleg tobačnega dima eden izmed najpomembnejših dejavnikov tveganja za razvoj pljučnega raka ter predstavlja približno 10-odstotni delež vseh primerov pljučnega raka. V naši raziskavi smo prvič preučili, kako radon vpliva na pojavljanje pljučnega raka v Sloveniji.

**Metode:** Za 40-letno obdobje od leta 1978 do leta 2017 so bili na ravni naselij povezani trije viri podatkov: zboleli za pljučnim rakom (Register raka Republike Slovenije), prebivalci (Statistični urad Republike Slovenije) in Radonski zemljevid Slovenije. V modele prostorskega glajenja z Bayesovimi hierarhičnimi modeli je kot pojasnjevalna spremenljivka vključen radon v bivalnem okolju in izračunan pripisljivi delež raka. Relativno tveganje je ocenjeno s standardiziranim količnikom incidence.

**Rezultati:** V Sloveniji za pljučnim rakom zaradi izpostavljenosti radonu v bivalnem okolju (analiza na ravni naselij) zboli približno 60 oseb letno, kar predstavlja 5 % vseh s to boleznijo. Analiza relativnega tveganja po spolu kaže, da imajo v Sloveniji zaradi izpostavljenosti radonu v bivalnem okolju povečano tveganje pljučnega raka predvsem moški. Ženske, ki bivajo na območjih, bolj obremenjenih z radonom, nimajo povečanega relativnega tveganja za nastanek pljučnega raka.

**Zaključek:** Izpostavljenost radonu v bivalnem okolju je poleg kajenja med najpomembnejšimi nevarnostnimi dejavniki pljučnega raka v slovenski populaciji. Na območjih, kjer je radona veliko (predvsem južna in jugovzhodna Slovenija), je z javnozdravstvenega vidika ključno izvajanje preventivnih ukrepov, v prvi vrsti pa ozaveščanje in poučevanje prebivalstva o nevarnosti ter možnostih za preprečitev bolezni.

**Ključne besede:** radon, pljučni rak, pripisljivi delež, ocena tveganja

### ABSTRACT

**Background:** Radon in the living environment is classified by the World Health Organization as one of 19 environmental carcinogens, and is, along with tobacco smoke, one of the most important risk factors for the development of lung cancer, accounting for approximately 10% of all lung cancer cases. In our research, we examined for the first time the impact of radon on the occurrence of lung cancer in Slovenia.

**Methods:** For the 40-year period from 1978 to 2017, three data sources were linked at the level of settlements: lung cancer patients (Cancer Registry of the Republic of Slovenia), residents (Statistical Office of the Republic of Slovenia) and radon map of Slovenia. In spatial smoothing models with Bayesian hierarchical models, radon in the living environment was included as an explanatory variable, and population attributable fraction was calculated. The relative risk was estimated using the standardized incidence rate.

**Results:** In Slovenia, about 60 people get lung cancer every year due to exposure to radon in the living environment (analysis at the level of settlements), which represents 5% of all people who get this disease. Analysis of the relative risk by gender shows that in Slovenia, mainly men have an increased risk of lung cancer due to exposure to radon in the living environment. Women who live in areas with higher radon exposure do not have an increased relative risk of developing lung cancer.

**Conclusion:** Along with smoking, exposure to radon in the living environment is one of the most important risk factors for lung cancer in the Slovenian population. In areas where radon concentration is high in the living environment (mainly southern and south-eastern Slovenia), it is crucial from a public health point of view to implement preventive measures, and first and foremost to raise awareness and educate the population about the danger and the possibilities for preventing it.

**Keywords:** Radon, lung cancer, population attributable fraction, risk evaluation

## UVOD

Pljučni rak je v svetovnem merilu najpogostejši rak in najpogostejši vzrok smrti zaradi raka pri moških (1). Leta 2019 je bil tretji najpogostejši rak v Sloveniji; za to boleznijo je tega leta v Sloveniji zbolelo več kot 1.500 oseb, kar predstavlja 12,5 % vseh na novo ugotovljenih rakov pri moških in ženskah skupaj (2). Najpomembnejši nevarnostni dejavnik za razvoj pljučnega raka je tobačni dim, ki mu pripisujemo med 80 % in 90 % vseh primerov (3), radon pa spada med druge najpomembnejše nevarnostne dejavnike.

Radon je naravni zlahetni plin brez vonja, barve in okusa, ki nastaja z radioaktivnim razpadom urana v zemeljski skorji. Z vdihavanjem se absorbira le nezaten delež, zdravju škodljivi pa so predvsem radonovi kratkoživi razpadni produkti, ki se odlagajo v dihalnih poteh in med drugim oddajajo tudi delce  $\alpha$ , ki povzročajo poškodbe tarčnih organov, predvsem bronhialnega epitelijskega tkiva na razcepiščih dihalnih poti (4).

Leta 1988 je Mednarodna agencija za raziskovanje raka na podlagi izsledkov epidemioloških raziskav radon in njegove razpadne produkte uvrstila v skupino I seznama karcinogenih snovi, torej med dokazano karcinogene snovi za človeka (5). Svetovna zdravstvena organizacija pa je radon v bivalnem okolju opredelila kot enega izmed 19 okoljskih karcinogenov (6). Ocenjuje se, da lahko 3–14 % primerov pljučnega raka pripišemo radonu (6).

V Sloveniji, predvsem v južnem in jugovzhodnem delu, beležimo izrazito visoke koncentracije radona v tleh, ki lahko nato preide v bivanjsko in delovno okolje (7). V osemdesetih letih prejšnjega stoletja je Pompe Kirn s sodelavci na podlagi podatkov nacionalnega Registra raka raziskovala morebiten vpliv Rudnika urana Žirovski vrh na incidenco pljučnega raka (8, 9). Med letoma 1981 in 1985 so se nakazovali presežki bremena pljučnega raka v naseljih s pošto Gorenja vas tako pri moških kot pri ženskah, vendar na podlagi takrat razpoložljivih podatkov ni bilo možno zaključiti, ali so rezultati posledica naključja ali pa so presežki posledica izpostavljenosti radonu ali tobačnemu dimu.

V naši raziskavi smo ugotavljali vpliv radona v bivalnem okolju na pojavljanje pljučnega raka v Sloveniji. Raziskava je bila izvedena po naročilu Ministrstva za zdravje Republike Slovenije, Uprave Republike Slovenije za varstvo pred sevanji.

## METODE

Raziskava je bila zastavljena kot geografska opisno-korelacijska epidemiološka študija. Obravnavali smo 40-letno obdobje od leta 1978 do leta 2017, ki smo ga razdelili na štiri 10-letna obdobja. Osnovna prostorska enota v analizi so bila naselja, na ravni katerih smo povezali tri vire podatkov. Iz Registra raka Republike Slovenije (RS) smo pridobili podatke o zbolelih za pljučnim rakom, opredeljenim kot C33 in C34 po mednarodni klasifikaciji bolezni (MKB-10); za vsako osebo smo določili spol, starost ob ugotovitvi bolezni in naslov, kjer je prebivala ob odkritju bolezni. Naslov je znan za vse osebe s pljučnim rakom, ki so vključene v analizo, vendar je ta podatek veliko kakovostnejši za obdobje 1998–2017 v primerjavi z obdobjem 1978–1997, saj smo v devetdesetih letih prejšnjega stoletja vzpostavili neposredno povezavo Registra raka RS s Centralnim registrom prebivalstva. Iz Statističnega urada Republike Slovenije smo pridobili podatek o številu prebivalcev na ravni naselij po petletnih starostnih skupinah v popisnih letih 1981, 1991, koledarskem letu 2002 in v posameznem letu od leta 2008 do leta 2017. Glavna omejitev v dostopnosti podatkov se je pokazala v razpoložljivosti podatkov o prebivalcih na ravni naselij za vsako koledarsko leto posebej, saj

so za starejša obdobja na voljo le za popisna leta. Zaključimo torej, da je najzanesljivejša analiza za zadnjih dvajset let (1998–2017) po naseljih. Za analizo na ravni občin smo združevali podatke o incidenci pljučnega raka in številu prebivalcev na ravni naselij. Kot pojasnjevalno spremenljivko smo uporabili podatke o izpostavljenosti radonu v bivalnem okolju (nizko, zmerno in visoko tveganje) na ravni občin in naselij, kot izhaja iz Radonskega zemljevida Slovenije, ki ga je pripravil Vaupotič s sodelavci (7).

Z našo raziskavo smo želeli oceniti delež primerov pljučnega raka, ki ga lahko pripišemo radonu v bivalnem okolju, in raziskati, ali je relativno tveganje pljučnega raka večje v območjih z visokim tveganjem zaradi radona. Vpliv radona na pojavljanje pljučnega raka smo želeli analizirati za čim daljše obdobje, kolikor dovolj-jeta razpoložljivost in kakovost podatkov.

Osnovni kazalnik, s katerim smo primerjali razlike v bremenu pljučnega raka med posameznimi geografskimi območji, je bila incidenca – število na novo zbolelih za pljučnim rakom v enem letu. V času in prostoru se število in starostna struktura prebivalstva v posameznem geografskem območju spreminjata. Rak je bolezen starejših ljudi, zato je tam, kjer je prebivalstvo starejše, raka več samo zaradi drugačne starostne strukture prebivalstva. Iz teh razlogov števila novih primerov raka na različnih območjih in/ali v različnih obdobjih ne moremo neposredno primerjati med seboj. Nepristransko oceno tveganja raka smo izračunali z metodo indirektna starostne standardizacije – standardiziranim količnikom incidence (SKI).

Kjer je število prebivalcev v posameznem geografskem območju majhno, je ustrezno majhno tudi število bolnikov z določeno vrsto raka, zaradi česar so rezultati močneje podvrženi vplivu naključja, saj lahko že en sam primer bolezni prestavi območje iz zelo ogroženega v območje brez primerov ali obratno. Vpliv naključja, prostorske avtokorelacije in vzorčne variabilnosti na dejanske vrednosti SKI smo omejili z Bayesovimi hierarhičnimi modeli prostorskega glajenja. V analizi smo uporabili Besag–York–Mollié model, njegove parametre smo izračunali na podlagi integrirane gnezdene Laplaceove aproksimacije. Z razmerjem natančnosti prostorske  $S(\tau_s)$  in heterogene  $H(\tau_h)$  komponente smo ocenjevali, ali je razporejanje SKI po slovenskih naseljih in občinah naključno.

V modele prostorskega glajenja smo kot pojasnjevalno spremenljivko vključili radon v bivalnem okolju. Izračunali smo pripisljivi delež raka (PAF iz angleškega izraza Population Attributable Fraction), ki nam pove, kolikšen delež primerov pljučnega raka lahko pripišemo izpostavljenosti radonu v bivalnem okolju.

Za oceno relativnega tveganja pljučnega raka glede na tveganje izpostavljenosti radonu v bivalnem okolju smo primerjali informacije o prebivalcih po posameznih kategorijah tveganja izpostavljenosti radonu s slovenskim povprečjem. Izračunani SKI smo interpretirali kot tveganje za pojav pljučnega raka v posamezni kategoriji radona v bivalnem okolju v primerjavi s slovenskim povprečjem znotraj določenega obdobja in za določen spol.

Za analizo podatkov smo uporabili aplikacijo CanMapTool različice 1.1., ki se uporablja za prikaz podatkov o incidenci raka in smo jo razvili v Registru raka RS v okviru projekta Wasaby, ter RStudio (R različica 4.0.2 (22.06.2020)), kjer smo dodatno uporabili R paket dplyr (različica 1.0.2). Datoteke z digitalnimi vektorskimi sloji (tako imenovane shape files) na ravni naselij in občin smo pridobili na Geodetski upravi Republike Slovenije.

## REZULTATI

Tveganje za izpostavljenost radonu je zmerno v 13 % in visoko v 11 % občin ter zmerno v 10 % in visoko v 20 % naselij (tabela 1). V primeru analize na ravni občin v obdobju 2008–2017 biva 9,4 % (v povprečju 192.246) prebivalcev v občinah z visokim tveganjem zaradi radona, v primeru analize na ravni naselij pa 8,5 % (v povprečju 173.918) prebivalcev.

### Breme pljučnega raka po naseljih in občinah v Sloveniji

Relativno tveganje pljučnega raka je večje za prebivalce, ki živijo ob obali, v jugovzhodni in osrednji Sloveniji, zgornji Gorenjski, ob meji z Avstrijo zahodno od Maribora do Koroške ter zahodno od Murske Sobotice. Zemljevidi po naseljih in občinah v vseh desetletnih obdobjih nakazujejo geografsko razporejanje glajenega SKI pljučnega raka, saj je razmerje  $\tau_s/\tau_n$  manjše od 1 (razmerja zajemajo vrednosti od 0,002 do 0,43).

V nadaljnji geografski analizi smo v modele vključili tveganje za izpostavljenost radonu v bivalnem okolju kot pojasnjevalno spremenljivko in s tem izključili vpliv izpostavljenosti radonu v izračunih glajenih SKI. Ponovno ugotavljamo prostorsko različno razporejanje glajenega SKI pljučnega raka (razmerje  $\tau_s/\tau_n$  je manjše od 1 in zajema vrednosti od 0,001 do 0,60), kar potrjuje, da so v veliki meri prisotni še drugi nevarnostni dejavniki za nastanek pljučnega raka. Na sliki 1 prikazujemo razporejanje po občinah ter na sliki 2 po naseljih za zadnje analizirano obdobje 2008–2017.

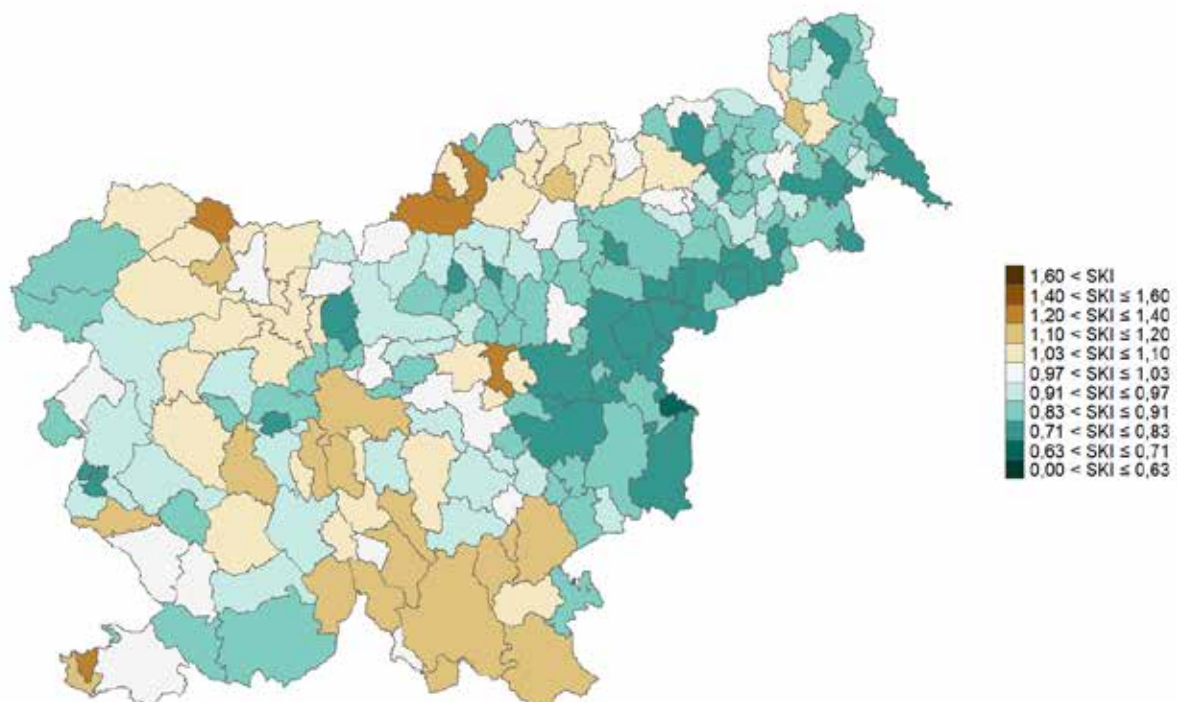
### Breme pljučnega raka po kategorijah izpostavljenosti radonu

V tabeli 2 so predstavljeni SKI, ki jih interpretiramo kot relativno tveganje pljučnega raka v posamezni skupini prebivalcev glede na referenčno populacijo – glede na vse osebe določenega spola v določenem obdobju. Moški, ki so živeli na območju visokega tveganja radona, so imeli za 10 % in 12 % večje tveganje za

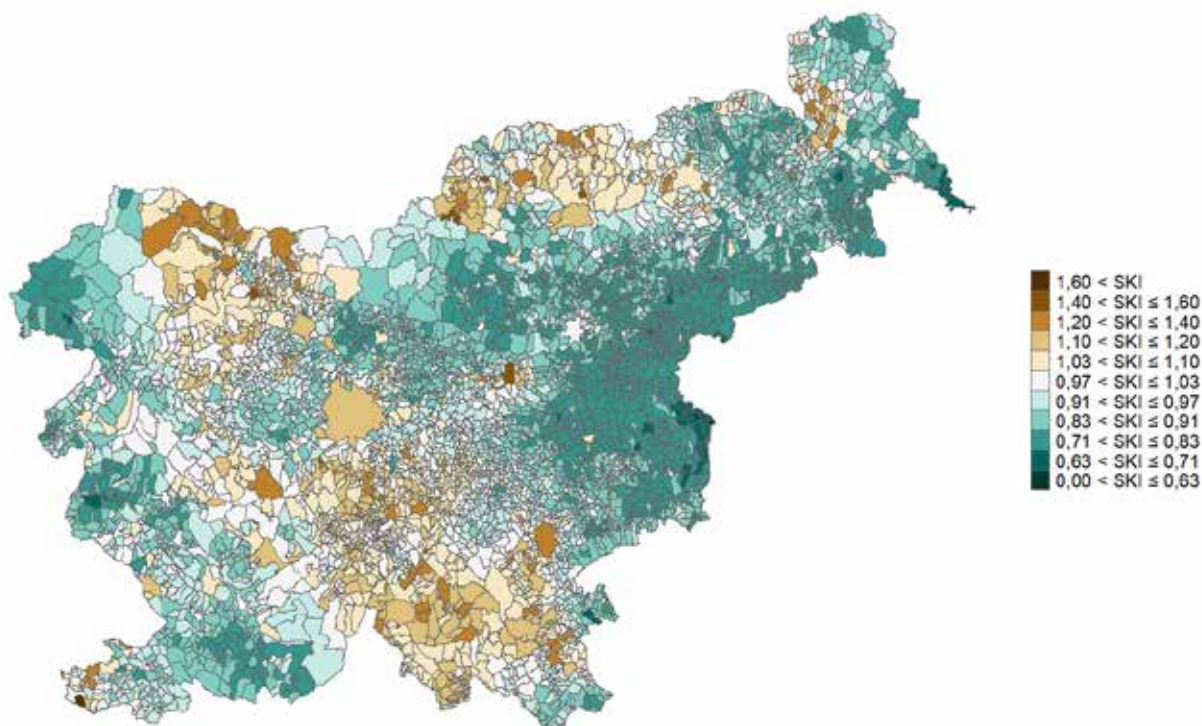
Tabela 1: Delež prebivalcev v Sloveniji v obdobju 2008–2017 v posameznih razredih tveganja zaradi radona v bivalnem okolju glede na razporeditev po občinah in naseljih.

Radon v bivalnem okolju	Občine		Naselja	
	Število občin	Delež prebivalcev	Število naselij	Delež prebivalcev
nizko tveganje	161	77,5 %	4.186	84,1 %
zmerno tveganje	27	13,1 %	661	7,4 %
visoko tveganje	24	9,4 %	1.235	8,5 %

Slika 1: Zemljevid glajenega količnika incidence (SKI) pljučnega raka, ki je prilagojen tveganju za izpostavljenost radonu v bivalnem okolju, po občinah za oba spola skupaj v obdobju 2008–2017.



Slika 2: Zemljevid glajenega količnika incidence (SKI) pljučnega raka, ki je prilagojen tveganju za izpostavljenost radonu v bivalnem okolju, po naseljih za oba spola skupaj v obdobju 2008-2017.



pljučnega raka v obdobjih 1978–1987 in 1988–1997. V obdobju 1998–2007 so imeli za 11 % večje tveganje moški, ki so živeli na območju zmernega tveganja radona. Pri obeh spolih skupaj so imeli v obdobjih 1978–1987 in 1988–1997 za 9 % in 10 % večje tveganje prebivalci, ki so živeli na območju visokega tveganja za izposta-

vljenost radonu. V obdobjih 1998–2007 in 2008–2017 so imeli za 11 % in 6 % večje tveganje prebivalci, ki so živeli na območjih z zmernim tveganjem za izpostavljenost radonu. Ženske, ki bivajo na območjih, bolj obremenjenih z radonom, nimajo povečanega relativnega tveganja za nastanek pljučnega raka.

Tabela 2: Standardizirani količniki incidence (SKI) s 95-% intervali zaupanja za pljučnega raka po spolu in kategorijah ogroženosti za izpostavljenost radonu po 10-letnih obdobjih od leta 1978 do leta 2017. Z rdečo so poudarjeni tisti SKI, ki so statistično značilno večji od ena.

	moški	ženske	oba spola skupaj
<b>2008-2017</b>			
nizko tveganje	0,99 (0,97-1,01)	1,00 (0,97-1,03)	0,99 (0,97-1,01)
zmerno tveganje	1,05 (0,97-1,13)	1,08 (0,97-1,20)	1,06 (1,00-1,13)
visoko tveganje	1,06 (0,99-1,14)	0,95 (0,85-1,06)	1,04 (0,98-1,10)
<b>1998-2007</b>			
nizko tveganje	0,98 (0,96-1,01)	1,00 (0,96-1,04)	0,99 (0,97-1,01)
zmerno tveganje	1,11 (1,02-1,19)	1,09 (0,94-1,24)	1,11 (1,03-1,18)
visoko tveganje	1,06 (0,99-1,14)	0,90 (0,78-1,03)	1,03 (0,97-1,10)
<b>1988-1997</b>			
nizko tveganje	0,98 (0,96-1,01)	1,01 (0,95-1,06)	0,99 (0,97-1,01)
zmerno tveganje	1,06 (0,97-1,15)	0,97 (0,79-1,17)	1,03 (0,96-1,11)
visoko tveganje	1,12 (1,04-1,21)	0,97 (0,81-1,15)	1,10 (1,03-1,17)
<b>1978-1987</b>			
nizko tveganje	0,98 (0,95-1,01)	1,00 (0,94-1,07)	0,98 (0,96-1,01)
zmerno tveganje	1,04 (0,97-1,12)	0,94 (0,78-1,12)	1,03 (0,96-1,10)
visoko tveganje	1,10 (1,02-1,19)	1,05 (0,86-1,27)	1,09 (1,01-1,17)

## Pripisljivi delež pljučnega raka

Občine so veliko bolj heterogene geografske enote kot naselja, zato se rezultati analize po občinah in naseljih razlikujejo. V tabeli 3 predstavljamo rezultate analize po občinah in naseljih, pri čemer le-ti niso na razpolago za naselja za najzgodnejše analizirano obdobje 1978–1987. Delež pljučnega raka, ki ga pripisujemo izpostavljenosti radonu v bivalnem okolju (PAF), je za obdobje 2008–2017 pri analizi po naseljih enak 4,3 % ter po občinah 6,5 %; ob incidenci 13.304 primerov pljučnega raka in pripisljivem deležu 4,3 % lahko torej na ravni naselij 572 primerov pripišemo izpostavljenosti radonu v bivalnem okolju. Zaradi bivanja v občinah, obremenjenih z radonom, je v celotnem 40-letnem obdobju 1978–2017 v Sloveniji za pljučnim rakom zbolelo 2.278 oseb. Najzanesljivejša analiza je za zadnjih dvajset let (1998–2017) po naseljih, ko izpostavljenosti radonu v bivalnem okolju pripisujemo skupaj 1.206 pljučnih rakov (5 %), kar je okrog 60 primerov letno.

## RAZPRAVA

Radon je sicer vodilni dejavnik tveganja za razvoj pljučnega raka med nekadilci, a hkrati izpostavljenost le-temu močno poveča tudi absolutno tveganje pri kadilcih, ki je za kar 25-krat višje kot pri nekadilcih (11), saj se tveganje pljučnega raka pri kadilcu, izpostavljenemu radonu, množi, in ne sešteva. Negativne učinke radona povezujejo tudi z večjim tveganjem levkemij, vendar je ta povezava šibka in ni nedvoumno dokazana (5).

V vseh 10-letnih obdobjih od leta 1978 do leta 2017 se na zemljevidih glajenih SKI po občinah in naseljih kaže geografsko razporejanje relativnega tveganja pljučnega raka, ki ostane podobno tudi, ko v modele kot pojasnjevalno spremenljivko vključimo tveganje izpostavljenosti radonu. Povečano relativno tveganje pljučnega raka je v severnem (severno-zahodnem), osrednjem in jugovzhodnem delu Slovenije in ob obali.

Po izračunu Parkina in Darbyja lahko radonu pripišemo 4,2 % pljučnih rakov pri moških in 5,4 % pri ženskah (oba spola skupaj 4,7 %) (12). Ocene Svetovne zdravstvene organizacije so nekoliko višje, in sicer ocenjujejo, da lahko 3–14 % primerov pljučnega raka pripišemo radonu, odvisno od njegove koncentracije (6). Glede na našo geografsko analizo po naseljih lahko izpostavljenosti radonu v bivalnem okolju pripišemo 5 % pljučnega raka v zadnjih dvajsetih letih. Na podlagi analize po občinah ocenjujemo, da je zaradi bivanja v območjih, obremenjenih z radonom, v 40-letnem obdobju 1978–2017 v Sloveniji za pljučnim rakom zbolelo 2.278 oseb. Analiza relativnega tveganja po spolu kaže, da imajo v Sloveniji zaradi izpostavljenosti radonu v bivalnem okolju

povečano tveganje pljučnega raka predvsem moški, kar lahko kaže na učinek interakcije s kajenjem, saj je bilo med moškimi nekoč kajenje bolj razširjeno.

Glavni moteči dejavnik predstavljene analize je kajenje, o katerem v Sloveniji ni podatkov na ravni naselij. Kot posredni kazalnik kajenja smo uporabili slovensko različico evropskega kazalnika primanjkljaja (SI-EDI), izračunanega za leto 2011, ki smo ga v analizo vključili kot kazalnik socialno-ekonomskega primanjkljaja, saj je kajenje bolj prisotno pri osebah z nižjim socialno-ekonomskim statusom (13). Vendar rezultati tako razširjene analize niso prispevali dodatnega vpogleda v proučevano problematiko – ugotovljeno povečano tveganje za nastanek pljučnega raka zaradi izpostavljenosti radonu se ne spremeni, če hkrati upoštevamo razlike v socialno-ekonomskem položaju prebivalstva, merjenem s SI-EDI.

## ZAKLJUČEK

Na podlagi analize po naseljih lahko zaključimo, da v Sloveniji za pljučnim rakom zaradi izpostavljenosti radonu v bivalnem okolju zbolijo približno 60 oseb letno, kar predstavlja 5 % vseh s to boleznijo.

Izpostavljenost radonu v bivalnem okolju je poleg kajenja med najpomembnejšimi nevarnostnimi dejavniki pljučnega raka v slovenski populaciji. Na območjih, kjer obstaja visoko tveganje zaradi radona v bivalnem okolju (predvsem južna in jugovzhodna Slovenija), je z javnozdravstvenega vidika ključno izvajanje preventivnih ukrepov – v prvi vrsti poučevanje prebivalstva o nevarnostih ter možnostih za preprečevanje izpostavljenosti radonu v bivalnem ter delovnem okolju.

Tabela 3: Incidenca pljučnega raka za 10-letna obdobja od leta 1978 do leta 2017 in pripisljivi delež raka, ki predstavlja delež pljučnega raka, ki ga lahko pripišemo izpostavljenosti radonu v bivalnem okolju, po občinah in naseljih (podatkov za 1978–1987 po naseljih ne prikazujemo, saj niso zanesljivi).

	Incidenca	Občine		Naselja	
		Pripisljivi delež	Pripisljiva incidenca	Pripisljivi delež	Pripisljiva incidenca
2008–2017	13.304	6,5 %	865	4,3 %	572
1998–2007	11.324	6,2 %	702	5,6 %	634
1988–1997	9.426	2,8 %	264	1,2 %	113
1978–1987	7.201	6,2 %	447	/	/

## LITERATURA

1. Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Laversanne M, Soerjomataram I, Jemal A, Bray F. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J Clin* 2021; 71(Suppl 3): 209–249.
2. Zadnik V, Žagar T. SLORA: Slovenija in rak [spletna stran na internetu]. *Epidemiologija in register raka. Onkološki inštitut Ljubljana*. Pridobljeno 14. 9. 2022 s spletne strani: <http://www.slora.si/>.
3. Sethi T, El-Ghamry M, Kloecker G. Radon and Lung Cancer. *Clin Adv Hematol Oncol* 2012; 10(Suppl 3): 157–164.
4. Robertson A, Allen J, Laney R, Curnow A. The Cellular and Molecular Carcinogenic Effects of Radon Exposure: A Review. *Int J Mol Sci* 2013; 14(Suppl 7): 14024–14063.
5. International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. A review of human carcinogens. Part D: Radiation. Vol. 100D. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Lyon: International Agency for Research on Cancer, Lyon, 2012.
6. Zeeb H, Shannoun F, eds. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. Geneva, Switzerland: WHO Press, 2009.
7. Vaupotič J, Gregorič A. Priprava radonskega zemljevida Slovenije na ravni naselij: IJS Delovno poročilo. Ljubljana: Institut Jožef Štefan, 2017.
8. Pompe-Kirn V. Spremljanje incidence pljučnega raka v vplivnem območju Rudnika urana Žirovski vrh. Poročevalec Skupščine Republike Slovenije 1990; 16(Suppl 4): 65–68.
9. Pompe-Kirn V, Ferligoj A. Študija regionalne problematike raka v SR Sloveniji z ozirom na možnosti primarnih in sekundarnih preventivnih ukrepov: (uporaba multivariantnih metod razvrščanja v skupine). Ljubljana: Onkološki inštitut Ljubljana, 1984.
10. Li C, Wang C, Yu J, Fan Y, Liu D, Zhou W, Shi T. Residential Radon and Histological Types of Lung Cancer: A Meta-Analysis of Case–Control Studies. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17(Suppl 4): 1457.
11. Corrales L, Rosell R, Cardona AF, Martín C, Zatarain-Barrón ZL, Arrieta O. Lung cancer in never smokers: The role of different risk factors other than tobacco smoking. *Crit Rev Oncol Hematol* 2020; 148: 102895.
12. Parkin DM, Darby SC. 12 cancers in 2010 attributable to ionising radiation exposure in the UK. *Br J Cancer* 2011; 105(Suppl 2): S57–S65.
13. Zadnik V, Guillaume E, Lokar K, Žagar T, Primic Žakelj M, Launoy G, Launay L. Slovenska različica evropskega kazalnika primanjkljaja na ravni občin. *Zdravstveno varstvo: Slovenian journal of public health* 2018; 57(Suppl 2): 47–54.

© Avtor(ji). To delo je objavljeno pod licenco Creative Commons Priznanje avtorstva 4.0.

© The author(s). This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>