

Prostorska povezanost med delci v zunanjem zraku in umrljivostjo zaradi bolezni dihal v Sloveniji

SPATIAL ASSOCIATION BETWEEN PARTICLE MATTERS IN AMBIENT AIR AND RESPIRATORY DISEASE MORTALITY IN SLOVENIA

An GALIČIČ¹, Ivan ERŽEN^{1,2}, Peter OTOREPEC¹, Andreja KUKEC^{1,2}

¹ Nacionalni inštitut za javno zdravje

² Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta

Kaj je znanega?

Onesnažen zunanji zrak škodljivo vpliva na zdravje ljudi. Med pomembnimi onesnažili zunanjega zraka v Sloveniji so tudi delci različnih velikosti, njihov škodljiv vpliv na zdravje je že bil dokazan za posamezna območja v Sloveniji.

Kaj je novega?

Prva prostorska epidemiološka raziskava povezanosti koncentracij delcev PM₁₀ in PM_{2,5} v zunanjem zraku z umrljivostjo zaradi bolezni dihal za območje Slovenije. V analizo povezanosti so vključeni tudi potencialni moteči dejavniki.

Navajajte kot:

Galičič, A. et al. Prostorska povezanost med delci v zunanjem zraku in umrljivostjo zaradi bolezni dihal v Sloveniji. Javno zdravje 2020; 10.

Prispelo:

15. 10. 2019

Sprejeto:

5. 11. 2019

Korespondenca:

andreja.kucek@mf.uni-lj.si

Članek je licenciran pod pogoji Creative Commons Attribution 4.0 International licence. (CC-BY licenca). The article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY license).

Izvleček

Namen: Ocena prostorske povezanosti med onesnaženostjo zunanjega zraka z delci z aerodinamskim premerom do 10 µm (PM₁₀) in 2,5 µm (PM_{2,5}) ter umrljivostjo zaradi bolezni dihal med prebivalci Slovenije na ravni občin z upoštevanjem potencialnih motečih dejavnikov tveganja.

Metodologija: Epidemiološka ekološka prostorska raziskava vpliva PM₁₀ in PM_{2,5} na umrljivost zaradi bolezni dihal, standardizirano na potencialne dejavnike ozadja, je bila izvedena s Poissonovo regresijsko analizo. Enoto opazovanja je predstavljalo vseh 210 takratnih slovenskih občin. Opazovano populacijo so predstavljali vsi prebivalci Slovenije, ki so v opazovanem časovnem obdobju umrli zaradi bolezni dihal.

Rezultati: Koncentracije PM₁₀ in PM_{2,5} v zunanjem zraku in umrljivost zaradi bolezni dihal pri prebivalcih Slovenije so v univariatnem in multivariatnem modelu prostorske analize pozitivne, a ne statistično značilno povezane. Na umrljivost zaradi bolezni dihal pozitivno, a ne statistično značilno vplivajo tudi nizka izobrazba, debelost, fizična neaktivnost, uživanje alkohola in pasivno kajenje.

Razprava: Do podobnih rezultatov prostorskih vplivov vrednosti delcev v zunanjem zraku na zdravje so prišli tudi v tujih tovrstnih raziskavah. Izzive za nadaljnje raziskovanje vpliva onesnaženega zunanjega zraka na zdravje s prostorskimi raziskavami predstavljajo povezovanje zdravstvenih in okoljskih podatkov na ravni malih prostorskih enot, opazovanje številnih različnih zdravstvenih izidov ter natančnejša ocena izpostavljenosti.

Ključne besede: onesnaženost zunanjega zraka, delci, umrljivost, Slovenija.

Abstract

Aim: Spatial association between particles with aerodynamic diameter less than 10 µm (PM₁₀) and less than 2.5 µm (PM_{2,5}) in outdoor air and respiratory disease mortality in Slovenia on municipality level with regard to the potential risk confounders.

Method: Epidemiological ecological spatial study of the effect of PM₁₀ and PM_{2,5} on respiratory diseases mortality, standardized on potential confounders was made with Poisson regression analysis. Measuring unit represents all 210 Slovenian municipalities. Observed population represents whole Slovenian population, which have in the observed period died of respiratory disease.

Results: Concentrations of PM₁₀ and PM_{2,5} in outdoor air and respiratory diseases mortality in Slovenian population are in univariate and multivariate model of spatial association positive but not statistically significant. Low

education, obesity, physical inactivity, alcohol consumption and passive smoking also have positive, but not statistically significant, impact on respiratory diseases mortality.

Discussion: Other studies have also come to the same conclusions of spatial effects of particulate matter on health. Challenge for the future research of the effects of outdoor air on health with spatial studies presents the association on small spatial units, observation of several health outcomes and more precise association assessment.

Keywords: ecological spatial study, outdoor air pollution, particulate matter, mortality, Slovenia.

UVOD

Onesnažen zunanji zrak predstavlja raven koncentracije škodljivih snovi v zunanjem zraku, ki imajo škodljiv učinek na zdravje ljudi ali na okolje (1). V zunanjem zraku urbanega okolja je prisotnih približno 200 različnih onesnažil (2), med katerimi so najpogostejši delci različnih velikosti, dušikov dioksid (NO_2), žveplov dioksid (SO_2), ozon (O_3), ogljikov monoksid (CO), težke kovine, lahkohlapni ogljikovodiki in pesticidi (3, 4).

Delci so kompleksna zmes z različnimi kemijskimi in fizikalnimi lastnostmi. Kljub temu jih najpogosteje delimo glede na velikost njihovega aerodinamskega premera, saj ta lastnost vpliva na njihovo gibanje v zunanjem zraku, mesto usedanja in globino prodiranja v človekovem telesu (5). Glavni vir izpustov delcev z aerodinamskim premerom do $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) in $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) je ogrevanje gospodinjstev z uporabo biomase v zastarelih kurilnih napravah. Velik del k onesnaženosti zunanjega zraka z delci prispeva tudi promet, zaradi katerega se težave pojavljajo predvsem v velikih mestnih središčih (3, 4). Leta 2014 so letni izpusti PM_{10} v Sloveniji znašali 14.000 ton. Glavni vir delcev je bilo prav zgorevanje goriv v gospodinjstvih. Individualna kurišča so v letu 2014 prispevala 61 % k skupnim izpustom PM_{10} in 67 % k skupnim izpustom $\text{PM}_{2,5}$ (3).

Letno število dovoljenih preseganj dnevne mejne vrednosti PM_{10} , to je 35 dni v koledarskem letu, je bilo v letu 2015 preseženo na osmih stalnih merilnih mestih (Ljubljana Center 85, AMP Gaji 76, Celje 70, Zagorje 70, Trbovlje 50, MS Rakičan 47, Ljubljana Bežigrad 43 in Novo mesto 40). Preseganja dnevne mejne vrednosti PM_{10} so bila v mesecih januar, februar, marec, oktober, november in december, na stalnih merilnih mestih Ljubljana Center in Celje AMP Gaji tudi v mesecu aprilu (3 dni). Najvišje število preseganj dnevni mejni vrednosti je bilo meseca decembra v Celju (23 dni) in Zagorju (19 dni), kjer sta bili izmerjeni tudi najvišji povprečni mesečni koncentraciji PM_{10} v Sloveniji; v Celju $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Zagorju $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3).

V Sloveniji k visoki vsebnosti 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 prekomerno onesnaženost zunanjega zraka (3).

Mednarodna agencija za raziskovanje raka (*angl.* International Agency for Research on Cancer – IARC) (6) je onesnaženost zunanjega zraka in delce kot posamezno onesnažilo uvrstila v skupino rakotvornih

snovi za človeka. Izpostavljenost delcem v zunanjem zraku povzroča nastanek pljučnega raka in je povezana tudi s povečanim tveganjem za nastanek raka na mehurju (6). Tako kratkotrajna kot dolgotrajna izpostavljenost visokim koncentracijam delcev poviša umrljivost in obolevnost prebivalstva zaradi bolezni dihal in obtočil (7).

Nekatere epidemiološke prostorske raziskave (v nadaljevanju prostorske raziskave) so ocenile značilen vpliv PM_{10} (8, 9) in $\text{PM}_{2,5}$ v zunanjem zraku na zdravje (9, 10), zlasti njihov vpliv na bolezni dihal in bolezni obtočil. Prostorske raziskave kažejo, da so koncentracije PM_{10} povezane s prvim dogodkom srčne in možganske kapi pri starejši populaciji (8), umrljivostjo zaradi bolezni obtočil (9) in umrljivostjo ter odpusti iz bolnišnic zaradi koronarnih srčnih bolezni pri odraslih (11), koncentracije $\text{PM}_{2,5}$ pa z umrljivostjo zaradi bolezni obtočil (12).

Poleg vpliva na bolezni dihal in obtočil so v epidemioloških raziskavah ocenili, da delci vplivajo tudi na bolezni živčevja – Alzheimerjevo bolezen (13) in Parkinsonovo bolezen (14, 15), presnovne bolezni (16, 17) in nizko porodno težo novorojenčka ter prezgodnji porod (18).

Dosedanje epidemiološke raziskave so bile v Sloveniji izvedene za območje Zasavja (19–21) in Ljubljane (22, 23), epidemiološke prostorske raziskave pa zgolj za območje Zasavja (20, 21). Onesnaženosti zunanjega zraka z delci je v Sloveniji zaradi preseženih mejnih vrednosti potrebno nameniti obsežnejšo javnozdravstveno obravnavo, kar predstavlja tudi pripravo analize vpliva delcev v zunanjem zraku na zdravje za celotno Slovenijo. Pri analizi je potrebno upoštevati čim širši nabor potencialnih motečih dejavnikov, saj bodo pridobljeni rezultati le tako dovolj trdni za nadaljnje javnozdravstveno ukrepanje.

V raziskavi smo ocenili prostorsko povezanost med onesnaženostjo zunanjega zraka s PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$ ter umrljivostjo zaradi bolezni dihal pri prebivalcih Slovenije na ravni občin z upoštevanjem potencialnih motečih dejavnikov tveganja.

2 METODOLOGIJA

2.1 Vrsta raziskave

Za oceno povezanosti med onesnaženostjo zunanjega zraka z onesnažiloma PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$ ter umrljivostjo zaradi bolezni dihal pri prebivalcih Slovenije na ravni

občin smo uporabili epidemiološko ekološko prostorsko raziskavo.

Zdravstveni in okoljski podatki za prostorsko analizo povezanosti so bili zbrani v okviru evropskega projekta *LIFE Mediterranean Health Interview Surveys Studies: Long Term Exposure to Air Pollution and Health Surveillance (MED HISS)*.

2.2 Obdobje opazovanja

V raziskavo smo zajeli zdravstvene podatke o umrljivosti zaradi bolezni dihal za obdobje od leta 2010 do 2014. Modelirane letne povprečne vrednosti za PM₁₀ in PM_{2,5} na ravni občin so bile pridobljene za leto 2011.

2.3 Območje opazovanja in prostorske enote

Območje opazovanja predstavlja Republika Slovenija (v nadaljevanju Slovenija). Enote opazovanja so predstavljale vse slovenske občine, ki so obstajale na dan 1. 7. 2010, kar pomeni 210 občin. Na dan 1. 7. 2010 je bilo število prebivalcev 2.049.261, gostota prebivalstva je znašala 101,3 preb./km² (24).

2.4 Opazovana populacija

Opazovano populacijo so predstavljali vsi prebivalci Slovenije s stalnim prebivališčem v Sloveniji, ki so v obdobju od leta 2011 do 2014 umrli zaradi bolezni dihal.

2.5 Pridobivanje podatkov

Zdravstveni podatki so bili pridobljeni iz *Baze umrlih*, ki jo vodijo na Zdravstveno podatkovnem centru Nacionalnega inštituta za javno zdravje. Izbrani zdravstveni izid za kazalnik umrljivosti po *Mednarodni klasifikaciji bolezni in sorodnih zdravstvenih problemov za statistične namene, deseta verzija (MKB-10) (25)* so bili bolezni dihal (MKB-10, kode J00–J99).

Okoljski podatki so bili pridobljeni s strani Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO). Okoljske podatke so predstavljale modelirane letne povprečne vrednosti za PM₁₀ in PM_{2,5} v talnem nivoju za leto 2011. Letne povprečne vrednosti za PM₁₀ in PM_{2,5} so bile zmodelirane v prostorski ločljivosti 4,4 × 4,4 km za celotno Slovenijo. Iz modeliranih letnih povprečnih vrednosti za PM₁₀ in PM_{2,5} je bila pripravljena ocena onesnaženosti zunanega zraka na ravni občin. Proces priprave ocene izpostavljenosti je potekal na ARSO (26).

Podatki o potencialnih motečih dejavnikih so bili pridobljeni iz Statističnega urada Republike Slovenije (SURS) iz leta 2002 in raziskave *Tvegana vedenja, povezana z zdravjem in nekatera zdravstvena stanja pri odraslih prebivalcih Slovenije* (raziskava CINDI) iz leta 2012.

Kot potencialno moteče dejavnike smo vključili naslednje podatke: prevalenca nizke izobrazbe,

prevalenca kajenja kadarkoli, prevalenca debelosti, prevalenca fizične ne-aktivnosti, prevalenca uživanja alkohola, prevalenca stopnje delovne aktivnosti, prevalenca trenutnega kajenja, prevalenca pasivnega kajenja in povprečni mesečni dohodek.

2.6 Statistična analiza prostorske povezanosti

Opazovani zdravstveni izid v analizi povezanosti je predstavljala umrljivost zaradi bolezni dihal v posamezni opazovani občini. Pojasnjevalne dejavnike v analizi povezanosti so predstavljale letne povprečne vrednosti za PM₁₀ in PM_{2,5} v talnem nivoju na nivoju občin.

Za prikaz prostorske porazdelitve incidenčne stopnje bolezni dihal in zglajene incidenčne stopnje bolezni dihal brez in s prostorsko razporeditvijo slučajnih vplivov smo uporabili zemljevide bolezni. Zemljevide bolezni smo pripravili z orodjem ArcGIS (ESRI ArcGIS Verzija 10.4).

Za analizo povezanosti med opazovanimi zdravstvenimi izidi, pojasnjevalnimi in potencialnimi motečimi dejavniki smo uporabili Poissonovo regresijo. Analiza povezanosti na nivoju občin je potekala v dveh korakih:

- priprava univariatnega modela povezanosti: ocena prostorske povezanosti med opazovanim zdravstvenim izidom in pojasnjevalnim dejavnikom brez in s prostorsko razporeditvijo slučajnih vplivov.
- priprava multivariatnega modela povezanosti: ocena povezanosti med opazovanim zdravstvenim izidom, pojasnjevalnim dejavnikom in potencialnimi motečimi dejavniki tveganja brez in s prostorsko razporeditvijo slučajnih vplivov.

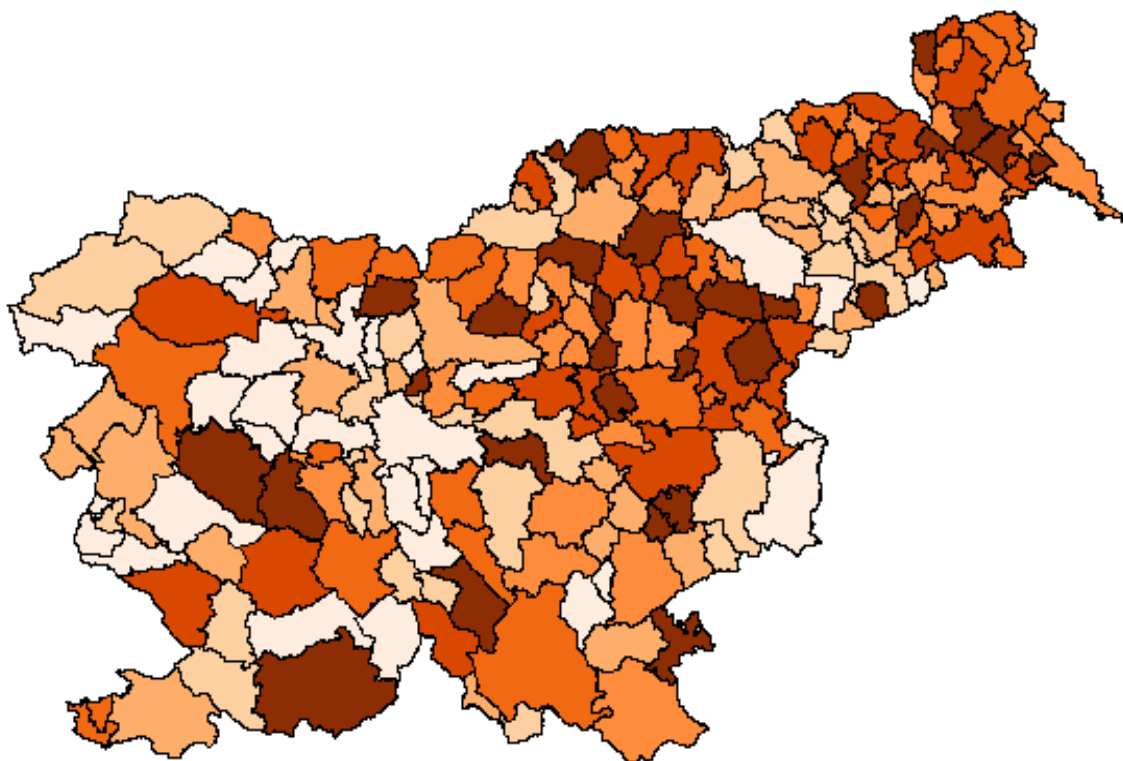
Za statistično analizo povezanosti bo uporabljen statistični program R (Verzija 3.2.4). Končni rezultat pri univariatni in multivariatni Poissonovi regresiji je podan v obliki relativnega tveganja (RT). Statistično značilno povezanost med opazovanim zdravstvenim izidom in pojasnjevalno spremenljivko standardizirano na potencialne moteče dejavnike smo vrednotili pri 95 % intervalu zaupanja.

3 REZULTATI

3.1 Prostorski prikaz zdravstvenih in okoljskih podatkov

Starostno standardizirana stopnja umrljivosti zaradi bolezni dihal za obdobje od leta 2011 do 2014 je bila najnižja v občinah Bistrica ob Sotli (0), Cirkulane (0,158) in Velike Lašče (0,283). Vrednost 0 za občino Bistrica ob Sotli pomeni, da v opazovanem obdobju ni nihče umrl zaradi bolezni dihal. Najvišja starostno standardizirana stopnja umrljivosti zaradi bolezni dihal za opazovano obdobje je bila v občinah Šmarje pri Jelšah (2,615), Štore (3,038) in Gornji Grad (3,374). Starostno standardizirana stopnja umrljivosti s prostorsko razporeditvijo za bolezni dihal za obdobje od

leta 2011 do 2014 za slovenske občine je prikazana na Sliki 1.



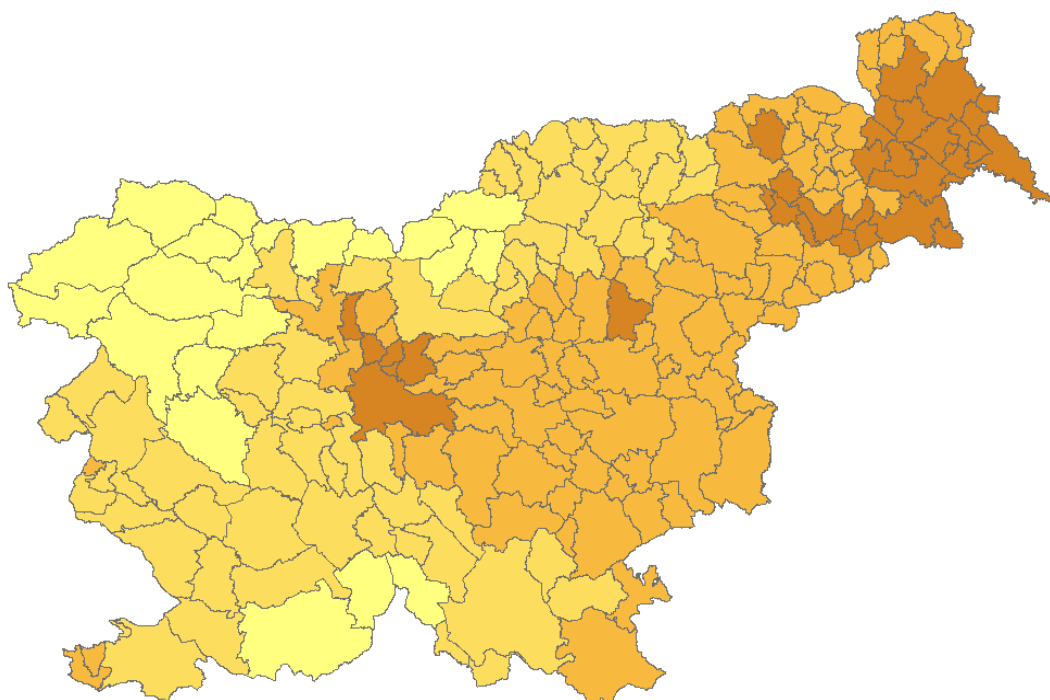
Legenda:

0,55–0,73; 0,73–0,84; 0,84–0,93; 0,93–1,04; 1,04–1,21; 1,21–1,41; 1,41–2,75

Slika 1: Starostno standardizirana stopnja umrljivosti s prostorsko razporeditvijo za bolezni dihal (MKB-10, kode J00–J99) za obdobje od leta 2010 do 2014 za slovenske občine (27).

Modelirana povprečna vrednost onesnažila PM₁₀ za leto 2011 je bila enaka ali pod ciljno vrednostjo Svetovne zdravstvene organizacije (SZO, *angl.* WHO – World Health Organization) za PM₁₀ na letni ravni, ki znaša 20 µg/m³, v občinah Bovec (12,34 µg/m³), Bohinj (13,89 µg/m³), Gorje (14,03 µg/m³), Črna na Koroškem (16,89 µg/m³), Bled (18,66 µg/m³), Cerklje (19,33 µg/m³) in Ajdovščina (20,01 µg/m³). Najvišja modelirana povprečna vrednost onesnažila PM₁₀ za

leto 2011 je bila v občini Domžale, kjer je znašala 34,21 µg/m³, sledita občini Beltinci z 32,21 µg/m³ in Celje z 32,08 µg/m³ (Slika 2).

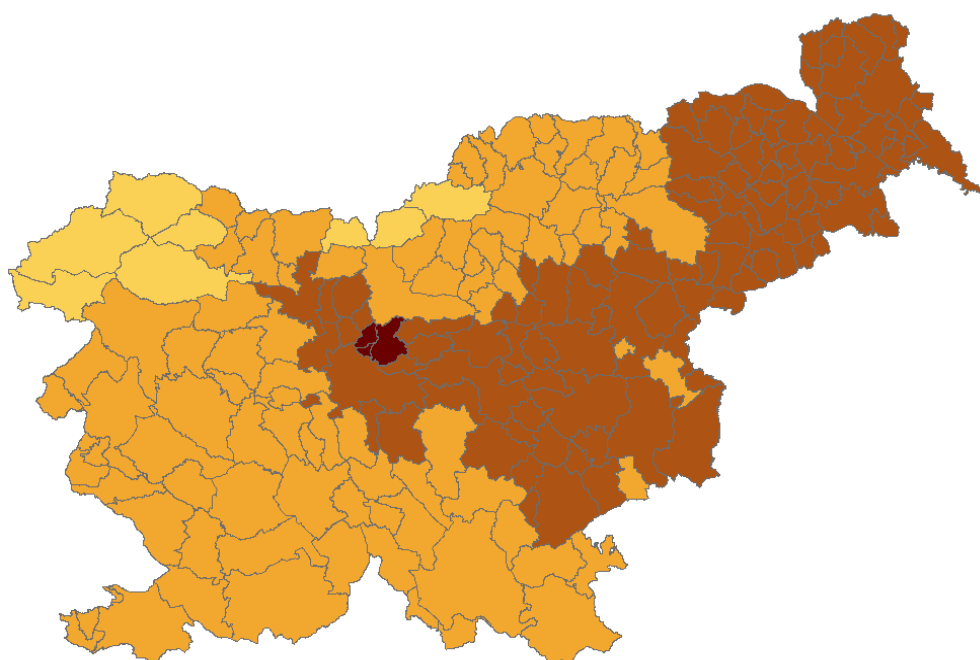
**Legenda:**

pod 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 20,1–25,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 25,1–30,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 30,1–35,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 35,1–40,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; nad 40,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Slika 2: Onesnaženost zunanjega zraka z onesnažilom PM_{10} za slovenske občine v letu 2011 (27).

Modelirana povprečna vrednost onesnažila $\text{PM}_{2,5}$ za leto 2011 ni bila v nobeni slovenski občini enaka ali pod ciljno vrednostjo SZO za $\text{PM}_{2,5}$ na letni ravni, ki znaša 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Najnižje vrednosti so bile izmerjene v občinah Bovec (12,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Gorje (13,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in

Bohinj (13,56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Najvišja modelirana povprečna vrednost onesnažila $\text{PM}_{2,5}$ za leto 2011 je bila v občinah Domžale (25,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Celje (23,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in Dol pri Ljubljani (22,91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Slika 3).

**Legenda:**

pod 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 10,1–15,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 15,1–20,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 20,1–25,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; nad 25,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Slika 3: Onesnaženost zunanjega zraka z onesnažilom $\text{PM}_{2,5}$ za slovenske občine v letu 2011 (27).

3.2 Analiza prostorske povezanosti podatkov

Rezultati univariatne analize povezanosti med povprečnima letnima vrednostma onesnažil PM₁₀ in PM_{2,5} ter glajeno standardizirano stopnjo umrljivosti zaradi bolezni dihal in rezultati multivariatne analize povezanosti med povprečnima letnima vrednostma

onesnažil PM₁₀ in PM_{2,5} ter glajeno standardizirano stopnjo umrljivosti zaradi bolezni dihal (MKB-10, kode J00–J99) z upoštevanimi potencialnimi motečimi dejavniki kažejo na prostorsko povezanost med vrednostmi PM₁₀ in PM_{2,5} v zunanjem zraku in umrljivostjo zaradi bolezni dihal (MKB-10, kode J00–J99) (Preglednica 1).

Preglednica 1: Relativno tveganje (95 % IZ) univariatnega in multivariatnega modela z enim in dvema onesnažiloma med povprečnima letnima vrednostma onesnažil PM₁₀ in PM_{2,5} ter glajeno standardizirano stopnjo umrljivosti zaradi bolezni dihal (MKB-10, kode J00–J99).

POJASNJEVALNI DEJAVNIK	UNIVARIATNI MODEL	MULTIVARIATNI MODEL	
		z enim onesnažilom ¹	z dvema onesnažiloma ¹
Povprečna letna koncentracija PM ₁₀	1,009 (0,991–1,028)	1,008 (0,989–1,026)	0,969 (0,888–1,057)
povprečna letna koncentracija PM _{2,5}	1,014 (0,980–1,049)	1,017 (0,983–1,052)	1,077 (0,916–1,267)

Legenda:

PM₁₀ - delci v zraku, ki jih prepušča filter s 50 % nepropustnostjo za delce z aerodinamskim premerom 10 µm; PM_{2,5} - delci v zraku, ki jih prepušča filter s 50 % nepropustnostjo za delce z aerodinamskim premerom 2,5 µm.

¹ – standardizirano na potencialne moteče dejavnike: nizka izobrazba, kajenje (kadarkoli, trenutno, pasivno), debelost, fizična neaktivnost, uživanje alkohola, delež aktivne populacije, povprečni mesečni dohodek.

4 RAZPRAVA

Rezultati raziskave so nakazali prostorsko povezanost med vrednostmi PM₁₀ in PM_{2,5} v zunanjem zraku in umrljivostjo zaradi bolezni dihal (Preglednica 1). Rezultati torej nudijo dodatne dokaze, na podlagi katerih je mogoče pripraviti javnozdravstvene ukrepe.

4.1 Rezultati epidemiološke ekološke prostorske raziskave

Razporeditev glajene standardizirane stopnje umrljivosti s prostorsko razporeditvijo za bolezni dihal za obdobje od leta 2011 do 2014 po posameznih slovenskih občinah je pokazala višjo stopnjo umrljivosti zaradi bolezni dihal v vzhodni Sloveniji glede na zahodni del države.

Modelirane letne vrednosti PM₁₀ so bile v letu 2011 višje v Ljubljanski kotlini in vzhodni Sloveniji glede na zahodno Slovenijo. Zakonsko določena letna mejna vrednost 40 µg/m³ (28) leta 2011 glede na modelirane letne vrednosti PM₁₀ ni bila presežena v nobeni slovenski občini. Priporočena letna vrednost PM₁₀ s strani SZO 20 µg/m³ (5) je bila leta 2011 glede na modelirane letne vrednosti PM₁₀ presežena v 184 slovenskih občinah.

Modelirane letne vrednosti PM_{2,5} so bile v letu 2011, podobno kot vrednosti PM₁₀, višje v Ljubljanski kotlini in vzhodni Sloveniji v primerjavi z zahodno Slovenijo. Zakonsko določena letna mejna vrednost 25 µg/m³

(28) je bila leta 2011 glede na modelirane letne vrednosti PM_{2,5} presežena v treh slovenskih občinah: Domžale, Mengeš in Trzin. Priporočena letna vrednost PM_{2,5} s strani SZO 10 µg/m³ (5) je bila leta 2011 glede na modelirane letne vrednosti PM_{2,5} presežena v vseh 210 slovenskih občinah.

Z univariatno analizo prostorske povezanosti smo ocenili pozitivno, a ne statistično značilno povezanost med umrljivostjo zaradi bolezni dihal in letnim povprečjem vrednosti PM₁₀ in PM_{2,5} na ravni občin v Sloveniji.

Z multivariatno analizo prostorske povezanosti z enim onesnažilom in dejavniki ozadja smo ocenili značilno, a ne statistično značilno povezanost med umrljivostjo zaradi bolezni dihal in letnim povprečjem vrednosti PM₁₀ in PM_{2,5} na ravni občin v Sloveniji (RT = 1,008 (IZ: 0,989–1,026) in RT = 1,017 (IZ: 0,983–1,052)).

Z multivariatno analizo prostorske povezanosti z dvema onesnažiloma in dejavniki ozadja smo ocenili pozitivno, a ne statistično značilno povezanost med umrljivostjo zaradi bolezni dihal in letnim povprečjem vrednosti PM_{2,5} na ravni občin v Sloveniji. V istem multivariatnem modelu povezanost med umrljivostjo zaradi bolezni dihal in letnim povprečjem vrednosti PM₁₀ na ravni občin v Sloveniji ni bila značilna.

V slovenskem prostoru je enako metodo povezovanja zdravstvenih in okoljskih podatkov uporabil že Galičič (21) za razgiban teren Zasavja. Galičič (21) je z multivariatno analizo prostorske povezanosti ocenil pozitivno in statistično značilno povezanost med

boleznimi dihal pri otrocih, starih do 11 let, in zimsko povprečno vrednostjo PM₁₀, standardizirano na potencialne moteče dejavnike. Že pred tem je tudi Kukčeva (29) z metodo Bayesianovih hierarhičnih modelov ocenila pozitivno, a ne statistično značilno povezanost med boleznimi dihal pri otrocih, starih do 11 let, in zimsko povprečno vrednostjo PM₁₀ v Zasavju. V primerjavi s predhodnimi raziskavami smo v predstavljeni raziskavi ocenili prostorsko povezanost med opazovanimi pojavi na ravni občin na območju celotne Slovenije.

V primerjavi s spodaj predstavljenimi tujimi raziskavami v naši raziskavi nismo proučevali prostorske povezanosti med onesnaženostjo zraka in vplivi med različnimi populacijskimi skupinami ter opazovanimi izidi znotraj posameznih skupin bolezni dihal (npr. akutne, kronične bolezni dihal). Prostorsko povezanost med zdravstvenimi podatki in vrednostmi PM₁₀ v zunanem zraku so ocenile tudi nekatere tuje študije. Leem in sodelavci (30) so ocenili pozitivno in statistično značilno prostorsko povezanost med povišanjem vrednosti PM₁₀ za 10 µg/m³ ter številnimi opazovanimi zdravstvenimi izidi; sprejemi v bolnišnico zaradi bolezni dihal v celotni populaciji, napadi astme pri celotni populaciji, kronični bronhitis pri odraslih in akutni bronhitis pri mlajših od 18 let. Tudi Hwang in Chan (31) sta ocenila pozitivno in statistično značilno prostorsko povezanost med ambulantnimi obiski zaradi bolezni spodnjih dihal v celotni populaciji in povišanjem vrednosti PM₁₀ za 5,9 µg/m³.

Multivariatna analiza prostorske povezanosti je pokazala, da na umrljivost zaradi bolezni dihal pozitivno, a statistično ne značilno, vplivajo tudi dejavniki ozadja kot so nizka izobrazba, debelost, fizična neaktivnost, uživanje alkohola in pasivno kajenje.

Galičič (21) je ocenil, da je z obolevnostjo zaradi bolezni dihal poleg povišanih vrednosti onesnažil v zunanem zraku povezano tudi dojenje, kadar je to krajše od 8 mesecev. Tudi Kukčeva in sodelavci (32) so s presečno raziskavo ocenili, da sta prevalenca kroničnih bolezni dihal in prevalenca akutnih respiratornih simptomov statistično značilno višji pri prvih obiskih zaradi družinske anamneze bolezni dihal, zdravstvenih zapletov po porodu, trajanjem dojenja krajšim od 8 mesecev, zapletov med nosečnostjo in življenjem v bivalnih prostorih z visoko vlago.

4.2 Omejitve in prednosti raziskave

Prvo omejitev raziskave predstavlja prostorska ločljivost zbranih zdravstvenih podatkov. Zdravstveni podatki so bili pridobljeni v združeni obliki na ravni občin. Zavedati se je potrebno, da so nekatere občine večje, zato se lahko breme bolezni manjšega območja znotraj občine v prikazu povprečne vrednosti občine izgubi. V primeru dostopnosti do geokodiranih zdravstvenih podatkov bi lahko izvedli povezovanje zdravstvenih in okoljskih podatkov na ravni malih prostorskih enot 4,4 km × 4,4 km, torej na ločljivosti zbranih okoljskih podatkov.

Drugo omejitev raziskave predstavljajo vhodni okoljski podatki, ki so bili modelirani v prostorski ločljivosti 4,4 km × 4,4 km. Posamezna prostorska enota v Sloveniji zaradi razgibanosti terena obsega različno razgiban teren, kar vpliva na širjenje in kopičenje onesnažil v zunanem zraku. Uporaba večjih prostorskih enot, med katere spada tudi prostorska enota z ločljivostjo 4,4 km, kot rezultat poda grobo prostorsko porazdelitev onesnažil v zunanem zraku, ne odraža pa podrobnosti, ki so vezane na lastnosti terena v natančnejši ločljivosti.

Tretjo omejitev predstavlja dostopnost zdravstvenih in okoljskih podatkov. Tako zdravstveni kot okoljski podatki so bili dostopni na letni ravni, s čimer so bile izgubljene informacije o sezonskih nihanjih in posledičnem vplivu onesnaženega zunanjega zraka na zdravje prebivalstva v različnih sezonah.

Prva prednost raziskave je vključitev onesnažila PM_{2,5} v analizo povezanosti z zdravstvenimi podatki, kar je prvič v slovenskem prostoru. Pretekle raziskave so izmed delcev v zunanem zraku vključevale PM₁₀ (19–21) in ultrafine delce, to so delci z aerodinamskim premerom do 0,1 µm (22, 23).

Drugo prednost naše raziskave predstavlja vključitev potencialnih dejavnikov ozadja v analizo prostorske povezanosti zdravstvenih podatkov in podatkov onesnaženosti zunanjega zraka. V Sloveniji je pred to raziskavo potencialne moteče dejavnike ozadja v prostorsko analizo povezanosti vključil le Galičič (21).

4.3 Pomen ugotovitev za oblikovanje z dokazi podprtih javnozdravstvenih ukrepov

V preteklih raziskavah v Sloveniji (19–21), ki so ocenjevale vpliv delcev na zdravje prebivalcev so ravno tako kot v naši raziskavi zaključili, da obstaja povezanost med vrednostmi delcev v zunanem zraku in opazovanimi zdravstvenimi izidi. Rezultati preteklih (19–21) in naše raziskave so pokazali, da se v Sloveniji povišane vrednosti delcev v zunanem zraku, ki so povezane z negativnimi zdravstvenimi izidi, pojavljajo na določenih območjih Slovenije, za katera je značilen razgiban relief. Rezultati preteklih in naše raziskave lahko ob izboljšanju vhodnih zdravstvenih in okoljskih podatkov predstavljajo dobro podlago za oblikovanje javnozdravstvenih ukrepov na področju onesnaženosti zunanjega zraka z delci.

Pomembna vloga področja javnega zdravja in drugih zdravstvenih dejavnosti je opozarjanje, sooblikovanje in podpiranje predpisov s področja kakovosti zraka ter vplivanje na postopke odločanja s ciljem varovanja zdravja prebivalstva. Poleg vključevanja v postopke odločanja je naloga javnega zdravstva tudi javno predstavljanje znanstvenih dokazov, s katerimi je potrebno ozaveščati tako prebivalstvo kot deležnike v procesu zagotavljanja kakovosti zunanjega zraka (33).

Vlada Republike Slovenije je zaradi preseganja mejnih vrednosti PM₁₀ v skladu z Direktivo 2008/50/ES Evropskega parlamenta in sveta z dne 21. maja 2008 o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo (28) pripravila Odloke o načrtih za kakovost zunanjega zraka za mestne občine Ljubljana (34),

Maribor (35), Celje (36), Kranj (37), Murska Sobota (38) in Novo mesto (39) in Zasavje (občine Trbovlje, Hrastnik in Zagorje ob Savi) (40). Načrti za izboljšanje kakovosti zunanjega zraka obsegajo več kot 40 ukrepov, strnjenih v tri večje sklope dolgoročnih ukrepov in en sklop kratkoročnih ukrepov. Številni ukrepi so prepoznani kot javnozdravstveni ukrepi. Dolgoročni ukrepi so usmerjeni v učinkovito rabo energije v stavbah, izobraževanja o pravilni uporabi kurilnih naprav in ustrezni pripravi lesne biomase za kurjenje, uporabo javnega potniškega prometa, umirjanje prometa ter zmanjševanje prašenja na deponijah, gradbiščih in voznih površinah. Kratkoročni ukrepi so usmerjeni v skrajševanje epizod preseženih dnevni mejnih vrednosti PM_{10} v zunanjem zraku, zlasti v zmanjšanje emisij iz prometa in individualnih kurišč (34–40).

Poleg ukrepov, ki skušajo ublažiti obstoječo onesnaženost zunanjega zraka z delci je ključno, da se pri načrtovanju in umeščanju novih objektov v prostor upošteva njihov namen in značilnosti uporabnikov objektov z vidika onesnaženosti zunanjega zraka z delci. Priporočljivo je, da bi stavbe z varovanimi prostori

(prostor v stavbi, v katerem se opravlja vzgojno-varstvena ali izobraževalna dejavnost ali dejavnost zdravstvenih domov, zdravstvenih postaj, bolnišnic ali klinik in prostori v stanovanjih, v katerih se ljudje zadržujejo dlje časa) in površine za sprostitev in počitek načrtovali ter gradili na območjih z nižjimi vrednostmi delcev v zunanjem zraku, saj bi tako zmanjšali izpostavljenost prebivalcev onesnaženemu zunanjemu zraku z delci (33).

5 ZAKLJUČEK

Prostorska analiza nakazuje povezanost onesnaženosti zunanjega zraka s PM_{10} in $PM_{2,5}$ z umrljivostjo zaradi bolezni dihal pri prebivalcih Slovenije. Na umrljivost zaradi bolezni dihal pozitivno, a ne statistično značilno vplivajo tudi nizka izobrazba, debelost, fizična neaktivnost, uživanje alkohola in pasivno kajenje. Za trdnejše dokaze vpliva onesnaženosti zunanjega zraka s PM_{10} in $PM_{2,5}$ bi bila potrebna natančnejša ocena izpostavljenosti.

Zahvala

Projektni skupini LIFE MED-HISS z Nacionalnega inštituta za javno zdravje za posredovane podatke, ki so bili pridobljeni v času izvajanja mednarodnega projekta »Mediterranean Health Interview Surveys Studies: Long Term Exposure to Air Pollution and Health Surveillance (MED HISS LIFE12 ENV/IT/000834)«

Nasprotje interesov

Avtorji izjavljamo, da ne obstajajo nasprotja interesov.

Etika raziskovanja

Prispevek je bil pripravljen v skladu z etiko raziskovanja v javnem zdravju.

LITERATURA

1. Svetovna zdravstvena organizacija. Frequently Asked Questions, Ambient and Household Air Pollution and Health, Update 2014; 2014. Pridobljeno 11. 06. 2016 s spletne strani: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/faqs_air_pollution.pdf?ua=1.
2. Sicard P, Lesne O, Alexandre N in sod. Air quality trends and potential health effects – Development of an aggregate risk index. Atmos Environ 2011; 45(5): 1145–53.
3. Agencija RS za okolje. Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2015. Ljubljana: Agencija RS za okolje, 2016.
4. Evropska Agencija za okolje (EAO). Environment and human health. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2013. Pridobljeno 11. 06. 2016 s spletne strani: <http://www.eea.europa.eu/publications/environment-and-human-health>.
5. Svetovna zdravstvena organizacija (SZO). Air Quality Guidelines. Global Update 2005. Copenhagen, Danska: Regionalen urad Svetovne zdravstvene organizacije za Evropo, 2006; 61–110.
6. Mednarodna agencija za raziskovanje raka (IARC). Air pollution and cancer. 2013. Pridobljeno 08. 08. 2016 s spletne strani: <https://www.iarc.fr/en/publications/books/sp161/AirPollutionandCancer161.pdf>.
7. Kim KH, Kabir E, Kabir S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. Environment International 2015; 74: 136–43.
8. Maheswaran R, Pearson T, Smeeton NC in sod. Outdoor air pollution and incidence of ischemic and hemorrhagic stroke: a small-area level ecological study. Stroke 2012; 43(1): 22–7.
9. Halonen JI, Blangiardo M, Toledano MB in sod. Is long-term exposure to traffic pollution associated with mortality? A small-area study in London. Environ Pollut 2016; 208(Pt A): 25–32.
10. Coker E, Ghosh E, Jerrett M in sod. Modeling spatial effect of $PM_{2.5}$ on term low birth weight in Los Angeles County. Environ Res 2015; 142: 354–64.
11. Maheswaran R, Haining RP, Brindley P in sod. Outdoor air pollution, mortality, and hospital admissions from coronary heart disease in Sheffield, UK: a small-area level ecological study. Eur Hear J 2005; 26: 2543–9.
12. Choi J, Fuentes M, Reich BJ. Spatial-temporal association between fine particulate matter and daily mortality. Comput Stat Data Anal 2009; 53(8): 2989–3000.

13. Moulton PV, Yang W. Air pollution, oxidative stress, and Alzheimer's disease. *J Environ Public Health* 2012; 1–9.
14. Zanobetti A, Dominici F, Wang Y in sod. A national case-crossover analysis of the short-term effect of PM2.5 on hospitalizations and mortality in subjects with diabetes and neurological disorders. *Environ Health* 2014; 13(1): 38–49.
15. Liu R, Young MT, Chen JC in sod. Ambient Air Pollution Exposures and Risk of Parkinson Disease. *Environ Health Perspect* 2016; 124(11): 1759–65.
16. Zanobetti A, Schwartz J. Are Diabetics More Susceptible to the Health Effects of Airborne Particles? *Am J Respir Crit Care Med* 2011; 164(5): 831–3.
17. Weinmayr G, Hennig F, Fuks K in sod. Long-term exposure to fine particulate matter and incidence of type 2 diabetes mellitus in a cohort study: effects of total and traffic-specific air pollution. *Environ Health* 2015; 14: 53–60.
18. Klepac P, Locatelli I, Krošec S, Künzli N, Kukec A. Ambient air pollution and pregnancy outcomes: a comprehensive review and identification of environmental public health challenges. *Environ Res* 2018; 167: 144–59.
19. Kukec A, Erzen I, Farkas J in sod. Impact of air pollution with PM10 on primary health care consultations for respiratory diseases in children in Zasavje, Slovenia: a time-trend study. *Zdrav Var* 2014; 53(1): 55–68.
20. Kukec A, Zaletel-Kragelj L, Farkaš-Lainščak J in sod. Health geography in case of Zasavje: linking of atmospheric air pollution and respiratory diseases data. *Acta Geogr Slov* 2014; 54(2): 345–62.
21. Galičič A. Izboljšanje metodologije povezovanja zdravstvenih in okoljskih podatkov na razgibanem terenu Zasavja: magistrsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, 2016.
22. Galičič A, Kranjec N. Vpliv ultrafinih delcev v ozračju na boleznih dihal pri prebivalcih Mestne občine Ljubljana: raziskovalna naloga. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, 2015.
23. Kranjec N, Galičič A, Eržen I in sod. Impact of ultrafine particles on daily counts of deaths for respiratory diseases in Municipality of Ljubljana: temporal variability study. *International Journal of Sanitary Engineering Research* 2016; 10(1): 35–47.
24. Statistični urad RS (SURS). Občine. Dostopno na URL: <http://www.stat.si/StatWeb/pregled-podrocja?idp=69&headerbar=17>. Pridobljeno: 11. 06. 2016.
25. Svetovna zdravstvena organizacija. International Classification of Diseases (ICD). 2011. Pridobljeno 11. 06. 2016 s spletne strani: <http://apps.who.int/classifications/icd10/browse/2016/en>.
26. Dolinar M, Rus M. Izračun prostorske porazdelitve onesnaževal v zunanjem zraku s pomočjo združevanja podatkov. V: Kukec A (ur.), Zaletel-Kragelj L (ur.). Kakovost zunanjega zraka: interdisciplinarni pristop k oceni stanja in oblikovanju ter izvajanju ukrepov: zbornik recenziranih znanstvenih prispevkov. Ljubljana: Nacionalni inštitut za javno zdravje, 2016; 73–85.
27. Kukec A, Galičič A, Kranjec N in sod. Preučevanje zdravja v Sredozemlju: dolgotrajna izpostavljenost onesnaževalom v zunanjem zraku in spremljanje zdravja (LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS): Slovenija: končno poročilo. Ljubljana: Nacionalni inštitut za javno zdravje, 2016.
28. Direktiva 2008/50/EC Evropskega parlamenta in Sveta z dne 21. maja 2008 o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo.
29. Kukec A. An environmental model for the relationship between air pollution and respiratory diseases in children - the Zasavje case. Doktorsko delo. Nova Gorica: Univerza v Novi Gorici, 2013.
30. Leem JH, Kim ST, Kim HC. Public-health impact of outdoor air pollution for 2nd air pollution management policy in Seoul metropolitan area, Korea. *Ann Occup Environ Med* 2015; 27: 7–18.
31. Hwang JS, Chan CC. Effects of air pollution on daily clinic visits for lower respiratory tract illness. *Am J Epidemiol* 2002; 155(1): 1–10.
32. Kukec A, Farkaš-Lainščak J, Eržen I in sod. A prevalence study on outdoor air pollution and respiratory diseases in children in Zasavje, Slovenia, as a lever to trigger evidence-based environmental health activities *Arhiv za higijeno rada i toksikologiju* 2013; 64(1): 9–22.
33. Künzli N, Rapp R, Perez L. "Breathe Clean Air": the role of physicians and healthcare professionals. *Breath* 2014; 10(3): 215–9.
34. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Mestne občine Celje (Ur. l. RS, št. 57/17).
35. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Mestne občine Kranj (Ur. l. RS, št. 57/17).
36. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Mestne občine Ljubljana (Ur. l. RS, št. 77/17).
37. Odlok o načrtu za kakovost zraka za aglomeracijo Maribor (Ur. l. RS, št. 82/18).
38. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Mestne občine Murska Sobota (Ur. l. RS, št. 49/17).
39. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Mestne občine Novo mesto (Ur. l. RS, št. 49/17).
40. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Zasavja (Ur. l. RS, št. 73/17).