



NIJZ Nacionalni inštitut
za javno zdravje

REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR
AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE

KAKOVOST ZUNANJEGA ZRAKA:

**INTERDISCIPLINARNI
PRISTOP K OCENI STANJA
IN OBLIKOVANJU TER
IZVAJANJU UKREPOV**

Ljubljana, Slovenija
22. september 2016

**ZBORNİK
RECENZIRANIH
ZNANSTVENIH
PRISPEVKOV**



NIJZ Nacionalni inštitut
za javno zdravje

 REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR
AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE

KAKOVOST ZUNANJEGA ZRAKA: INTERDISCIPLINARNI PRISTOP K OCENI STANJA IN OBLIKOVANJU TER IZVAJANJU UKREPOV

Zbornik recenziranih znanstvenih prispevkov

Ljubljana, 2016

KAKOVOST ZUNANJEGA ZRAKA: INTERDISCIPLINARNI PRISTOP K OCENI STANJA IN OBLIKOVANJU TER IZVAJANJU UKREPOV

Zbornik recenziranih znanstvenih prispevkov

Urednici

Andreja Kuvec in Lijana Zaletel-Kragelj

Odbor urednikov in recenzentov

Andreja Kuvec

Lijana Zaletel-Kragelj

Ivan Eržen

Peter Otorepec

Janja Turšič

Simona Uršič

Jezikovni pregled

slovenski jezik: **Irena Veninšek Perpar in Simona Uršič**

angleški jezik: **Natalija Kranjec**

Oblikovanje in prelom

An Galičič in Anja Jutraž

Fotografija na naslovnici in oblikovanje naslovnice

Tadej Oblak in Anja Jutraž

Izdajatelj

Nacionalni inštitut za javno zdravje, Trubarjeva 2, Ljubljana

Tisk

Tiskarna Print Point, Pro Marketing d.o.o., Ljubljana

Naklada

120

Kraj in leto izdaje

Ljubljana, 2016

CIP - Kataložni zapis o publikaciji

Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

502.3:504.5(082)

502.175(082)

KAKOVOST zunanjega zraka: interdisciplinarni pristop k oceni stanja in oblikovanju ter izvajanju ukrepov : zbornik recenziranih znanstvenih prispevkov / [urednici Andreja Kuvec in Lijana Zaletel-Kragelj]. - Ljubljana : Nacionalni inštitut za javno zdravje, 2016

ISBN 978-961-7002-05-8

1. Kuvec, Andreja, 1982-

286042624

Programski odbor

Predsednica programskega odbora

Andreja Kukec

Člani programskega odbora (abecedni vrstni red)

Ivan Eržen

Peter Otorepec

Janja Turšič

Simona Uršič

Lijana Zaletel-Kragelj

Organizacijski odbor

Predsednik organizacijskega odbora

An Galičič

Člani organizacijskega odbora (abecedni vrstni red)

Katarina Bitenc

Tina Grča

Natalija Kranjec

Nataša Kovač

Vladimira Lampič

Spletno mesto

<http://medhiss.eu/>

<http://www.nijz.si/sl/med-hiss-projekt>

Konferenca recenziranih znanstvenih prispevkov je bila organizirana v sklopu projekta »Mediterranean Health Interview Surveys Studies: Long Term Exposure to Air Pollution and Health Surveillance (LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS)«. Konferenco, v okviru katere je nastal tudi zbornik, je financirala Evropska unija in sicer iz Programa za okolje in podnebne ukrepe LIFE.

Za vsebino posameznega prispevka so odgovorni njegovi avtorji.

PROGRAM KONFERENCE

UVODNI DEL	
	Pozdravni nagovor predstavnika Ministrstva za zdravje
	Pozdravni nagovor generalne direktorice Direktorata za okolje Ministrstva za okolje in prostor <i>Tanja Bolte</i>
9.30	Pozdravni nagovor direktorja Nacionalnega inštituta za javno zdravje <i>Ivan Eržen</i>
	Pozdravni nagovor direktorja Urada za meteorologijo Agencije Republike Slovenije za okolje <i>Klemen Bergant</i>
STROKOVNI DEL	
	I. DEL: ZDRAVJE IN ONESNAŽEN ZUNANJI ZRAK <i>Moderatorji: Andreja Kukec, Lijana Zaletel-Kragelj in Peter Otorespec</i>
9.50	Vpliv onesnaženega zunanjega zraka s trdnimi delci na zdravje: sistematični pregled izbrane znanstvene literature <i>Simona Uršič</i>
10.05	Stanje na področju kakovosti zunanjega zraka v Sloveniji <i>Janja Turšič</i>
10.20	Pregled zakonodaje na področju kakovosti zunanjega zraka v Evropi: načrtovanje javnozdravstvenih aktivnosti <i>Nataša Kovač</i>
10.35	Epidemiološke raziskave vpliva onesnaženosti zunanjega zraka na zdravje v Sloveniji: sistematični pregled <i>An Galičič</i>
10.50	Izpostavljenost prebivalcev primorskega območja (SIP) ozonu: kazalec SOMO₃₅ <i>Agnes Šömen Joksić</i>
11.05	Učinki trdnih delcev v zunanjem zraku na izide nosečnosti: novi trendi in izzivi <i>Andreja Kukec</i>
11.20	RAZPRAVA
11.50	Odmor
	II. DEL: PROJEKT LIFE12 ENV/IT/000834 MED-HISS <i>Moderatorke: Simona Uršič, Janja Turšič in Nataša Kovač</i>
12.00	Metodologija ocenjevanja vplivov onesnaženosti zunanjega zraka na zdravje: evropski projekt LIFE12 ENV/IT/000834 MED-HISS <i>Andreja Kukec</i>
12.15	Izračun prostorske porazdelitve onesnaževal v zunanjem zraku s pomočjo združevanja podatkov <i>Marko Rus</i>
12.30	Ocena povezanosti med umrljivostjo in številom bolnišničnih obravnav za opazovanimi zdravstvenimi izidi ter onesnaženostjo zunanjega zraka: evropski projekt LIFE12 ENV/IT/000834 MED-HISS <i>Andreja Kukec</i>
12.45	RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

KAZALO

KAZALO	I
AVTORJI PRISPEVKOV	III
RECENZIJA ZBORNIKA Z VIDIKA JAVNEGA ZDRAVJA <i>Marjan Premik</i>	V
RECENZIJA ZBORNIKA Z VIDIKA KLINIČNE MEDICINE <i>Mitja Košnik</i>	VI
UVODNIK <i>Andreja Kukec, Lijana Zaletel-Kragelj</i>	VII
I. DEL: ZDRAVJE IN ONESNAŽEN ZUNANJI ZRAK	1
VPLIV ONESNAŽENEGA ZUNANJEGA ZRAKA S TRDNIMI DELCI NA ZDRAVJE: SISTEMATIČNI PREGLED IZBRANE ZNANSTVENE LITERATURE <i>Simona Uršič, Majda Pohar, Andreja Kukec, An Galičič, Simona Perčič, Peter Otorepec</i>	3
STANJE NA PODROČJU KAKOVOSTI ZUNANJEGA ZRAKA V SLOVENIJI <i>Janja Turšič, Rahela Žabkar</i>	12
PREGLED ZAKONODAJE NA PODROČJU KAKOVOSTI ZUNANJEGA ZRAKA V EVROPI <i>Nataša Kovač, Peter Otorepec</i>	19
EPIDEMIOLOŠKE RAZISKAVE VPLIVA ONESNAŽENOSTI ZUNANJEGA ZRAKA NA ZDRAVJE V SLOVENIJI: SISTEMATIČNI PREGLED <i>An Galičič, Lijana Zaletel-Kragelj, Andreja Kukec</i>	27
IZPOSTAVLJENOST PREBIVALCEV PRIMORSKEGA OBMOČJA (SIP) OZONU: KAZALEC SOMO³⁵ <i>Agnes Šömen Joksic</i>	38
UČINKI TRDNIH DELCEV V ZUNANJEM ZRAKU NA IZIDE NOSEČNOSTI: NOVI TRENDI IN IZZIVI <i>Petra Klepac, An Galičič, Barbara Mihevc Ponikvar, Sara Korošec, Andreja Kukec</i>	46
II. DEL: PROJEKT LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS	59
METODOLOGIJA OCENJEVANJA VPLIVOV ONESNAŽENOSTI ZUNANJEGA ZRAKA NA ZDRAVJE: EVROPSKI PROJEKT LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS <i>Andreja Kukec, An Galičič, Lijana Zaletel-Kragelj</i>	61
IZRAČUN PROSTORSKE PORAZDELITVE ONESNAŽEVAL V ZUNANJEM ZRAKU S POMOČJO ZDRUŽEVANJA PODATKOV <i>Mojca Dolinar, Marko Rus</i>	73
POVEZANOST MED UMRLJIVOSTJO IN ONESNAŽENOSTJO ZUNANJEGA ZRAKA: EKOLOŠKA PROSTORSKA RAZISKAVA (LIFE 12ENV/IT/000834 MED HISS) <i>Andreja Kukec, An Galičič, Tina Grča, Natalija Kranjec, Lijana Zaletel-Kragelj, Ivan Eržen, Peter Otorepec</i>	86
POVEZANOST MED ŠTEVILOM BOLNIŠNIČNIH OBRAVNAV IN ONESNAŽENOSTJO ZUNANJEGA ZRAKA: EKOLOŠKA PROSTORSKA RAZISKAVA (LIFE 12 ENV/IT/000834 MED-HISS) <i>Andreja Kukec, An Galičič, Tina Grča, Natalija Kranjec, Lijana Zaletel-Kragelj, Ivan Eržen, Peter Otorepec</i>	94

AVTORJI PRISPEVKOV

mag. **Mojca Dolinar**, univ. dipl.
meteorol.

*Agencija Republike Slovenije za okolje, Ministrstvo za
okolje in prostor*

prim. izr. prof. dr. **Ivan Eržen**,
dr. med., spec. epid., spec. jav. zdrav.

Nacionalni inštitut za javno zdravje

An Galičič, mag. san. inž.

*Center za zdravstveno ekologijo, Nacionalni inštitut za
javno zdravje*

Tina Grča, dipl. san. inž.

*Center za zdravstveno ekologijo, Nacionalni inštitut za
javno zdravje*

Petra Klepac, dr. med.,
specializantka jav. zdrav.

*Nacionalni inštitut za javno zdravje (Območna enota
Celje)*

asist. dr. **Sara Korošec**, dr. med.,
spec. ginek. in porod.

*Klinični oddelek za reprodukcijo, Ginekološka klinika,
Univerzitetni klinični center Ljubljana*

prof. dr. **Mitja Košnik**, spec. int. med.,
višji svetnik

*Univerzitetna klinika za pljučne bolezni in alergijo
Golnik*

Natalija Kranjec, dipl. san. inž. (UN)

*Center za zdravstveno ekologijo, Nacionalni inštitut za
javno zdravje*

mag. **Nataša Kovač**, univ. dipl. kem.

*Agencija Republike Slovenije za okolje, Ministrstvo za
okolje in prostor*

doc. dr. **Andreja Kukec**, dipl. san. inž.

*Katedra za javno zdravje, Medicinska fakulteta,
Univerza v Ljubljani*

Barbara Mihevc Ponikvar, dr. med.,
spec. jav. zdrav.

*Center za proučevanje in razvoj zdravja, Nacionalni
inštitut za javno zdravje*

Simona Perčič, dr. med.,
spec. jav. zdrav.

*Center za zdravstveno ekologijo, Nacionalni inštitut za
javno zdravje*

doc. dr. **Marjan Premik**, dr. dent. med.,
spec. soc. med.

*Katedra za javno zdravje, Medicinska fakulteta,
Univerza v Ljubljani*

Peter Otorepec, dr. med., spec. hig.,
spec. MDPŠ

*Center za zdravstveno ekologijo, Nacionalni inštitut za
javno zdravje*

Majda Pohar, dr. med., spec. hig.

*Center za zdravstveno ekologijo, Nacionalni inštitut za
javno zdravje (Območna enota Murska Sobota)*

Marko Rus, univ. dipl. meteorol.

*Agencija Republike Slovenije za okolje, Ministrstvo za
okolje in prostor*

doc. dr. **Agnes Šömen Joksič**,
univ. dipl. inž. kem.

*Center za zdravstveno ekologijo, Nacionalni inštitut za
javno zdravje (Območna enota Koper)*

dr. **Janja Turšič**, univ. inž. kem. tehnol.

*Agencija Republike Slovenije za okolje, Ministrstvo za
okolje in prostor*

mag. **Simona Uršič**, dr. med.,
spec. hig., spec. jav. zdrav.

*Center za zdravstveno ekologijo, Nacionalni inštitut za
javno zdravje (Območna enota Celje)*

prof. dr. **Lijana Zaletel-Kragelj**,
dr. med., spec. epid., spec. jav. zdrav.

*Katedra za javno zdravje, Medicinska fakulteta,
Univerza v Ljubljani*

dr. **Rahela Žabkar**, univ. dipl. meteorol.

*Agencija Republike Slovenije za okolje, Ministrstvo za
okolje in prostor*

RECENZIJA ZBORNIKA Z VIDIKA JAVNEGA ZDRAVJA

Marjan Premik

Zunanji zrak kot del fizikalnega okolja je izjemno pomembna determinanta zdravja. Poglobljanje v vplive posamezne determinante na zdravje pa zahteva poznavanje njenih sestavin (dejavniki tveganja) na zdravje, kot tudi poznavanje delovanja različnih kombinacij teh dejavnikov in njihovih učinkov v določenem življenjskem okolju na ljudi v določenih časovnih okvirjih. Če so bile raziskave na področju medicine in javnega zdravja v preteklosti usmerjene zlasti v ugotavljanje etiološke vloge posameznih dejavnikov tveganja za nastanek zdravstvenega problema, pa se sedaj vse več pozornosti namenja proučevanju različnim kombinacijam dejavnikov – determinantam zdravja, ki določajo zdravstvene izide. Zaradi zapleteno sestavljenih determinant zdravja in njihovih raznolikih učinkov na zdravje pa njihovo proučevanje zahteva interdisciplinaren, medinstitucionalen in več sektorski pristop s skupnim končnim ciljem pripraviti in izvajati znanstveno utemeljene ukrepe za varovanje in izboljšanje zdravja ljudi.

Priprava zbornika KAKOVOST ZUNANJEGA ZRAKA je dober način seznanjanja zainteresirane javnosti o razvoju, stanju in problemih raziskav na tem področju v svetu in pri nas. Raziskovalne prispevke več avtorjev sta urednici zbornika razdelili v dva dela. V prvem delu so predstavljeni kakovost zunanjega zraka in učinki njegove onesnaženosti (PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_2 , NO_x , O_3) na zdravje ljudi, kot tudi metode ocenjevanja in obvladovanja onesnaženosti ter nekateri raziskovalni izzivi zlasti v pogledu povezovanja zdravstvenih podatkov (bolezni dihal, bolezni obtočil, presnovne bolezni, bolezni živčevja) s podatki o onesnaženosti zunanjega zraka. V drugem delu pa so predstavljeni rezultati projekta Mediterranean Health Interview Surveys Studies: long term exposure to air pollution and health surveillance, pri katerem je sodelovala tudi Slovenija. Projekt je pomenil spodbudo za sodelovanje strokovnjakov s področja zdravja in okolja, kar je med drugim pripeljalo do ocene izpostavljenosti prebivalstva nekaterim škodljivostim v zunanjem zraku na ravni slovenskih občin (prostorska ločljivost) in do analize povezanosti z zdravstvenimi podatki (ugotovljena pozitivna povezanost z nezaželenimi zdravstvenimi izidi). Raziskovalci korektno razpravljajo o problemu virov, kakovosti podatkov, kot tudi zanesljivosti informacij v času in prostoru in v tem kontekstu izpostavljajo potrebo po izgradnji informacijskega sistema, ki bi v prihodnje olajševal smiselno povezovanje podatkov o onesnaževalcih v okolju in zdravstvenih izidih pri ljudeh za krajša (akutna) in daljša (kronična) časovna obdobja tudi na manjših prostorskih enotah.

Javno zdravje kot stroka in znanost si v okviru svojih strategij za izboljševanje zdravja prizadeva varovati zdravje ljudi tudi pred škodljivostmi iz okolja. S tem namenom: izvaja raziskave akutnih in poznih zdravstvenih posledic zaradi substanc spuščenih v okolje; vzpostavlja nadzor nad pojavi škodljivosti v okolju; podpira razvoj in uvedbo tehnologij, ki naj eliminirajo ali nevtralizirajo škodljivosti; prispeva k razvoju zakonodaje, ki omogoča implementacijo kontrolnih strategij ipd. V tem vsebinskem okviru ocenjujem, da je pričujoči zbornik strokovni in znanstveni prispevek v smislu poznavanja zadevne problematike in raziskovalne metodologije ter korak naprej pri uveljavljanju javnozdravstvene strategije.

RECENZIJA ZBORNIKA Z VIDIKA KLINIČNE MEDICINE

Mitja Košnik

Kardiovaskularne bolezni, rakave bolezni in kronična obstruktivna pljučna bolezen (KOPB) so vodilni vzroki umrljivosti. Za nastanek teh bolezni je v veliki meri pomembna dedna zasnova. Kako hitro se bo bolezen razvila in kako težka bo je v veliki meri odvisno od dejavnikov okolja. Najbolj ključen od teh dejavnikov je kajenje cigaret, pomemben je tudi življenjski slog.

Obvladovanje epidemije kardiovaskularnih bolezni je uspešno s farmakološko preventivo, pri raku in KOPB pa tovrstne preventive ni. Ozaveščanje ljudi glede koristi zdravega življenjskega sloga in nekajenja je pomembna naloga zdravstvene politike in prinaša koristi. S tema pristopoma se je v Sloveniji v zadnjih letih precej zmanjšala obolevnost in umrljivost zaradi bolezni srca in ožilja. Tudi napovedi za pogostost KOPB so ugodne, saj se število kadilcev zmanjšuje. Škodljivosti onesnaženega zraka pa se posameznik v svojem bivalnem okolju ne more izogniti. Potrebni so sistemski pristopi, da se populacijo obvaruje tega dejavnika tveganja.

Seveda čist zrak teh bolezni ne bo odpravil in ljudje bodo zaradi njih še vedno umirali. So pa raziskovalci izračunali, da onesnaženemu zunanjemu zraku lahko pripišemo 20 % smrti zaradi srčne in možganske kapi, 16 % zaradi pljučnega raka, 13 % zaradi okužb dihal in 11 % zaradi KOPB. Onesnažen zrak je tudi povod za hospitalizacije, predvsem pri bolnikih s kroničnimi boleznimi dihal.

Ta publikacija je pomembna, ker sistematično predstavi vpliv onesnaženega ozračja na patogenezo bolezni, pokaže velikost problema. Torej, kako določena stopnja onesnaženosti poveča verjetnost bolezni, vire onesnaženja in tudi, kako ukrepi za zmanjšanje onesnaženja izboljšajo zdravstveno stanje. Pomembno sporočilo je, da sedaj, ko se je z zakonskimi predpisi in tehnološkimi rešitvami uredilo, da industrija v okolje ne izpušča več toliko onesnaževal, postajajo glavni viri onesnaževanja zraka tisti, ki jih povzročamo prebivalci sami: izpušni plini vozil ter individualna kurišča. Torej bo potrebno s kombinacijo ozaveščanja ljudi in sistemskih ukrepov pripraviti posameznike, da bomo pozorni na naše okolju neprijazno ravnanje.

Preučevanje vpliva kajenja na srčno-žilne bolezni, raka in KOPB je pokazalo, da kajenje izrazito škodi le delu kadilcev, torej mora obstajati neko nagnjenje, da škodljiv dejavnik iz okolja povzroči oziroma pospeši razvoj nastanka bolezni. Morda je taka dovzetnost tudi za škodljivosti iz onesnaženega zraka. Še en izziv za raziskovalce.

Andreja Kukec, Lijana Zaletel-Kragelj

V zborniku recenziranih znanstvenih prispevkov želimo strokovnjakom različnih strok, ki se ukvarjajo s kakovostjo zunanjega zraka, predstaviti metodološke pristope ocenjevanja učinkov onesnaženega zunanjega zraka na zdravje.

V zunanjem zraku je prisotna mešanica različnih onesnaževal, ki preko patofizioloških mehanizmov škodljivo učinkujejo na zdravje. Po ocenah Svetovne zdravstvene organizacije je zaradi izpostavljenosti onesnaženemu zunanjemu zraku v letu 2012 v svetu umrlo 3,7 milijona ljudi, kar predstavlja 6,7 % vseh smrti. Na podlagi znanstvenih dokazov tako kakovost zunanjega zraka uvrščamo med pomembno determinanto zdravja.

Zbornik je razdeljen na dva dela. V prvem delu obravnava učinke onesnaženosti zunanjega zraka na zdravje, metode ocenjevanja izpostavljenosti, stanje kakovosti zunanjega zraka v Sloveniji, ukrepe za zmanjšanje in obvladovanje onesnaženosti ter nove trende in izzive pri povezovanju zdravstvenih podatkov s podatki o onesnaženosti zunanjega zraka. V drugem delu so predstavljeni rezultati projekta LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS (Mediterranean Health Interview Surveys Studies: long term exposure to air pollution and health surveillance), pri katerem je sodelovala tudi Slovenija.

Tako globalno kot v slovenskem prostoru se znanost in stroka srečujeta s problemi vpliva onesnaženosti zunanjega zraka na zdravje. Za reševanje le-teh je potrebno interdisciplinarno sodelovanje strokovnjakov s področja zdravja in okolja. Do sedaj so bile v evropskem prostoru izvedene številne večje multicentrične raziskave, ki so ocenjevale dolgoročne vplive onesnaženosti zunanjega zraka na zdravje. V teh raziskavah je bil poudarjen pomen kakovosti podatkov in zanesljivosti informacij za oceno učinkov na zdravje. Pokazala se je tudi velika vloga načrtovanja z dokazi podprtih ukrepov. Navedena dejstva prav gotovo predstavljajo izzive za strokovnjake s področja zdravja in okolja v Sloveniji. Pomemben mejnik za oceno slovenskega stanja na tem področju ter samo izvedbo ekološke prostorske raziskave je predstavljalo tudi sodelovanje Slovenije v evropskem projektu LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS. Namen projekta je bil oceniti dolgoročne vplive onesnaženosti zunanjega zraka na zdravje ljudi v mediteranskih državah. Sodelovanje v projektu nas je spodbudilo, da smo v slovenskem prostoru prvič na ravni občin pripravili oceno izpostavljenosti in analizo povezanosti z zdravstvenimi podatki. S sodelovanjem smo v Sloveniji pridobili vsebinska znanja ter praktične izkušnje, zlasti na področju ocenjevanja izpostavljenosti in analize povezanosti.

Zbornik je namenjen strokovnjakom s področja zdravja in okolja, ki se ukvarjajo z metodološkimi pristopi pri ocenjevanju izpostavljenosti, proučevanjem vplivov na zdravje ter načrtovalcem ukrepov in vizij za izboljšanje kakovosti zunanjega zraka. Glede na predstavljene vsebinske sklope smo v zborniku želeli poudariti pomen interdisciplinarnega sodelovanja med strokami in sektorji.

I.

ZDRAVJE IN ONESNAŽEN ZUNANJI ZRAK

VPLIV ONESNAŽENEGA ZUNANJEGA ZRAKA S TRDNIMI DELCI NA ZDRAVJE: SISTEMATIČNI PREGLED IZBRANE ZNANSTVENE LITERATURE

IMPACT OF PARTICULATE OUTDOOR AIR POLLUTION ON HEALTH:
A SYSTEMATIC REVIEW OF SELECTED SCIENTIFIC LITERATURE

Simona Uršič, Majda Pohar, Andreja Kuček, An Galičič,
Simona Perčič, Peter Otorepec

IZVLEČEK

Uvod: V razvitih državah je izpostavljenost onesnaženemu zunanjemu zraku najpomembnejši problem okoljskega javnega zdravja. Velikost trdnih delcev v zunanjem zraku je neposredno povezana z vplivi na zdravje, saj pogojuje mesto njihovega delovanja v organizmu. **Namen:** Pregled novejšje znanstvene literature glede objavljenih dokazov o povezanosti med onesnaženostjo zunanjega zraka s trdnimi delci in izbranimi zdravstvenimi izidi. **Metode:** Sistematični pregled preglednih znanstvenih člankov in člankov s ciljno vsebino, ki obravnavajo vpliv trdnih delcev v zunanjem zraku na različne organske sisteme. **Rezultati in razprava:** V pregledanih raziskavah je bila ugotovljena pozitivna in statistično značilna povezanost med izpostavljenostjo trdnim delcem v zunanjem zraku in boleznimi dihal, boleznimi obtočil, nevrološkimi boleznimi in presnovnimi boleznimi. Pozitivna povezanost med izpostavljenostjo trdnim delcem in tveganjem za bolezni obtočil je bila ugotovljena tudi pri vrednostih onesnaženja pod mejnimi letnimi vrednostmi, ki veljajo v Evropski uniji. **Sklep:** Na področju pridobivanja dokazov vplivov izpostavljenosti trdnim delcem v zunanjem zraku na zdravje ljudi so potrebne še številne poglobljene epidemiološke raziskave.

Ključne besede: trdni delci, bolezni dihal, bolezni obtočil, presnovne bolezni, bolezni živčevja

ABSTRACT

Introduction: In developed countries outdoor air pollution presents the most important environmental public health problem. Size of particulate matter in outdoor air is directly associated with health effects, because it differs the impact area in the organism. **Aim:** Review of the most recent scientific literature on evidences of association between outdoor air pollution and selected health outcomes. **Methods:** Systematical review of selected scientific literature, that observe the effect of particulate outdoor air pollution on different organ systems. **Results and discussion:** In reviewed scientific literature positive and statistical significant associations between exposure to particulate matter in outdoor air and respiratory diseases, cardiovascular diseases, nervous system diseases and metabolic diseases were observed. Positive association between exposure to particulate matter and cardiovascular disease risk factors was assessed also in pollution levels below the limit year values, which exist in European Union. **Conclusion:** In collection of evidences concerning health effects of particulate matter multiple comprehensive epidemiological studies are needed.

Key words: particulate matter, respiratory diseases, cardiovascular diseases, metabolic diseases, nervous system diseases

1 UVOD

Vpliv onesnaženega zunanjega zraka na zdravje je v razvitih državah najpomembnejši problem javnega zdravja na področju okolja in zdravja. Po ocenah Svetovne zdravstvene organizacije (SZO) je zaradi izpostavljenosti onesnaženemu zraku v letu 2012 v svetu umrlo 3,7 milijona ljudi, kar predstavlja 6,7 % vseh smrti (1). Mednarodna agencija za raziskave raka (IARC) uvršča trdne delce z aerodinamskim premerom do 10 μm (PM_{10}) v 1. skupino, to je med dokazano rakotvorne snovi za ljudi (2). V Evropi je okoli 90 % mestnega prebivalstva izpostavljenega prekomernim vrednostim trdnih delcev, dušikovih oksidov (NO_x), ozona (O_3) in benzena v zunanjem zraku. Künzli in sodelavci (3) ocenjujejo, da v Evropi na leto umre od 40.000 do 130.000 ljudi za posledicami izpostavljenosti onesnaženemu zunanjemu zraku zaradi prometa. Dosedanje raziskave kažejo, da so ocene o številu umrlih in obolelih za posledicami izpostavljenosti onesnaženemu zunanjemu zraku podcenjene, saj temeljijo na rezultatih raziskav, v katerih je bil preučevan le kratkotrajen učinek onesnaženja (3).

V zadnjem desetletju je večina epidemioloških raziskav ocenjevala povezanost med izpostavljenostjo prebivalcev trdnim delcem (PM_{10} in trdnimi delci z aerodinamskim premerom do 2,5 μm - $\text{PM}_{2,5}$). Raziskave so pokazale, da je velikost delcev neposredno povezana z vplivi na zdravje, saj pogojuje mesto njihovega delovanja v organizmu. Delci, večji od PM_{10} , se zadržijo v zgornjih dihalnih poteh (nos in obnosne votline). PM_{10} dosežejo spodnje dihalne poti, $\text{PM}_{2,5}$ pa prodrejo tudi v pljučne mešičke. Tudi ultrafini delci (trdni delci z aerodinamskim premerom do 0,1 μm) lahko iz pljučnih mešičkov vstopajo v krvni obtok in preko nosno žrelnega prostora preko vohalnega živca v možgane (4).

Namen prispevka je pregledati novejšo znanstveno literaturo glede objavljenih dokazov o povezanosti med onesnaženostjo zunanjega zraka s trdnimi delci in izbranimi zdravstvenimi izidi.

2 METODE

Sistematični pregled novejše znanstvene literature glede povezanosti med onesnaženostjo zunanjega zraka in izbranimi zdravstvenimi izidi je bil izveden v bibliotekarskih bazah Nacionalnih medicinskih knjižnic Združenih držav Amerike (NML) (5), v katerih so objavljene najpomembnejše raziskave obravnavane problematike s celega sveta. Med objavljenimi članki smo izbrali pregledne članke in članke s ciljno vsebino, ki so obravnavali povezanost med izpostavljenostjo trdnim delcem v zunanjem zraku in pojavom različnih bolezni dihal, obtočil in živčevja ter presnovnih bolezni.

3 REZULTATI

Znanstveni pregled je zavzel 53 raziskav. V pregled so bili vključeni tudi rezultati dveh večjih evropskih projektov APHEA (angl. Air Pollution on Health: European Approach) (6) in ESCAPE (angl. European Study of Cohorts for Air Pollution Effects) (7).

3.1 Rezultati pregleda izbrane znanstvene literature

Delci različnih velikosti na mestu vstopa v telo povzročijo oksidativni stres v pljučih, ki vodi v vnetje (8, 9). Vnetje lahko poslabša obstoječe bolezni dihal (npr. kronično obstruktivno pljučno bolezen - KOPB) in ob dolgotrajnemu delovanju pospeši upad pljučne funkcije. Preko mediatorjev vnetja delci različnih velikosti povečajo vrednosti koagulacijskih faktorjev

in povzročijo nastanek krvnih strdkov, kar lahko povzroči možganski in srčni infarkt. Na žilni sistem trdni delci delujejo tako, da povzročijo in pospešijo nastanek ateroskleroze (8, 9).

PM_{2,5} in ultrafini delci potujejo po krvi v različna tkiva in tam povzročajo vnetja. Pri tem se sproščajo mediatorji vnetja (citokini in kemokini), ki imajo sistemske učinke (dodatno sproščanje fibrinogena iz jeter, povečanje števila trombocitov, povečanje viskoznosti in koagulabilnosti krvi ter C reaktivnega proteina in endotelina). Vnetje lahko vpliva na povišan krvni tlak, posledica česar je lahko nastanek krvnih strdkov, motenj srčnega ritma in srčnega infarkta (10).

Delci različnih velikosti dražijo tudi živec vagus in druge živčne receptorje, ki imajo vpliv na srčni utrip in dihanje, kar lahko povzroči motnje ritma srca. Za ultrafine delce je znano, da lahko preko vohalnega živca vstopajo tudi v možgane (11).

3.1.1 Bolezni dihal

Pregledane epidemiološke raziskave zadnjih petnajstih let kažejo na povezanost med izpostavljenostjo trdnim delcem in povečano stopnjo obolevnosti in umrljivosti za boleznimi dihal. Dolgotrajna stalna izpostavljenost ima značilno večji vpliv na zdravje kot občasna kratkotrajna izpostavljenost višjim vrednostim PM₁₀ (9).

Učinki kratkotrajne izpostavljenosti trdnim delcem na bolezni dihal

Učinke kratkotrajne izpostavljenosti trdnim delcem so v pregledanih raziskavah povezali s povečano umrljivostjo otrok (12) in odraslih (13) ter povečano incidenco srčnega infarkta, še zlasti pri ogroženih skupinah prebivalcev kot so sladkorni bolniki in bolniki s KOPB (13). Rezultati epidemioloških raziskav kažejo na povezanost med kratkotrajno izpostavljenostjo trdnim delcem ter povečano stopnjo umrljivosti pri bolnikih z že obstoječo pljučno boleznijo (9).

Učinki dolgotrajne izpostavljenosti trdnim delcem na bolezni dihal

V dosedanjih epidemioloških raziskavah, izvedenih v različnih državah (Norveška, Irska in ZDA) so ugotovili povezanost med dolgotrajno izpostavljenostjo trdnim delcem in povečano stopnjo umrljivosti za opazovanimi zdravstvenimi izidi (14–17). V multicentrični raziskavi APHEA so proučevali vpliv PM₁₀ na umrljivost zaradi boleznimi dihal in obtočil v 22 evropskih državah, kjer je sodelovala tudi Slovenija. V raziskavi so ugotovili linearno povezanost med dolgotrajno izpostavljenostjo PM₁₀ in povečano stopnjo umrljivosti za boleznimi dihal in obtočil. Ocenili so tudi, da se pri izpostavljenosti povprečni letni vrednosti PM₁₀, ki znaša 40 µg/m³, umrljivost poveča za več kot 2 % (18). Stopnja umrljivosti se prav tako poveča pri dolgotrajni izpostavljenosti nizkim vrednostim PM₁₀, predvsem pri starejših in bolnikih z obstoječimi boleznimi dihal (14).

V povezavi z obolevnostjo je bilo ugotovljeno, da delci različnih velikosti v zunanjem zraku lahko povzročijo, poslabšajo in pospešijo tudi nekatere intersticijske boleznimi pljuč (19). Glede proučevanja vpliva trdnih delcev na obolevnost lahko izpostavimo raziskavo iz Velike Britanije, v kateri so merili pljučne funkcije pri 4.742 ljudeh v starosti od 18 do 60 let za obdobje 11 let. Ugotovili so statistično značilno povezanost med izpostavljenostjo PM₁₀ in hitrostjo upada pljučne funkcije, merjene kot FEV (angl. Forced Expiratory Volume). Zmanjšanje vrednosti FEV je bilo linearno glede na povprečne letne vrednosti PM₁₀ od 5 do 45 µg/m³ (20). Do podobnih rezultatov glede upada pljučne funkcije v povezavi z izpostavljenostjo PM₁₀ so prišli tudi Adam in sodelavci (21), ki so ocenili, da je povezanost med opazovanimi

pojavi še bolj izrazita pri osebah s povečanim indeksom telesne mase (ITM). Lippmann s sodelavci (22) so v raziskavi iz Velike Britanije pri bolnikih z astmo ugotovili statistično značilen upad pljučne funkcije eno uro po začetku izpostavljenosti $PM_{2,5}$.

Longitudinalna raziskava, izvedena na Nizozemskem, v kateri je sodelovalo 4.000 otrok, je pokazala, da imajo otroci, ki živijo v bližini prometnih cest 1,3-krat in 1,2-krat večje razmerje obetov, da bodo zboleli za astmo ter vnetji ušes in grla v primerjavi s tistimi, ki živijo oddaljeno od prometnih cest (22). Do podobnih rezultatov so prišli tudi v raziskavi izvedeni v Franciji (23). Negativne učinke izpostavljenosti trdnim delcem na povečano število primerov astme in upočasnen razvoj dihal pri otrocih v starosti od 10 do 18 let so ugotovili tudi Gauderman in sodelavci (24) v Kaliforniji. Ocenili so, da so imeli otroci, ki so živeli do 500 metrov od prometne ceste, zmanjšano pljučno funkcijo v primerjavi z otroci, ki so bili od prometne ceste oddaljeni vsaj 1500 metrov (24). Obstajajo indikacije, da izpostavljenost PM_{10} povzroča tudi nastanek astme pri odraslih, a povezanost ni statistično značilna (25). Dokazano je, da izpostavljenost trdnim delcem povzroča in pospešuje razvoj KOPB in to že v mladosti, saj imajo delci različnih velikosti na pljuča podoben učinek kot cigaretni dim (9).

Pljučni rak

Povezanost med izpostavljenostjo trdnim delcem in nastankom pljučnega raka so preučevali v devetih evropskih kohortnih raziskavah, v katerih je sodelovalo skoraj 313.000 udeležencev. Rezultati raziskav so pokazali pozitivno in statistično značilno povezanost med izpostavljenostjo PM_{10} in pojavom pljučnega raka. Razmerje ogroženosti za pljučnega raka se poveča za 1,22, če vrednost PM_{10} naraste za $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Podobna povezanost se je pokazala tudi pri pljučnem adenokarcinomu, kjer je bilo razmerje ogroženosti 1,51 pri izpostavljenosti PM_{10} in 1,55 pri izpostavljenosti $PM_{2,5}$ v zunanem zraku (26). V raziskavi ruralnih občin Italije so ugotovili, da se relativno tveganje za umrljivost zaradi pljučnega raka statistično značilno poveča za 1,27 pri oddaljenosti od obremenjene prometnice manj kot 25 metrov v primerjavi z oddaljenostjo 500 do 1.999 metrov od prometnice. Razlika v umrljivosti za pljučnim rakom ni bila statistično značilno povezana v primerjavi z udeleženci, ki živijo 100 do 500 metrov od obremenjene prometnice (27). Chen in sodelavci (28) so v metaanalizi ugotovili pozitivno in statistično značilno povezanost med izpostavljenostjo $PM_{2,5}$ in povečano incidenco ter umrljivostjo za pljučnim rakom pri poklicnih voznikih. Do podobnih ugotovitev so prišli tudi v 14 kohortnih raziskavah iz osmih evropskih držav. Rezultati raziskav so pokazali pozitivno in statistično značilno povezanost med izpostavljenostjo trdnim delcem, na katere so bile vezane težke kovine baker, cink in nikelj ter nastankom pljučnega raka (29).

3.1.2 Bolezni obtočil

Delci različnih velikosti imajo večji vpliv na bolezni obtočil kot na bolezni dihal (30). Obstajajo številni dokazi o povezanosti med onesnaženostjo zunanjega zraka in umrljivostjo zaradi bolezni obtočil (31–33). Učinki izpostavljenosti visokim vrednostim trdnih delcev v zunanem zraku na zdravje ljudi v smislu srčno-žilnih zapletov so bolj nevarni pri ranljivejših populacijskih skupinah kot so bolniki z že obstoječimi boleznimi dihal in obtočil, starejši ter otroci (15).

Akutna ishemična bolezen srca in kronične bolezni obtočil

$PM_{2,5}$ in ultrafini delci prehajajo v krvni obtok in delujejo neposredno na celice endotelija žil, kar povzroči nastanek lokalnega oksidativnega stresa in vnetega odziva, podobnega kot

v pljučih (34–36).

V nizozemski raziskavi, kjer so opazovali skupino 5.000 ljudi iz različnih urbanih sredin, so ugotovili, da se relativno tveganje za umrljivost zaradi bolezni obtočil in dihal zaradi izpostavljenosti trdnim delcem iz prometa poveča za 1,95 pri tistih, ki so živeli do 100 metrov od avtoceste ali do 50 metrov od glavnih prometnih cest v primerjavi s tistimi, ki so od prometnic bolj oddaljeni (37). Rezultati raziskave Dominichi s sodelavci (38) pri prebivalcih 204 ameriških okrajev so pokazali, da se število sprejemov v bolnišnico poveča zaradi bolezni obtočil in dihal pri tistih, ki živijo v okolju z višjo vrednostjo $PM_{2,5}$ v zunanjem zraku, najbolj izrazito, za 1,5 %, pri sprejemih zaradi odpovedi srca (38).

Med novejšimi raziskavami bi izpostavili raziskavo v okviru projekta ESCAPE, ki je preučevala vpliv dolgotrajne izpostavljenosti trdnim delcem v zunanjem zraku na bolezni obtočil pri približno 100.000 udeležencih. Rezultati so pokazali, da je pri izpostavljenih trdnim delcem razmerje ogroženosti za pojav možganske kapi pri populaciji nad 60 let 1,4-krat večje v primerjavi z neizpostavljenimi. Pri osebah, ki niso nikoli kadile, pa je razmerje ogroženosti za pojav možganske kapi 1,74-krat večje kot pri kadilcih in pri udeležencih raziskave, ki so izpostavljeni vrednostim $PM_{2,5}$ pod $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Rezultati raziskave kažejo statistično značilno povezanost s pojavom možganske kapi tudi pri nizkih vrednostih onesnaženosti zunanjega zraka s trdnimi delci (39). Prav tako je bila v okviru projekta ESCAPE izvedena raziskava povezanosti v kateri so ugotovili, da se pri dolgotrajni izpostavljenosti statistično značilno poveča število primerov angine pektoris in srčnega infarkta. Avtorji ugotavljajo, da se tveganje za srčni infarkt in angino pektoris poveča za 12 % ob povečanju vrednosti PM_{10} in $PM_{2,5}$ za $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pozitivna povezanost je bila ugotovljena pri $PM_{2,5}$ pod $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je pod mejnimi letnimi vrednostmi, ki veljajo v Evropski uniji (40).

Povišan krvni tlak in hipertenzija

V ZDA so spremljali 65.000 žensk z boleznimi obtočil v obdobju od 1994 do 1998, in ugotovili, da je bil vsak porast vrednosti $PM_{2,5}$ za $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ povezan s 24 % povečanim tveganjem za sprejem v bolnišnico in 76 % povečanim tveganjem za umrljivost zaradi bolezni obtočil (9, 41). Podobne rezultate navajajo tudi Pope in sodelavci (16), ki so raziskavo prav tako izvedli v ZDA. Ocenili so, da dolgotrajna izpostavljenost trdnim delcem prispeva k večjemu tveganju za nastanek in umrljivost zaradi bolezni obtočil. Ugotovili so tudi, da je dolgotrajna izpostavljenost $PM_{2,5}$ povezana z večjim tveganjem za ishemično bolezen srca, aritmijo, srčno popuščanje in zastoj srca (16).

Ateroskleroza

Rezultati eksperimentalnih raziskav poskusov na živalih kažejo, da lahko dolgotrajna izpostavljenost trdnim delcem v zunanjem zraku povzroči in pospeši proces ateroskleroze (42), saj obstoječi aterosklerotični plaki lažje počijo, kar lahko povzroči nastanek strdkov in akutni srčni infarkt (9). Ugotovitve poskusov na živalih so naknadno potrdili še pri ljudeh v nemški raziskavi, kjer so pri izpostavljenih PM_{10} ugotovili jasno izražene znake ateroskleroze na venčnih arterijah srca (9, 41).

V raziskavi, izvedeni v Los Angelesu, so ugotavljali stanje ateroskleroze na karotidni arteriji z metodo merjenja debeline (CIMT) pri prebivalcih, ki so živeli v delih mesta, kjer so bile različne vrednosti onesnaženja zunanjega zraka s $PM_{2,5}$. Pri oceni povezanosti so upoštevali potencialne dejavnike tveganja za aterosklerozo. Rezultati raziskave so pokazali, da je stopnja razvoja ateroskleroze povezana s trajanjem izpostavljenosti $PM_{2,5}$, povezanost pa je

bila še posebej izrazita pri ženskah nad 60 let. Prav tako so v raziskavi proučili mehanizem delovanja $PM_{2,5}$, ki povzroča sistemsko vnetno reakcijo in ima pomemben vpliv na nastanek ateroskleroze (43).

3.1.3 Bolezni živčevja

Patobiološki mehanizmi, preko katerih onesnažen zunanji zrak povzroči spremembe na živčnem sistemu, so različni in delujejo na celičnem in molekularnem nivoju. Mehanizmi lahko delujejo neposredno z uničevanjem možganskih struktur ali pa povečajo nagnjenost za nevrolška obolenja. Mehanizmi delovanja onesnaževal v zunanjem zraku na živčni sistem so podobni kot pri boleznih obtočil (44, 45).

Novejše epidemiološke raziskave nakazujejo, da so nekatere bolezni živčevja, kot sta na primer Alzheimerjeva in Parkinsonova bolezen, povezane tudi z onesnaženostjo zunanjega zraka (46–48). Alzheimerjeva bolezen je najbolj razširjena oblika demence, ki prizadene milijone ljudi po vsem svetu. Raziskovalci domnevajo, da je vzročnih dejavnikov za nastanek Alzheimerjeve bolezni veliko (49). 70 % vzrokov naj bi bilo genetskih, 30 % pa jih povezujejo z okoljskimi dejavniki in življenjskim slogom (50). Med okoljskimi dejavniki je tudi izpostavljenost onesnaženemu zunanjemu zraku, ki povzroči kronični oksidativni stres, ta pa je vključen v patogenezo Alzheimerjeve bolezni (49). V raziskavi primerov in kontrol so Wu in sodelavci (51) ugotovili, da se razmerje obolevnosti za Alzheimerjevo bolezen poveča za 4,17 pri izpostavljenih vrednostim PM_{10} nad $49,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ v primerjavi z izpostavljenimi vrednostim PM_{10} pod $44,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pojavlja se tudi domneva o povezanosti med izpostavljenostjo trdnim delcem ter povečanim tveganjem za nastanek Parkinsonove bolezni. Liu in sodelavci (52) so ugotovili, da se razmerje obolevnosti za nastanek Parkinsonove bolezni pri izpostavljenosti PM_{10} in $PM_{2,5}$ statistično značilno povečajo za 2,34 in 1,79. Avtorji so zaključili, da se nakazuje potreba po nadaljnjih raziskavah za pridobivanje z dokazi podprtih ocen povezanosti med Parkinsonovo boleznijo in onesnaženostjo zunanjega zraka (52). Zanobetti in sodelavci (53) so ugotovili, da se ob epizodah s povišanimi vrednostmi $PM_{2,5}$ za $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ poveča tveganje za hospitalizacijo zaradi Parkinsonove bolezni za 3,23 % (53).

3.1.4 Presnovne bolezni

Vse več je dokazov, da je sladkorna bolezen tipa 2 lahko povezana z onesnaženim zunanjim zrakom. Balti in sodelavci (54) so ugotovili, da se razmerje ogroženosti za nastanek sladkorne bolezni tipa 2 pri izpostavljenosti $PM_{2,5}$, standardizirano na starost, spol, ITM in kajenje, statistično značilno poveča za 1,11. Do podobnih ugotovitev so prišli tudi Chen in sodelavci (55). V raziskavi Zanobetti in sodelavci (56) so ugotovili, da se ob povečanju onesnaženosti zunanjega zraka s PM_{10} za $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pri bolnikih z boleznimi dihal in obtočil ter sladkorno boleznijo poveča število hospitalizacij zaradi bolezni dihal in obtočil za 2,1 % v primerjavi z bolniki z boleznijo dihal in obtočil brez sladkorne bolezni. Avtorji zaključujejo tudi, da osebe s sladkorno boleznijo uvrščamo med ranljive populacijske skupine (56).

V raziskavi povezanosti med dolgotrajno izpostavljenostjo trdnim delcem in sladkorno boleznijo tipa 2 je bilo ugotovljeno, da se tveganje za nastanek sladkorne bolezni tipa 2 poveča za 30 % pri tistih, ki živijo do 100 metrov od prometnice v primerjavi s tistimi, ki so od nje oddaljeni 200 metrov ali več (57).

Pri raziskavi med desetletniki v Nemčiji so ugotovili, da povečana izpostavljenost PM_{10}

vpliva na povečano tveganje za nastanek inzulinske rezistence za 18,7 %. Pri tistih, ki živijo od prometnice oddaljeni do 500 metrov, se inzulinska rezistenca poveča za 7,2 % (58).

Rezultati nekaterih raziskav nakazujejo tudi povezanost med onesnaženostjo zunanje zraka in sladkorno boleznijo tipa 1. Raziskava avtorja Malmquist in sodelavci (59) ugotavlja, da lahko izpostavljenost matere v času nosečnosti povečanim vrednostim onesnaževal v zunanem zraku vpliva na nastanek sladkorne bolezni tipa 1 pri otroku (59).

4 SKLEP

Zaključujemo, da so na področju preučevanja vplivov izpostavljenosti trdnim delcem v zunanemu zraku na zdravje ljudi vsekakor potrebne še številne epidemiološke raziskave. Nedvomno pa je že do sedaj na razpolago zadosti dokazov o negativnem vplivu trdnih delcev v zunanem zraku na zdravje, zato je nujno pristopiti k intenzivnemu ukrepanju za čim hitrejše izboljšanje stanja.

5 LITERATURA

1. Svetovna zdravstvena organizacija. Global health Observatory data. Mortality from ambient air pollution. http://www.who.int/gho/phe/outdoor_air_pollution/burden_text/en/1. <11. 7. 2016>
2. Mednarodna agencija za raziskovanje raka (2013). Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths, Press Release No 221. http://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/pr221_E.pdf. <1. 3. 2016 >
3. Künzli N, Kaiser R, Medina S in sod. (2000). Public-health Impact of Outdoor and Traffic-related Air Pollution: a European Assessment. *Lancet* 356(9232): 795–801.
4. Künzli N, Perez L, Rapp R (2010). Air quality and health. Lausanne: European Respiratory Society.
5. PubMed. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>. <11. 7. 2016>
6. Katsouyanni K (2006). Aphea Project: Air Pollution and Health: A European Approach. *Epidemiology* 17(6): 1–19.
7. European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). <http://www.escapeproject.eu/>. <11. 7. 2016>
8. Nemmar A, Hoylaerts MF, Nemery B (2006). Effects of particulate air pollution on hemostasis. *Clin Occup Environ Med* 5(4): 865–81.
9. Pope CA, Dockery WD (2006). Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *J Air Waste Manage Assoc* 56(6): 709–42.
10. Schwartz J (2001). Air pollution and blood markers of cardiovascular risk. *Environ Health Perspect* 109(Suppl3): 405–9.
11. Gold DR, Mittleman MA (2013). New insights into air pollution and the cardiovascular system: 2010 to 2012. *Circulation* 127(18): 1903–13.
12. Hajat S, Armstrong B, Wilkinson P in sod. (2007). Outdoor air pollution and infant mortality: analysis of daily time- series data in 10 English cities. *J Epidemiol Community Health* 61(8): 719–22.
13. Ostro B, Feng WY, Broadwin R in sod. (2007). The effects of components of fine particulate air pollution on mortality in California: results from CALFINE. *Environ Health Perspect* 115(1): 13–9.
14. Naess O, Nafstad P, Aamodt G in sod. (2006). Relation between concentration of air pollution and cause-specific mortality: four-year exposures to nitrogen dioxide and particulate matter pollutants in 470 neighborhoods in Oslo, Norway. *Am J Epidemiol* 165(4): 435–43.
15. Clancy L, Goodman P, Sinclair H in sod. (2002). Effects of air pollution control on death rates in Dublin, Ireland: an intervention study. *Lancet* 360(9341): 1210–4.
16. Pope CA, Burnett RT, Thurston GD in sod. (2004). Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: Epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease, *Circulation* 109(1): 71–7.
17. Laden F, Schwartz J, Speizer FE (2006). Reduction in fine particulate air pollution and mortality:

- Extended follow-up of the Harvard six cities study. *Am J Respir Crit Care Med* 173(6): 662–7.
18. Samoli E, Antonis A, Touloumi G in sod. (2005). Estimating the exposure-responses and relationships between particulate matter and mortality within the APHEA multicity project. *Environ Health Perspect* 113(1): 88–95.
 19. Johannson KA, Balmes JR, Collard HR (2015). Air pollution exposure: a novel environmental risk factor for interstitial lung disease? *Chest* 147(4): 1161–7.
 20. Lippmann M (2007). Health Effects of Airborne Particulate Matter. *N Engl J Med* 357(23): 2395–7.
 21. Adam M, Schikowski T, Carsin AE in sod. (2015). Adult lung function and long-term air pollution exposure. ESCAPE: a multicentre cohort study and meta-analysis. *Eur Respir J* 45(1): 38–50.
 22. Brauer M, Hoek G, Smit HA in sod. (2007). Air pollution and development of asthma, allergy and infections in a birth cohort. *Eur Respir J* 29(5): 879–88.
 23. Annesi-Maesano I, Moreau D, Caillaud D in sod. (2007). Residential proximity fine particles related to allergic sensitisation and asthma in primary school children. *Respir Med* 101(8): 1721–9.
 24. Gauderman WJ, Vora H, McConnell R in sod. (2007). Effect of exposure to traffic on lung development from 10 to 18 years of age: a cohort study. *Lancet* 369(9561): 571–7.
 25. Jacquemin B, Siroux V, Sanchez M in sod. (2015). Ambient air pollution and adult asthma incidence in six European cohorts (ESCAPE). *Environ Health Perspect* 123(6): 613–21.
 26. Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R in sod. (2013). Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Lancet Oncol* 14(9): 813–22.
 27. Bidoli E, Papagallo M, Birri S in sod. (2016). Residential Proximity to Major Roadways and Lung Cancer Mortality. Italy, 1990–2010: An Observational Study. *Int J Environ Res Public Health* 13(2): 191–200.
 28. Chen G, Wan X, Yang G in sod. (2015). Traffic-related air pollution and lung cancer: A meta-analysis. *Thorac Cancer* 6(3): 307–18.
 29. Raaschou-Nielsen O, Beelen R, Wang M in sod. (2016). Particulate matter air pollution components and risk for lung cancer. *Environ Int* 87: 66–73.
 30. Pope CA, Thun MJ, Namboodiri MM in sod. (1995). Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults. *Am J Respir Crit Care Med* 151(3 Pt 1): 669–74.
 31. Foraster M, Basagana X, Aguilera I in sod. (2014). Association of long-term exposure to traffic-related air pollution with blood pressure and hypertension in an adult population-based cohort in Spain (the REGICOR study). *Environ Health Perspect* 122(4): 404–11.
 32. Dong GH, Qian ZM, Xaverius PK in sod. (2013). Association with long-term air pollution and increased blood pressure and hypertension in China. *Hypertension* 61(3): 578–84.
 33. Wu S, Deng F, Huang J in sod. (2013). Blood pressure changes and chemical constituents of particulate air pollution; results from the healthy volunteer natural relocation (HVNR) study. *Environ Health Perspect* 121(1): 66–72.
 34. Nemmar A, Hoet PHM, Vanquickenborne B in sod. (2002). Passage of inhaled particles into the blood circulation in humans. *Circulation* 105(4): 411–4.
 35. Cunningham C, Campion S, Lunnon K in sod. (2009). Systematic inflammation induces acute behavioral and cognitive changes and accelerates neurodegenerative diseases. *Biol Psychiatry* 65(4): 304–12.
 36. Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA 3rd in sod. (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the Scientific Statement from the American Heart Association. *Circulation* 121(21): 2331–78.
 37. Hoek G, Brunekreef B, Goldbohm S in sod. (2002). Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet* 360(9341): 1203–9.
 38. Dominici F, Peng RD, Bell LM in sod. (2006). Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *JAMA* 295(10): 1127–34.
 39. Stafoggia M, Cesaroni G, Peters A in sod. (2014). Long-term exposure to ambient air pollution and incidence of cerebrovascular events: results from 11 European cohorts within the ESCAPE project. *Environ Health Perspect* 122(9): 919–25.
 40. Cesaroni G, Forastiere F, Stafoggia M in sod. (2014). Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the ESCAPE Project. *BMJ* 348:f7412.

41. Hoffmann B, Moebus S, Mohlenkamp S in sod. (2007). Residential Exposure to Traffic is associated with coronary atherosclerosis. *Circulation* 116(5): 489–96.
42. Libby P, Ridker PM, Maseri A (2002). Inflammation and atherosclerosis. *Circulation* 105(9): 1135–43.
43. Künzli N, Jerrett M, Mack WJ in sod. (2015). Ambient air pollution and atherosclerosis in Los Angeles. *Environ Health Perspect* 113(2): 201–6.
44. Elbaz A, Moisan F (2008). Update in the epidemiology of Parkinson's disease. *Curr Opin Neurol* 21(4): 454–60.
45. Lauer K (2010). Environmental risk factors in multiple sclerosis. *Rev Neurother* (10)3: 421–40.
46. Mateen FJ, Brook JD (2011). Air pollution as an emerging global risk factor for stroke. *JAMA* 305(12): 1240–1.
47. Block ML, Calderon-Garciduenas L (2009). Air pollution: mechanisms of neuroinflammation and CNS disease. *Trends in Neurosci* 32(9): 506–16.
48. Chakraborty S, Kaushik K, Gupta M in sod. (2010). Inflammasome signaling at the heart of central nervous system pathology. *J Neurosci Res* 88(8): 1615–31.
49. Moulton PV, Yang W (2012). Air pollution, oxidative stress, and Alzheimer's disease. *J Environ Public Health*: 1–9.
50. Yegambaram M, Manivannan B, Beach TG in sod. (2015). Role of environmental contaminants in the etiology of Alzheimer's disease: a review. *Curr Alzheimer Res* 12(2): 116–46.
51. Wu YC, Lin YC, Yu HL in sod. (2015). Association between air pollutants and dementia risk in the elderly. *Alzheimers Dement (Amst)* 1(2): 220–8.
52. Liu R, Young MT, Chen JC in sod. (2016). Ambient Air Pollution Exposures and Risk of Parkinson Disease. *Environ Health Perspect* (v tisku).
53. Zanobetti A, Dominici F, Wang Y in sod. (2014). A national case-crossover analysis of the short-term effect of PM_{2.5} on hospitalizations and mortality in subjects with diabetes and neurological disorders. *Environ Health* 13(1): 38–49.
54. Balti EV, Echouffo-Tcheugui JB, Yako YY in sod. (2013). Air pollution and risk of type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. *Res Clin Pract* 106: 161–72.
55. Chen H, Burnett RT, Kwong JC in sod. (2013). Risk of Incident Diabetes in Relation to Long-term Exposure to Fine Particulate Matter in Ontario, Canada. *Environ Health Perspect* 121(7): 804–10.
56. Zanobetti A, Schwartz J (2001). Are Diabetics More Susceptible to the Health Effects of Airborne Particles? *Am J Respir Crit Care Med* 164(5): 831–3.
57. Weinmayr G, Hennig F, Fuks K in sod. (2015). 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* 14: 53–60.
58. Thiering E, Cyrys J, Kratzsch J in sod. (2013). Long-term exposure to traffic-related air pollution and insulin resistance in children: results from the GINIplus and LISAplus birth cohorts. *Diabetologia* 56(8): 1696–704.
59. Malmqvist E, Larsson HE, Jönsson I in sod. (2015). Maternal exposure to air pollution and type 1 diabetes – Accounting for genetic factors. *Environ Res* 140: 268–74.

STANJE NA PODROČJU KAKOVOSTI ZUNANJEGA ZRAKA V SLOVENIJI

THE STATE OF OUTDOOR AIR QUALITY IN SLOVENIA

Janja Turšič, Rahela Žabkar

IZVLEČEK

Uvod: Kakovost zunanjskega zraka je eden izmed najpomembnejših vidikov stanja okolja. **Namen:** Predstaviti stanje na področju kakovosti zunanjskega zraka v Sloveniji na podlagi podatkov Državne mreže kakovosti zunanjskega zraka. **Metode:** Podatki o onesnaženosti zunanjskega zraka s trdnimi delci z aerodinamskim premerom do 10 μm (PM_{10}) in ozonom so bili za obdobje od 2006 do 2015 pridobljeni na stalnih merilnih mestih. **Rezultati in razprava:** Visoke vrednosti PM_{10} so posledica močno razširjene uporabe lesne biomase v zastarelih kurilnih napravah gospodinjstev in neugodnih vremenskih razmer v slabo prevetrenih kotlinah in dolinah celinske Slovenije. Preseganja dnevne mejne vrednosti delcev PM_{10} so praviloma omejena na hladni del leta. Onesnaženost z ozonom ima v nasprotju z delci izrazit regionalen značaj. Najvišje koncentracije beležimo na Primorskem, ki je najbolj pod vplivom čezmejnega transporta in ima tudi ugodnejše klimatske pogoje z višjimi temperaturami in več sončnega obsevanja. **Sklep:** Za izboljšanje kakovosti zraka v primeru PM_{10} je potrebno intenzivnejše izvajanje ukrepov na lokalnih ravneh.

Ključne besede: onesnaženost zunanjskega zraka, delci PM_{10} , ozon

ABSTRACT

Introduction: Outdoor air quality is one of the most important indicators of the state in the environment. **Aim:** Presentation of the state of outdoor air quality in Slovenia from the data of The national network for monitoring air quality. **Methods:** Outdoor air pollution data with particles with aerodynamic diameter 10 μm or less (PM_{10}) and ozone were collected on fixed monitoring sites between 2006 and 2015. **Results and discussion:** The reasons for high particle concentrations are widespread use of wood for domestic heating in technically outdated stoves and boilers and unfavorable meteorological conditions in basins and valleys of continental Slovenia. Exceeded daily PM_{10} limit values are exclusively reported in the cold part of the year. In contrast, ozone pollution is significantly a regional issue. The highest levels of ozone are measured in primorska region, which is significantly influenced by trans-boundary pollution and has more favorable meteorological conditions with higher temperatures and more intensive sunlight radiation. **Conclusion:** For improvement of outdoor air quality for the example of PM_{10} pollution more intensive local measurements are needed.

Key words: outdoor air pollution, particulate matter PM_{10} , ozone

1 UVOD

Onesnaženost zunajega zraka je tako okoljski kot tudi družbeni problem in ima številne vplive na zdravje ljudi, ekosisteme, klimo ter kulturno dediščino. Izpusti onesnaževal so antropogeni in naravni (1). Nekatera onesnaževala v zunanji zrak neposredno izpuščajo viri onesnaževanja, druga pa nastanejo kot produkt zapletenih kemijsko-fizikalnih procesov. Onesnaževala lahko prepotujejo velike razdalje ter vplivajo na človeka in okolje tudi daleč od njihovega izpusta (2). Onesnaženost zunajega zraka je kompleksen problem, ki predstavlja številne izzive. Efektivni ukrepi za zmanjšanje onesnaženosti zunajega zraka zahtevajo dobro poznavanje virov, nenehno spremljanje stanja onesnaženosti ter vpliva na zdravje ljudi in ekosisteme (1).

Standardi kakovosti zraka so določeni v Direktivi 2008/50/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 21. maja 2008 o kakovosti zunajega zraka in čistejšem zraku za Evropo (3) in Direktivi 2004/107/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 15. decembra 2004 o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku (4). Z vidika varovanja zdravja so določene mejne in ciljne vrednosti. Pri onesnaževalih z akutno toksičnostjo so predpisane tudi opozorilne in alarmne vrednosti. Za varstvo rastlin so določene ciljne in kritične vrednosti. Mejne vrednosti so predpisane za trdne delce z aerodinamskim premerom do 10 μm (PM_{10}) in 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$), žveplov dioksid, ogljikov monoksid, dušikov dioksid, svinec in benzen. Ciljne vrednosti so določene za ozon, arzen, kadmij, nikelj in benzo(a)piren. Kritične vrednosti so predpisane za dušikove okside in žveplov dioksid. Opozorilna vrednost je predpisana za ozon, alarmne vrednosti pa za dušikov dioksid, žveplov dioksid in ozon (3, 4).

Pred nekaj desetletji je bil v Sloveniji z vidika onesnaženosti zunajega zraka najbolj pereč problem žveplov dioksid. Po izvedenih ukrepih v termoelektrarnah in industriji ter uvedbi goriv z nizko vsebnostjo žvepla, težav z žveplovim dioksidom nimamo več (2). Sedaj so najbolj problematične čezmerne ravni delcev PM_{10} v zimskem obdobju in ozona poleti, zato je namen prispevka predstaviti stanje na področju kakovosti zunajega zraka v Sloveniji za ti dve onesnaževali na podlagi podatkov iz Državne mreže kakovosti zunajega zraka.

2 METODE

Za ocenjevanje kakovosti zunajega zraka so najbolj merodajne meritve na stalnih merilnih mestih. Te meritve morajo biti točne, natančne in zanesljive. Zahteva se uporaba standardiziranih referenčnih metod, ki so predpisane v direktivah (3, 4), kar omogoča, da so podatki med posameznimi državami primerljivi. Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) upravlja Državno merilno mrežo za spremljanje kakovosti zunajega zraka (DMKZ). Referenčne metode za glavna onesnaževala, ki jih ARSO spremlja na stalnih merilnih mestih, so podane v Tabeli 1.

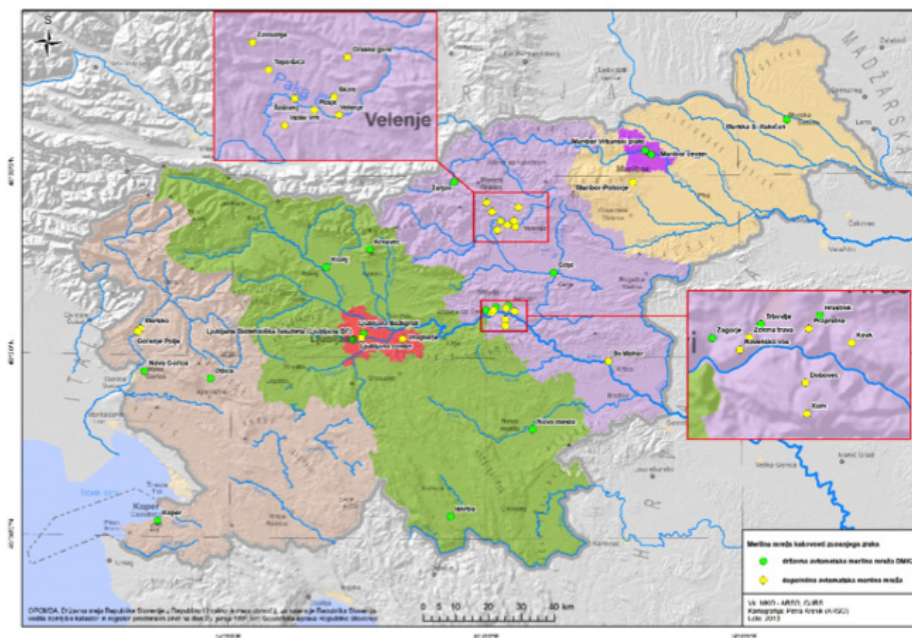
Tabela 1: Referenčne metode za glavna onesnaževala v zunanjem zraku, ki jih Agencija Republike Slovenije za okolje spremlja na stalnih merilnih mestih (3, 4).

Onesnaževalo	Referenčna metoda	Merilni princip
žveplov dioksid (SO ₂)	SIST EN 14212	ultravijolična fluorescenca
dušikovi oksidi (NO ₂ in NO _x)	SIST EN 14211	kemoluminiscenca
ozon (O ₃)	SIST EN 1465	ultravijolična fotometrija
ogljikov monoksid (CO)	SIST EN 14626	infrardeča spektroskopija
benzen (C ₆ H ₆)	SIST EN 14662-3	plinska kromatografija
trdni delci z aerodinamskim premerom do 10 µm (PM ₁₀) in 2,5 µm (PM _{2,5})	SIST EN 12341	gravimetrija
arzen, kadmij, nikelj in svinec v PM ₁₀	SIST EN 14902	ICP-MS
policiklični aromatski ogljikovodiki v PM ₁₀	SIST EN 15549	GC-MS

Legenda: ICP-MS - induktivno sklopljena plazma z masno selektivnim detektorjem; GC-MS - plinska kromatografija z masno selektivnim detektorjem.

Podatki o kakovosti zunanjega zraka se sproti objavljajo na spletni strani ARSO. Izdajajo se tudi mesečna poročila, ki so objavljena v biltenu Naše okolje in letna poročila o kakovosti zraka. Poleg tega na ARSO pripravljajo napovedi verjetnosti preseganja dnevne mejne vrednosti PM₁₀ v zimskem obdobju ter najvišjih vrednosti ozona poleti.

Poleg meritev v okviru Državne merilne mreže za spremljanje kakovosti zunanjega zraka (DMKZ) potekajo meritve na stalnih merilnih mestih še v okolici večjih energetskih in industrijskih objektov (Termoelektrarna Šoštanj, Termoelektrarna Trbovlje, Termoelektrarna Toplarna Ljubljana, Lafarge Cement in Salanit Anhovo) ter dodatne meritve, ki jih zagotavljajo nekatere lokalne skupnosti (mestne občine Ljubljana, Maribor in Celje). Merilna mreža vseh stalnih merilnih mest je prikazana na Sliki 1.



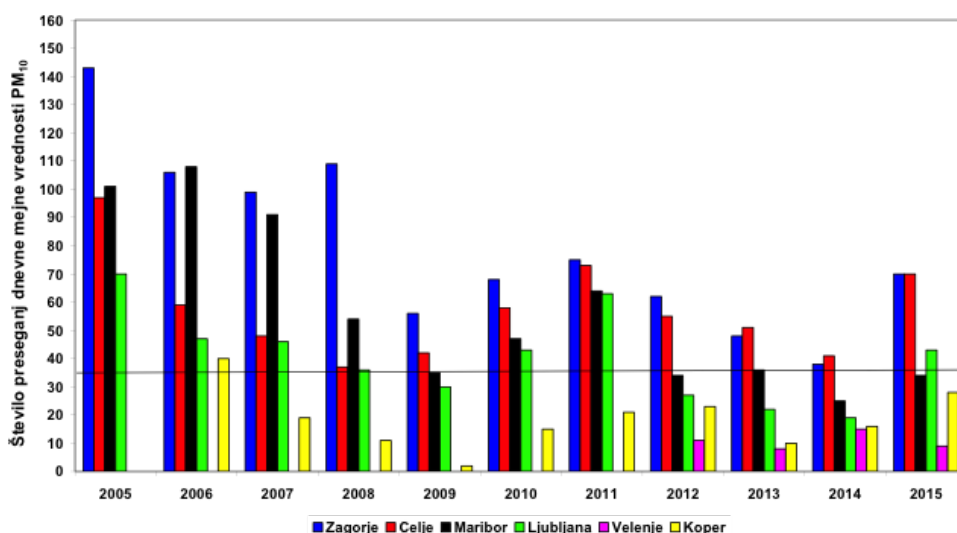
Slika 1: Merilna mreža za spremljanje kakovosti zunanjega zraka v Sloveniji (2).

3 REZULTATI

V Sloveniji sta z vidika onesnaženosti zunanjega zraka najbolj problematični onesnaževali PM_{10} in ozon, pri katerih prihaja do preseganj mejnih oziroma ciljnih vrednosti. Raven benzo(a)pirena je na merilnih mestih Ljubljana in Maribor na nivoju ciljne vrednosti. Onesnaženost z dušikovim dioksidom je najvišja na merilnih mestih, ki so izpostavljena prometu. Tudi na teh lokacijah so izmerjene vrednosti pod dnevnimi mejnimi vrednostmi. Povprečna letna vrednost po letu 2013 ni bila presežena niti na najbolj obremenjenem merilnem mestu Ljubljana center. Ravni benzena, ogljikovega monoksida, težkih kovin in žveplovega dioksida so daleč pod predpisanimi mejnimi oziroma ciljnimi vrednostmi.

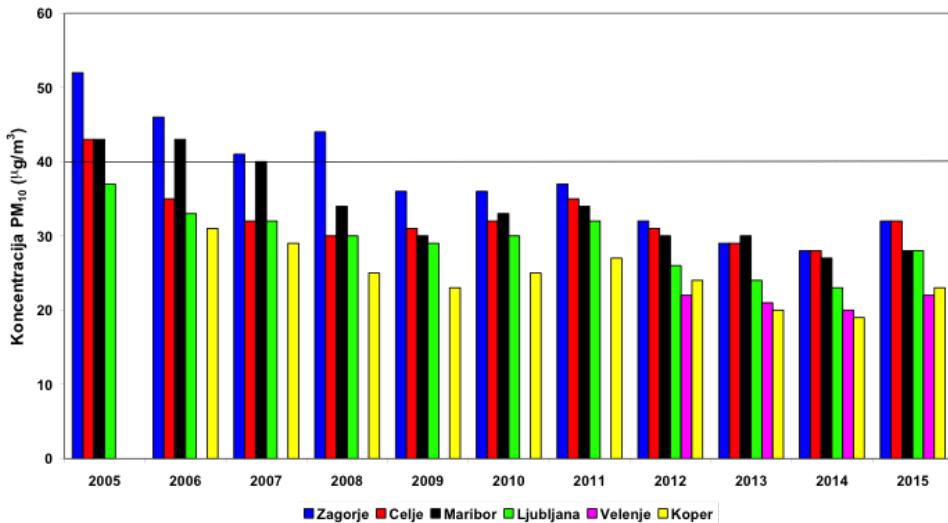
3.1 Onesnaženost zunanjega zraka z delci

Slovenija se z vidika trdnih delcev uvršča med države Evropske unije z bolj onesnaženim zrakom. Visoke ravni trdnih delcev so posledica močno razširjene uporabe lesne biomase v zastarelih kurilnih napravah gospodinjstev in neugodnih vremenskih pogojev v slabo prevetrenih kotlinah in dolinah celinske Slovenije. Dnevna mejna vrednost PM_{10} znaša $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in ne sme biti presežena več kot 35-krat v koledarskem letu. Dopustno število preseganj je preseženo na večini merilnih mest celinske Slovenije. Preseganja so omejena predvsem na hladni del leta, ko so meteorološke razmere za razredčevanje izpustov še posebej neugodne. Zaradi nedoseganja skladnosti je Vlada Republike Slovenije v sodelovanju z lokalnimi skupnostmi pripravila Načrte za kakovost zunanjega zraka za mestne občine Ljubljana (5), Maribor (6), Celje (7), Kranj (8), Murska Sobota (9), Novo mesto (10) ter zasavske občine Zagorje, Trbovlje in Hrastnik (11). Nižje vrednosti in s tem posledično tudi manjše število preseganj od dopustnega števila beležimo na Primorskem in na merilnih mestih v celinski Sloveniji, kjer je razvit sistem daljinskega ogrevanja (Velenje). Število preseganj dnevne mejne vrednosti na posameznih lokacijah DMKZ v obdobju med 2005 in 2015 je prikazano na Sliki 2.



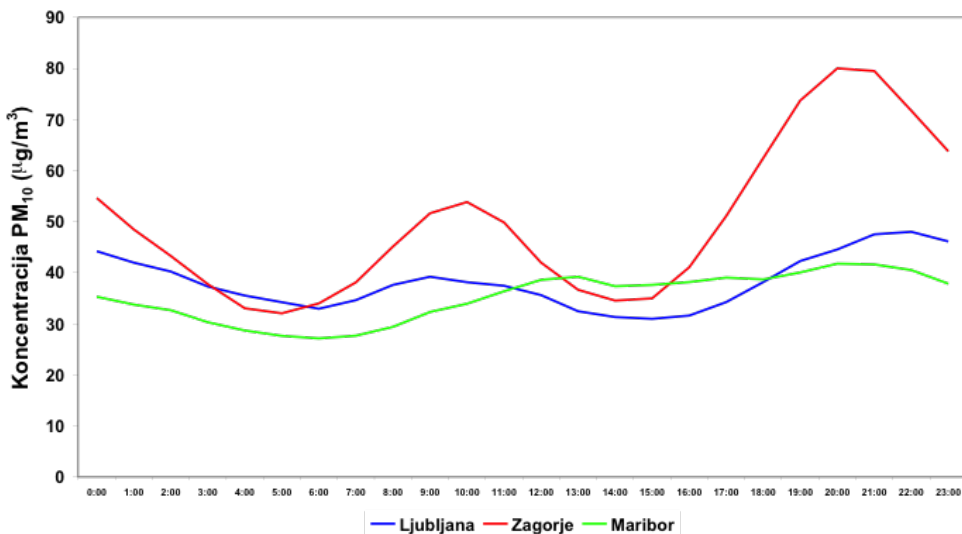
Slika 2: Število preseganj dnevne mejne vrednosti za trdne delce z aerodinamskim premerom do $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) na izbranih merilnih mestih (2).

Povprečne letne vrednosti PM_{10} na izbranih lokacijah DMKZ so prikazane na Sliki 3. S skladnostjo z letnimi mejnimi vrednostmi za PM_{10} je v Sloveniji manj težav, ker so ravni trdnih delcev v topli polovici leta nizke zaradi boljše prevetrenosti in manjših izpustov izven kurilne sezone. Iz istih razlogov na nobenem od štirih merilnih mest DMKZ vse od začetka meritev v letu 2009 tudi povprečna letna vrednost $PM_{2,5}$ ni presegla mejne letne vrednosti.



Slika 3: Povprečne letne vrednosti trdnih delcev z aerodinamskim premerom do $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}) na izbranih merilnih mestih Državne mreže za spremljanje kakovosti zraka (2).

Povprečni dnevni potek vrednosti PM_{10} v hladni polovici leta 2015 na merilnih mestih Ljubljana, Zagorje in Maribor je predstavljen na Sliki 4. Predvsem v Zagorju in Ljubljani je opazen dopoldanski in večerni maksimum. Bolj izrazit je večerni vrh, ko se ob povečanih izpustih zaradi ogrevanja začne pojavljati talni temperaturni obrat, ki močno omejuje redčenje onesnaženega zraka v višje plasti ozračja.

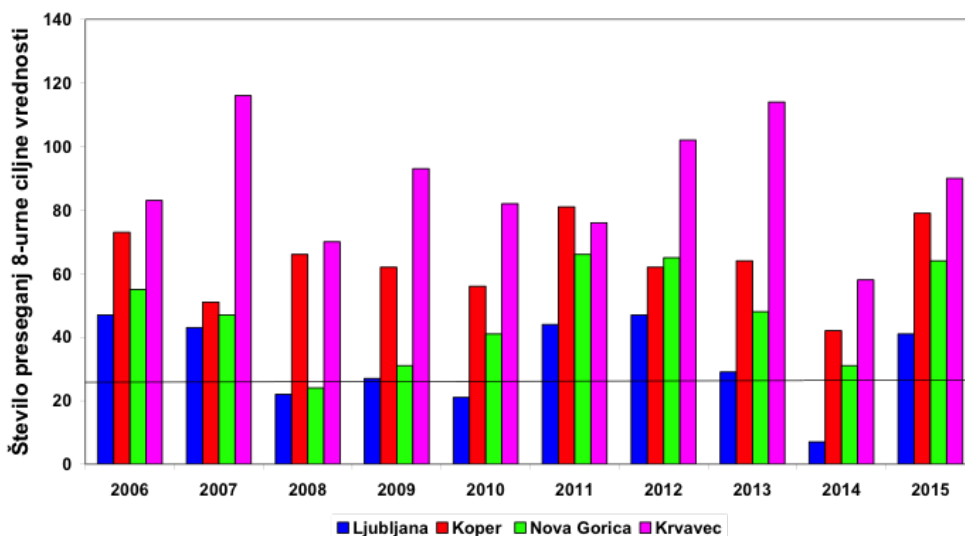


Slika 4: Povprečni dnevni potek vrednosti trdnih delcev z aerodinamskim premerom do $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}) v hladni polovici leta 2015 na merilnih mestih Ljubljana, Zagorje in Maribor (2).

V daljšem časovnem obdobju je predvsem na urbanih lokacijah opazen trend zmanjševanja vrednosti PM_{10} . K temu so v posameznih letih pripomogle tudi ugodne vremenske razmere, na primer leto 2014 z opazno nižjimi vrednostmi je bilo toplejše in z več padavinami.

3.2 Onesnaženost zunanlega zraka z ozonom

Onesnaženost zunanlega zraka z ozonom ima v nasprotju s trdnimi delci izrazit regionalen značaj z velikim vplivom čezmejnega prenosa onesnaževal. Najvišje vrednosti ozona so izmerjene v poletnem času (predvsem v juniju in juliju). Takrat lahko občasno pride tudi do preseganj opozorilne urne vrednosti $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na Primorskem in v visokogorju. Število preseganj maksimalne dnevne 8-urne povprečne vrednosti za zaščito zdravja ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) je po posameznih merilnih mestih DMKZ prikazano na Sliki 5. To število je v zadnjih letih skoraj na vseh merilnih mestih preseglo dopustno število preseganj (25 v triletnem povprečju). Izjema so le merilna mesta, ki so pod neposrednim vplivom izpustov iz prometa.

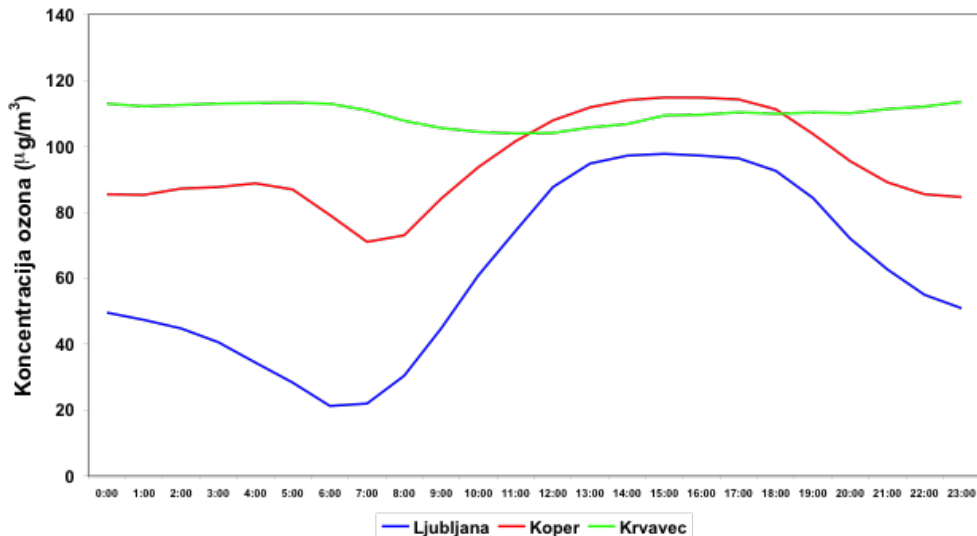


Slika 5: Število preseganj maksimalne dnevne 8-urne povprečne vrednosti ozona za zaščito zdravja na posameznih merilnih mestih Državne mreže za spremljanje kakovosti zraka.

Onesnaženost z ozonom je najvišja na Primorskem, ki je pod večjim vplivom čezmejnega transporta ozona in njegovih predhodnikov ter ima bolj ugodne klimatske pogoje za tvorbo ozona z višjimi temperaturami in več sončnega obsevanja. Najvišje povprečne letne vrednosti ozona v Sloveniji beležimo na visokogorskem merilnem mestu Krvavec.

Za ozon je značilen izrazit dnevni potek, ki je za izbrana merilna mesta v topli polovici leta 2015 prikazan na Sliki 6. Na urbanih merilnih mestih nastopi izrazit maksimum vrednosti med 14. in 17. uro, ko je sončno obsevanje močno in so temperature zraka najvišje. Najnižje vrednosti beležimo v času jutranje konice, ko ozon reagira z dušikovimi oksidi iz prometa. Na višje ležečih odprtih legah je dnevni hod precej manj izrazit. Tu so preko noči, ko se merilno mesto nahaja v prosti atmosferi, vrednosti ozona nekoliko višje.

Raven onesnaženosti zunanlega zraka z ozonom ne kaže opaznih trendov. Razlike med posameznimi leti so predvsem posledica spremenljivih vremenskih razmer, posebno tistih v poletnih mesecih.



Slika 6: Povprečni dnevni potek vrednosti ozona na izbranih merilnih mestih Državne mreže za spremljanje kakovosti zraka med aprilom in septembrom 2015 (2).

4 SKLEP

Kljub temu, da se kakovost zraka v Sloveniji postopno izboljšuje, ostaja čezmerno onesnažen zrak še vedno eden izmed perečih okoljskih problemov. Nekdaj ekstremne vrednosti žvepovega dioksida so preteklost. Osrednji izziv sedaj predstavljajo čezmerne ravni PM_{10} in ozona. V poseljenih dolinah in kotlinah celinske Slovenije lahko v hladnih mesecih zaradi neugodnih pogojev za razredčevanje že razmeroma majhni izpusti onesnaževal povzročijo povišane vrednosti. Če je torej ozon predvsem problem regionalnega značaja, pa bo tako za izboljšanje kakovosti zraka v primeru PM_{10} potrebno intenzivnejše izvajanje ukrepov na lokalni ravni.

5 LITERATURA

1. Evropska agencija za okolje (2015). Air Quality in Europe – 2015 report. Luksemburg: Založniška zbornica Evropske unije. <http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2015>. <22. 7. 2016>
2. Agencija Republike Slovenije za okolje (2015). Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2014. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.
3. Direktiva 2008/50/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 21. maja 2008 o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo.
4. Direktiva 2004/107/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 15. decembra 2004 o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku.
5. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Mestne občine Ljubljana (Ur. l. RS, št. 24/14).
6. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Mestne občine Maribor (Ur. l. RS, št. 108/13).
7. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Mestne občine Celje (Ur. l. RS, št. 108/13).
8. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Mestne občine Kranj (Ur. l. RS, št. 108/13).
9. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Mestne občine Murska Sobota (Ur. l. RS, št. 88/13).
10. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Mestne občine Novo mesto (Ur. l. RS, št. 108/13).
11. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Zasavja (Ur. l. RS, št. 108/13).

PREGLED ZAKONODAJE NA PODROČJU KAKOVOSTI ZUNANJEGA ZRAKA V EVROPI: NAČRTOVANJE JAVNOZDRAVSTVENIH AKTIVNOSTI

OVERVIEW OF OUTDOOR AIR QUALITY POLICIES IN EUROPE: PLANNING PUBLIC HEALTH ACTIVITIES

Nataša Kovač, Peter Otorepec

IZVEČEK

Uvod: Izboljšanje kakovosti zunanega zraka predstavlja velik izziv za odločevalce na vseh ravneh odločanja. Onesnaževala v zunanjem zraku se prenašajo na velike razdalje, tudi preko meja, zato je za njihovo zmanjševanje potrebno mednarodno sodelovanje.

Namen: Predstavitev veljavnih standardov in pravnih predpisov na področju kakovosti zunanega zraka v Sloveniji in Evropski uniji (EU). **Metode:** Pregled nacionalne zakonodaje in zakonodaje EU na temo kakovosti zunanega zraka je bil izveden na spletnih straneh Uradnega lista Republike Slovenije in EU. **Rezultati in razprava:** Pravno zavezujoče cilje za določena onesnaževala v zunanjem zraku, ki imajo škodljiv učinek na zdravje ljudi in ekosisteme, določa Direktiva 2008/50/EC Evropskega parlamenta in Sveta z dne 21. maja 2008 o kakovosti zunanega zraka in čistejšem zraku za Evropo s pripadajočimi zakonskimi akti. V slovenski pravni red so predpisi EU preneseni z Uredbo o kakovosti zunanega zraka (Ur. l. RS, št. 9/11 in 8/15) s pripadajočimi zakonskimi akti. **Sklep:** Celovite rešitve na področju kakovosti zunanega zraka zahtevajo medsektorski pristop na različnih ravneh.

Ključne besede: kakovost zunanega zraka, zakonodaja, Slovenija, Evropska unija

ABSTRACT

Introduction: Improvement of outdoor air quality presents multiple and complex challenges in terms of management and mitigation. Outdoor air pollutants may be transmitted and dispersed over long distances, also transboundary, therefore good understanding and global management of outdoor air pollution is needed. **Aim:** Presentation of applicable standards and regulations on outdoor air quality in Slovenia and in European Union (EU).

Methods: Review of the national legislation and European legislation on outdoor air quality was implemented on web pages of the Official Journal of the Republic of Slovenia Act and the Official Journal of EU. **Results and discussion:** Legally binding aims for some outdoor pollutants are prescribed in Directive 2008/50/EC of the European parliament and of the council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe with its legislation acts. In Slovenian law system European regulations are conveyed with Outdoor air quality Regulation (Ur. l. RS, no. 9/11 and 8/15) and its legislation acts. **Conclusion:** Holistic solutions on outdoor air quality need intersectoral approach.

Key words: outdoor air quality, legislation, Slovenia, European Union

1 UVOD

V zunanjem zraku so prisotna številna onesnaževala iz različnih virov, zato je oblikovanje politik za izboljšanje kakovosti zunanjega zraka zapleten proces in zahteva medsektorsko sodelovanje. Izgorevanje goriv je eden izmed virov, ki največ prispeva k onesnaženosti zunanjega zraka. Poleg tega pa pomemben vir predstavljajo tudi emisije iz različnih gospodarskih panog, od cestnega prometa in gospodinjstev do rabe in proizvodnje energije. Pomemben vir predstavljajo tudi kmetijske dejavnosti, ki največ doprinesejo k izpustom amonijaka in metana. Vir metana so tudi odlagališča odpadkov, premogovništvo in daljinski plinovodi. K izpustom dušikovih oksidov (NO_x) največ prispeva cestni promet, k izpustom žveplovih oksidov (SO_x) pa proizvodnja in distribucija energije. Poslovni in javni objekti so največji vir trdih delcev z aerodinamskim premerom do $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) in ogljikovega dioksida (CO_2) (1).

Evropska unija (EU) je pričela uvajati politike in ukrepe v zvezi z onesnaženostjo zunanjega zraka v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja. Nanašajo se na glavne vire onesnaževanja, kot so promet, energetika in industrija. Od takrat vrednosti onesnaževal v zunanjem zraku upadajo, vendar ne v predvidenem obsegu. Poleg že poznanih onesnaževal v zunanjem zraku se pojavljajo tudi nova, ki ogrožajo zdravje ljudi in vplivajo na stanje ekosistemov. Fizikalno-kemijske lastnosti novih onesnaževal še niso zadosti raziskane in posledično le-ta še niso povsem pod nadzorom (1–3).

Namen prispevka je predstaviti veljavne standarde in pravne predpise na področju kakovosti zunanjega zraka v Sloveniji in Evropski uniji (EU).

2 METODE

Pregled nacionalne zakonodaje in zakonodaje EU na temo kakovosti zunanjega zraka je bil izveden na spletnih straneh Uradnega lista Republike Slovenije (RS) (4) in EU (5).

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3.1 Zakonodaja na področju kakovosti zunanjega zraka v Sloveniji in Evropi

Pravno zavezujoče cilje za določena onesnaževala v zunanjem zraku (trdni delci, ozon, žveplov dioksid, svinec, policiklični aromatski ogljikovodiki in druga), ki imajo škodljiv učinek na zdravje ljudi in ekosisteme, določa Direktiva 2008/50/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 21. maja 2008 o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo (6) in Direktiva Sveta 96/62/ES z dne 27. septembra 1996 o ocenjevanju in upravljanju kakovosti zunanjega zraka (7).

Veljavna zakonodaja na področju kakovosti zunanjega zraka predpisuje mejne vrednosti za delce z aerodinamskim premerom do $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) in $\text{PM}_{2,5}$, žveplov dioksid (SO_2), ogljikov monoksid (CO), dušikov dioksid (NO_2), svinec (Pb) ter benzen. Ciljne vrednosti so predpisane za ozon (O_3), arzen, kadmij, nikelj in benzo(a)piren, kritične pa za NO_x in SO_2 . Opozorilna vrednost je predpisana za O_3 , alarmne vrednosti pa za NO_2 , SO_2 in O_3 (8). V primeru prekoračenih mejnih vrednosti Direktiva 2008/50/ES (6) zahteva pripravo načrtov za izboljšanje kakovost zraka. Za doseganje skladnosti z mejnimi vrednostmi za delce PM_{10} je Vlada (RS) v sodelovanju z lokalnimi skupnostmi pripravila Odloke o načrtih za kakovost zunanjega zraka za mestne občine Celje (9), Kranj (10), Ljubljana (11), Maribor

(12), Murska Sobota (13) in Novo mesto (14) ter zasavske občine Hrastnik, Trbovlje in Zagorje ob Savi (15). Odloki so bili sprejeti v letih 2013 in 2014 in so usmerjeni zlasti v zmanjševanje izpustov zaradi ogrevanja stavb in izpustov iz cestnega motornega prometa.

Načrti za izboljšanje kakovosti zraka vsebujejo več kot 40 ukrepov, strnjeni pa so v štiri sklope (9–15). Prvi trije sklopi predstavljajo dolgoročne ukrepe, četrti sklop pa kratkoročne ukrepe:

- ukrepi na področju spodbujanja učinkovite rabe energije in obnovljivih virov energije so usmerjeni zlasti v zmanjševanje izpustov zaradi ogrevanja stavb. Predvidene so finančne subvencije za zamenjavo zastarelih kurilnih naprav, uporabo ogrevalnih naprav na obnovljive vire energije in prenovo toplotnega ovoja stavb ter stavbnega pohištva. Posebna pozornost je namenjena tudi izobraževanju občanov o pravilni uporabi kurilnih naprav in ustrezni pripravi lesne biomase.
- s ciljem, da bi zmanjšali individualni motorni promet, so ukrepi na področju prometa usmerjeni zlasti v nadgradnjo že zgrajene infrastrukture, ki bi spodbujala uporabo javnega potniškega prometa in nemotorizirane oblike prometa (kolesarjenje in pešačenje). Predvideni so tudi dodatni ukrepi za umirjanje prometa in uporaba okolju prijaznih goriv v javnem prometu (vozila s pogonom na plin ali električna vozila).
- dolgoročni ukrepi drugih področij so številni, zajemajo tudi zmanjševanje prašenja pri transportu sipkega tovora, zmanjševanje prašenja deponij, gradbišč in vozniš površin podjetij, izobraževanja in ozaveščanja o kakovosti zunanega zraka ter zmanjšanje ognjemetov.
- kratkoročni ukrepi so usmerjeni v skrajševanje obdobja preseženih dnevniških mejnih vrednosti PM_{10} v zunanjem zraku, zato obsegajo priporočila občanom in inštitucijam, da v okviru svojih možnosti začasno zmanjšajo izpuste delcev pri uporabi prometnih sredstev in kurilnih naprav.

Načine ocenjevanja kakovosti zunanega zraka za ugotavljanje skladnosti kakovosti zraka na nivoju EU in njenih članic določata Direktiva 2008/50/ES (6) in Direktiva 2004/107/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 15. decembra 2004 o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku (16). Direktivi 2008/50/ES (6) in 2004/107/ES (16) sta v slovenski pravni red preneseni z Uredbo o kakovosti zunanega zraka (Ur. l. RS, št. 9/11 in 8/15) (8), Pravilnikom o ocenjevanju kakovosti zunanega zraka (Ur. l. RS, št. 55/11 in 6/15) (17) in Uredbo o arzenu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku (Ur. l. RS, št. 56/06) (18). Na državnem nivoju ocenjevanje kakovosti zunanega zraka v Sloveniji zagotavlja Agencija Republike Slovenije za okolje v sklopu Ministrstva za okolje in prostor (17).

Kakovost zunanega zraka se lahko izboljšuje tudi z določitvijo mejnih vrednosti nacionalnih izpustov za določena onesnaževala. V teh primerih so države same zadolžene za uvedbo potrebnih ukrepov, s katerimi zagotavljajo vrednosti onesnaževal pod mejno vrednostjo, določeno za posamezno onesnaževalo (6).

Za znižanje vrednosti onesnaževal v zunanjem zraku potekajo aktivnosti tudi v okviru Konvencije o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (ang. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution - CLRTAP), ki deluje v okviru Evropske komisije Združenih narodov. Tako Gøtenborški protokol (ang. The 1999 Gothenburg Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone) h Konvenciji CLRTAP (19) in Direktiva 2001/81/ES Evropskega parlamenta in sveta z dne 23. oktobra 2001 o nacionalnih zgornjih mejah emisij (20) določata letne mejne vrednosti izpustov emisij za evropske države. Mejne vrednosti onesnaževal se nanašajo na onesnaževala zunanega zraka, onesnaževala, ki

povzročajo evtrofikacijo in zakisovanje ter predhodnike O₃. Direktiva 2001/81/ES (20) je od leta 2013 dalje v postopku pregleda in sprememb. Leta 2013 je Evropska komisija predlagala nov paket pravnih predpisov na področju kakovosti zunanje zraka imenovan »Clean Air Policy Package« (21), ki vključuje pregled obstoječe zakonodaje na področju spremljanja in ukrepanja izpustov emisij v zrak iz industrije, prometa, energetskih virov ter kmetijstva, s ciljem zmanjšanja vplivov na zdravje ljudi in na ekosisteme. V okviru tega paketa naj bi se zagotovilo, da bodo cilji kakovosti zraka doseženi v krajšem časovnem obdobju, novo postavljeni cilji pa do leta 2030. Novi cilji naj bi temeljili predvsem na izboljšanju kakovosti zunanje zraka v mestih in naj bi podpirali raziskave, inovacije in mednarodno sodelovanje. V istem sklopu naj bi bila prenovljena in spremenjena tudi Direktiva 2001/81/ES (20) in pripravljen predlog nove direktive za zmanjševanje izpustov iz srednje velikih kurilnih naprav z močjo med 1 in 50 MWth. Cilj predlaganih zakonodajnih sprememb je zmanjšati število prezgodnjih smrti, zmanjšati onesnaževanje ekosistemov zaradi evtrofikacije, zaščititi zavarovana območja NATURA 2000 ter zaščititi gozdne ekosisteme pred zakisljevanjem (21).

Cilj spremljanja kakovosti zunanje zraka je zagotavljanje zdravja in blaginje ljudi. Svetovna zdravstvena organizacija (SZO) je podala priporočila koncentracij glavnih onesnaževal v zunanjem zraku, ki se nanašajo na vrednosti, do katerih je vrednost posameznega onesnaževala v zunanjem zraku za zdravje še varna (Tabela 1) (2). Ministrstvo za zdravje Republike Slovenije je s ciljem izboljšanja zdravja zaradi onesnaženega okolja pripravilo Akcijski načrt za izvajanje strategije Republike Slovenije za zdravje otrok v povezavi z okoljem 2012–2020 (22), ki ga je potrdila Vlada Republike Slovenije. Za izvajanje strategije je bil izdelan in na Vladi RS sprejet akcijski načrt, v katerem so zapisane konkretne naloge in aktivnosti resorjev in deležnikov, ki bodo lahko pripomogli k zmanjšanju pomembnih javnozdravstvenih problemov otrok in mladostnikov. Akcijski načrt med drugim opredeljuje tudi preprečevanje nastanka bolezni z izboljšanjem kakovosti zraka zunaj in v zaprtih prostorih (22).

Tabela 1: Okoljske mejne vrednosti onesnaževal v zunanjem zraku in priporočila Svetovne zdravstvene organizacije (2, 8, 18).

Onesnaževalo	Čas povprečenja	Predpisana vrednost (8, 18)	Priporočilo SZO (2)
PM ₁₀	dnevna mejna vrednost	50 µg/m ³ (ne sme biti presežena več kot 35-krat v letu)	50 µg/m ³
	letna mejna vrednost	40 µg/m ³	20 µg/m ³
PM _{2,5}	dnevna mejna vrednost	/	25 µg/m ³
	letna ciljna vrednost	25 µg/m ³	10 µg/m ³
	letna mejna vrednost	25 µg/m ³	/
	mejna vrednost za izpostavljenost (temelji na 3-letnem povprečju)	20 µg/m ³	/
O ₃	največje dnevno 8-urno povprečje, ciljna vrednost za zagotavljanje zdravja ljudi	120 µg/m ³ (ne sme biti preseženo več kot 25-krat v koledarskem letu 3-letnega povprečja)	100 µg/m ³
	največje 8-urno dnevno povprečje, dolgoročni cilj za zagotavljanje zdravja ljudi	120 µg/m ³	/
	urna vrednost, informacijska vrednost	180 µg/m ³	/
	urna vrednost, alarmna vrednost	240 µg/m ³	/
NO ₂	urna mejna vrednost za zagotavljanje zdravja ljudi	200 µg/m ³ (ne sme biti presežena več kot 18 ur na leto)	200 µg/m ³
	letna mejna vrednost za zagotavljanje zdravja ljudi	40 µg/m ³	40 µg/m ³
	urna alarmna vrednost	400 µg/m ³	/
BaP	letno povprečje	1 ng/m ³	*0,12 ng/m ³
	10-minutna vrednost	/	500 µg/m ³
SO ₂	urna mejna vrednost za zaščito zdravja ljudi	350 µg/m ³ (ne sme biti presežena več kot 24 ur v koledarskem letu)	/
	dnevna mejna vrednost za zaščito zdravja ljudi	125 µg/m ³ (ne sme biti presežena več kot 3 dni v koledarskem letu)	20 µg/m ³
	alarmna vrednost	500 µg/m ³	/
CO	urna vrednost	/	30 mg/m ³
	največja dnevna, 8-urna vrednost	10 mg/m ³	10 mg/m ³
Arzen	letna ciljna vrednost	6 ng/m ³	*6,6 ng/m ³
Kadmij	letna ciljna vrednost	5 ng/m ³	5 ng/m ³
Nikelj	letna ciljna vrednost	20 ng/m ³	*25 ng/m ³
Svinec	letna mejna vrednost	0,5 µg/m ³	0,5 µg/m ³
Benzen	letna mejna vrednost	5 µg/m ³	*1,7 ng/m ³

Legenda: PM₁₀ - trdni delci z aerodinamskim premerom do 10 µm; PM_{2,5} - trdni delci z aerodinamskim premerom do 2,5 µm; O₃ - ozon; NO₂ - dušikov dioksid; BaP - benzo(a)piren; SO₂ - žveplov dioksid; CO - ogljikov dioksid; * referenčna vrednost, ki se nanaša na ocenjeno vrednost izpostavljenosti kemikaliji ali mešanici kemikalij zaradi potencialne nevarnosti razvoja rakavega obolenja; SZO – Svetovna zdravstvena organizacija; / - vrednost ni določena.

3.2 Sektorski ukrepi in mednarodne aktivnosti za izboljšanje kakovosti zunanjega zraka

Evropska zakonodaja se, poleg določanja standardov kakovosti zraka za posamezna onesnaževala in letne nacionalne zgornje meje izpustov, osredotoča tudi na določene sektorje, ki delujejo kot viri onesnaževanja zunanjega zraka. Tako izpuste iz industrijskih virov urejata Direktiva 2010/75/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 24. novembra 2010 o industrijskih emisijah (celovito preprečevanje in nadzorovanje onesnaženja) (prenovitev) (23) in Direktiva 2001/80/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2001 o omejevanju izpustov nekaterih onesnaževal v zunanji zrak iz velikih kurilnih naprav (24).

Izpuste iz vozil urejajo standardi, ki se navezujejo na delovanje vozil in kakovost goriv, med drugim Direktiva 98/70/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 13. oktobra 1998 o kakovosti motornega bencina in dizelskega goriva ter spremembi Direktive 93/12/EGS (25) in standardi izpustov vozil pod oznako EURO 1–6 (26).

Standarda EURO 5 in EURO 6 (26) obravnavata izpuste iz lahkih tovornih vozil (osebni avtomobil, dostavna vozila in gospodarska vozila). Standard EURO 5 (26) je začel veljati z letom 2011 v skladu z Uredbo (ES) št. 715/2007 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 20. junija 2007 o homologaciji motornih vozil glede na emisije iz lahkih potniških in gospodarskih vozil (Euro 5 in Euro 6) in o dostopu do informacij o popravilu in vzdrževanju vozil (27) in zahteva, da vsi novi avtomobili v zunanji zrak izpuščajo manj NO₂ od mejnih vrednosti, ki jih za to onesnaževalo določa predpis. EURO 6 (26), predpisuje strožje mejne vrednosti NO_x za dizelske motorje.

Področje mednarodnih predpisov zadeva mednarodne dogovore o izpustih onesnaževal zunanjega zraka drugih vrst prometa, kamor spada tudi Mednarodna konvencija o preprečevanju onesnaževanja morja iz ladij (MARPOL) (28) Mednarodne pomorske organizacije iz leta 1973. Dodatni protokoli urejajo tudi izpuste SO₂ v ladijskem prometu. Če upoštevamo, da standardno gorivo za plovila vsebuje 2.700-krat več žvepla kot običajno dizelsko gorivo za avtomobile, potem je nujno potrebna tudi regulacija ladijska goriva, s ciljem pričetka uporabe za okolje in zdravje prijaznejša goriva (28).

Evropski zakonodajni predpisi o kakovosti zunanjega zraka (5, 21) temeljijo na predpostavki, da države članice EU svoje ozemlje razdelijo na več enot, v katerih morajo z meritvami ali modelnimi izračuni ocenjevati kakovost zunanjega zraka. Večinoma naj bi takšne enote predstavljala večja mesta. V primeru preseganja standardov kakovosti zunanjega zraka v neki enoti, mora država članica to poročati Evropski komisiji in navesti razloge za preseganje (5, 21).

Zakonodaja EU zahteva, da države članice pripravijo načrte za izboljšanje kakovosti zunanjega zraka in opišejo postopke izboljšave. Tako nekatere evropske države vzpostavljajo nizko-emisijske cone, ki omejujejo dostop vozilom, s čimer se zmanjšuje vpliv prometa na onesnaževanje zunanjega zraka v mestih. Nekatera mesta spodbujajo prehod z motoriziranih na nemotorizirane oblike prevoza (kolesarjenje in pešačenje), torej k bolj trajnostnim oblikam mobilnosti. Pri tem je velik poudarek na cenovno dostopnem javnem prevozu, ki uporablja okolju prijazna goriva. Nekateri države, ki imajo problem onesnaževanja z delci različnih velikosti zaradi individualnih kurišč, lahko predpišejo tudi, da imajo industrijske in komercialne kurilne naprave opremo za nadzor izpustov v skladu z najnovejšo in najboljšno razpoložljivo tehnologijo (5, 21).

Za doseganje zdravega fizičnega in grajenega okolja ter oblikovanje pravnih zahtev na področju kakovosti zunanega zraka so raziskave odločilnega pomena. Poleg ponujanja novih tehnologij, raziskave izboljšujejo znanje o onesnaževanju zunanega zraka in njihovih učinkih na zdravje ljudi in ekosisteme (5, 21).

4 SKLEP

Učinkoviti ukrepi za zmanjšanje onesnaženosti zunanega zraka zahtevajo dobro poznavanje vzrokov in načinov nastanka onesnaževal, delovanje zračnih tokov ter vplivov onesnaženja na ekosisteme, podnebje in ljudi. Politike kakovosti zunanega zraka zahtevajo ukrepanje in sodelovanje gospodarskih sektorjev, znanosti in javnosti na svetovni, evropski, nacionalni ter lokalni ravni. Rešitve zahtevajo medsektorski pristop na različnih ravneh.

5 LITERATURA

1. Evropska agencija za okolje (2013). EEA Signali 2013. Kakšen zrak dihamo. Kakovost zraka v Evropi. Luksemburg: Založniška zbornica Evropske unije. <http://www.eea.europa.eu/sl/publications/eea-signali-2013-kaksen-zrak-dihamo>. <25. 7. 2016>
2. Evropska agencija za okolje (2015). Air quality in Europe – 2015 report. Luksemburg: Založniška zbornica Evropske unije. <http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2015>. <25. 7. 2016>
3. United Nations Economic Commission for Europe. Air Pollution. <http://www.unece.org/env/lrtap/welcome.html>. <25. 7. 2016>
4. Pravno informacijski sistem Republike Slovenije. <http://www.pisrs.si/Pis.web/>. <25. 7. 2016>
5. EU Lex Dostop do zakonodaje Evropske unije (EU). <http://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=sl>. <25. 7. 2016>
6. Direktiva 2008/50/EC Evropskega parlamenta in Sveta z dne 21. maja 2008 o kakovosti zunanega zraka in čistejšem zraku za Evropo.
7. Direktiva Sveta 96/62/ES z dne 27. septembra 1996 o ocenjevanju in upravljanju kakovosti zunanega zraka.
8. Uredba o kakovosti zunanega zraka (Ur. l. RS, št. 9/11, 8/15).
9. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Mestne občine Celje (Ur. l. RS, št. 108/13).
10. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Mestne občine Kranj (Ur. l. RS, št. 108/13).
11. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Mestne občine Ljubljana (Ur. l. RS, št. 24/14).
12. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Mestne občine Maribor (Ur. l. RS, št. 108/13).
13. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Mestne občine Murska Sobota (Ur. l. RS, št. 88/13).
14. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Mestne občine Novo mesto (Ur. l. RS, št. 108/13).
15. Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Zasavja (Ur. l. RS, št. 108/13).
16. Direktiva 2004/107/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 15. decembra 2004 o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku.
17. Pravilnik o ocenjevanju kakovosti zunanega zraka (Ur. l. RS, št. 55/11, 6/15).
18. Uredba o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku (Ur. l. RS, št. 56/06).
19. Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone. The 1999 Gothenburg Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone http://www.unece.org/env/lrtap/multi_h1.html. <25. 7. 2016>
20. Direktiva 2001/81/ES Evropskega parlamenta in sveta z dne 23. oktobra 2001 o nacionalnih zgornjih mejah emisij.
21. Evropska Komisija (2013). »The Clean Air Package«. Bruselj: Evropska Komisija. http://ec.europa.eu/environment/air/index_en.htm. <25. 7. 2016>
22. Ministrstvo za zdravje (2014). Akcijski načrt za izvajanje strategije RS za zdravje otrok v povezavi z okoljem 2012–2020. http://www.mz.gov.si/fileadmin/mz.gov.si/pageuploads/javno_zdravje_2015/okolje_in_otroci/_akcijski_nacrt_strategija_okolje_in_otroci_090715_.pdf. <25. 7. 2016>

23. Direktiva 2010/75/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 24. novembra 2010 o industrijskih emisijah (celovito preprečevanje in nadzorovanje onesnaženja) (prenovitev).
24. Direktiva 2001/80/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2001 o omejevanju izpustov nekaterih onesnaževal v zrak iz velikih kurilnih naprav.
25. Direktiva 98/70/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 13. oktobra 1998 o kakovosti motornega bencina in dizelskega goriva ter spremembi Direktive 93/12/EGS.
26. ACEA European Automobile Manufacturers Association. Euro Standards. <http://www.acea.be/industry-topics/tag/category/euro-standards>. <25. 7. 2016>
27. Uredba (ES) št. 715/2007 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 20. junija 2007 o homologaciji motornih vozil glede na emisije iz lahkih potniških in gospodarskih vozil (Euro 5 in Euro 6) in o dostopu do informacij o popravilu in vzdrževanju vozil.
28. Mednarodna pomorska organizacija. Mednarodna konvencija o preprečevanju onesnaževanja morja iz ladij (MARPOL). [http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx). <25. 7. 2016>

EPIDEMIOLOŠKE RAZISKAVE VPLIVA ONESNAŽENOSTI ZUNANJEGA ZRAKA NA ZDRAVJE V SLOVENIJI: SISTEMATIČNI PREGLED

EPIDEMIOLOGICAL STUDIES OF OUTDOOR AIR POLLUTION AND HEALTH EFFECT IN SLOVENIA: A SYSTEMATICAL REVIEW

An Galičič, Lijana Zaletel-Kragelj, Andreja Kukec

IZVLEČEK

Uvod: Epidemiološke raziskave, ki proučujejo vpliv onesnaženosti zunanega zraka na zdravje ljudi predstavljajo dokaze, na podlagi katerih se oblikujejo javnozdravstveni ukrepi in politike. **Namen:** Zbrati in predstaviti vse epidemiološke raziskave, ki so ocenjevale povezanost med onesnaženostjo zunanega zraka in zdravja v Sloveniji. **Metode:** Pregled literature v bibliografski bazi COBISS in Google Učenjak je bil pripravljen sistematično in kronološko. **Rezultati in razprava:** Do vključno junija 2016 je bilo v Sloveniji izvedenih devet epidemioloških raziskav ocene vpliva onesnaženega zunanega zraka na zdravje ljudi. Izvedene so bile raziskave na individualni in populacijski ravni. Najpogosteje sta bila območja opazovanja regija Zasavje in primorska regija. V vseh analiziranih raziskavah so bili opazovani zdravstveni izidi posamezne ali vse diagnoze bolezni dihal. **Sklep:** Avtorji raziskav so ocenili, da imajo negativen vpliv na zdravje prebivalcev v regiji Zasavje zlasti trdni delci z aerodinamskim premerom do 10 μm (PM_{10}) pozimi, v primorski regiji pa ozon (O_3) poleti.

Ključne besede: epidemiološke raziskave, onesnažen zunanji zrak, vpliv na zdravje, Slovenija

ABSTRACT

Introduction: Epidemiological studies of the outdoor air pollution health effect assessment present evidence on which public health measures and policies are formed. **Aim:** To arrange and present all epidemiological studies which assessed the association between outdoor air pollution and health in Slovenia. **Methods:** Literature review in bibliographical database COBISS and Google Scholar was prepared and presented systematically and chronologically. **Results and discussions:** Up until June 2016 in Slovenia nine epidemiological studies of outdoor air pollution health effect assessment have been published. Studies were implemented at the individual and at the population level. The most frequently observed areas of observation were Zasavje region and primorska region. In all studies observed health outcomes were individual or all respiratory diseases. **Conclusion:** Authors of the studies have associated negative health effect to particles with aerodynamic diameter 10 μm or less (PM_{10}) in winter season in Zasavje region and to ozone (O_3) in primorska region in summer.

Key words: epidemiological studies, outdoor air pollution, health effect, Slovenia

1 UVOD

Epidemiološko preučevanje in ocenjevanje vpliva onesnaženega zunanjega zraka na zdravje ljudi ima velik pomen (1), saj Mednarodna agencija za raziskovanje raka (2, 3) in Svetovna zdravstvena organizacija (4) opozarjata na negativne zdravstvene posledice vpliva onesnaževal v zunanjem zraku na človeka. Tovrstno preučevanje je izjemnega pomena, saj je temelj za oblikovanje javnozdravstvenih ukrepov in politik za zmanjševanje negativnih zdravstvenih posledic vpliva onesnaževal v zunanjem zraku na človeka. Na podlagi dokazov se oblikuje tudi zakonske akte o kakovosti zunanjega zraka (5–7).

Oblikovanje na dokazih podprtih javnozdravstvenih ukrepov na področju onesnaženosti zunanjega zraka je nujno potrebno, saj je 90 % mestnega prebivalstva Evrope izpostavljenega prekoračenim mejnim vrednostim trdnih delcev, dušikovih oksidov (NO_x), ozona (O₃) in benzena v zunanjem zraku (8).

Preventivni ukrepi na ravni posameznika so dragi in manj učinkoviti, zato so za zmanjšanje vpliva onesnaženega zunanjega zraka na zdravje ljudi ključne celostne strategije na ravni populacije. Ukrepi morajo biti osredotočeni na izboljšanje kakovosti zunanjega zraka in ozaveščanje ljudi o njihovem ravnanju v času povišanih vrednosti onesnaževal v zunanjem zraku (5).

Na področju epidemiološkega preučevanja vpliva onesnaženosti zunanjega zraka na zdravje se srečujemo s številnimi problemi. Zdravstvene težave, ki jih povzročajo izpostavljenost onesnaženemu zunanjemu zraku so nespecifične, zato je težko dokazati vzročno povezanost z opazovanimi zdravstvenimi izidi. Raziskanost področja povezanosti onesnaženega zunanjega zraka in preventivnega delovanja za zmanjšanje bremena opazovanih bolezni je relativno majhna, saj so možnosti raziskovanja omejene zaradi narave zdravstvenih in okoljskih podatkov (5).

Za pridobivanje kakovostnih dokazov, ki so edini ustrezni za pripravo javnozdravstvenih ukrepov, sta potrebna pravilen metodološki pristop in izvedba ustreznih epidemioloških raziskav (5, 6). Poleg ustrezne metodologije bi bilo potrebno tudi bolj usmerjeno raziskovanje, saj obstoječe ocene za številne zdravstvene izide vpliv onesnaženega zunanjega zraka na zdravje ljudi povezanost le nakazujejo, ne pa tudi potrjujejo (5, 7).

Namen sistematičnega pregleda je bil zbrati in predstaviti vse epidemiološke raziskave, ki so ocenjevale povezanost vplivov onesnaženega zunanjega zraka na zdravje ljudi v Sloveniji.

2 METODE

Pregled literature na temo vpliva onesnaženega zunanjega zraka na zdravje ljudi v Sloveniji je bil narejen kronološko v bibliografski bazi COBISS (9) in Google Učenjak (10).

Vključitveni kriteriji pri iskanju raziskav so bili naslednji: epidemiološka raziskava izvedena na območju Slovenije, raziskava je po vsebini vključevala analizo povezanosti vplivov onesnaženega zunanjega zraka na zdravje in obdobje opazovanja do vključno junija 2016. Pri sistematičnem pregledu smo za vsako vključeno epidemiološko raziskavo opredelili vrsto epidemiološke raziskave, opazovano območje, populacijo in zdravstveni izid, pojasnjevalne dejavnike, uporabljene metode povezanosti in izpisali glavne rezultate raziskave. Rezultati sistematičnega pregleda literature so bili prikazani tabelarično.

3 REZULTATI

Sistematični pregled literature je pokazal, da je bilo do vključno junija 2016 na območju Slovenije izvedenih devet epidemioloških raziskav, ki so ocenjevale vpliv onesnaženega zunanjega zraka na zdravje prebivalcev. Od tega so bile izvedene tri presečne raziskave na individualni ravni in šest ekoloških raziskav na populacijski ravni.

Natančnejši rezultati sistematičnega pregleda slovenskih epidemioloških raziskav ocene povezanosti med onesnaženim zunanjim zrakom in zdravjem ljudi so prikazani v Tabeli 1.

Tabela 1: Rezultati epidemioloških raziskav vpliva onesnaženega zunanjega zraka na zdravje prebivalcev Slovenije.

Raziskava	Vrsta epidemiološke raziskave	Opazovano območje	Opazovana populacija	Opazovani zdravstveni izid	Pojasnjevalni dejavniki (izpostavljenost)	Rezultati ¹	Uporabljene metode
Eržen in sod., 2006 (11)	presečna raziskava	občina Zagorje ob Savi	otroci (6–9 let)	prevalenca astme prevalenca kroničnega bronhitisa prevalenca alergičnega obolenja zgornjih dihal	ocena onesnaženosti zunanjega zraka	RO=1,30 (p>0,05) RO=3,46 (p<0,05) RO=1,57 (p>0,05)	logistična regresija
Šimac, 2008 (12)	ER - časovna analiza povezanosti	goriška regija ²	0–6 let 7–14 let 15–18 let 19–24 let 25–64 let ≥ 65 let	dnevno število prvih in ponovnih obiskov na primarni ravni zdr. varstva zaradi bolezni dihal	8-urna povp. dn. vred. O₃ >200 µg/m ³	p=0,07 NP NP p=0,44 p=0,78 NP	t-test
Kučec in sod., 2008 (13), 2013 (14)	presečna raziskava	zasavska regija	otroci (6–12 let)	prevalenca kroničnih respiratornih boleznih prevalenca akutnih respiratornih simptomov	ocena onesnaženosti zunanjega zraka	RO=2,27 (p=0,071) RO=2,91 (p=0,017) RO=1,68 (p=0,107) RO=2,02 (p=0,023)	logistična regresija
Eržen in sod., 2010 (15)	presečna raziskava	MO Koper	otroci (6–11 let)	prevalenca astme , prevalenca kroničnega bronhitisa	ocena onesnaženosti zunanjega zraka	RO=1,19 (p=0,455) RO=1,72 (p=0,018)	logistična regresija
Rems-Novak, 2013 (16); Rems-Novak in sod., 2014 (17)	ER - časovna analiza povezanosti	MO Koper	otroci (0–12 let)	dnevno število prvih obiskov na primarni ravni zdr. varstva zaradi astme	8-urna max. vred. O₃ ≥ 70 µg/m ³ , lag 4	RO=6,667 (p=0,083)	logistična regresija

Tabela 1: Nadaljevanje.

Raziskava	Vrsta epidemiološke raziskave	Opazovano območje	Opazovana populacija	Opazovani zdravstveni izid	Pojasnjevalni dejavniki (izpostavljenost)	Rezultati ¹	Uporabljene metode
Kukec, 2013 (18); Kukec in sod., 2012 (19), 2014 (20)	ER - časovna analiza povezanosti	občina Trbovlje občina Zagorje ob Savi občina Hrastnik	otroci (1–11 let)	dnevno število prvih obiskov na primarni ravni zdr. varstva zaradi boleznih dihal	popv. dn. vred. PM₁₀ , lag0 popv. dn. vred. SO₂ , lag0 8-urna max. vred. O₃ , lag1 popv. dn. vred. NO₂ , lag0 popv. dn. vred. PM₁₀ , lag0 popv. dn. vred. SO₂ , lag0 8-urna max. vred. O₃ , lag1 popv. dn. vred. SO₂ , lag0 8-urna max. vred. O₃ , lag2	RIS=1,004 (p<0,001) RIS=0,986 (p<0,002) RIS=0,998 (p=0,180) RIS=1,002 (p=0,456) RIS=1,003 (p<0,001) RIS=0,983 (p<0,001) RIS=1,002 (p<0,003) RIS=1,024 (p<0,001) RIS=1,004 (p<0,001)	Poisson-ova regresija
Kukec, 2013 (18); Kukec in sod., 2012 (19), 2014 (21)	ER - prostorska analiza povezanosti	zasavska regija	otroci (1–11 let)	zimsko, poletno in letno povprečno število prvih obiskov na primarni ravni zdr. varstva zaradi boleznih dihal	mod. zimske popv. vred. PM₁₀ mod. polet. popv. vred. PM₁₀ mod. let. popv. vred. NO₂ mod. let. popv. vred. SO₂	$\beta = -0,07 (-0,03-0,18)$ $\beta = -0,04 (-0,19-0,11)$ $\beta = 0,05 (-0,05-0,16)$ $\beta = 0,24 (0,01-0,51)$	geografska analiza z Bayes-ovimi hierarhičnimi modeli
UFIREG, 2012 (22); Gallič in Kranjec, 2015 (23); Lanzinger in sod., 2016 (24)	ER - časovna analiza povezanosti	MO Ljubljana	vsi prebivalci (>1 leto)	dnevno število smrti zaradi boleznih dihal	popv. dn. vred. UFD_{0,01-0,02} , lag1 popv. dn. vred. UFD_{0,02-0,03} , lag1 popv. dn. vred. UFD_{0,03-0,05} , lag1 popv. dn. vred. UFD_{0,05-0,07} , lag1 popv. dn. vred. UFD_{0,07-0,10} , lag1	RIS=1,000 (p>0,05) RIS=1,001 (p>0,05) RIS=0,997 (p>0,05) RIS=1,005 (p<0,05) RIS=0,998 (p>0,05)	Poisson-ova regresija
Gallič, 2016 (25)	ER - prostorska analiza povezanosti	Zasavska regija	otroci (1–11 let)	zimsko, poletno in letno povprečno število prvih obiskov na primarni ravni zdr. varstva zaradi boleznih dihal	mod. zimske popv. vred. PM₁₀ mod. polet. popv. vred. PM₁₀ mod. let. popv. vred. NO₂	RT=1,708 (p<0,025) RT=1,048 (p>0,025) RT=1,210 (p>0,025)	Poisson-ova regresija

Legenda: ER - ekološka raziskava; MO - mestna občina; PM₁₀ - trdni delci z aerodinamskim premerom do 10 µm; SO₂ - žveplov dioksid; O₃ - ozon; NO₂ - dušikov dioksid; UFD - ultrafini delci; RO - razmerje obovet; RT - relativno tveganje; RIS - razmerje incidenčnih stopenj; β - korelacijski koeficient; p - p-vredost; NP - ni podatka; ones. - onesnaženost; lag - časovni zamik učinka v dnevih; popv. - povprečje; zdr. - zdravstvenega; dn. - dnevni; polet. - poletni; let. - letni; vred. - vrednost; max. - najvišji; mod. - modeliran; ¹kreško - biološka smiselnost (smer povezanosti je biološko sprejemljiva) in statistično značilna povezanost; ²Mestna občina Nova Gorica, Občina Šempeter-Vrtojba, Občina Miren-Kostanjevica in Občina Renče-Vogrsko.

4 RAZPRAVA

Prvo epidemiološko raziskavo v Sloveniji, ki je ocenjevala povezanost vpliva onesnaženega zunanjega zraka na zdravje prebivalstva, je leta 2006 izvedel Eržen s sodelavci (11) za populacijsko skupino otrok v občini Zagorje ob Savi. V nadaljnjih desetih letih so bile izvedene tako raziskave na individualni kot populacijski ravni, ki so ocenjevale vpliv onesnaževal zunanjega zraka na različne kazalnike posameznih ali vseh bolezni dihal.

Pregledane slovenske epidemiološke raziskave so bile po zasnovi presečne raziskave (11, 13, 15) in ekološke raziskave časovne (12, 16, 20, 23) ter prostorske analize povezanosti (21, 25).

4.1 Območja opazovanja

Epidemiološke raziskave, ki so preučevale vpliv onesnaženega zunanjega zraka na zdravje prebivalcev, so bile, z izjemo ene, izvedene za statistični regiji Zasavje in primorsko regijo. Za statistično regijo Zasavje je bilo izvedenih pet epidemioloških raziskav (11, 13, 20, 21, 25). Za primorsko regijo so bile raziskave izvedene natančneje za goriško regijo (Mestna občina Nova Gorica, Občina Šempeter-Vrtojba, Občina Miren-Kostanjevica in Občina Renče-Vogrsko) (12) ter Mestno občino Koper (15, 16). Ena epidemiološka raziskava je bila izvedena tudi za Mestno občino Ljubljana (23).

Izbrana območja opazovanja so bila vključena zaradi povišanih vrednosti nekaterih onesnaževal v zunanjem zraku in lastnosti terena, ki vpliva tudi na meteorologijo. Statistična regija Zasavje ima razgiban teren za katerega je značilno zimsko pojavljanje temperaturne inverzije, ki lahko povzroči tudi večdnevno zadrževanje megle, posledično pa tudi kopičenje onesnaževal v plasti zraka pod plastjo megle (26, 27). V preteklosti, pred finančno-ekonomsko krizo, so Kukec in sodelavci (28) v Zasavju opredelili 18 večjih točkovnih virov emisij. Primorska regija ima zaradi več sončnega obsevanja in višjih temperatur zunanjega zraka glede na preostalo Slovenijo ugodnejše razmere za potek fotokemijskih reakcij, hkrati pa tudi Z in JZ vetrovi iz sosednje Italije prinašajo troposferski O₃ in njegove predhodnike (12).

4.2 Opazovani zdravstveni izidi

V pregledanih epidemioloških raziskavah so bili v vseh primerih opazovani zdravstveni izidi bolezni dihal. Opazovane izide, kot so vse bolezni dihal (12, 20, 21, 23, 25), astma (11, 15, 16), kronični bronhitis, alergično obolenje zgornjih dihal (11), kronične respiratorne bolezni in akutni respiratorni simptomi (13), so prikazali z različnimi kazalniki, najpogosteje kot prve obiske na primarni ravni zdravstvenega varstva (12, 16, 20, 21, 25) in prevalenco (11, 13).

Tako kot slovenske epidemiološke raziskave, tudi tuje, za oceno vpliva onesnaženega zunanjega zraka na zdravje prebivalcev pogosto opazujejo bolezni dihal. Od opazovanih izidov so v povezavi z onesnaženostjo zunanjega zraka pogosto obravnavane tudi bolezni obtočil (29-31), vsi naravni vzroki (29, 31, 32) in maligne neoplazme (33) z različnimi zdravstvenimi kazalniki. Nov trend v ocenjevanju vpliva onesnaženega zunanjega zraka na zdravje predstavljajo do sedaj še ne vključeni opazovani izidi, kot sta nizka porodna teža (34-36) in nedonošenost otroka (34, 36).

4.3 Opazovana onesnaževala

Prve pregledane slovenske epidemiološke raziskave so kot pojasnjevalni dejavnik vključevale ocenjeno onesnaženost zunanjega zraka (11, 13). Nadaljnje raziskave so vključevale merjene ali modelirane vrednosti opazovanih onesnaževal.

Epidemiološke ekološke raziskave za območje Zasavja so vključevale modelirane vrednosti PM_{10} , NO_2 , SO_2 in O_3 v zunanjem zraku (20, 21, 25). Epidemiološke raziskave za primorsko regijo so vključevale merjene vrednosti O_3 (11, 15, 16). Galičič in Kranjec (23) sta ocenjevala vpliv izmerjenih vrednosti ultrafinih delcev (UFD) v zunanjem zraku na zdravje prebivalstva. V pregledanih epidemioloških raziskavah so bili uporabljeni različni kazalniki podatkov o onesnaženosti zunanjega zraka, ki so bili odvisni od vrste epidemiološke raziskave.

Slovenske epidemiološke raziskave so, tako kot tuje raziskave, ocenjevale vpliv najpogostejših onesnaževal v zunanjem zraku na zdravje prebivalstva (37). Onesnaževalo ultrafini delci, katerega vpliv sta ocenjevala Galičič in Kranjec (23), glede na tuje raziskave predstavlja nove trende v raziskavah vpliva onesnaženosti zunanjega zraka na zdravje (38, 39).

4.4 Ocena izpostavljenosti onesnaževalom v zunanjem zraku

Izpostavljenost onesnaženemu zunanjemu zraku oziroma onesnaževalom v zunanjem zraku v slovenskih epidemioloških raziskavah se je spreminjala, kar je povezano tudi z vrsto posamezne epidemiološke raziskave.

V presečni raziskavi so Eržen in sodelavci (11) območje Zagorja ob Savi razdelili na dva dela; na območje, za katerega je obstajala domneva, da so ljudje, ki na tem območju živijo, bolj izpostavljeni škodljivemu delovanju onesnaževal v zunanjem zraku, in na območje, za katerega se je domnevalo, da je onesnaženost manjša. Posamezna območja so bila opredeljena glede na geografski položaj, prisotnost točkovnih virov onesnaženja zunanjega zraka in specifične meteorološke pogoje. Otroci so bili v skupino izpostavljenih in neizpostavljenih razvrščeni glede na njihovo stalno prebivališče (11). Kupec in sodelavci (13) so oceno izpostavljenosti onesnaženemu zunanjemu zraku v Zasavju pripravili z dvema med seboj neodvisnima pristopoma. V prvem primeru so za oceno onesnaženosti zunanjega zraka, za območje v katerem živijo, uporabili oceno staršev oz. skrbnikov v raziskavo vključenih otrok, v drugem pa so onesnaženost v Zasavju ocenili s pomočjo nevladne organizacije (13). Eržen in sodelavci (15) so območja onesnaženosti zunanjega zraka v MO Koper določili na podlagi podatkov Državnega monitoringa kakovosti zraka, rezultatov preteklih raziskav, lokacij večjih točkovnih in linijskih virov emisij, meteoroloških značilnosti območja in s sodelovanjem s predstavniki mestne oblasti in tamkajšnjimi prebivalci.

V ekoloških raziskavah časovne analize povezanosti, v katerih je bila v vseh primerih enota opazovanja posamezen dan, so bili okoljski kazalniki naslednji: 8-urna najvišja dnevna vrednost O_3 (12, 16, 19), povprečne dnevne vrednosti PM_{10} , SO_2 , NO_2 (20) in UFD po razredih glede na velikost aerodinamskega premera (23). 8-urna najvišja vrednost O_3 in povprečne dnevne vrednosti PM_{10} , SO_2 ter NO_2 so bile pripravljene iz povprečnih urnih vrednosti (11, 16, 20). Meritve vrednosti števila UFD glede na velikost so se izvajale v intervalu od 5 do 20 minut in so se za potrebo analize preračunale v povprečne dnevne vrednosti UFD (23). V ekoloških raziskavah časovne analize povezanosti so bili vključeni tudi naslednji dejavniki ozadja: meteorološki podatki in sezonski dejavniki (16, 20, 23),

sezona epidemije gripe (20, 23) ter povprečne dnevne vrednosti cvetnega prahu (16).

V obeh ekoloških raziskavah prostorske povezanosti (21, 25) so bile za vsako od opazovanih onesnaževal oblikovane ločene male prostorske enote. Prostorske enote so bile oblikovane na podlagi ocene širjenja onesnaževal v zunanjem zraku z disperzijskimi modeli ter digitalnih zemljevidov mej krajevnih skupnosti in naselij občin v Zasavju. Za ekološko prostorsko raziskavo so bile za leto 2011 iz polurnih vrednosti opazovanih onesnaževal izračunane zimske in poletne povprečne vrednosti za PM_{10} ter letne povprečne vrednosti za SO_2 in NO_2 v talnem sloju. Za izračun širjenja onesnaževal v zunanjem zraku na modelnem območju je bil uporabljen numerični Lagrangeev model delcev Spray z Monte Carlo simulacijo (21, 25).

4.5 Uporabljene metode analize povezanosti

V presečnih raziskavah je bila za analizo povezanosti uporabljena metoda logistične regresije (11, 13, 15). V ekoloških raziskavah časovne analize povezanosti sta bila uporabljena t-test (12) in Poisson-ova regresija (16, 20, 23), v ekoloških raziskavah prostorske analize povezanosti pa Bayes-ovi hierarhični modeli (21) in Poisson-ova regresija (25).

4.6 Ugotovitve slovenskih epidemioloških raziskav

Epidemiološke raziskave ocene povezanosti vpliva onesnaženega zunanjega zraka na zdravje ljudi so bile izvedene za tri območja v Sloveniji; statistično regijo Zasavje, primorsko regijo in Mestno občino Ljubljana.

Eržen in sodelavci (11) so ocenili, da je tveganje za kronični bronhitis pri otrocih, ki živijo na območju občine Zagorje ob Savi, opredeljenem kot bolj onesnaženo, v primerjavi z otroci, ki živijo na območju, ki je opredeljeno kot manj onesnaženo, 3,46-krat višje. Ocenili so tudi, da je v primeru astme tveganje pri tistih, ki živijo na bolj onesnaženem območju večje za 1,30-krat, za alergijsko obolenje zgornjih dihal pa za 1,6-krat (11). Kuček in sodelavci (13) so za šoloobvezne otroke v Zasavju ugotovili, da so obeti za kronične bolezni dihal 2,91-krat in za akutne respiratorne simptome 2,02-krat višji na območju z ocenjeno visoko stopnjo onesnaženosti zunanjega zraka glede na območje z ocenjeno nizko stopnjo onesnaženosti zunanjega zraka. Z metodo časovnih trendov so Kuček in sodelavci (20) ocenili, da v Zasavju obstaja pozitivna časovna povezanost med številom obiskov otrok, ki so v opazovanem obdobju obiskali zdravstveni dom v Zasavju zaradi bolezni dihal in povprečnimi dnevnimi vrednostmi PM_{10} , O_3 in SO_2 . Kuček in sodelavci (21) so v prostorski raziskavi nakazali pozitivno povezanost med številom obiskov otrok zdravstvenih domov in vrednostmi SO_2 na letni ravni. Galičič (25) je ocenil, da imajo otroci, ki živijo na območju z ravno onesnaženosti zunanjega zraka, ki pozimi dosega ali presega mejno vrednost PM_{10} , ob upoštevanju potencialnih motečih dejavnikov, 1,71-krat večje tveganje, da zbolijo za boleznimi dihal glede na otroke, ki živijo na območju z zanemarljivo ravno onesnaženosti zunanjega zraka s PM_{10} pozimi. Obolevnost otrok v Zasavju za boleznimi dihal je bila statistično značilno povezana tudi s trajanjem dojenja krajšim od 8 mesecev (25).

Šimac (12) je za območje goriške regije ocenila, da je v starostni skupini 7–14 let povprečno število obravnav bolezni dihal pri vrednostih nad $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za največje 8-urno dnevno povprečje O_3 statistično značilno večje kot povprečno število obravnav v dnevih z vrednostmi O_3 pod to vrednostjo. Eržen in sodelavci (15) so ocenili, da so obeti za astmo in kronični bronhitis pri otrocih, ki živijo na območju Mestne občine Koper, ki je bilo opredeljeno kot bolj onesnaženo, v primerjavi z otroki, ki živijo na območju občine Šmarje pri Jelšah, 1,72-

krat višje. Rems-Novak (16) je ocenila, da je povezanost med 8-urno najvišjo vrednostjo O_3 , ki dosega ali presega $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in dnevnim številom prvih obiskov na primarni ravni zdravstvenega varstva zaradi astme s 4-dnevnim zamikom statistično značilna. Rems-Novak (16) je tako ocenila, da obstaja povezanost med povišanimi vrednostmi O_3 in dnevnim številom obiskov na primarni ravni zdravstvenega varstva zaradi astme v Mestni občini Koper.

Za Mestno občino Ljubljana sta Galičič in Kranjec (23) ocenila, da je bila v letih 2012 in 2013 dnevna povprečna vrednost UFD velikosti $0,05\text{--}0,07 \mu\text{m}$ statistično značilno povezana z dnevnim številom smrti zaradi bolezni dihal.

Iz pregledanih slovenskih raziskav razberemo napredek pri ocenjevanju izpostavljenosti onesnaženosti zunanjega zraka. Prve raziskave so ocenjevale izpostavljenost s pomočjo ocene onesnaženega zunanjega zraka staršev oz. skrbnikov otrok, lokalnih prebivalcev, občinske oblasti in nevladne organizacije (11, 13, 15). V nadaljevanju so raziskovalci uporabili rutinske meritve iz Državne mreže za spremljanje kakovosti zraka (12, 16, 20, 23). Pomemben napredek pri oceni izpostavljenosti pa predstavlja uporaba modelirnih sistemov za oceno širjenja onesnaževal v zunanjem zraku na ravni malih prostorskih enot (21, 25).

5 SKLEP

Avtorji pregledanih raziskav v Sloveniji so ocenili, da je zdravje prebivalcev regije Zasavje obremenjeno zlasti zaradi povišanih vrednosti PM_{10} pozimi, zdravje prebivalcev primorske regije s povišanimi vrednostmi O_3 v poletnem času in zdravje prebivalcev Mestne občine Ljubljana s povišanimi vrednostmi UFD. Nadaljni izziv predstavlja izvedba raziskav vpliva onesnaženega zunanjega zraka na zdravje prebivalstva že obravnavanih območij z izboljšanimi metodološkimi pristopi, kar bi dalo trdne dokaze o vplivu onesnaženega zunanjega zraka na zdravje.

6 LITERATURA

1. Svetovna zdravstvena organizacija (2014). Burden of disease from Ambient Air Pollution for 2012 - Summary of results. Geneva: Svetovna zdravstvena organizacija. http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AAP_BoD_results_March2014.pdf. <3. 1. 2016>
2. Mednarodna agencija za raziskovanje raka (2013). Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths, Press Release No 221. https://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/pr221_E.pdf. <14. 6. 2016>
3. Mednarodna agencija za raziskovanje raka (2013). Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes. <https://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/2012/mono105-info.php>. <14. 6. 2016>
4. Svetovna zdravstvena organizacija (2014). Frequently Asked Questions, Ambient and Household Air Pollution and Health, Update 2014. http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/faqs_air_pollution.pdf?ua=1. <6. 11. 2015>
5. Künzli N, Rapp R, Perez L (2014). "Breathe Clean Air": the role of physicians and healthcare professionals. *Breathe* 10(3): 215–9.
6. Miao Q, Chen D, Buzzelli M in sod. (2015). Environmental Equity Research: Review With Focus on Outdoor Air Pollution Research Methods and Analytic Tools. *Int Arch Occup Environ Health* 70: 47–55.
7. Health Effects Institute (2010). Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of tje Literature in Emissions, Exposure, and Health Effects. HEI special report 17. Boston: Health Effects Institute.
8. Künzli N, Kaiser R, Medina S in sod. (2000). Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a european assessment. *Lancet* 356(9232): 795–801.
9. Kooperativni online bibliografski sistem in servisi (COBISS). <http://www.cobiss.si/>. <15. 6. 2016>

10. Google Učenjak. <https://scholar.google.si/>. <15. 6. 2016>
11. Eržen I, Vertačnik G, Podkrajšek D in sod. (2006). Proučevanje vpliva okolja na pojav določenih boleznih in povečano stopnjo umrljivosti prebivalcev na območju občine Zagorje ob Savi. Zaključno poročilo. Celje: Zavod za zdravstveno varstvo Celje.
12. Šimac N (2008). Onesnaženost zraka z ozonom na goriškem - ocena vplivov na zdravje ljudi. Specialistična naloga. Nova Gorica: Zavod za zdravstveno varstvo Nova Gorica.
13. Kuček A, Zaletel-Kragelj L, Eržen I in sod. (2008). Bolezni dihal pri šolskih otrocih v Zasavju v povezavi s stopnjo onesnaženosti okolja. Zaključno poročilo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta.
14. Kuček A, Farkaš-Lainščak J, Eržen I in sod. (2013). 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. *Arh Hig Rada Toksikol* 64(1): 9–22.
15. Eržen I, Kuček A, Zaletel-Kragelj L (2010). Air pollution as a potential risk factor for chronic respiratory diseases in children: A prevalence study in Koper Municipality. *Healthmed* 4: 945–54.
16. Rems-Novak MM (2013). Effects of air pollution with ozone on primary health care consultations for upper respiratory tract diseases in children in Koper municipality. Magistrsko delo. Nova Gorica: Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za podiplomski študij.
17. Rems-Novak MM, Kuček A, Krek M in sod. (2014). Effects of ozone on consultations for asthma in children in Koper municipality: A time trend study. *Sanitarno inženirstvo* 8(1): 4–15.
18. Kuček A (2013). An environmental model for the relationship between air pollution and respiratory diseases in children – the Zasavje case. Doktorska dizertacija. Nova Gorica: Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za podiplomski študij.
19. Kuček A, Zaletel-Kragelj L, Bizjak M in sod. (2012). Študija celostnega sklapljanja zdravstvenih in okoljskih podatkov v Zasavju kot model študije za podporo pri oblikovanju in izvajanju medsektorskih politik s področja okolja in zdravja. Zaključno poročilo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta.
20. Kuček A, Eržen I, Farkaš J in sod. (2014). 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* 53(1): 55–68.
21. Kuček A, Zaletel-Kragelj L, Farkaš-Lainščak J in sod. (2014). Health geography in case of Zasavje: linking of atmospheric air pollution and respiratory diseases data. *Acta Geogr Slov* 54(2): 345–62.
22. Ultrafine particles – Cooperating with environmental and health policy (UFIREG) (2012). Results. <http://www.ufireg-central.eu/index.php/results>. <22. 6. 2016>
23. Galičič A, Kranjec N (2015). Vpliv ultrafinih delcev v ozračju na boleznih dihal pri prebivalcih Mestne občine Ljubljana. Raziskovalna naloga. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta.
24. Lanzinger S, Schneider A, Breitner S in sod. (2016). Ultrafine and Fine Particles and Hospital Admissions in Central Europe, Results from the UFIREG Study. *Am J Respir Crit Care Med* (v tisku).
25. Galičič A (2016). Izboljšanje metodologije prostorskega povezovanja zdravstvenih in okoljskih podatkov na razgibanem terenu Zasavja. Magistrsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta.
26. ERICO Velenje, Inštitut za ekološke raziskave (2001). Onesnaženost okolja in naravni viri kot dejavniki razvoja v zasavski regiji, modelni pristop. Zaključno poročilo. Velenje: Inštitut za ekološke raziskave Velenje.
27. ERICO Velenje, Inštitut za ekološke raziskave (2010). Poročilo o stanju okolja v občini Zagorje ob Savi. Zaključno poročilo. Velenje: Inštitut za ekološke raziskave Velenje.
28. Kuček A, Božnar MZ, Mlakar P in sod. (2014). Methodological approach to determine of small spatial units in a highly complex terrain in atmospheric pollution research: the case of Zasavje region in Slovenia. *Geospat Health* 8(2): 527–35.
29. Elliott P, Shaddick G, Wakefield JC in sod. (2007). Long-term associations of outdoor air pollution with mortality in Great Britain. *Thorax* 62(12): 1088–94.
30. Leem JH, Kim ST, Kim HC (2015). Public-health impact of outdoor air pollution for 2nd air pollution management policy in Seoul metropolitan area, Korea. *Ann Occup Environ Med* 27: 7–16.
31. Halonen JI, Blangiardo M, Toledano MB in sod. (2016). Is long-term exposure to traffic pollution associated with mortality? A small-area study in London. *Environ Pollut* 208(Pt A): 25–32.
32. Madrigano J, Jack D, Anderson GB in sod. (2015). Temperature, ozone, and mortality in urban

- and non-urban counties in the northeastern United States. *Environ Health* 14: 3–14.
33. Reynolds P, Von Behren J, Gunier RB in sod. (2003). Childhood cancer incidence rates and hazardous air pollutants in California: an exploratory analysis. *Environ Health Perspect* 111(4): 663–8.
 34. Wilhelm M, Ritz B (2003). Residential Proximity to Traffic and Adverse Birth Outcomes in Los Angeles County, California, 1994–1996. *Environ Health Perspect* 111(2): 207–16.
 35. Coker E, Ghosh E, Jerrett M in sod. (2015). Modeling spatial effect of PM_{2.5} on term low birth weight in Los Angeles County. *Environ Res* 142: 354–64.
 36. Dibben C, Clemens T (2015). Place of work and residential exposure to ambient air pollution and birth outcomes in Scotland, using geographically fine pollution climate mapping estimates. *Environ Res* 140: 535–41.
 37. Galičič A, Zaletel-Kragelj L, Božnar MZ in sod. (2015). Methodology for defining the effects of outdoor air pollution on children's health at the population level – a systematic review. *Sanitarno inženirstvo* 9(1): 35–49.
 38. Iskandar A, Andersen ZJ, Bønnelykke K in sod. (2012). Coarse and fine particles but not ultrafine particles in urban air trigger hospital admission for asthma in children. *Thorax* 67(3): 252–7.
 39. Su C, Hampel R, Franck U in sod. (2015). Assessing responses of cardiovascular mortality to particulate matter air pollution for pre-,during- and post- 2008 Olympics periods. *Environ Res* 142: 112–22.

IZPOSTAVLJENOST PREBIVALCEV PRIMORSKEGA OBMOČJA (SIP) OZONU: KAZALEC SOMO₃₅

EXPOSURE OF PRIMORSKA REGION RESIDENTS (SIP) TO OZONE:
INDICATOR SOMO₃₅

Agnes Šömen Joksić

IZVLEČEK

Uvod: Troposferski ozon predstavlja zaskrbljujoč okoljski in javnozdravstveni problem tako v Evropi, kot drugod po svetu. V Sloveniji v tem pogledu izstopa primorsko območje.

Namen: S kazalcem SOMO₃₅ (angl. Sum of Ozone Means Over 35 ppb) oceniti stopnjo izpostavljenosti ozonu na primorskem območju v obdobju 2007–2015. **Metode:** Kazalec SOMO₃₅ predstavlja povprečno dnevno stopnjo izpostavljenosti ozonu nad referenčno vrednostjo 70 µg/m³ (ali 35 ppb), računano kot največja dnevna 8-urna drseča srednja koncentracija ozona. Kazalec je bil izračunan za tri stalna merilna mesta Državne mreže za spremljanje kakovosti zraka, to so Koper, Nova Gorica in Otlica. **Rezultati in razprava:**

V opazovanem obdobju se je onesnaženost zunanjega zraka z ozonom na primorskem območju statistično značilno povečevala, s tem pa tudi potencialna izpostavljenost prebivalcev. Stopnja izpostavljenosti je bila povprečno dnevno za 24 do 32 µg/m³ večja od referenčne vrednosti. H vrednostim kazalca SOMO₃₅ so največ prispevali meseci od aprila do oktobra. **Sklep:** Kazalec SOMO₃₅ je primerno orodje za spremljanje stanja onesnaženosti zunanjega zraka z ozonom in oceno potencialne izpostavljenosti ljudi ozonu.

Ključne besede: ozon, kazalec SOMO₃₅, izpostavljenost, primorska regija

ABSTRACT

Introduction: Tropospheric ozone presents one of the most serious environmental and public health problem in Europe and elsewhere in the world. In Slovenia concentrations of ozone are the highest in the Primorska region. **Aim:** Evaluation of exposures to ozone in the Primorska region using SOMO₃₅ (Sum of Ozone Means Over 35 ppb) as the exposure indicator for the period 2007-2015. **Methods:** The SOMO₃₅ indicator represents mean daily exposure level to ozone above the reference value of 70 µg/m³ (or 35 ppb), calculated as the maximum daily 8-hour running averages in single year. The indicator was calculated for data collected at three fixed measurement sites, Koper, Nova Gorica and Otlica, that operated in the region. **Results and discussion:** During this study, an upward trend in air pollution by ozone and consequently the exposure to ozone was observed. The daily mean exposure levels were from 24 to 32 µg/m³ above the reference value. Months from April to October have mostly contributed to the SOMO₃₅ indicator. **Conclusion:** The exposure indicator SOMO₃₅ was found as an appropriate tool for monitoring of ozone air pollution and for estimation of the exposure levels of inhabitants.

Key words: ozone, indicator SOMO₃₅, exposure, primorska region

1 UVOD

Troposferski ozon je sekundarno onesnaževalo zunanjega zraka, ki nastaja pri kompleksnih kemijskih reakcijah v ozračju iz t.i. predhodnikov ali prekursorjev ozona, to je dušikovih oksidov (NO_x), v glavnem dušikov oksid (NO) in dušikov dioksid (NO_2), in lahko hlapnih ogljikovodikov (1). Ozon nastaja dokler je dovolj prekursorjev, reakcija pa je zelo odvisna tudi od drugih razlik v kemični sestavi ozračja in kompleksnega dogajanja v ozračju, klimatskih ter meteoroloških razmer (npr. temperature in vlage zraka), izvora zračnih mas in topoloških pogojev, kar pogojuje precejšnje prostorske in časovne razlike v koncentracijah ozona. Koncentracije ozona so zato praviloma višje v poletnem delu leta, na višjih legah, zlasti v vročih, sušnih poletnih popoldnevih, v dolgih obdobjih vztrajanja območja visokega zračnega tlaka, z malo vetra in ob nižjih hitrostih vetra (2–5).

Troposferski ozon predstavlja okoljski in javnozdravstveni problem tako v Evropi, kot drugod po svetu (6, 7). Neposredno prispeva k toplogrednemu potencialu ozračja zaradi absorpcije dela infrardeče energije, ki jo seva zemlja (8). Povečane koncentracije ozona imajo negativen vpliv na rast rastlin, s posledicami kot so ekonomska škoda zaradi zmanjšane kmetijske pridelave oziroma potencialno pomanjkanje hrane ter vpliv na ekosistemsko stabilnost in pestrost (9–11). Kratkoročna (nekaj ur ali dni) in dolgoročna (več mesecev ali let) izpostavljenost ljudi ozonu povzroči številne škodljive strukturne, funkcionalne in biokemijske spremembe v dihalnem sistemu. Te so povezane z zmanjšanjem pljučne funkcije, povečanjem odzivnosti dihal, oslabitvijo obrambnega mehanizma dihal in poslabšanjem astme (12). Novejše raziskave so pokazale tudi sistemske škodljive učinke ozona, med drugim vplive na delovanje srca, razvoj ateroskleroze, večjo obolevnost in umrljivost zaradi bolezni dihal in obtočil (13).

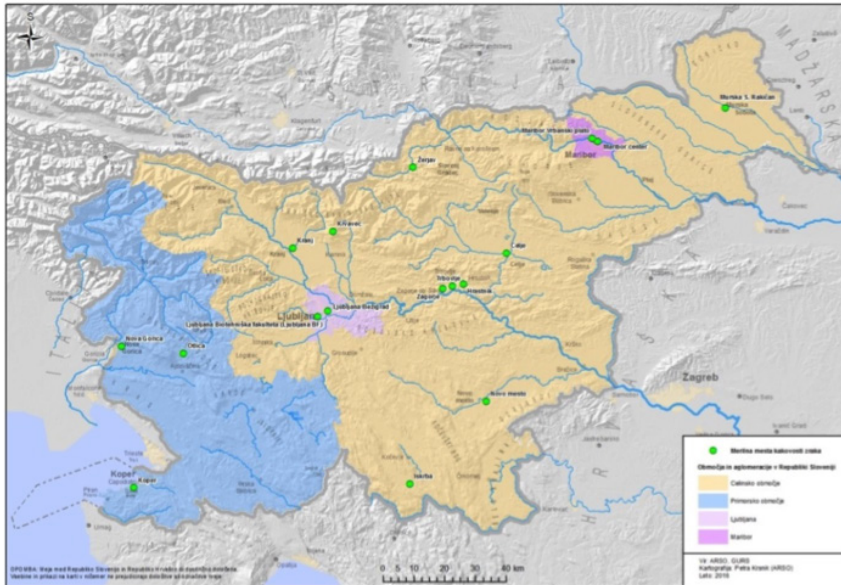
Slovenija spada med države, kjer se zlasti v poletnih mesecih pojavljajo višje koncentracije ozona (14). Pri tem najbolj izstopa primorsko območje (območje, ki je določeno z Uredbo o kakovosti zunanjega zraka za namen spremljanja kakovosti zunanjega zraka in označeno kot SIP) in vključuje goriško, notranjsko-kraško in obalno-kraško statistično regijo (15). Nekatero raziskavo so pokazale, da je onesnaženost zunanjega zraka z ozonom in izpostavljenost prebivalcev tega območja zaskrbljujoča z vidika javnega zdravja (16–19).

Primerno orodje za oceno izpostavljenosti ozonu je kazalec SOMO_{35} (angl. Sum of Ozone Means Over 35 ppb) (20, 21). Kazalec predstavlja letno vsoto preseganj referenčne vrednosti $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ali 35 ppb), računano kot največja dnevna 8-urna drseča srednja koncentracija ozona oziroma povprečno dnevno stopnjo izpostavljenosti koncentracijam ozona nad referenčno vrednostjo. Za oceno zgornje meje izpostavljenosti ozonu se uporablja bolj robustni kazalec SOMO_0 , ki predstavlja vsoto vseh največjih dnevnih 8-urnih drsečih srednjih koncentracij ozona v enem letu, brez odštevanja referenčne vrednosti (20). Poleg same stopnje izpostavljenosti predstavljata kazalca SOMO_{35} in SOMO_0 izhodišče za oceno vplivov ozona na zdravje v izpostavljeni populaciji. Za ta namen je potrebno pridobiti ustrezne demografske in zdravstvene podatke ter podatke o stopnji relativnega tveganja za opazovane zdravstvene izide zaradi izpostavljenosti ozonu (22).

Namen prispevka je opisati stanje onesnaženosti zunanjega zraka z ozonom in oceniti potencialno izpostavljenost prebivalcev območja SIP ozonu na osnovi izračuna kazalca SOMO_{35} in SOMO_0 v obdobju 2007–2015.

2 METODE

Kazalec SOMO ($SOMO_{35}$, $SOMO_0$) je bil izračunan za primorsko območje ali območje SIP, ki vključuje goriško, notranjsko-kraško in obalno-kraško statistično regijo. Okoljski podatki, to so največje dnevne 8-urne drseče srednje koncentracije ozona v posameznem letu, so bili pridobljeni iz Državne mreže za spremljanje kakovosti zraka (DMKZ). Na omenjenem območju delujejo tri stalna merilna mesta, Koper, Nova Gorica in Otlica (Slika 1).



Slika 1: Območja in aglomeracije ter Državna mreža za spremljanje kakovosti zraka (DMKZ). Primorsko območje, SIP, je označeno z modro barvo. Na območju SIP so tri stalna merilna mesta DMKZ: Koper, Nova Gorica in Otlica (14, 15).

Kazalec $SOMO_{35}$ se izračuna kot letna vsota preseganj največje dnevne 8-urne drseče srednje koncentracije ozona nad $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ali 35 ppb) (20, 21). Za vsak dan v letu (N_y) se izračuna preseganje največje dnevne 8-urne drseče srednje koncentracije ozona, vsoto vseh dnevnih preseganj v celem letu se deli s številom veljavnih podatkov oziroma s številom dni (N_z), za katere so na razpolago veljavni podatki, kot je prikazano v spodnji enačbi:

$$SOMO_{35} = \sum_{d=1}^{d=N_y} \max(A_8^d - 70; 0,0) \times \frac{N_y}{N_z}$$

kjer je:

A_8^d največje 8-urno drseče povprečje koncentracije ozona na dan (d), v letu s številom dni (N_y ; $y=365$ ali 366)

\max funkcija, ki v izračunu upošteva le vrednosti A_8^d nad $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$

N_z število veljavnih dni v letu, pri čemer mora biti v koledarskem letu najmanj 75 % veljavnih dni (oziroma $N_z > 273$), manjkajoči dnevi pa ne smejo biti skoncentrirani v isti sezoni (23).

Kazalec $SOMO_0$ se izračuna kot letna vsota vseh največjih dnevnih 8-urnih drsečih srednjih koncentracij ozona v opazovanem obdobju brez odštevanja referenčne vrednosti $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kakor prikazuje spodnja enačba:

$$SOMO_0 = \sum_{d=1}^{d=N_y} \max(A_8^d) \times \frac{N_y}{N_z}$$

Enota za kazalec $SOMO$ je $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na dan ali krajše $\mu\text{g}/\text{m}^3.\text{d}$. Kazalec je bil izračunan za obdobje 2007–2015.

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

Vrednosti kazalca $SOMO$ ($SOMO_{35}$ in $SOMO_0$), za vsako leto v opazovanem obdobju na vseh treh merilnih mestih Koper, Nova Gorica in Otlica, so prikazane v Tabeli 1. Okoljski podatki iz DMKZ so bili validirani s 75 % pravilom veljavnosti, razen za merilno mesto Otlica v letu 2013, ko ni bilo dovolj veljavnih podatkov (informativni rezultati) (14).

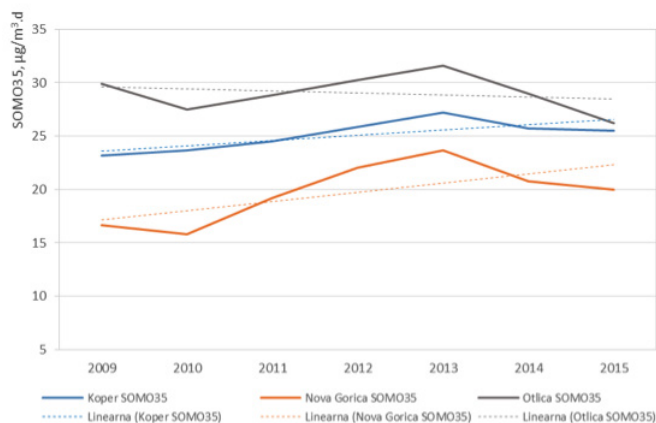
Tabela 1: Kazalec $SOMO$ ($SOMO_{35}$, $SOMO_0$) v $\mu\text{g}/\text{m}^3.\text{d}$ za merilna mesta Koper, Nova Gorica in Otlica v posameznem letu v obdobju 2007–2015 (24).

Merilna postaja	Koper		Nova Gorica		Otlica	
	$SOMO_{35}$	$SOMO_0$	$SOMO_{35}$	$SOMO_0$	$SOMO_{35}$	$SOMO_0$
2007	22	85	20	77	34	105
2008	24	90	14	70	26	97
2009	24	89	16	74	29	102
2010	23	89	17	79	27	98
2011	26	90	24	84	31	98
2012	28	93	24	84	33	108
2013*	27	97	22	85	31*	100*
2014	22	91	15	74	23	96
2015	27	91	22	81	25	95

Legenda: * Informativni rezultati; $SOMO_{35}$ - angl. Sum of Ozone Means Over 35 ppb; $SOMO_0$ - največja povprečna dnevna stopnja izpostavljenosti ozonu (brez odštevanja referenčne vrednosti $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

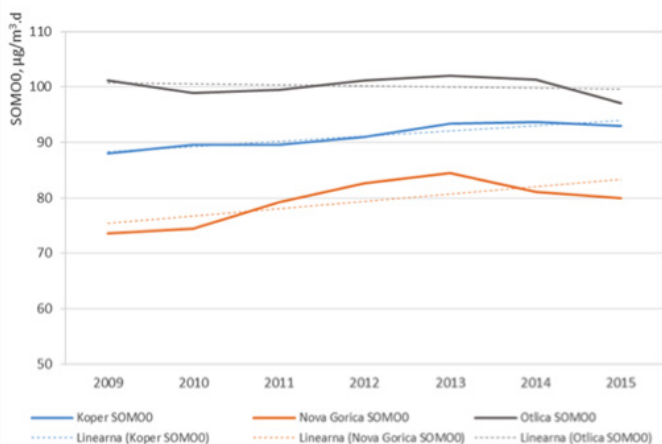
Največje vrednosti kazalca $SOMO_{35}$ so bile izračunane na merilnem mestu Otlica, in sicer $25\text{--}34 \mu\text{g}/\text{m}^3.\text{d}$., povprečna vrednost je znašala $29 \mu\text{g}/\text{m}^3.\text{d}$. Na tem merilnem mestu so bile izračunane tudi največje vrednosti kazalca $SOMO_0$, $95\text{--}105 \mu\text{g}/\text{m}^3.\text{d}$., povprečna vrednost je znašala $100 \mu\text{g}/\text{m}^3.\text{d}$. Na merilnem mestu Koper so vrednosti kazalca $SOMO_{35}$ znašale $22\text{--}28 \mu\text{g}/\text{m}^3.\text{d}$., s povprečno vrednostjo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3.\text{d}$. Vrednosti kazalca $SOMO_0$ so znašale $85\text{--}97 \mu\text{g}/\text{m}^3.\text{d}$., s povprečno vrednostjo $91 \mu\text{g}/\text{m}^3.\text{d}$. Vrednosti kazalca $SOMO_{35}$ so na merilnem mestu Nova Gorica znašale $14\text{--}24 \mu\text{g}/\text{m}^3.\text{d}$., povprečna vrednost je bila $19 \mu\text{g}/\text{m}^3.\text{d}$., medtem ko so vrednosti kazalca $SOMO_0$ znašale $74\text{--}85 \mu\text{g}/\text{m}^3.\text{d}$., povprečna vrednost pa je bila $78 \mu\text{g}/\text{m}^3.\text{d}$.

Trend vrednosti kazalca $SOMO_{35}$ in $SOMO_0$ na obravnavanem območju je prikazan na Slikah 2 in 3 in sicer kot trend drsečih 3-letnih povprečij v opazovanem obdobju. Srednja vrednost kazalca je bila prvič izračunana za leto 2009 (srednja vrednost za obdobje 2007–2009), od leta 2010 dalje pa je srednja vrednost izračunana kot drseče 3-letno povprečje, npr. za leto 2010 (2008–2010), za leto 2011 (2009–2011) in za leto 2012 (2010–2012) (24).



Slika 2: Vrednosti kazalca $SOMO_{35}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$), kot drseče 3-letno povprečje in trend v obdobju 2007–2015 na merilnih mestih Koper, Nova Gorica in Otlica (opomba: v letu 2013 ni bilo dovolj veljavnih podatkov za Otlico, prikazani rezultati so informativni) (24).

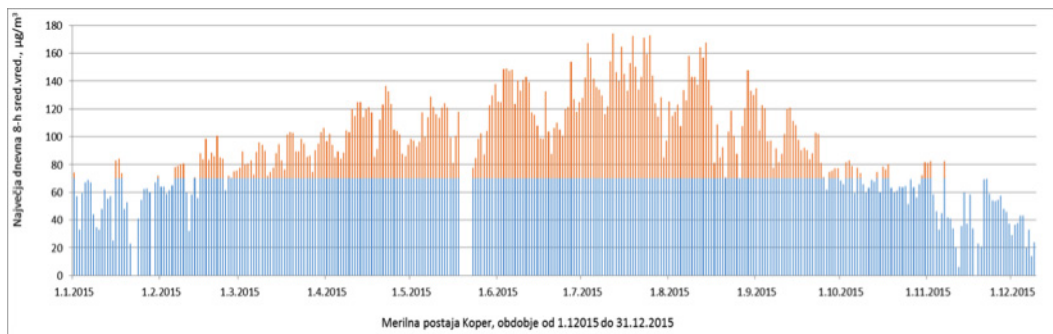
Iz Slike 2 je razvidno, da je bila največja vrednost kazalca $SOMO_{35}$ na vseh treh merilnih mestih izračunana v letu 2013 (drseče 3-letno povprečje 2011–2013), ko je znašala na Otlici $32 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$, v Kopru $27 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ in v Novi Gorici $24 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$. Vrednost kazalca $SOMO_{35}$ se je na merilnih mestih Koper in Nova Gorica v opazovanem obdobju statistično značilno povečevala ($R^2=0,58$ oziroma $R^2=0,45$). Trend zmanjševanja vrednosti kazalca $SOMO_{35}$ na merilnem mestu Otlica je zaradi premalo veljavnih podatkov na tej postaji v letu 2013 posledično navidezen in statistično ni značilen ($R^2=0,05$). Vrednosti kazalca $SOMO_{35}$ so bile na merilnem mestu Otlica v povprečju za 15 % večje od vrednosti na merilnem mestu Koper in za 30 % večje od vrednosti na merilnem mestu Nova Gorica. Te razlike so praviloma značilne za ruralno okolje oziroma višje lege v primerjavi z urbanim okoljem (1, 3). Razlika v vrednostih kazalca $SOMO_{35}$ na merilnih mestih Koper in Nova Gorica je znašala v povprečju 20 %. Te razlike so lahko posledica razlik med značilnostmi urbanega okolja in razlik v značilnostih lokacije merilnega mesta (4, 5). Kazalec $SOMO_{35}$ na merilnem mestu Otlica, ki zajema obdobje, v katero je bilo vključeno leto 2013, neposredno ni merodajen zaradi premalo veljavnih podatkov v tem letu (14).



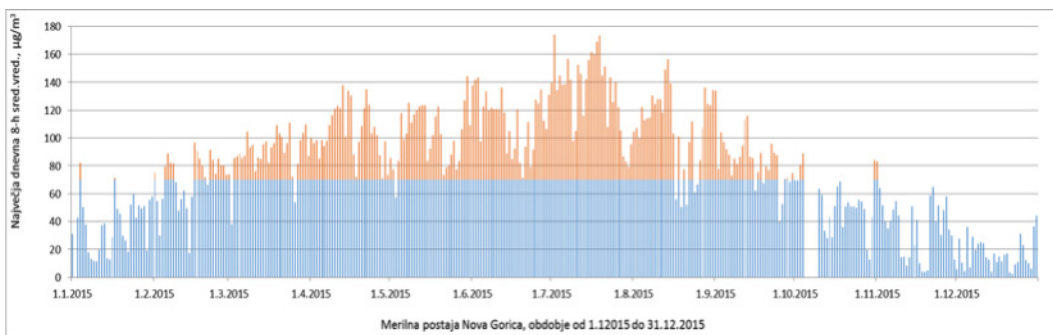
Slika 3: Vrednosti kazalca $SOMO_0$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$), kot drseče 3-letno povprečje in trend v obdobju 2007–2015 na merilnih mestih Koper, Nova Gorica in Otlica (opomba: v letu 2013 ni bilo dovolj veljavnih podatkov za Otlico, prikazani rezultati so informativni) (24).

Slika 3 kaže, da je bila največja vrednost kazalca $SOMO_0$ izračunana v letu 2013 (drseče 3-letno povprečje 2011–2013) na merilnem mestu Otlica in sicer $102 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$. V istem letu je bila največja vrednost kazalca izračunana tudi na merilnem mestu Nova Gorica, $84 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$. Na merilnem mestu Koper je bila največja vrednost kazalca $SOMO_0$ izračunana v letu 2014 (drseče 3-letno povprečje 2012–2014) in sicer $94 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$. Vrednost kazalca $SOMO_0$ se je na merilnih mestih Koper in Nova Gorica (v opazovanem obdobju statistično značilno povečevala ($R^2=0,87$ oziroma $R^2=0,51$), medtem ko je bil trend vrednosti kazalca $SOMO_0$ na merilnem mestu Otlica zaradi premalo veljavnih podatkov v letu 2013 posledično navidezno negativen in statistično ni značilen ($R^2=0,05$). Vrednosti kazalca $SOMO_0$ na merilnem mestu Otlica so bile v povprečju za 10 % večje od vrednosti na merilnem mestu Koper in za 20 % večje od vrednosti na merilnem mestu Nova Gorica, razlika v vrednostih kazalca $SOMO_0$ na merilnih mestih Koper in Nova Gorica pa je znašala v povprečju 15 %. Kazalec $SOMO_0$ na merilnem mestu Otlica, ki zajema obdobje, v katero je vključeno leto 2013, neposredno ni merodajen zaradi premalo veljavnih podatkov v tem letu (14).

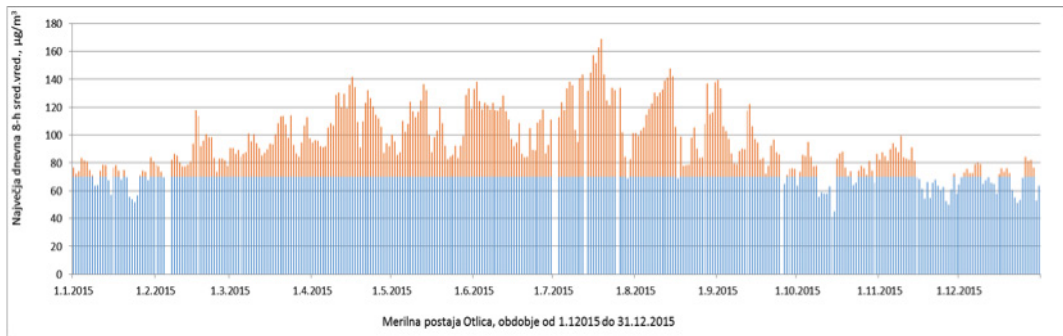
Slike od 4 do 6 prikazujejo preseganja največjih dnevnih 8-urnih drsečih srednjih koncentracij ozona nad referenčno vrednostjo $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in s tem prispevek h kazalcu $SOMO_{35}$ na merilnih mestih Koper, Nova Gorica in Otlica v letu 2015.



Slika 4: Prispevek h kazalcu $SOMO_{35}$ na merilnem mestu Koper v letu 2015: preseganja največjih dnevnih 8-urnih drsečih povprečij nad referenčno vrednostjo $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (rdeče obarvano) (24).



Slika 5: Prispevek h kazalcu $SOMO_{35}$ na merilnem mestu Nova Gorica v letu 2015: preseganja največjih dnevnih 8-urnih drsečih povprečij nad referenčno vrednostjo $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (rdeče obarvano) (24).



Slika 6: Prispevek h kazalcu $SOMO_{35}$ na merilnem mestu Otlica v letu 2015: preseganja največjih dnevnih 8-urnih drsečih povprečij nad referenčno vrednostjo $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (rdeče obarvano) (24).

Iz Slik 4 do 6 je razvidno, da so h kazalcu $SOMO_{35}$ v letu 2015 praktično prispevali vsi meseci v letu (na merilnem mestu Otlica) oziroma v glavnem meseci od aprila do oktobra (na merilnih mestih Koper in Nova Gorica). Slike kažejo, da je bila v letu 2015 stopnja potencialne izpostavljenosti prebivalcev območja SIP večja od referenčne vrednosti $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in nakazujejo, glede na izračunane vrednosti kazalca $SOMO_{35}$, na podoben situacijo v celotnem opazovanem obdobju.

Izračun kazalca SOMO ($SOMO_{35}$ in $SOMO_0$) v obdobju od 2007 do 2015 je pokazal, da se onesnaženost zunanjega zraka z ozonom na primorskem območju (SIP) povečuje in s tem tudi potencialna izpostavljenost prebivalcev tega območja. Na vseh treh merilnih mestih v sklopu DMKZ na tem območju, to so merilna mesta Koper, Nova Gorica in Otlica, je vrednost kazalca v opazovanem obdobju statistično značilno naraščala. Povprečna dnevna stopnja izpostavljenosti je bila največja na območju merilnega mesta Otlica, kjer so koncentracije ozona praviloma večje (ruralno območje, višja lega) (14). Primerjava povprečne dnevne stopnje izpostavljenosti prebivalcev v urbanem okolju pa je pokazala, da je stopnja izpostavljenosti večja na območju merilnega mesta Koper, pri čemer je bil v opazovanem obdobju trend kazalca $SOMO_{35}$ statistično značilno večji na merilnem mestu Nova Gorica.

4 SKLEP

Kazalec $SOMO_{35}$ je primerno in zanesljivo orodje za spremljanje stanja onesnaženosti zunanjega zraka z ozonom in stopnje potencialne izpostavljenosti ljudi ozonu. Kazalec $SOMO_{35}$ je posledično tudi primerno orodje za ustrezno načrtovanje okoljske in javnozdravstvene politike ter ukrepanja v smislu zmanjševanja onesnaževanja zunanjega zraka, zmanjševanja izpostavljenosti ozonu in s tem tveganja za zdravje.

5 LITERATURA

1. Monks PS (2003). Tropospheric Photochemistry. V: Hewitt CN (ur.), Jackson A (ur.). Handbook of Atmospheric Science, Principles and Applications. Blackwell Publishing; 156–87.
2. Evropska agencija za okolje (2014). Air quality in Europe, Report 5/2014. Luksemburg: Založniška zbornica Evropske unije.
3. Pires JCM, Alvim-Ferraz MCM, Martins FG (2012). Surface Ozone Behaviour at Rural Sites in Portugal. Atmos Res 104–105: 164–71.

4. Hoor P, Borken-Kleefeld J, Caro D in sod. (2009). The impact of traffic emissions on atmospheric ozone and OH: results from QUANTIFY. *Atmos Chem Phys* 9: 3113–36.
5. Dueñas C, Fernández MC, Cañete S in sod. (2004). Analyses of ozone in urban and rural sites in Malaga (Spain). *Chemosphere* 56(6): 631–9.
6. Guerreiro CBB, Foltescu V, de Leuw F (2014). Air quality status and trends in Europe. *Atmos Environ* 98: 376–84.
7. UN Environmental Programme, World Meteorological Organisation (2011). Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone. http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/BlackCarbon_report.pdf. <24. 10. 2014
8. Sitch S, Cox PM, Collins WJ in sod. (2007). Indirect radiative forcing of climate change through ozone effects on the land carbon sink. *Nature* 448: 791–4.
9. Felzer BS, Cronin T, Reilly JM in sod. (2007). Impacts of ozone on trees and crops. *CR Geoscience* 339: 784–98.
10. Wilkinson S, Mills G, Illidge R sod. (2011). How is ozone pollution reducing our food supply? *J Exp Bot* 63(2): 527–36.
11. Lovett GM, Tear TH, Evers DC in sod. (2009). Effects of air pollution on ecosystems and biological diversity in the eastern United States. *Ann N Y Acad Sci* 1162: 99–135.
12. Svetovna zdravstvena organizacija (2008). Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution. Copenhagen: Regionalni urad Svetovne zdravstvene organizacije za Evropo.
13. Svetovna zdravstvena organizacija (2013). Health risks of air pollution in Europe-HRAPIE project. Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Copenhagen: Regionalni urad Svetovne zdravstvene organizacije za Evropo.
14. Agencija Republike Slovenije za okolje. Letna poročila: Kakovost zraka v Sloveniji. http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/kakovost_letna.html. <1. 8. 2016>
15. Uredba o kakovosti zunanjega zraka (Ur. l. RS št. 9/11, 8/15).
16. Rems Novak MM, Kukec A, Krek M in sod. (2014). Effects of ozone on consultations for asthma in children in Koper municipality: a time trend study. *Sanitarno inženirstvo* 8(1): 4–15.
17. Šömen Joksić A, Bažec B, Šturm M (2011). Ocena vplivov na zdravje zaradi onesnaženosti zraka na obalnem območju: PM₁₀ in ozon. ZZV Koper 01-04-343/2011-1. Koper: Zavod za zdravstveno varstvo Koper; 1–43.
18. Eržen I, Kukec A, Zaletel-Kragelj L (2010). Air pollution as a potential risk factor for chronic respiratory diseases in children: a prevalence study in Koper municipality. *HealthMed* 4(4/1): 945–54.
19. Šömen Joksić A, Cepak F, Škvarč S. (2008). Ocena onesnaženosti zraka z ozonom v obmorskem delu Slovenije z uporabo pasivnih vzorčevalnikov. *Ann Ser Hist Nat* 18(1): 59–70.
20. United Nations Economic Commission for Europe (2004). Modelling and assessment of the health impact of particulate matter and ozone. Geneva: United Nations Economic Commission for Europe.
21. United Nations Economic Commission for Europe (2004). Summary report prepared by the joint Task Force on the Health Aspects of Air Pollution of the World Health Organization/European Centre for Environment and Health and the Executive Body, EB.AIR/WG.1/2004/11.
22. Martuzzi M, Mitis F, Iavarone I in sod. (2006). Health impact of PM10 and ozone in 13 Italian cities. Copenhagen: Regionalni urad Svetovne zdravstvene organizacije za Evropo.
23. European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation, ETC/ACM, EIONET (2014). Data aggregation, calculation of statistics and NOx values in AirBase http://acm.eionet.europa.eu/databases/airbase/aggregation_statistics.html. <1. 8. 2016>
24. Šömen Joksić A, Kukec A, Turšič J in sod. (2016). Onesnaženost zunanjega zraka z ozonom na Primorskem območju (SIP) v obdobju 2007–2015 in ocena vplivov na zdravje. Koper: Nacionalni inštitut za javno zdravje, Območna enota Koper; 1–35.

UČINKI TRDNIH DELCEV V ZUNANJEM ZRAKU NA IZIDE NOSEČNOSTI: NOVI TRENDI IN IZZIVI

EFFECTS OF PARTICULATE MATTER IN OUTDOOR AIR ON PREGNANCY OUTCOMES: NEW TRENDS AND CHALLENGES

Petra Klepac, An Galičič, Barbara Mihevc Ponikvar,
Sara Korošec, Andreja Kukec

IZVLEČEK

Uvod: Podatki Svetovne zdravstvene organizacije kažejo, da se vsako leto v razvitih državah prezgodaj rodi povprečno 9 %, z nizko porodno težo pa povprečno 7 % živorojenih otrok. **Namen:** Pregledati nove trende in izzive pri proučevanju vpliva onesnaženosti zunanjega zraka s trdnimi delci na izide nosečnosti z epidemiološkega vidika. **Metode:** Sistematični pregled literature je bil za obdobje od 1. 1. 2014 do 31. 12. 2015 opravljen v bibliografski bazi PubMed Central. **Rezultati in razprava:** V končno analizo je bilo vključenih petnajst epidemioloških raziskav. Najpomembnejši rezultati pregledanih raziskav so pokazali pozitivno in statistično značilno povezanost med izpostavljenostjo trdnim delcem z aerodinamskim premerom do 10 μm (PM_{10}) in 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) v zunanjem zraku in nizko porodno težo ter prezgodnjim porodom, standardizirano na potencialne moteče dejavnike. **Sklep:** Nakazuje se potreba, da tudi v Sloveniji okoljske dejavnike tveganja povežemo s podatki iz Perinatalnega informacijskega sistema Republike Slovenije.

Ključne besede: trdni delci v zunanjem zraku, nizka porodna teža, nedonošenost, sistematični pregled literature

ABSTRACT

Introduction: According to World Health Organization, 9 % of liveborn babies are born preterm and 7 % of liveborn babies have low birth weight in developed countries each year. **Aim:** Review of the new research trends and challenges on the impact of outdoor air pollution by particulate matter on pregnancy outcomes from the epidemiological point of view. **Methods:** A systematic literature review was conducted for the period between 1.1.2014 and 31.12.2015 in the bibliographic database PubMed Central. **Results and discussion:** Fifteen epidemiological studies were included in the final analysis. The most important results of the reviewed studies show that exposure to particles with aerodynamic diameter 10 μm or less (PM_{10}) and 2.5 μm or less ($\text{PM}_{2,5}$) in outdoor air have a statistically significant positive effect on low birth weight rate after adjustment for other potential preterm delivery confounders. **Conclusion:** Linkage between environmental risk factors and Perinatal information system of Slovenia is needed.

Key words: particulate matter in outdoor air, low birth weight, preterm birth, systematic literature review

1 UVOD

Z javnozdravstvenega vidika so trdni delci z aerodinamskim premerom do 10 μm (PM_{10}) in 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) pomembna onesnaževala v zunanjem zraku. Trdni delci vstopajo v telo preko dihal, kjer sprožijo oksidativni stres in vnetje ter posledično večjo odzivnost dihal, ki se odraža v pogostejšem kašlju in oteženemu dihanju. Učinki na zdravje so odvisni od velikosti in kemijske sestave delcev. Delci, večji od 10 μm , se zadržijo v zgornjih dihalnih poteh (nos, obnosne votline). Delci, manjši od 10 μm , dosežejo spodnje dihalne poti, medtem ko delci, manjši od 2,5 μm prodrejo v pljučne mešičke (1). Glede kemijske sestave so lahko na trdne delce vezane anorganske in organske komponente, vsebnost posameznih spojin pa je odvisna od vira onesnaženja. Ocenjeno je, da imajo trdni delci, na katere so vezane težke kovine, škodljivejši učinek na zdravje (1, 2). V osmih evropskih kohortnih raziskavah so ocenili pozitivno in statistično značilno povezanost med izpostavljenimi trdnim delcem v zunanjem zraku na katere so vezane težke kovine (baker, cink, nikelj) in večjim razmerjem ogroženosti za pljučnega raka v primerjavi z neizpostavljenimi (3).

Dosedanje epidemiološke raziskave so ocenile, da je izpostavljenost trdnim delcem v zunanjem zraku vzročno povezana s številnimi negativnimi zdravstvenimi izidi (2, 4). V epidemioloških raziskavah pa je redkeje preučevana povezanost med zdravstvenimi izidi v perinatalnem obdobju in onesnaženostjo zunanjega zraka s trdnimi delci (5).

Prenatalna izpostavljenost je opredeljena kot izpostavljenost zarodka (do vključno 8. tedna po oploditvi) in ploda (od vključno 9. tedna po oploditvi do konca nosečnosti) (6). Raziskovalci kot opazovani zdravstveni izid v povezavi s prenatalno izpostavljenostjo trdnim delcem v zunanjem zraku pogosto proučujejo zastoj rasti ploda v maternici, prirojene nepravilnosti ploda, smrt novorojenčka, prezgodnji porod in nizko porodno težo novorojenčka (4). Prezgodnji porod je opredeljen kot porod pred dopolnjenim 37. tednom nosečnosti, nizka porodna teža pa kot teža pod 2.500 grammi (7). Po podatkih Svetovne zdravstvene organizacije (SZO) (8, 9) se v razvitih državah vsako leto prezgodaj rodi povprečno 9 % živorojenih otrok, z nizko porodno težo pa povprečno 7 % živorojenih otrok in ti incidenci v svetu ne upadata (8, 9).

Epidemiološke raziskave (8, 10) navajajo, da izpostavljenost škodljivim dejavnikom tveganja v fizičnem in grajenem okolju v prenatalnem obdobju lahko vplivajo na razvoj in poslabšanje kroničnih bolezni v odrasli dobi, kot so: sladkorna bolezen tipa 2, povišan krvni tlak in druge srčno-žilne bolezni, pri deklicah pa tudi večje tveganje za zastoj rasti ploda v maternici v času njihove nosečnosti.

Podatki za Slovenijo kažejo, da so najvišje vrednosti trdnih delcev izmerjene v zimskem obdobju leta. Poleg povišanih izpustov trdnih delcev iz individualnih kurišč so za zimsko obdobje leta značilni tudi neugodni meteorološki pogoji, ko se zaradi pogostih in izrazitih temperaturnih inverzij onesnažen zrak dalj časa zadržuje v kotlinah in dolinah (2).

Dosedanje slovenske epidemiološke raziskave (11–13) so ocenjevale vpliv trdnih delcev v zunanjem zraku na pojavnost bolezni dihal pri otrocih. Epidemiološke raziskave, ki bi ocenjevale povezanost med izidi nosečnosti z onesnaženostjo zunanjega zraka, v Sloveniji še niso bile izvedene.

Namen naše raziskave je bil pregledati nove epidemiološke trende in izzive pri proučevanju vpliva onesnaženosti zunanjega zraka s trdnimi delci na izide nosečnosti. Cilj naše raziskave je oceniti možnosti in izvedljivost ocene povezanosti med okoljskimi dejavniki

tveganja in izidi nosečnosti, ki so v Sloveniji zabeleženi v Perinatalnem informacijskem sistemu Republike Slovenija (RS).

2 METODE

Sistematični pregled literature na temo vpliva onesnaženosti zunanega zraka s trdnimi delci na izide nosečnosti je bil opravljen za obdobje od 1. 1. 2014 do 31. 12. 2015 v bibliografski bazi PubMed Central (14).

Iskalni niz v angleškem jeziku (outdoor air pollution) OR (ambient air pollution) OR (atmospheric air pollution) AND ((birth outcomes) OR (pregnancy outcomes) OR (low birth weight) OR (preterm birth)) v celotnem članku in angleški jezik besedila.

V končni analizi smo se omejili na epidemiološke raziskave, ki so kot pojasnjevalni dejavnik tveganja obravnavale trdne delce v zunanjem zraku v povezavi z izidi v nosečnosti.

V procesu analize smo za vsako vključeno epidemiološko raziskavo opredelili naslednje podatke: območje in obdobje opazovanja, velikost vzorca, opazovani izidi v nosečnosti, ocena izpostavljenosti trdnim delcem v zunanjem zraku, potencialno moteči dejavniki tveganja, metode povezovanja med opazovanimi izidi nosečnosti in izpostavljenostjo trdnim delcem v zunanjem zraku ter najpomembnejši rezultati analize povezanosti raziskav. V pregledanih raziskavah smo povzeli rezultate multivariatnih modelov povezanosti med opazovanimi pojavi standardizirano na potencialne moteče dejavnike.

3 REZULTATI

Na podlagi vključitvenih kriterijev smo v končno analizo vključili petnajst epidemioloških raziskav. Natančnejši rezultati analiziranih raziskav so predstavljeni v Tabeli 1 in 2.

Tabela 1: Rezultati epidemioloških raziskav vključenih v analizo, ki so proučevale vpliv onesnaženega zunanjega zraka s trdnimi delci na izide nosečnosti za leti 2014 in 2015.

Raziskava	Območje in obdobje opazovanja, velikost vzorca	Zdravstveni izid/pojav	Ocena izpostavljenosti (opazovano onesnaževalo kot pojasnjevalna spremenljivka in določitev izpostavljenosti)	Skupina potencialnih motečih dejavnikov tveganja	Metoda povezovanja	Rezultati multivariatnih modelov povezanosti (epidemiološke mere povezanosti, smer povezanosti in statistična značilnost)
Ebisu in sod. (15)	n _{PM₁₀} =75.034 n _{PM_{2.5}} =122.456 n _{PM₁₀} =162.533 n _{PM_{2.5}} =199.551 n _{PM₁₀} =219.323 n _{PM_{2.5}} =230.640	NPT	PM _{2.5} oddaljenost preb. od stalnega mrlinlega mesta v času poroda	opazovani porodi, predhodni porodi, demografski podatki, vedenjski dejavniki matere	log. reg.	RO>1 RO>1** RO>1** RO>1** RO>1** RO>1**
Habermann in Gouveia (16)	Brazilijska, 2006; n=11.586 n _{kontrola} =5.814, n _{primer} =5.772	NPT ob terminu	PM ₁₀ , LUR, geokodiran naslov stalnega preb. matere ob rojstvu	opazovani porodi, nosečnost, predhodni porodi, demografski podatki	log. reg.	PM ₁₀ (<35,3 μg/m ³); referenčna vrednost PM ₁₀ (35,3–36,9 μg/m ³); RO=0,93 PM ₁₀ (37,0–40,3 μg/m ³); RO=0,88 PM ₁₀ (40,4–108,2 μg/m ³); RO=0,86
da Silva in sod. (17)	Brazilijska; 2004–2005; n=6.147	NPT živorojenih novorojenčkov ob terminu	povp. dn. vred. PM _{2.5} , naslov stalnega preb. matere med nosečnostjo	opazovani porodi, nosečnost, demografski podatki	log. reg.	1. trimester: RO=1,02 2. trimester: *RO=1,51** 3. trimester: *RO=1,50** cel. nos.: RO=1,33
Coker in sod. (18)	ZDA; 1995–2006; n=1.356.304	NPT ob terminu	povp. mes. vred. PM _{2.5} , LUR, poštna št. naslova stalnega preb. matere med nosečnostjo	opazovani porodi, predhodni porodi, demografski podatki	log. reg.	osnovni multivar. model: RO=1,17** prostorski multivar. model: RO=1,19**
Padula in sod. (19)	ZDA; 2000–2006; n=263.204	(t) nedonoš.	PM ₁₀ in PM _{2.5} , rutinsko zbiranje podatkov s standardnih merilnih mest, geokodiran naslov stalnega preb. matere med nosečnostjo, izračunane povp. vred. za posamezno trimesečje nosečnosti	opazovani porodi, nosečnost, demografski podatki	log. reg.	1. trimester PM ₁₀ RO=1,12 PM _{2.5} RO=0,64** PM ₁₀ RO=1,40** PM _{2.5} RO=0,78** PM ₁₀ RO=1,24** PM _{2.5} RO=0,94 PM ₁₀ RO=0,96 PM ₁₀ RO=1,11** PM _{2.5} RO=1,03 2. trimester RO=2,80** / RO=2,83** / RO=1,75** / RO=2,14** / RO=1,27** RO=0,83** RO=1,34** RO=1,62** RO=1,17** RO=1,02** RO=1,21** RO=1,03 RO=1,11** RO=1,02** RO=1,09** RO=0,96** 3. trimester RO=2,34** / RO=1,08 RO=1,98** RO=1,96** RO=1,14** RO=1,16** RO=1,16** RO=1,16** RO=1,11** RO=1,11** RO=1,27** cel. nos.
Pereira in sod. (20)	ZDA; 2000–2006; n _{ženske} =29.175, n _{novorojeneci} =61.688	nedonoš. (<37 t.)	PM _{2.5} izbrana reprezentativna stalna mrlinlega mesta, naslov stalnega preb. matere med nosečnostjo	predhodni porodi, demografski podatki, vedenjski dejavniki matere	log. reg.	1. trimester RO=1,10** 2. trimester RO=0,93** 3. trimester RO=1,06** RO=1,13**

Tabela 1: Nadaljevanje.

Raziskava	Območje in obdobje opazovanja, velikost vzorca	Zdravstveni izidi/pojav	Ocena izpostavljenosti (opazovano onesnaževalo kot pojasnilna spremeniljivka in določitev izpostavljenosti)	Skupina potencialnih motečih dejavnikov tveganja	Metoda povezovanja	Rezultati multivariatnih modelov povezanosti (epidemiološke mere povezanosti, smer povezanosti in statistična značilnost)																																												
Symanski in sod. (21)	ZDA; 2005–2007; n=177.816	nedonoš. (20–28 t., 29–32 t., 33–36 t.)	povp. dn. vred. PM_{2,5} , stalna merilna mesta, geokodiran naslov stalnega preb. matere ob porodu	opazovani porod, nosečnost, predhodni podatki, vedenjski dejavniki matere	log. reg.	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">nosečnost (t.)</th> <th colspan="2">gestacijska starost</th> </tr> <tr> <td>1–4</td> <td>33–36 t.</td> <td>29–32 t.</td> <td>20–28 t.</td> </tr> <tr> <td>RO=1,16**</td> <td>RO=1,71**</td> <td>RO=1,71**</td> <td>RO=1,73**</td> </tr> <tr> <td>5–8</td> <td>RO=1,11</td> <td>RO=1,05</td> <td>RO=0,85</td> </tr> <tr> <td>9–12</td> <td>RO=1,26</td> <td>RO=1,71**</td> <td>RO=1,21</td> </tr> <tr> <td>13–16</td> <td>RO=0,95</td> <td>RO=0,94</td> <td>RO=0,75</td> </tr> <tr> <td>17–20</td> <td>RO=1,14**</td> <td>RO=0,97</td> <td>RO=1,65**</td> </tr> <tr> <td>21–24</td> <td>RO=0,82</td> <td>RO=0,90</td> <td>/</td> </tr> <tr> <td>25–28</td> <td>RO=1,10</td> <td>RO=1,80**</td> <td>/</td> </tr> <tr> <td>29–32</td> <td>RO=1,30**</td> <td>/</td> <td>/</td> </tr> <tr> <td>33–36</td> <td>/</td> <td>/</td> <td>/</td> </tr> </table>	nosečnost (t.)		gestacijska starost		1–4	33–36 t.	29–32 t.	20–28 t.	RO=1,16**	RO=1,71**	RO=1,71**	RO=1,73**	5–8	RO=1,11	RO=1,05	RO=0,85	9–12	RO=1,26	RO=1,71**	RO=1,21	13–16	RO=0,95	RO=0,94	RO=0,75	17–20	RO=1,14**	RO=0,97	RO=1,65**	21–24	RO=0,82	RO=0,90	/	25–28	RO=1,10	RO=1,80**	/	29–32	RO=1,30**	/	/	33–36	/	/	/
nosečnost (t.)		gestacijska starost																																																
1–4	33–36 t.	29–32 t.	20–28 t.																																															
RO=1,16**	RO=1,71**	RO=1,71**	RO=1,73**																																															
5–8	RO=1,11	RO=1,05	RO=0,85																																															
9–12	RO=1,26	RO=1,71**	RO=1,21																																															
13–16	RO=0,95	RO=0,94	RO=0,75																																															
17–20	RO=1,14**	RO=0,97	RO=1,65**																																															
21–24	RO=0,82	RO=0,90	/																																															
25–28	RO=1,10	RO=1,80**	/																																															
29–32	RO=1,30**	/	/																																															
33–36	/	/	/																																															
Zhao in sod. (22)	Kitajska; 2010–2012; n=8.969	nedonoš. (<28 t.), nedonoš. (28–31 t.), nedonoš. (32–36 t.), nedonoš., medicinska indikacija za prežgodnji porod	povp. dn. vred. PM₁₀ , izbrana reprezentativna stalna merilna mesta, geokodiran naslov stalnega preb. in delovnega mesta matere v času nosečnosti	zanositev, predhodni porodi, demografski podatki, vedenjski dejavniki matere, okoljski dejavniki	log. reg. (10 µg/m ³)	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">1. trimeseter</th> <th colspan="2">2. trimeseter</th> <th colspan="2">3. trimeseter</th> <th colspan="2">cel. nos.</th> </tr> <tr> <td>RO=1,00</td> <td>RO=1,01</td> <td>RO=1,01</td> <td>RO=0,99</td> <td>RO=1,02</td> <td>RO=1,06</td> <td>RO=0,96</td> <td>RO=1,02</td> </tr> <tr> <td>RO=0,97</td> <td>RO=1,02</td> <td>RO=1,06</td> <td>RO=0,98</td> <td>RO=1,03</td> <td>RO=1,03</td> <td>RO=1,03</td> <td>RO=1,03</td> </tr> <tr> <td>RO=1,01</td> <td>RO=1,01</td> <td>RO=0,98</td> <td>RO=1,03</td> <td>RO=1,03</td> <td>RO=1,03</td> <td>RO=1,03</td> <td>RO=1,03</td> </tr> <tr> <td>RO=1,07**</td> <td>RO=1,01</td> <td>RO=1,05</td> <td>RO=1,14**</td> <td>RO=1,05</td> <td>RO=1,14**</td> <td>RO=1,14**</td> <td>RO=1,14**</td> </tr> </table>	1. trimeseter		2. trimeseter		3. trimeseter		cel. nos.		RO=1,00	RO=1,01	RO=1,01	RO=0,99	RO=1,02	RO=1,06	RO=0,96	RO=1,02	RO=0,97	RO=1,02	RO=1,06	RO=0,98	RO=1,03	RO=1,03	RO=1,03	RO=1,03	RO=1,01	RO=1,01	RO=0,98	RO=1,03	RO=1,03	RO=1,03	RO=1,03	RO=1,03	RO=1,07**	RO=1,01	RO=1,05	RO=1,14**	RO=1,05	RO=1,14**	RO=1,14**	RO=1,14**				
1. trimeseter		2. trimeseter		3. trimeseter		cel. nos.																																												
RO=1,00	RO=1,01	RO=1,01	RO=0,99	RO=1,02	RO=1,06	RO=0,96	RO=1,02																																											
RO=0,97	RO=1,02	RO=1,06	RO=0,98	RO=1,03	RO=1,03	RO=1,03	RO=1,03																																											
RO=1,01	RO=1,01	RO=0,98	RO=1,03	RO=1,03	RO=1,03	RO=1,03	RO=1,03																																											
RO=1,07**	RO=1,01	RO=1,05	RO=1,14**	RO=1,05	RO=1,14**	RO=1,14**	RO=1,14**																																											
Fleischer in sod. (23)	22 držav; 2004–2008; n=192.900	nedonoš. (<37 t.), NPT	PM_{2,5} , prostorska ločljivost: 10×10 km; izračun povp. vred. na ravni 50 km od porodišnice	opazovani porod, nosečnost, predhodni porodi, demografski podatki, okoljski dejavniki	log. reg. (10 µg/m ³)	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">1. trimeseter</th> <th colspan="2">2. trimeseter</th> <th colspan="2">3. trimeseter</th> <th colspan="2">cel. nos.</th> </tr> <tr> <td>RO=1,007</td> <td>RO=1,034**</td> <td>RO=1,005</td> <td>RO=1,015</td> <td>RO=1,015</td> <td>RO=1,015</td> <td>RO=1,015</td> <td>RO=1,015</td> </tr> <tr> <td>RO=1,063**</td> <td>RO=1,215**</td> <td>RO=1,010</td> <td>RO=1,082**</td> <td>RO=1,082**</td> <td>RO=1,082**</td> <td>RO=1,082**</td> <td>RO=1,082**</td> </tr> <tr> <td>RO=1,029**</td> <td>RO=1,123**</td> <td>RO=1,026**</td> <td>RO=1,053**</td> <td>RO=1,053**</td> <td>RO=1,053**</td> <td>RO=1,053**</td> <td>RO=1,053**</td> </tr> </table>	1. trimeseter		2. trimeseter		3. trimeseter		cel. nos.		RO=1,007	RO=1,034**	RO=1,005	RO=1,015	RO=1,015	RO=1,015	RO=1,015	RO=1,015	RO=1,063**	RO=1,215**	RO=1,010	RO=1,082**	RO=1,082**	RO=1,082**	RO=1,082**	RO=1,082**	RO=1,029**	RO=1,123**	RO=1,026**	RO=1,053**	RO=1,053**	RO=1,053**	RO=1,053**	RO=1,053**												
1. trimeseter		2. trimeseter		3. trimeseter		cel. nos.																																												
RO=1,007	RO=1,034**	RO=1,005	RO=1,015	RO=1,015	RO=1,015	RO=1,015	RO=1,015																																											
RO=1,063**	RO=1,215**	RO=1,010	RO=1,082**	RO=1,082**	RO=1,082**	RO=1,082**	RO=1,082**																																											
RO=1,029**	RO=1,123**	RO=1,026**	RO=1,053**	RO=1,053**	RO=1,053**	RO=1,053**	RO=1,053**																																											
Ha in sod. (24)	ZDA; 2004–2005; n=423.719	NPT ob terminu PP (<32 t.), PP (<37 t.)	PM_{2,5} , prostorska ločljivost: 12×12 km; geokodiran naslov stalnega preb. matere ob porodu	zanositev, opazovani porod, nosečnost, demografski podatki, vedenjski dejavniki matere, okoljski dejavniki	log. reg.	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">1. trimeseter</th> <th colspan="2">2. trimeseter</th> <th colspan="2">3. trimeseter</th> <th colspan="2">cel. nos.</th> </tr> <tr> <td>RO=1,007</td> <td>RO=1,034**</td> <td>RO=1,005</td> <td>RO=1,015</td> <td>RO=1,015</td> <td>RO=1,015</td> <td>RO=1,015</td> <td>RO=1,015</td> </tr> <tr> <td>RO=1,063**</td> <td>RO=1,215**</td> <td>RO=1,010</td> <td>RO=1,082**</td> <td>RO=1,082**</td> <td>RO=1,082**</td> <td>RO=1,082**</td> <td>RO=1,082**</td> </tr> <tr> <td>RO=1,029**</td> <td>RO=1,123**</td> <td>RO=1,026**</td> <td>RO=1,053**</td> <td>RO=1,053**</td> <td>RO=1,053**</td> <td>RO=1,053**</td> <td>RO=1,053**</td> </tr> </table>	1. trimeseter		2. trimeseter		3. trimeseter		cel. nos.		RO=1,007	RO=1,034**	RO=1,005	RO=1,015	RO=1,015	RO=1,015	RO=1,015	RO=1,015	RO=1,063**	RO=1,215**	RO=1,010	RO=1,082**	RO=1,082**	RO=1,082**	RO=1,082**	RO=1,082**	RO=1,029**	RO=1,123**	RO=1,026**	RO=1,053**	RO=1,053**	RO=1,053**	RO=1,053**	RO=1,053**												
1. trimeseter		2. trimeseter		3. trimeseter		cel. nos.																																												
RO=1,007	RO=1,034**	RO=1,005	RO=1,015	RO=1,015	RO=1,015	RO=1,015	RO=1,015																																											
RO=1,063**	RO=1,215**	RO=1,010	RO=1,082**	RO=1,082**	RO=1,082**	RO=1,082**	RO=1,082**																																											
RO=1,029**	RO=1,123**	RO=1,026**	RO=1,053**	RO=1,053**	RO=1,053**	RO=1,053**	RO=1,053**																																											

Tabela 1: Nadaljevanje.

Raziskava	Območje in obdobje opazovanja, velikost vzorca	Zdravstveni izidi/pojav	Ocena izpostavljenosti (opazovano onesnaževalo kot pojasnjevalna spremenljivka in določitev izpostavljenosti)	Skupina potencialnih motečih dejavnikov tveganja	Metoda povezovanja	Rezultati multivariatnih modelov povezanosti (epidemiološke mere povezanosti, smer povezanosti in statistična značilnost)
Dibben in Clemens (25)	Škotska; 1994–2008; n=21.843 (PT), n=23.086 (nedonoš.)	NPT ob terminu PT ob terminu (g) nedonoš. (32–36 t.) nedonoš. (<32t)	povp. let. vred. PM₁₀ , modelne vred.: 1x1 km; poštna št. naslova stalnega preb. matere med nosečnostjo	opazovani porod, predhodni porodi, demografski podatki, vedenjski dejavniki matere	log. reg. lin. reg. log. reg.	naslov stal. preb meso RO=1,07*** b=-5,27 b=-4,82* RRR=0,99 RRR=1,08***
Huang in sod. (26)	Kitajska; 2007–2010; n=50.874	nedonoš. (<37 t.) PT ob terminu (g)	povp. dn. vred. PM₁₀ stalna merilna mesta	zanositev, opazovani in predhodni porodi, demografski podatki, okoljski dejavniki	lin. reg.	1. trimester RO=1,00 b=-1,63 2. trimester RO=0,97 b=2,54 3. trimester RO=1,01 b=4,67
Liang in sod. (27)	Kitajska; 2009–2011; n=529	prirojene razvojne nepravilnosti zarodka in ploda	povp. mes. vred. PM₁₀ za 1., 2. in 3. mesec nosečnosti, stalna merilna mesta	opazovani porod, demografski podatki, okoljski dejavniki	log. reg.	1. mesec: RO=1,020 (0.997-1,045) 2. mesec: RO=1,039** 3. mesec: RO=1,066**
Schembari in sod. (28)	Združeno kraljestvo; 2007–2010; n=9.067	PT (g) obseg glave novorojenčka (cm) debelina kože gube na trčepu (mm) debelina kože gube pod lopatico (mm)	PM_{2,5} in PM₁₀ , LUR, naslov stalnega preb. matere ob porodu	opazovani porod, predhodni porodi, demografski podatki, vedenjski dejavniki matere	lin. reg. (PM₁₀) 10 µg/m ³ , PM _{2,5} : 15 µg/m ³)	cel. nos. b=-9 b=-11 b=-0,28 b=-0,19 b=0,15** b=0,11** b=0,20** b=0,15**
Green in sod. (29)	ZDA; 1999–2009; n=13.999	mrtvorjeni pri gestacijski starosti od 20 do 44 tedna	PM_{2,5} , oddaljenost območja z pripisano poštno številko od stalnega merilnega mesta ob porodu (5 in 20 km)	zanositev, opazovani porodi, demografski podatki, okoljski dejavniki	log. reg. (10 µg/m ³)	1. trimester: RO=1,00 2. trimester: RO=1,02 3. trimester: RO=1,01 cel. nos.: RO=1,06

Legenda: PT - porodna teža; NPT - nizka porodna teža (<2.500 g); nedonoš. - nedonošenost; PP - prezgodnji porod; **PM₁₀** - trdni delci z aerodinamskim premerom do 10 µm; **PM_{2,5}** - trdni delci z aerodinamskim premerom do 2,5 µm; povp. - povprečje; vred. - vrednost; ↑ - povišanje; g - gram; dn. - dnevi; t - teden, tedenski; mes. - mesečni; let. - letni; log. reg. - logistična regresija; lin. reg. - linearna regresija; * - primerjava četrtega kvantila na prvega; RO - razmerje relativnih tveganj; b - linearni regresijski koeficient; p* ≤0,01; p** ≤0,05; p*** ≤0,01; **krepko** - biološka smiselnost (smer povezanosti je biološko sprejemljiva) in statistično značilna povezanost; LUR - lokalni regresijski model; preb. - prebivališče; cel. nos. - celotno obdobje nosečnosti; n - velikost vzorca; μ_{Bkm} do 30km - velikost vzorca pri različnih oddaljenosti naslova stalnega prebivališča matere (v km) od stalnega merilnega mesta.

Tabela 2: Potencialni moteči dejavniki, ki so bili vključeni v analizo povezanosti vpliva onesnaženega zunanje zraka s trdnimi delci na izide nosečnosti v pregledanih raziskavah za leti 2014 in 2015.

Skupina potencialnih motečih dejavnikov	Potencialni moteči dejavniki	Raziskava
Demografski podatki	starost matere	15–25, 27–29
	izobrazba matere	15–19, 21–26, 28, 29
	rasa	15, 18, 19, 21, 24, 25, 27, 29
	tip družine (enostarševska in ostalo)	25
	zakonski stan matere	15, 16, 21, 24
	urbano/neurbano okolje	23, 24, 26
	socialno-ekonomski status	15, 25
	dohodek	16, 22, 24
	stopnja kriminala	25
	bruto družbeni proizvod	23
	celotni izdatki za zdravstvo na prebivalca	23
	Gini-jev koeficient neenakosti	23
	nacionalni programi financiranja porodov socialno-ekonomsko šibkejšim	19
	lastništvo nepremičnine	28
	način plačila stroškov poroda	21
Vedenjski dejavniki matere	kajenje matere med nosečnostjo	15, 20, 24, 25, 28
	izpostavljenost pasivnemu kajenju matere med nosečnostjo	22
	uživanje alkohola matere med nosečnostjo	15, 24
	indeks telesne mase matere	21, 28
Podatki o zanositvi	čas zanositve (meseč/sezona/leto)	22, 24, 26, 28, 29
	sezona zadnje menstruacije	29
Podatki o nosečnosti	število obiskov v posvetovalnici v času nosečnosti	15–17, 21, 23, 24
	število obiskov v posvetovalnici v času nosečnosti v prvem trimesečju	19
	prisotnost ali odsotnost dejavnikov tveganja v nosečnosti pri materi (predhodni negativni izidi v nosečnosti, sladkorna bolezen ali povišan krvni tlak kronično ali v času nosečnosti, preeklampsija)	24
	okužbe v času nosečnosti	24
Podatki o opazovanem porodu in novorojenčku	spol novorojenčka	15, 17, 18, 23, 24, 26–29
	gestacijska starost	18, 25, 27, 28
	porodna teža	19, 27
	vrsta poroda (vaginalni porod, carski rez)	16, 17
	čas rojstva (datum/sezona/leto)	21, 25, 26
	pridružene bolezni (komorbidnost)	24
Podatki o predhodnih porodih	število zaporednih porodov	15, 16, 19–23, 25, 26, 28
	število predhodnih živorojenih otrok	16
	število predhodnih mrtvorojenih otrok	16
	prejšnji prezgodni porodi	22
Okoljski parametri	efektivna temperatura za oceno toplotnega udobja območja s podobnimi geografskimi in meteorološkimi značilnostmi	29
	padavine	26
	temperatura	22, 26
	vrsta energenta za kuhanje	22

4 RAZPRAVA

Izpostavljenost okoljskim dejavnikom tveganja v prenatalnem obdobju ima velik pomen zaradi kritičnega okna ranljivosti, ki se pojavi v času hitre rasti in razvoja organov ter organskih sistemov in nezrelosti presnove pri plodu (30).

Najpomembnejši rezultati pregledanih raziskav za leti 2014 in 2015 kažejo na pozitivno statistično značilno povezanost med opazovanimi zdravstvenimi izidi nosečnosti in izpostavljenostjo PM_{10} (19, 22, 25) in $PM_{2,5}$ v zunanjem zraku (17–21, 24), standardizirano na potencialne moteče dejavnike.

4.1 Opazovani zdravstveni izidi

Raziskave, objavljene v letih 2014 in 2015, ki so proučevale učinke izpostavljenosti trdnim delcem v zunanjem zraku na izide v nosečnosti, so kot opazovane zdravstvene izide najpogosteje opredelile nizko porodno težo ob terminu (15–19, 23–25) in nedonošenost (19–26). Nizka porodna teža je bila v analiziranih raziskavah opredeljena kot teža novorojenčka pod 2.500 g. Nedonošenost pa je bila opredeljena z različnimi dopolnjenimi tedni gestacijske starosti: med 20 in 23 tedni (19), med 20 in 28 tedni (21), med 24 in 27 tedni (19), pod 28 tedni (22), med 28 in 31 tedni (19, 22), med 29 in 32 tedni (21), pod 32 tedni (24, 25), med 32 in 33 tedni (19), med 32 in 36 tedni (22, 25), med 33 in 36 tedni (21), med 34 in 36 tedni (19) in manj kot 37 tednov (20, 23, 24).

4.2 Ocenjevanje izpostavljenosti trdnim delcem v zunanjem zraku

Ocena izpostavljenosti onesnaženemu zunanjemu zraku s trdnimi delci lahko temelji na osebnem, biološkem in okoljskem monitoringu, modeliranju širjenja onesnaževal v zunanjem zraku in okoljski anamnezi (31, 32). Kuček in sodelavci (33) so izpostavili pomen dostopnosti in kakovosti geokodiranih zdravstvenih podatkov za povezovanje z okoljskimi dejavniki tveganja. Zavedati se je potrebno, da je ocena izpostavljenosti pomemben proces v oceni tveganja, ki lahko temelji na direktnih in indirektnih metodah (34).

Podatke o izpostavljenosti onesnaženemu zunanjemu zraku s trdnimi delci so v pregledanih raziskavah pridobili iz stalnih merilnih mest (15, 17, 19–22, 26, 27, 29) in oceno širjenja onesnaževal v zunanjem zraku z modelirnimi sistemi (16, 19, 21, 23–25).

Pereira in sodelavci (20) ter Zhao in sodelavci (22) so pri oceni izpostavljenosti matere upoštevali reprezentativno stalno merilno mesto, medtem ko so Green in sodelavci (29) upoštevali poštno območje stalnega prebivališča matere ob porodu v radiju oddaljenosti 5 do 20 km. Pri interpretiranju rezultatov analize povezanosti je potrebno upoštevati, da uporaba posameznih okoljskih meritev na stalnih merilnih mestih kot kazalnik za individualno izpostavljenost temelji na predpostavki, da je izpostavljenost na celotnem območju, ki ga proučujemo, enaka kot na merilnem mestu oz. je variabilnost majhna (34). Ebel in sodelavci (35) navajajo, da pri okoljskem monitoringu lahko tvegamo napako pri razvrščanju okoljske izpostavljenosti. Oceno širjenja onesnaževal v zunanjem zraku z modelirnimi sistemi so v pregledanih raziskavah ocenili v prostorski ločljivosti 1 km × 1 km (25), 10 km × 10 km (23) in 12 km × 12 km (24). Tudi pri oceni izpostavljenosti z modelirnimi sistemi lahko tvegamo napako v oceni izpostavljenosti. V procesu ocene širjenja onesnaževal v zunanjem zraku je zato potrebno pridobiti ustrezne in kakovostne vhodne emisijske, geografske in meteorološke podatke ter izbrati ustrezen modelirni sistem ob upoštevanju lastnosti terena in onesnaževal v zunanjem zraku (36).

V pregledanih epidemioloških raziskavah so pri oceni izpostavljenost matere onesnaženemu zunanjemu zraku upoštevali naslov njenega stalnega prebivališča (15–24, 27–29), Dibben in Clemens (24) pa sta dodala še podatek o izpostavljenosti na delovnem mestu matere v času nosečnosti. Avtorji so v pregledanih epidemioloških raziskavah kot pomembne omejitve v procesu ocene izpostavljenosti navedli nedostopnost podatkov o lokaciji materinega stalnega bivališča (23, 29), neupoštevanje dnevnih aktivnosti matere v času nosečnosti (npr. izpostavljenost na delovnem mestu, med prevozom) (15, 16, 18, 24, 26–29) ter neupoštevanje selitve matere med nosečnostjo (16, 17, 19, 23–26, 28, 29). Prav gotovo napaka pri oceni izpostavljenosti vpliva na končni rezultat pri oceni povezanosti, kar je potrebno upoštevati pri interpretaciji rezultatov. Tudi v Sloveniji so se raziskovalci, ki so ocenjevali vpliv onesnaženega zunanjega zraka na zdravje srečevali s problemi nedostopnosti in kakovosti vhodnih podatkov (33). Z vidika ocene izpostavljenosti onesnaženosti zunanjega zraka je za povezovanje z zdravstvenimi podatki v bodoče potrebno pridobiti podatke na ravni malih prostorskih enot. Stalna merilna mesta pa so uporabna za proces validacije modelirnih sistemov (36, 37).

4.3 Potencialni moteči dejavniki

Pri proučevanju vzročne povezanosti med onesnaženostjo zunanjega zraka in najpogostejšimi negativnimi zdravstvenimi izidi nosečnosti je potrebno upoštevati okoljske in družbene dejavnike tveganja ter komplikacije pri materi in novorojenčku (24, 38).

V pregledanih epidemioloških raziskavah za leti 2014 in 2015 so bili pri multivariatni analizi povezanosti med onesnaženostjo zunanjega zraka s trdnimi delci in opazovanimi zdravstvenimi izidi najpogosteje vključeni naslednji potencialni moteči dejavniki tveganja pri materi: starost (15–25, 27–29), izobrazba (15–19, 21–26, 28, 29), število zaporednih porodov (15, 18, 20–23, 25, 26, 28), rasa (15, 18, 19, 21, 24, 25, 27, 29), število obiskov v posvetovalnici v času nosečnosti (15–17, 21, 23, 24), kajenje med nosečnostjo (15, 20, 24–26), sezona zanositve (22, 24, 26, 28, 29), zakonski stan ob porodu (15, 16, 21, 24), tip naselja (23, 24, 26), dohodek (16, 22, 24), socio-ekonomski status (15, 25), indeks telesne mase (21, 28), uživanje alkohola med nosečnostjo (15, 24); ter pri novorojenčku: spol (15, 17, 18, 23, 24, 26–29), gestacijska starost (18, 25, 27, 28), čas rojstva (21, 25, 26) in porodna teža (19, 27).

Pri razširitvi iskalnega niza na ostale dejavnike tveganja v fizičnem in grajenem ter družbenem okolju bi bilo potrebno identificirati še dodatne potencialne dejavnike tveganja, ki jih opredeljuje stroka (npr. število plodov oz. mnogoplodna nosečnost, genetski dejavniki, intrauterine okužbe, razvojne nepravilnosti in operacije na maternici, nepravilnosti placente, materine bolezni, navade in razvade pred in v času nosečnosti ter način zanositve) in jih je pri oceni povezanosti potrebno upoštevati (7).

4.4 Nadaljnje raziskovanje

Pri nadaljnem raziskovanju vpliva okoljskih dejavnikov tveganja na izide nosečnosti je potrebno poleg trdnih delcev v zunanjem zraku upoštevati, da smo tekom življenja izpostavljeni mešanici različnih onesnaževal v okolju. V epidemioloških raziskavah je ocenjeno, da na zdravje poleg delcev različnih velikosti vplivajo tudi plinasta onesnaževala v zunanjem zraku ter številni biološki, kemični in fizikalni dejavniki tveganja v grajenem okolju (2). V prihodnje je za celovito oceno izpostavljenosti potrebno razviti okoljske modele, ki bodo vključevali dejavnike tveganja v zunanjem in notranjem okolju, kot so onesnaženost

zraka v zunanjem in grajenem okolju, onesnaženost voda in tal, prisotnost kemičnih snovi, bioloških agensov, izpostavljenost hrupu in sevanju. Za povezovanje izidov nosečnosti z dejavniki tveganja je priporočena čim bolj poenotena opredelitev zdravstvenih izidov in metod določanja izpostavljenosti ter povezovanja (32).

Za izvedljivost tovrstnih epidemioloških raziskav je s finančnega in časovnega vidika za pridobitev ocene povezanosti med opazovanimi pojavi smiselno uporabiti rutinsko zbrane zdravstvene in okoljske podatke. Pri rutinskem zbiranju podatkov se je potrebno zavedati, da se podatki najpogosteje zbirajo za druge statistične namene in niso namenjeni medsebojnemu povezovanju (33). V prihodnje bi želeli v slovenskem prostoru na področju okoljske epidemiologije pridobiti dokaze, na podlagi katerih bomo lahko oblikovali ustrezne in učinkovite algoritme za ukrepanje ter kontinuirano ozaveščanje ciljnih populacijskih skupin. Priložnost za izvedbo tovrstne ocene na področju kakovosti zunanjega zraka imamo v okviru evropskega projekta LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS (angl. Mediterranean Health Interview Surveys Studies: long term exposure to air pollution and health surveillance) (39), kjer bomo v Sloveniji prvič ocenili širjenje onesnaževal v zunanjem zraku na ravni občin. V luči novih trendov povezovanja zdravstvenih in okoljskih podatkov bi bilo v prihodnje smiselno pridobljene podatke o izpostavljenosti povezati s podatki o izidih nosečnosti iz Perinatalnega informacijskega sistema Republike Slovenije (40). V Sloveniji je glede na trenutno dostopne podatke o izpostavljenosti mešanici različnih onesnaževal v zunanjem zraku in izide v nosečnosti ter nekatere potencialne moteče dejavnike iz Perinatalnega informacijskega sistema Republike Slovenije izvedljiva ocena povezanosti na ravni občin.

5 SKLEP

Zbrani rezultati v pregledanih epidemioloških raziskavah kažejo na pozitivno in statistično značilno povezanost med onesnaženostjo zunanjega zraka s trdnimi delci in opazovanimi izidi nosečnosti, med njimi najpogosteje z nizko porodno težo in nedonošenostjo ob upoštevanju potencialnih motečih dejavnikov tveganja. Nakazuje se potreba, da tudi v Sloveniji okoljske dejavnike tveganja povežemo s podatki iz Perinatalnega informacijskega sistema RS.

6 LITERATURA

1. Svetovna zdravstvena organizacija (2013). Health effects of particulate matter: Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia. Kopenhagen: Regionalni urad Svetovne zdravstvene organizacije za Evropo.
2. Agencija Republike Slovenije za okolje (2015). Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2014. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje.
3. Raaschou-Nielsen O, Beelen R, Wang M in sod. (2016). Particulate matter air pollution components and risk for lung cancer. *Environ Int* 87: 66–73.
4. Kim KH, Kabir E, Kabir S (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environ Int* 74: 136–43.
5. Ballester F, Estarlich M, Iñiguez C in sod. (2010). Air pollution exposure during pregnancy and reduced birth size: a prospective birth cohort study in Valencia, Spain. *Environ Health* 9: 6–17.
6. Norwitz E, Schorge J (2010). *Obstetrics and Gynecology at a glance*. 3. izdaja. Oxford: Blackwell publishing, 77.
7. Svetovna zdravstvena organizacija (2004). *Low Birthweight: Country, Regional And Global Estimates*. Geneva: Svetovna zdravstvena organizacija.
8. Svetovna zdravstvena organizacija (2015). *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. Kopenhagen: Regionalni urad Svetovne zdravstvene organizacije

za Evropo.

9. Pajntar M, Novak-Antolič Ž, Pečar B in sod. (2004). Nosečnost in vodenje poroda. Ljubljana: Cankarjeva založba.
10. Zeitlin J (ur.), Mohangoo A (ur.), Delnord M (ur.) (2010). European Perinatal Health Report: Health and Care of Pregnant Women and Babies in Europe in 2010. http://www.europeristat.com/images/doc/EPHR2010_w_disclaimer.pdf. <13. 7. 2016>
11. Kuček A, Eržen I, Farkaš J in sod. (2014). 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* 53(1): 55–68.
12. Kuček A, Zaletel-Kragelj L, Farkaš-Lainščak J in sod. (2014). Health geography in case of Zasavje: linking of atmospheric air pollution and respiratory diseases data. *Acta Geogr Slov* 54(2): 345–62.
13. Galičič A (2016). Izboljšanje metodologije prostorskega povezovanja zdravstvenih in okoljskih podatkov na razgibanem terenu Zasavja. Magistrsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta.
14. PubMed. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>. <11. 7. 2016>
15. Ebisu K, Belanger K, Bell ML (2014). The Association between Airborne PM_{2.5} Chemical Constituents and Birth Weight-Implication of Buffer Exposure Assignment. *Environ Res Lett* 9(8): 1–19.
16. Habermann M, Gouveia N (2014). Socioeconomic Position and Low Birth Weight among Mothers Exposed to Traffic-Related Air Pollution. *PLoS ONE* 9(11): 1–16.
17. Da Silva CAM, Moi GP, Mattos IE in sod. (2014). Low birth weight at term and the presence of fine particulate matter and carbon monoxide in the Brazilian Amazon: a population-based retrospective cohort study. *BMC Pregnancy Childbirth* 14: 309–17.
18. Coker E, Ghosh E, Jerrett M in sod. (2015). Modeling spatial effect of PM_{2.5} on term low birth weight in Los Angeles County. *Environ Res* 142: 354–64.
19. Padula AM, Mortimer KM, Tager IB in sod. (2014). Traffic-Related Air Pollution and Risk of Preterm Birth in the San Joaquin Valley of California. *Ann Epidemiol* 24(12): 888–910.
20. Pereira G, Belanger K, Ebisu K in sod. (2014). Fine Particulate Matter and Risk of Preterm Birth in Connecticut in 2000–2006: A Longitudinal Study. *Am J Epidemiol* 179(1): 67–74.
21. Symanski E, Davila M, McHugh MK in sod. (2014). Maternal Exposure to Fine Particulate Pollution During Narrow Gestational Periods and Newborn Health in Harris County, Texas. *Matern Child Health J* 18(8): 2003–12.
22. Zhao N, Qiu J, Zhang Y in sod. (2015). Ambient air pollutant PM₁₀ and risk of preterm birth in Lanzhou, China. *Environ Int* 76: 71–7.
23. Fleischer NL, Meriardi M, van Donkelaar A in sod. (2014). Outdoor Air Pollution, Preterm Birth, and Low Birth Weight: Analysis of the World Health Organization Global Survey on Maternal and Perinatal Health. *Environ Health Perspect* 122(6): 425–30.
24. Ha S, Hu H, Roussos-Ross D in sod. (2014). The effects of air pollution on adverse birth outcomes. *Environ Res* 134:198–204.
25. Dibben C, Clemens T (2015). Place of work and residential exposure to ambient air pollution and birth outcomes in Scotland, using geographically fine pollution climate mapping estimates. *Environ Res* 140: 535–41.
26. Huang C, Nichols C, Liu Y in sod. (2015). Ambient air pollution and adverse birth outcomes: a natural experiment study. *Popul Health Metr* 13: 17–24.
27. Liang Z, Wu L, Fan L in sod. (2014). Ambient air pollution and birth defects in Haikou city, Hainan province. *BMC Pediatr* 14: 283–8.
28. Schembari A, de Hoogh K, Pedersen M in sod. (2015). Ambient Air Pollution and Newborn Size and Adiposity at Birth: Differences by Maternal Ethnicity (the Born in Bradford Study Cohort). *Environ Health Perspect* 123(11): 1208–15.
29. Green R, Sarovar V, Malig B in sod. (2015). Association of stillbirth with ambient air pollution in a California cohort study. *Am J Epidemiol* 181(11): 874–82.
30. Grandjean P, Bellinger D, Bergman A in sod. (2008). The Faroes statement: human health effects of developmental exposure to chemicals in our environment. *Basic Clin Pharmacol Toxicol* 102: 73–5.
31. Department of Health and Ageing and Health Council (DHAHC) (2002). Environmental health risk assessment. Guidelines for assessing human health risk from environmental hazards. Canberra.

32. Vrijheid M, Casas M, Bergström A in sod. (2012). European Birth Cohorts for Environmental Health Research. *Environ Health Perspect* 120(1): 29–37.
33. Kukec A, Zaletel-Kragelj L, Bizjak M in sod. (2012). Študija celostnega sklapljanja zdravstvenih in okoljskih podatkov v Zasavju kot model študije za podporo pri oblikovanju in izvajanju medsektorskih politik s področja okolja in zdravja. Zaključno poročilo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta.
34. Amann M, Derwent D, Forsberg B in sod. (2008). Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution. Copenhagen: Regionalni urad Svetovne zdravstvene organizacije za Evropo. http://www.eurdata/assets/pdf_file/0005/78647/E91843.pdf. <15. 6. 2016>
35. Ebelst ST, Petkau AJ, Vedal S in sod. (2000). Exposure of chronic obstructive pulmonary disease patients to particulate matter: relationships between personal and ambient air concentrations. *J Air Waste Manag Assoc* 50(7): 1081–94.
36. Božnar M, Mlakar P, Grasic B (2012). Short-term fine resolution WRF forecast data validation in Complex terrain in Slovenia. *Int J Environ Pollut* 50(1-4): 12–21.
37. Kukec A, Božnar MZ, Mlakar P in sod. (2014). Methodological approach to determine of small spatial units in a highly complex terrain in atmospheric pollution research: the case of Zasavje region in Slovenia. *Geospat Health* 8(2): 527–35.
38. Ritz B, Wilhelm M (2008). Ambient Air Pollution and Adverse Birth Outcomes: Methodologic Issues in an Emerging Field. *Basic Clin Pharmacol Toxicol* 102(2): 182–90.
39. Mediterranean Health Interview Surveys Studies: long term exposure to air pollution and health surveillance (2016). <http://medhiss.eu/>. <5. 7. 2016>
40. Nacionalni inštitut za javno zdravje (2016). Perinatalni informacijski sistem. <http://www.nijz.si/podatki/perinatalni-informacijski-sistem>. <5. 7. 2016>

II.

PROJEKT LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS

METODOLOGIJA OCENJEVANJA VPLIVOV ONESNAŽENOSTI ZUNANJEGA ZRAKA NA ZDRAVJE: EVROPSKI PROJEKT LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS

METHODOLOGY OF THE ASSESSMENT OF OUTDOOR AIR POLLUTION HEALTH EFFECTS: EUROPEAN PROJECT LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS

Andreja Kukec, An Galičič, Lijana Zaletel-Kragelj

IZVLEČEK

Uvod: Metodološko so na voljo različni pristopi ocenjevanja vplivov onesnaženosti zunanjskega zraka na zdravje. Do sedaj v Sloveniji za celotno območje države še nismo izvedli ekološke prostorske raziskave vpliva onesnaženosti zunanjskega zraka na zdravje.

Namen: Predstaviti metodologijo projekta LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS, ki je bila uporabljena za ocenjevanje prostorske povezanosti vplivov onesnaženosti zunanjskega zraka na opazovane zdravstvene izide na ravni občin v Sloveniji. **Metode:** Predstaviti metodologijo ocene izpostavljenosti onesnaženosti zunanjskega zraka in ocene velikosti zdravstvenih pojavov ter statistično analizo prostorske povezanosti. **Rezultati in razprava:** Iz metodološkega vidika se najpomembnejši rezultati projekta LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS kažejo v obliki ekološke prostorske raziskave med vplivi onesnaženosti zunanjskega zraka na opazovane zdravstvene izide na območju celotne Slovenije. **Sklep:** V okviru projekta LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS smo pridobili ustrezna vsebinska in praktična znanja za pripravo ocene izpostavljenosti onesnaženemu zunanjskemu zraku ter izvedbo prostorske analize povezanosti.

Ključne besede: metodološki pristopi, ocena izpostavljenosti, prostorska analiza, Slovenija

ABSTRACT

Introduction: Methodologically there are different approaches for the assessment of health effects of outdoor air pollution. Up until now no ecological spatial study of outdoor air pollution health effect has been implemented in the whole Slovenian area. **Aim:** Presentation of the methodology of the LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS project, which was used for the assessment of spatial association between outdoor air pollution on observed health outcomes on the municipality level in Slovenia. **Methods:** In the study we have presented the methodology of the exposure assessment to outdoor air pollution and the assessment of the level of health outcomes and statistical analysis of spatial association. **Results and discussions:** From the methodological point of view the most important results of the LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS project are shown in the implementation of ecological spatial study between outdoor air pollution and observed health outcomes in Slovenian area. **Conclusion:** Within the LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS project we have gained suitable knowledge for the preparation of exposure assessment to outdoor air pollution and implementation of spatial study.

Key words: methodological approaches, exposure assessment, spatial analysis, Slovenia

1 UVOD

Po podatkih Svetovne zdravstvene organizacije (SZO) onesnaženost zunanje zraka predstavlja pomemben dejavnik tveganja za zdravje (1). Metodološko so na voljo različni pristopi ocenjevanja vplivov onesnaženosti zunanje zraka na zdravje. Oceno izpostavljenosti onesnaževalom v zunanjem zraku lahko pridobimo z direktnimi in indirektnimi metodami. Med indirektno metode ocenjevanja izpostavljenosti uvrščamo okoljski monitoring, modeliranje izpostavljenosti in okoljsko anamnezo, med direktno pa osebni in biološki monitoring (2).

Dokaze o vplivu onesnaženega zunanje zraka na zdravje lahko pridobimo z epidemiološkimi raziskavami na individualni ali populacijski ravni (3–5). Za raziskovanje vpliva onesnaženega zunanje zraka na zdravje je SZO priporočila raziskave na populacijski ravni, ki so po epidemiološki zasnovi lahko raziskave časovnih trendov ali prostorske raziskave (6, 7). Epidemiološke raziskave, kjer je enota opazovanja populacija oziroma skupina ljudi, imenujemo ekološke raziskave (8). Trend proučevanja vpliva onesnaženosti zunanje zraka na zdravje kaže, da raziskovalci pogosto za oceno povezanosti uporabljajo ekološke prostorske raziskave (9–13). V ekoloških prostorskih raziskavah se ocenjuje povezanost med zdravstvenimi izidi in izpostavljenostjo dejavnikom tveganja v opazovanih prostorskih enotah (14).

Do sedaj v Sloveniji za celotno območje države še nismo izvedli ekološke prostorske raziskave vpliva onesnaženosti zunanje zraka na zdravje. Kuček in sodelavci (15) ter Galičič (16) so ekološko prostorsko raziskavo vpliva onesnaženosti zunanje zraka na pojavnost bolezni dihal pri otrocih izvedli na območju Zasavja. Raziskava Kuček in sodelavci (15) je pomembna z metodološkega vidika priprave ocene izpostavljenosti onesnaženemu zunanjemu zraku na ravni malih prostorskih enot za povezovanje z zdravstvenimi podatki. Galičič (16) je v svoji magistrski nalogi nadgradil metodologijo prostorskega povezovanja vpliva onesnaženosti zunanje zraka na zdravje v Zasavju z vključitvijo potencialnih motečih dejavnikov. Priložnost izvedbe ekološke prostorske raziskave na območju celotne Slovenije se je pokazala v okviru projekta LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS (Mediterranean Health Interview Surveys Studies: long term exposure to air pollution and health surveillance) (17). Glavni namen projekta LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS, ki se izvaja od 1.7.2013 do 30.9.2016, je pridobiti verodostojne podatke za Evropsko unijo in oceniti vplive izpostavljenosti onesnaženemu zraku na zdravje, ki temeljijo na indirektnih metodah (17). Pri projektu so poleg Slovenije sodelovale še Italija kot vodja projekta, Španija in Francija.

Namen prispevka je predstaviti metodologijo projekta LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS, ki je bila uporabljena za ocenjevanje prostorske povezanosti med vplivi onesnaženosti zunanje zraka na opazovane zdravstvene izide na ravni občin v Sloveniji.

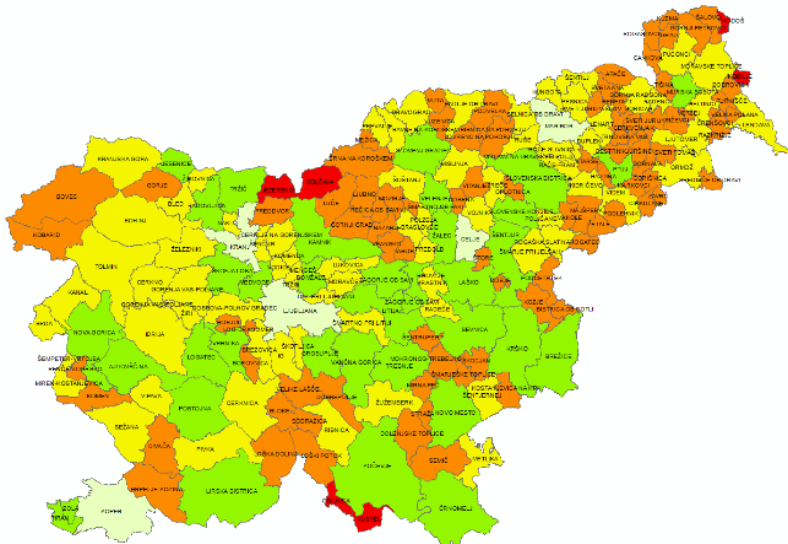
2 METODE

2.1 Vrsta epidemiološke raziskave

Za oceno prostorske povezanosti med umrljivostjo in bolnišničnimi obravnavami zaradi opazovanih zdravstvenih izidov ter onesnaženostjo zunanje zraka, standardizirano na dejavnike ozadja, smo uporabili epidemiološko ekološko prostorsko raziskavo.

2.2 Obdobje in območje ter prostorske enote opazovanja

Območje opazovanja predstavlja Republika Slovenija (v nadaljevanju Slovenija). Prostorske enote opazovanja predstavljajo vse slovenske občine, ki so obstajale na dan 1. 7. 2010, kar pomeni 210 občin. Število prebivalcev po občinah na dan 1. 7. 2010 je predstavljeno na Sliki 1.



Legenda: ■ – pod 1000 ■ – od 1001 do 5000 ■ – od 5001 do 15.000 ■ – od 15.001 do 50.000
■ – več kot 50.001

Slika 1: Število prebivalcev po občinah na dan 1.7.2010 (18).

2.3 Opazovana populacijska skupina

Opazovano populacijo v analizi prostorske povezanosti so predstavljali vsi prebivalci s stalnim prebivališčem v Sloveniji, ki so v obdobju od 1. 1. 2010 do 31. 12. 2014 umrli ali bili sprejeti v bolnišnico zaradi opazovanih zdravstvenih izidov.

2.4 Metode ocenjevanja izpostavljenosti

2.4.1 Vhodni podatki

Vhodne podatke v procesu širjenja onesnaževal v zunanjem zraku na opazovanem območju, za leto 2011, so v okviru projekta LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS predstavljali točkovni in ploskovni izpusti opazovanih onesnaževal, meteorološka polja in druga polja potrebna za zagon modelirnega sistema. Emisijske vrednosti točkovnih in ploskovnih izpustov so pripravili na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO) za trdne delce z aerodinamskim premerom do 10 μm (PM_{10}) in 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) ter dušikov dioksid (NO_2) in dušikove okside (NO_x). Za oceno meteoroloških polj so bili pridobljeni podatki za polja zračnega tlaka, temperature zraka, vetra, specifične vlage, oblačne vode, padavinske vode, snežne vode, količine padajočih ledenih kristalov, optične debeline oblakov, koeficienta vertikalne turbulentne difuzivnosti in temperature tal. Dodatna polja v modelirnem sistemu

so predstavljali podatki o izbranih geografskih spremenljivkah (raba tal, indeks listne površine) in podrobne informacije o vrednostih onesnaževal ob začetnem času računanja ter na robovih računskega območja. Vhodni podatki so podrobneje opredeljeni v prispevku Izračun prostorske porazdelitve onesnaževal v zunanjem zraku s pomočjo združevanja podatkov v tem zborniku.

2.4.2 Proces ocene širjenja onesnaževal v zunanjem zraku

Za oceno širjenja opazovanih onesnaževal v zunanjem zraku je bil uporabljen fotokemijski disperzijski Eulerjev model CAMx različica 6.10 (ang. Comprehensive Air Quality Model with Extensions) (19) skupaj z numeričnim mezo-meteorološkim modelom ALADIN/SI (20). Proces ocene širjenja opazovanih onesnaževal v zunanjem zraku je bil izveden na ARSO. Zunanje računsko območje je sestavljalo 135×135 računskih celic z ločljivostjo 13,2 km. Horizontalna ločljivost notranjega (gnezdenega) računskega območja s 185×167 računskimi celicami je $4,4 \times 4,4$ km in je enaka ločljivosti modela ALADIN/SI. Ocena širjenja onesnaževal v zunanjem zraku je natančneje opisana v prispevku Izračun prostorske porazdelitve onesnaževal v zunanjem zraku s pomočjo združevanja podatkov v tem zborniku.

2.4.3 Proces združevanja podatkov na ravni občin

Za oceno širjenja onesnaževal v zunanjem zraku na ravni občin je bil uporabljen geostatistični pristop kriging z zunanjim vplivom (21). V primeru ocene širjenja vrednosti $PM_{2,5}$ v zunanjem zraku je bil izdelan enostavni empirični matematični model. Ujemanje merjenih in modeliranih vrednosti v merilnih točkah je bilo ocenjeno s Pearsonovim korelacijskim koeficientom (r). Poleg korelacijskega koeficienta za navzkrižno preverjanje je bil za deterministični del modela ocenjen tudi determinacijski koeficient (R^2). Proces združevanja podatkov na ravni občin je natančneje opisan v prispevku Izračun prostorske porazdelitve onesnaževal v zunanjem zraku s pomočjo združevanja podatkov v tem zborniku.

2.4.4 Zemljevidi onesnaženosti

Modelirane letne povprečne vrednosti za leto 2011 za opazovana onesnaževala na ravni občin so bile predstavljene z zemljevidi. Pri razvrščanju modeliranih letnih povprečnih vrednosti opazovanih onesnaževal v razrede za prikaz z zemljevidi smo upoštevali priporočene letne (22) in mejne letne vrednosti, ki so opredeljene v Uredbi o kakovosti zunanjega zraka (Ur. l. RS, št. 9/11, 8/15) (23). Za razvrščanje modeliranih letnih povprečnih vrednosti NO_x smo uporabili priporočene in mejne vrednosti za NO_2 , saj nacionalna zakonodaja in zakonodaja Evropske unije ter SZO ne navajajo predpisanih oziroma priporočenih vrednosti za NO_x . Za prikaz modeliranih povprečnih letnih vrednosti onesnaževal v ozračju z zemljevidom smo uporabili orodje ArcGIS (ESRI ArcGIS Verzija 10.4).

2.5 Metode za ocenjevanje velikosti zdravstvenih pojavov

2.5.1 Vhodni podatki

Zdravstveni podatki so bili za obdobje od 2010 do 2014 pridobljeni iz Baze umrlih in podatkovne zbirke Bolnišnične obravnave istega tipa, ki jo vodijo na Zdravstveno podatkovnem centru Nacionalnega inštituta za javno zdravje (NIJZ).

Skladno s protokolom projekta LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS (24) so bili za kazalnik umrljivost in število primerov bolnišničnih obravnav opazovani naslednji zdravstveni izidi po Mednarodni klasifikaciji bolezni in sorodnih zdravstvenih problemov za statistične namene, deseta verzija (MKB-10) (25): vsi naravni vzroki (MKB-10, koda A00–R99), bolezni obtočil (MKB-10, koda I00–I99), bolezni dihal (MKB-10, koda J00–J99), maligne neoplazme (MKB-10, koda C00–C97) in maligna neoplazma bronhija (sapnice) in pljuč (MKB-10, koda C34) ter astma (MKB-10, koda J45) pri kazalniku število bolnišničnih obravnav.

Podatki o številu prebivalcev za 5-letne starostne skupine (0-4,...85+), ločeno po spolu, so bili pridobljeni iz Podatkovnega portal SI-STAT, Statističnega urada Republike Slovenije (SURs) (18).

2.5.2 Priprava podatkov

Skladno s protokolom projekta LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS (24) smo najprej za vsako leto opazovanja in celotno obdobje po opazovanih zdravstvenih izidih izvedli postopek indirektna standardizacije v programskem orodju Excel 2010. V statističnem programu R (Verzija 3.2.4) smo za oceno vpliva velikosti zdravstvenih pojavov med sosednjimi občinami pripravili sosedsko (relacijsko) matriko.

2.6 Metode za ocenjevanje motečih dejavnikov kot dejavnikov ozadja

Podatki o motečih dejavnikih kot dejavnikih ozadja so bili na ravni občin pridobljeni iz rezultatov Popisa 2002 (26) in Statističnega letopisa za leto 2013 (27), ki je dostopen na SURs-u ter iz raziskave Tvegana vedenja, povezana z zdravjem in nekatera zdravstvena stanja pri odraslih prebivalcih Slovenije iz leta 2012, ki so jo izvedli na NIJZ.

Za izvedbo ekološke prostorske raziskave smo v analizo povezanosti vključili naslednje podatke v obliki prevalence: nizka stopnja izobrazbe (respondenti brez izobrazbe, z nepopolno izobrazbo in končano osnovno šolo), delovna aktivnost (zaposleni in samozaposleni respondenti), kajenje kadarkoli (respondenti, ki sedaj kadijo in so tudi v preteklosti kadili), trenutno kajenje (respondenti, ki sedaj kadijo), pasivno kajenje (katerikoli drug član družine od respondenta kadi v stanovanju ali v bivalnih prostorih), uživanje alkohola (respondenti, ki so v zadnjih 12 mesecih popili kozarec katere od alkoholnih pijač npr. pivo, vino ali žgane pijače), debelost (respondenti z indeksom telesne mase 30 ali več), fizična ne-aktivnost (respondenti, ki ne morejo biti fizično aktivni zaradi bolezni ali invalidnosti; niso telesno aktivni, kljub temu, da nimajo omejitev), povprečni mesečni dohodek (povprečna plača aktivnega prebivalstva).

2.7 Metode analize povezanosti

2.7.1 Spremenljivke v analizi povezanosti

V analizi povezanosti sta opazovane zdravstvene izide v okviru projekta LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS predstavljali standardizirana stopnja umrljivosti in sprejemov v bolnišnico zaradi opazovanih bolezenskih pojavov.

Pojasnjevalne dejavnike v analizi povezanosti so predstavljale modelirane letne povprečne vrednosti za PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_x in NO_2 za leto 2011.

Dejavnike ozadja v analizi povezanosti so predstavljale prevalenca nizke stopnje izobrazbe, stopnje delovne aktivnosti, kajenja kadarkoli, trenutnega kajenja, pasivnega kajenja, uživanja alkohola, debelosti, fizične ne-aktivnost in povprečnega mesečnega dohodka.

2.7.2 Metode opisa podatkov

Za prikaz prostorske porazdelitve grobe in standardizirane stopnje (brez in s prostorsko razporeditvijo slučajnih vplivov) opazovanih zdravstvenih izidov smo uporabili zemljevide, ki smo jih pripravili s statističnim programom R (Verzija 3.2.4). Rezultate univariatne in multivariatne analize povezanosti smo prikazali tabelarično.

2.7.3 Statistična analiza povezanosti

Za prostorsko analizo povezanosti med opazovanimi zdravstvenimi izidi, pojasnjevalnimi dejavniki in dejavniki ozadja smo uporabili Poisson-ovo regresijsko analizo. Končni rezultat univariatne in multivariatne prostorske analize povezanosti je podan kot relativno tveganje (RT). Rezultati nam povedo, za koliko se spremeni vrednost RT ob povečanju vrednosti opazovanega onesnaževala za eno svojo osnovno enoto ($1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Statistično značilna povezanost med opazovanim zdravstvenim izidom in pojasnjevalno spremenljivko standardizirano na potencialne dejavnike ozadja smo vrednotili pri 95,0 % intervalu zaupanja (IZ).

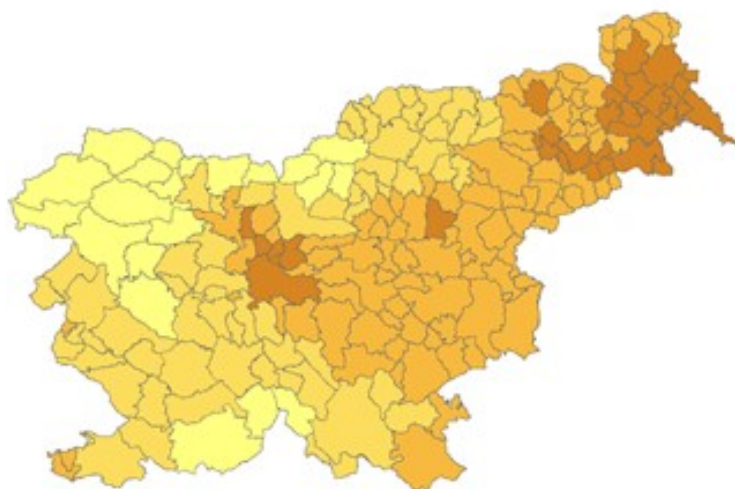
Analiza prostorske povezanosti med opazovanimi pojavi je potekala v dveh korakih. V prvem koraku smo z univariatnimi modeli ocenili prostorsko povezanost med opazovanimi zdravstvenimi izidi in pojasnjevalnimi dejavniki brez in s prostorsko razporeditvijo slučajnih vplivov. V drugem koraku smo univariatne modele nadgradili z multivariatnimi modeli. Kar pomeni, da smo v univariatne modele povezanosti poleg opazovanih zdravstvenih izidov in pojasnjevalnih dejavnikov dodali še podatke o dejavnikih ozadja.

Za statistično analizo povezanosti je bil uporabljen statistični program R (Verzija 3.2.4).

3 REZULTATI

3.1 Rezultati ocenjevanja izpostavljenosti

Na Sliki 2 so na primeru modelnih vrednosti PM_{10} prikazani rezultati ocene širjenja onesnaženosti zunanjega zraka na ravni občin. Natančnejši rezultati ocene širjenja onesnaževal v zunanjem zraku so opisani v prispevku Izračun prostorske porazdelitve onesnaževal v zunanjem zraku s pomočjo združevanja podatkov v tem zborniku.

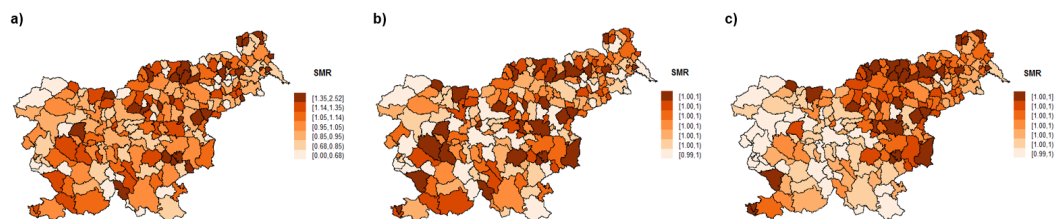


Legenda: pod $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ od $20,1$ do $25,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ od $25,1$ do $30,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 od $30,1$ do $35,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ od $35,1$ do $40,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ več kot $40,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Slika 2: Onesnaženost zunanjega zraka s trdnimi delci z aerodinamskim premerom do $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) na ravni občin v Sloveniji za leto 2011.

3.2 Rezultati ocenjevanja velikosti zdravstvenih pojavov

Na Sliki 3 so na primeru malignih neoplazem (MKB-10, koda C00–C99) za leto 2010 prikazani rezultati prostorske porazdelitve grobe standardizirane stopnje umrljivosti, zglajene standardizirane stopnje umrljivosti brez in s prostorsko razporeditvijo slučajnih vplivov.



Slika 3: Prostorska porazdelitev grobe standardizirane stopnje umrljivosti (a), zglajene standardizirane stopnje umrljivosti brez (b) in s prostorsko razporeditvijo slučajnih vplivov (c) malignih neoplazem (MKB-10, koda C00–C99) za leto 2010.

3.3 Rezultati analize povezanosti

V Tabeli 1 so na primeru prikazani rezultati multivariatne analize povezanosti med umrljivostjo zaradi malignih neoplazem (MKB-10 C00–C97) in povprečnimi vrednostmi opazovanih onesnaževal v zunanjem zraku za 5 let (obdobje 2010–2014) na ravni občin v Sloveniji.

Tabela 1: Rezultati multivariatne analize povezanosti med letnimi povprečnimi vrednostmi onesnaževal in umrljivostjo zaradi malignih neoplazem (MKB-10 C00–C97) za 5 let (obdobje 2010–2014) na ravni občin v Sloveniji.

OPAZOVANI ZDRAVSTVENI IZID	POJASNEVALNI DEJAVNIK ($\uparrow 1 \mu\text{m}/\text{m}^3$)	MULTIVARIATNI MODEL STANDARDIZIRAN NA DEJAVNIKE OZADJA*					
		brez prostorskih slučajnih vplivov			s prostorskimi slučajnimi vplivi		
		RT	95 % IZ		RT	95 % IZ	
			spodnji	zgornji		spodnji	zgornji
maligne neoplazme	p. letna vred. PM_{10}	1,003	0,998	1,007	1,003	0,998	1,007
	p. letna vred. $\text{PM}_{2,5}$	1,004	0,996	1,012	1,004	0,996	1,012
	p. letna vred. NO_2	1,001	0,997	1,005	1,001	0,997	1,005
	p. letna vred. NO_x	1,000	0,998	1,003	1,000	0,998	1,003

Legenda: PM_{10} - delci z aerodinamskim premerom do $10 \mu\text{m}$; $\text{PM}_{2,5}$ - delci z aerodinamskim premerom do $2,5 \mu\text{m}$; NO_2 - dušikov dioksid, NO_x - dušikovi oksidi; RT - relativno tveganje; IZ - interval zaupanja; p. - povprečje; vred. - vrednost; *Dejavniki ozadja: prevalenca nizke stopnje izobrazbe, kajenja kadarkoli, trenutnega kajenja, pasivnega kajenja, debelosti, fizične ne-aktivnosti, uživanja alkohola, aktivne populacije, povprečnega mesečnega dohodka.

4 RAZPRAVA

4.1 Najpomembnejši vidiki uporabljenega metodološkega pristopa

Z metodološkega vidika se najpomembnejši rezultati projekta LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS kažejo v izvedbi ekološke prostorske raziskave med vplivi onesnaženosti zunanega zraka na opazovane zdravstvene izide na območju celotne Slovenije. V okviru projekta LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS je bila za potrebe prostorske analize pripravljena ocena širjenja opazovanih onesnaževal v zunanjem zraku v prostorski ločljivosti $4,4 \times 4,4 \text{ km}$ v horizontalni ločljivosti notranjega (gnezdenega) računskega območja z 185×167 računskimi celicami. Medtem ko je bil geostatistični pristop kriging z zunanjim vplivom uporabljen za združevanje podatkov na ravni občin (21). Podobno kot v naši raziskavi so za združevanje podatkov na enoto opazovanja uporabili kriging metodo prostorske interpolacije tudi v nekaterih drugih tovrstnih raziskavah (28–30).

4.2 Omejitve in prednosti uporabljenega metodološkega pristopa

Prostorsko povezanost med vplivi onesnaženosti zunanega zraka na opazovane zdravstvene izide lahko izvedemo na različnih prostorskih enotah. Do sedaj smo imeli v Sloveniji ocenjeno stopnjo izpostavljenosti onesnaženemu zunanjemu zraku na območju Zasavja v prostorski ločljivosti $200 \times 200 \text{ m}$ (31). Modelirane vrednosti onesnaževal v prostorski ločljivosti 200×200 so Kukec in sodelavci (15) uporabili kot vhodni podatek za pripravo malih prostorskih enot. Metodološki pristop priprave malih prostorskih enot je temeljil na homogeni stopnji onesnaženosti in mejah krajevnih skupnosti ter naselij (15). Galičič (16) je z vključitvijo potencialnih motečih dejavnikov nadgradil metodologijo prostorskega povezovanja vpliva onesnaženosti zunanega zraka na bolezni dihal pri otrocih na ravni malih prostorskih enote v Zasavju, ki jo je uporabila Kukec (32) v doktorski nalogi.

V podobnih tujih raziskavah so bile kot enote opazovanja za prostorsko povezovanje vpliva

onesnaženega zraka na zdravje uporabljene tako administrativne enote kot oblikovane prostorske enote. Administrativne enote so predstavljale regije (33), upravna okrožja (30), mestne četrti (34), občine (28, 29) statistične regije (35) in enote popisa prebivalstva (36). V primeru oblikovanih prostorskih enot je bila ocena širjenja onesnaževal v zunanjem zraku ali združevanje podatkov ocenjeno v prostorski ločljivosti: 3×3 m (12), 10.000×10.000 m (37), 36.000×36.000 km (38).

Glavne omejitve prostorske analize povezanosti vplivov onesnaženosti zunanjega zraka na opazovane zdravstvene izide se kažejo pri kakovosti in dostopnosti vhodnih zdravstvenih in okoljskih podatkov. Omejitev zbranih zdravstvenih podatkov predstavlja oblika pridobljenih podatkov. Zdravstveni podatki so bili pridobljeni v združeni oz. agregirani obliki na ravni občin, kar je omejilo prostorsko ločljivost v nadaljnjem povezovanju z okoljskimi podatki. V primeru geokodirane oblike zdravstvenih podatkov bi lahko izvedli povezovanje z okoljskimi podatki na ravni malih prostorskih enot $4,4 \times 4,4$ km. Pridobitev podatkov v geokodirani obliki ni bila mogoča zaradi zakonskih omejitev. Kljub združeni oz. agregirani obliki so bili zdravstveni podatki kakovostno ustrezni.

Glavne omejitve ocene širjenja onesnaževal v zunanjem zraku predstavlja časovna omejitev pridobljenih podatkov, saj smo le-te pridobili samo za leto 2011. Vhodni podatki o onesnaženosti zunanjega zraka so bili modelirani v prostorski ločljivosti $4,4 \times 4,4$ km. Glede na razgibanost slovenskega prostora, posamezne celice v mreži obsegajo teren z različnimi lastnostmi, kar vpliva na meteorološke pojave in posledično na širjenje ter kopičenje onesnaževal v zunanjem zraku, so modelni rezultati še vedno pomanjkljivi. Modelni rezultati odražajo grobo prostorsko porazdelitev onesnaževal in nakazujejo območja z največjim onesnaženjem, ne odražajo pa podrobnosti, ki so povezane s terenskimi oblikami v boljši ločljivosti. Pomembno omejitev v procesu združevanja podatkov je predstavljalo majhno število merilnih mest z meritvami ozadja onesnaženosti. Natančnejše omejitve ocene širjenja onesnaževal v zunanjem zraku so opisane v prispevku Izračun prostorske porazdelitve onesnaževal v zunanjem zraku s pomočjo združevanja podatkov v tem zborniku.

Pomembno omejitev tako pri zdravstvenih kot okoljskih podatkih predstavlja tudi dostopnost podatkov na letni ravni. Povprečne letne vrednosti zdravstvenih in okoljskih podatkov ne prikazujejo sezonskega nihanja vrednosti posameznih onesnaževal v zunanjem zraku.

Kljub opredeljenim omejitvam smo v okviru projekta LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS izvedli prvo epidemiološko ekološko raziskavo prostorske povezanosti za območje celotne Slovenije na ravni občin. Prostorska analiza je bila izvedena za 5 diagnoz s kazalnikom umrljivosti in 6 diagnoz s kazalnikom število bolnišničnih obravnav. V analizo je bilo vključenih več onesnaževal zunanjega zraka in dejavnikov ozadja. Pomembno prednost naše raziskave predstavlja uporaba multivariatnih modelov z več onesnaževali in vključitev dejavnikov ozadja v analizo povezanosti. Najpomembnejša prednost se kaže v pripravi in uporabi metodologije za oceno širjenja onesnaževal v zunanjem zraku na ravni občin.

Prav gotovo smo z mednarodnim sodelovanjem ter izmenjavami v okviru projekta v Sloveniji pridobili na vsebinskih ter praktičnih izkušnjah.

4.3 Nadaljnje raziskovanje

V nadaljnjem raziskovanju na področju prostorskega povezovanja zdravstvenih in okoljskih podatkov bi bilo potrebno pridobiti geokodirane zdravstvene podatke, ki bi omogočali izvedbo prostorske analize na ravni malih prostorskih enot. Pridobljeni rezultati v tovrstnih

raziskavah bi v bodoče lahko predstavljali podlago za pridobivanje z dokazi podprte ocene na podlagi katere bi načrtovali in izvajali ustrezne ukrepe.

V povezovanje zdravstvenih in okoljskih podatkov bi bilo potrebno poleg bolezni dihal in obtočil, kot najpogostejših opazovanih izidov v tovrstnih raziskavah (39) vključiti opazovane izide, za katere je povezanost z onesnaženim zunanjim zrakom že nakazana, ni pa še dokazana. Primer takih opazovanih izidov sta nizka porodna teža (10, 11) in prezgodnje rojstvo novorojenčka (10). Novim trendom, bi poleg zdravstvenih podatkov, morali slediti tudi okoljski podatki z vključitvijo ultrafinih delcev v analizo povezanosti (40, 41).

V nadaljnjem raziskovanju obravnavanega področja bi bilo potrebno izboljšati oceno izpostavljenosti z upoštevanjem razgibanega terena Slovenije. Prav tako bi bilo potrebno za celovito oceno učinkov na zdravje poleg podatkov o onesnaženosti zunanjega zraka v analizo povezanosti vključiti še podatke o onesnaženosti tal in vode ter notranjega okolja.

5 SKLEP

Iz metodološkega vidika se najpomembnejši rezultati projekta LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS kažejo v izvedbi ekološke prostorske raziskave vpliva onesnaženosti zunanjega zraka na opazovane zdravstvene izide na območju celotne Slovenije. V okviru projekta smo pridobili ustrezna vsebinska in praktična znanja za pripravo ocene izpostavljenosti onesnaženemu zunanjemu zraku ter izvedbo prostorske analize povezanosti.

6 LITERATURA

1. Svetovna zdravstvena organizacija (2016). Global health Observatory data. Mortality from ambient air pollution. http://www.who.int/gho/phe/outdoor_air_pollution/burden_text/en/1. <11. 7. 2016>
2. Department of Health and Ageing and Health Council (DHAHC) (2002). Environmental health risk assessment. Guidelines for assessing human health risk from environmental hazards. Canberra.
3. Pekkanen J, Pearce N (2001). Environmental epidemiology: challenges and opportunities. *Environ Health Persp* 109(1): 1–5.
4. Susser E (2004). Eco-epidemiology: thinking outside the black box. *Epidemiology* 15(5): 519–20.
5. Eržen I, Gajšek P, Hlastan Ribič C in sod. (2010). Zdravje in okolje: izbrana poglavja. Maribor: Univerza v Mariboru, Medicinska fakulteta; 19–64.
6. Briggs D (ur.), Corvalan C (ur.), Nurminen M (ur.) (1996). Linkage methods for environment and health analysis. General guidelines. Geneva: Svetovna zdravstvena organizacija.
7. Corvalan C (ur.), Nurminen M (ur.), Pastides H (ur.) (1997). Linkage methods for environment and health analysis. Technical guidelines. Geneva: Svetovna zdravstvena organizacija.
8. Zaletel-Kragelj L, Eržen I (2010). Ecological studies: basic principles. V: Zaletel-Kragelj L (ur.), Božikov J (ur). *Methods and tools in public health*. Lage: Forum for public health in south eastern Europe; 289–308.
9. Maheswaran R, Pearson T, Smeeton NC in sod. (2012). Outdoor air pollution and incidence of ischemic and hemorrhagic stroke: a small-area level ecological study. *Stroke* 43(1): 22–7.
10. Dibben C, Clemens T (2015). Place of work and residential exposure to ambient air pollution and birth outcomes in Scotland, using geographically fine pollution climate mapping estimates. *Environ Res* 140: 535–41.
11. Coker E, Ghosh E, Jerrett M in sod. (2015). Modeling spatial effect of PM_{2.5} on term low birth weight in Los Angeles County. *Environ Res* 142: 354–64.
12. Leem JH, Kim ST, Kim HC (2015). Public-health impact of outdoor air pollution for 2nd air pollution management policy in Seoul metropolitan area, Korea. *Ann Occup Environ Med* 27: 7–18.
13. Halonen JI, Blangiardo M, Toledano MB in sod. (2016). Is long-term exposure to traffic pollution associated with mortality? A small-area study in London. *Environ Pollut* 208(Pt A): 25–32.

14. Morgenstern H, Thomas D (1993). Principles of study design in environmental epidemiology. *Environ Health Perspect* 101(Suppl 4): 23–38.
15. Kuček A, Zaletel-Kragelj L, Farkaš-Lainščak J in sod. (2014). Health geography in case of Zasavje: linking of atmospheric air pollution and respiratory diseases data. *Acta Geogr Slov* 54(2): 345–62.
16. Galičič A (2016). *Izboljšanje metodologije prostorskega povezovanja zdravstvenih in okoljskih podatkov na razgibanem terenu Zasavja*. Magistrsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta.
17. Mediterranean Health Interview Surveys Studies: long term exposure to air pollution and health surveillance (LIFE12 ENV/IT/000834). <http://medhiss.eu/>. <1. 7. 2016>
18. Statistični urad Republike Slovenije (2016). Podatkovni portal SI-STAT. Prebivalstvo po starosti in spolu, občine, Slovenija, polletno. http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=05C4002S&ti=&path=../Database/Dem_soc/05_prebivalstvo/10_stevilo_preb/20_05C40_prebivalstvo_obcine/&lang=2. <16. 6. 2013>
19. Comprehensive Air Quality Model with Extensions (CAMx) (2013). CAMx Overview. <http://www.camx.com/about/default.aspx>. <16. 6. 2013>
20. Agencija Republike Slovenije za okolje. Produkti modela ALADIN/SI. <http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/aladin/>. <16. 6. 2013>
21. Cressie NAC (1993). *Statistics for Spatial Data*. 2nd. New York: Wiley.
22. Svetovna zdravstvena organizacija (2005). WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf. <12. 11. 2015>
23. Uredba o kakovosti zunanjega zraka (Ur. l. RS, št. 9/11, 8/15).
24. LIFE MED-HISS Mediterranean Health Interview Survey Study Action B4 (2016). Statistical protocol (za interno uporabo).
25. Svetovna zdravstvena organizacija (2011). International Classification of Diseases (ICD). <http://apps.who.int/classifications/icd10/browse/2016/en>. <28. 12. 2015>
26. Statistični urad Republike Slovenije (2002). Popis, 2002 http://www.stat.si/popis2002/si/rezultati_obcine_prebivalstvo_akt.htm. <16. 6. 2013>
27. Statistični urad Republike Slovenije (2013). Statistični letopis, 2013 <http://www.stat.si/StatWeb/doc/letopis/2013/naslovnica-siva.pdf>. <16. 6. 2013>
28. Feng J, Yang W (2012). Effects of Particulate Air Pollution on Cardiovascular Health: A population Health Risk Assessment. *PLoS ONE* 7(3): 1–9.
29. Chalbot MG, Jones TA, Kavouras IG (2014). Trends of Non-Accidental, Cardiovascular, Stroke and Lung Cancer Mortality in Arkansas Are Associated with Ambient PM_{2.5} Reductions. *Int J Environ Res Public Health* 11(7): 7442–55.
30. Madrigano J, Jack D, Anderson GB in sod. (2015). Temperature, ozone, and mortality in urban and non-urban counties in the northeastern United States. *Environ Health* 14(3): 1–11.
31. MEIS storitev za okolje d.o.o. (2012). Prognostični in diagnostični modelirni sistem za kontrolo onesnaženja ozračja v regiji (KOoreg). <http://www.kvalitetazraka.si/zasavje/>. <20. 11. 2015>
32. Kuček A (2013). *An environmental model for the relationship between air pollution and respiratory diseases in children : the Zasavje case*. Doktorska dizertacija. Nova Gorica: Univerza v Novi Gorici.
33. Ignotti E, Valente JG, Longo KM in sod. (2010). Impact on human health of particulate matter emitted from burnings in the Brazilian Amazon region. *Rev Saude Publica* 44(1): 121–30.
34. Bell ML, Peng RD, Dominici F (2006). The Exposure-Response Curve for Ozone and Risk of Mortality and the Adequacy of Current Ozone Regulations. *Environ Health Perspect* 114(4): 532–6.
35. Richardson EA, Pearce J, Tunstall H in sod. (2013). Particulate air pollution and health inequalities: a Europe-wide ecological analysis. *Int J Health Geogr* 12(13): 1–10.
36. Bard D, Laurent O, Filleul L in sod. (2007). Exploring the joint effect of atmospheric pollution and socioeconomic status on selected health outcomes: the PAISARC Project. *Environ Res Lett* 2(4): 1–7.
37. Hu Z, Rao KR (2009). Particulate air pollution and chronic ischemic heart disease in the eastern United States: a county level ecological study using satellite aerosol data. *Environ Health* 8: 26–36.

38. Knowlton K, Rosenthal JE, Hogrefe C in sod. (2004). Assessing Ozone-Related Health Impacts under a Changing Climate. *Environ Health Perspect* 112(15): 1557–63.
39. Galičič A, Zaletel-Kragelj L, Božnar MZ in sod. (2015). Methodology for defining the effects of outdoor air pollution on children's health at the population level – a systematic review. *Sanitarno inženirstvo* 9(1): 35–49.
40. Galičič A, Kranjec N (2015). Vpliv ultrafinih delcev v ozračju na boleznih dihal pri prebivalcih Mestne občine Ljubljana. Raziskovalna naloga. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta.
41. Lanzinger S, Schneider A, Breitner S in sod. (2016). Ultrafine and Fine Particles and Hospital Admissions in Central Europe, Results from the UFIREG Study. *Am J Respir Crit Care Med* (v tisku).

IZRAČUN PROSTORSKE PORAZDELITVE ONESNAŽEVAL V ZUNANJEM ZRAKU S POMOČJO ZDRUŽEVANJA PODATKOV

ESTIMATION OF OUTDOOR AIR POLLUTANTS SPATIAL DISTRIBUTION USING DATA FUSION

Mojca Dolinar, Marko Rus

IZVLEČEK

Uvod: Prostorska spremenljivost onesnaževal na kompleksnem terenu kot je Slovenija, je zelo velika. **Namen:** Izračunati prostorske porazdelitve onesnaževal s pomočjo združevanja podatkov. **Metode:** Z disperzijsko-fotokemičnimi numeričnimi modeli smo simulirali širjenje onesnaževal od emisijskih virov onesnaževanja po kompleksnem terenu za območje celotne Slovenije. **Rezultati in razprava:** Zaradi slabe ločljivosti uporabljenega modela kompleksnosti terena v celoti ne moremo zajeti, zato modelski rezultati večinoma podcenijo vrednosti onesnaževal v zunanjem zraku. S pomočjo združevanja podatkov smo modelske rezultate združili z meritvami vrednosti onesnaževal v točkah za mesečne povprečne vrednosti trdnih delcev z aerodinamskim premerom do 10 μm (PM_{10}) in 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$), dušikovega dioksida (NO_2) in dušikovih oksidov (NO_x) v letu 2011. Na ta način smo izboljšali ločljivost prostorskih polj iz 4,4 km v 1 km in približali absolutne vrednosti v končnem polju izmerjenim vrednostim. **Sklep:** Opisana metodologija predstavlja dober pristop za združevanje modelskih in merjenih vrednosti onesnaževal.

Ključne besede: onesnaženost zunanjega zraka, disperzijsko-fotokemični model, združevanje podatkov

ABSTRACT

Introduction: Spatial variability of outdoor air pollutants in Slovenia is very high due to country's complex terrain. **Aim:** Estimation of the spatial distribution of pollutants with the help of data fusion. **Methods:** Simulation of pollutant dispersion from the emission points through the complex terrain for the whole Slovenian area with the help of dispersion-photochemical numerical models. **Results and discussion:** Because of the relatively poor spatial resolution of the numerical model in use, complex terrain could not be fully covered, consequently modeled results mostly underestimate the concentration of outdoor air pollutants. With the help of data fusion modeled results were combined with fixed monitoring concentration measurements of mean monthly concentrations of particles with aerodynamic diameter 10 μm or less (PM_{10}) and 2.5 μm or less ($\text{PM}_{2,5}$), nitrogen dioxide (NO_2) and nitrogen oxides (NO_x) in 2011. With this the resulting grids had higher spatial resolution compared to numerical model outputs (from 4.4 km down to 1 km) and the absolute values of concentrations were comparable to measured concentrations. **Conclusion:** We conclude that described method is a good methodological approach for combination of modeled and measured pollutants concentrations.

Keywords: outdoor air pollution, dispersion-photochemical numerical model, data fusion

1 UVOD

Čezmerno onesnaženje zunanjega zraka je eden izmed večjih okoljskih problemov v Sloveniji. Slovenija je v povprečju slabo prevetrena, zelo pogoste so tudi izrazite in dolgotrajne temperaturne inverzije, ko se zrak v kotlinah več dni ne premeša. Ob takšnih neugodnih vremenskih razmerah za razredčevanje onesnaženosti lahko že nižje gostote izpustov povzročijo čezmerno onesnaženje zraka. Tudi zato je kakovost zraka v Sloveniji slabša kot drugje v Evropi, za izboljšanje pa je potrebno intenzivnejše izvajanje ukrepov (1).

Pri ocenjevanju kakovosti zraka, ki je ena izmed pomembnih nalog Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO), da si pomagamo tako z modeliranjem kot z meritvami. Z meritvami dobimo točkovne podatke o vrednostih onesnaževal, medtem ko z modeliranjem pridobimo podatke o prostorski porazdelitvi onesnaženosti. Absolutne vrednosti onesnaževal, ki jih izračunamo z numeričnim modelom, so pogojene z njegovo ločljivostjo in so zelo pogosto podcenjene. Modelske ocene lahko izboljšamo s tehniko združevanja podatkov. Pri tem izkoristimo prednosti obeh omenjenih virov podatkov, da kot rezultat dobimo čim boljšo oceno prostorske porazdelitve onesnaževal (1).

Namen prispevka je izračunati prostorske porazdelitve onesnaževal zunanjega zraka s pomočjo združevanja podatkov.

2 METODE

2.1 Modeliranje onesnaženosti zunanjega zraka

Z disperzijskimi modeli opisujemo fizikalne in kemijske procese, ki vplivajo na vrednosti onesnaževal v zunanjem zraku. Bolj zapleteni disperzijsko-fotokemični modeli upoštevajo poleg prenosa in razredčevanja izpustov v zunanji zrak tudi najrazličnejše kemične pretvorbe snovi v zunanjem zraku ter njihovo izločanje iz zunanjega zraka. Pri modeliranju onesnaženosti zunanjega zraka v eulerskem načinu, spremenljivke v zunanjem zraku opišemo v mreži točk, v katerih računamo časovne spremembe količine posamezne primesi. V vsakem volumskem elementu zunanjega zraka je sprememba količine onesnaževala (c_l) odvisna od transporta, ki ga določa vetrovno polje (v), redčenja onesnaževala v ozračju zaradi turbulentne difuzivnosti (predstavljene v enačbi preko členov, v katerih nastopajo koeficienti turbulentne difuzivnosti K), različnih kemijskih pretvorb in drugih virov (izpusti) ter ponorov (suha in mokra depozicija) onesnaževal v ozračju:

$$\frac{\partial c_l}{\partial t} = -\nabla \cdot (\vec{v}c_l) + \nabla \cdot (K\nabla c_l) + \frac{dc_l}{dt_{viri}} + \frac{dc_l}{dt_{kem}} - \frac{dc_l}{dt_{viri}}$$

Hitrost vetra in turbulentna difuzivnost se v kraju in času lahko močno spreminjata glede na vremenske pogoje. Na kemijske pretvorbe in na učinkovitost izločanja primesi iz zunanjega zraka vplivajo tudi druge vremensko odvisne spremenljivke, predvsem temperatura zraka, količina kemijsko aktivnega sevanja (kratkovalovnega, delno tudi infra rdečega), vlažnost zraka in padavine.

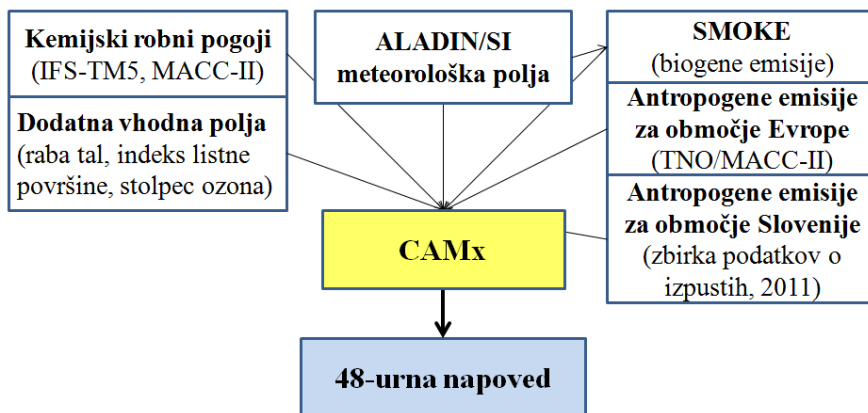
Poleg dobrega opisa meteoroloških spremenljivk za modeliranje potrebujemo podrobno opisane točkovne in ploskovne izpuste posameznih onesnaževal ter vrednosti modeliranih onesnaževal v zunanjem zraku na začetku zagona modela in na robovih računskega območja.

2.2 Modelski sistem ALADIN/SI-CAMx

Za podporo napovedovanju vrednosti ozona in trdnih delcev na območju Slovenije ter za analizo vzrokov čezmerne onesnaženosti zraka na ARSO uporabljamo disperzijsko-fotokemični model CAMx (The Comprehensive Air quality Model with Extensions), ki ga je Agencija Združenih držav za varstvo okolja (US EPA) odobrila za modeliranje ozona in trdnih delcev v različni časovni in prostorski ločljivosti (2).

Najpomembnejši vhodni podatki modela CAMx so meteorološka polja, ki jih dobimo iz operativnega numeričnega mezo-meteorološkega modela ALADIN/SI (3). Gre za polja zračnega tlaka, temperature zraka, vetra, specifične vlage, oblačne vode, padavinske vode, snežne vode, količine padajočih ledenih kristalov, optične debeline oblakov, koeficienta vertikalne turbulentne difuzivnosti in temperature tal. Za zagon model CAMx se potrebuje še nekatera druga vhodna polja, kot so podatki o izpustih, izbrane geografske spremenljivke (raba tal, indeks listne površine), skupna količina ozona v zunanjem zraku (vrednosti izmerjene s spektrometrom (4)) in podrobne informacije o ravneh onesnaževal ob začetnem času računanja (rezultati predhodnih zagonov modela CAMx) ter na robovih računskega območja (reanalize kemijskega globalnega modelskega sistema IFS-TM5; (5)). Za računanje kemijskih in fotokemijskih pretvorb v modelu smo izbrali kemijski mehanizem SAPRC99 (6), ki vključuje 114 različnih kemijskih spojin oziroma skupin spojin, od tega 16 radikalov, 22 skupin delcev in 217 kemijskih reakcij.

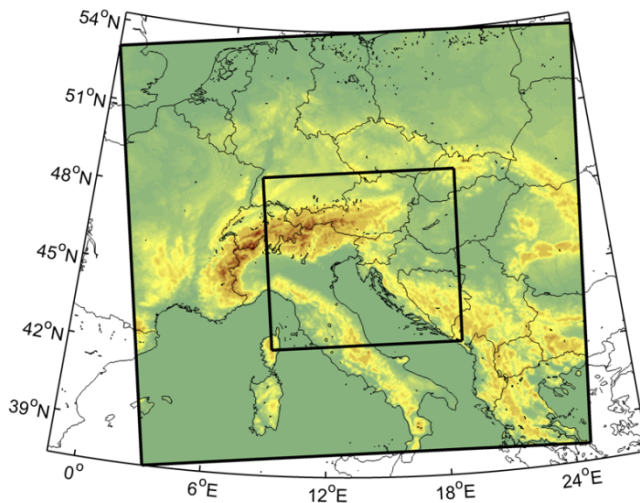
Izhodni podatki iz modela so polja ravni in depozicij za posamezna onesnaževala (dušikov oksid (NO), dušikov dioksid (NO₂), žveplov dioksid (SO₂), ogljikov monoksid (CO), amonijak (NH₃), ozon (O₃), trdni delci z aerodinamskim premerom do 10 μm (PM₁₀) in 2,5 μm (PM_{2,5}) itd.). Poenostavljeno shemo modelskega sistema prikazuje Slika 1.



Slika 1: Struktura modelskega sistema ALADIN/SI- CAMx.

2.2.1 Računsko območje

Izbira računskega območja ter prostorske in časovne ločljivosti modela CAMx je neposredno odvisna od nastavitve operativnega meteorološkega modela ALADIN/SI, hkrati pa je pogojena s časovno zahtevnostjo računskih procesov. V ta namen smo uporabili postopek gnezdenja, v katerem imamo dve računski območji (Slika 2). Zunanje računsko območje sestavlja 135×135 računskih celic z ločljivostjo 13,2 km. Horizontalna ločljivost notranjega (gnezdenega) računskega območja z 185×167 računskimi celicami je $4,4 \times 4,4$ km in je enaka ločljivosti operativnega modela ALADIN/SI. Modelske točke v notranjem računskem območju modela CAMx sovpadajo z modelskimi točkami konfiguracije modela ALADIN/SI, medtem ko v zunanjem računskem območju modela CAMx točke sovpadajo z vsako tretjo točko modela ALADIN/SI. Notranje računsko območje namenoma vključuje tudi večino industrializirane Padske nižine, ki lahko ob določenih vremenskih razmerah s svojimi izpusti znatno poveča količino nekaterih primarnih onesnaževal in posledično tudi sekundarnih onesnaževal (npr. ozon) v Sloveniji. Modelski nivoji po vertikali se ujemajo z računskimi nivoji v modelu ALADIN/SI, vendar za zagon uporabimo le 67 od skupno 87 nivojev v modelu ALADIN/SI. Razlog za to je zanemarljiv vpliv najvišjih plasti ozračja na izračun ravni onesnaževal pri tleh.



Slika 2: Območje modeliranja v sedanjí konfiguraciji modelskega sistema ALADIN-CAMx. Prikazano je tudi gnezdeno računsko območje.

2.2.2 Izpusti

Poleg meteoroloških polj so izpusti iz različnih virov onesnaževanja zunanjega zraaka najpomembnejši vhodni podatki modela CAMx. Glede na izvor jih delimo na antropogene in biogene, glede na način oddajanja onesnaževal v ozračje pa na točkovne in ploskovne izpuste. Polja antropogenih izpustov posameznih onesnaževal (NO_x , CO, hlapne organske spojine razen metana (angl. nonmethan volatile organic compounds - NMVOC), NH_3 , SO_2 , metan (CH_4), PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$) smo v okviru modelskega sistema ALADIN/SI-CAMx pripravili ločeno za območje Slovenije in za druge evropske države. Za območje Slovenije smo v izračunih antropogenih izpustov uporabili podatke o letnih vrednostih za leto 2011 pripravljenih na ARSO. Za območje izven Slovenije smo podatke o letnih izpustih za leto 2009 pridobili v okviru projekta MACC-II (Monitoring Atmospheric Composition and Climate

– Interim Implementation) (7). Prostorska ločljivost podatkov o letnih izpustih za območje Slovenije je $100\text{ m} \times 100\text{ m}$, za območja izven Slovenije pa $1/8^\circ \times 1/16^\circ$.

Letne vrednosti antropogenih izpustov smo preračunali v urne vrednosti točkovnih in ploskovnih virov izpustov za NO_x , CO , NMVOC , NH_3 , SO_2 , CH_4 , PM_{10} in $\text{PM}_{2.5}$. Izračune smo naredili s pomočjo ocenjenih letnih, tedenskih in dnevnih časovnih potekov izpustov. Poleg tega smo iz skupnih izpustov NMVOC in trdnih delcev s pomočjo pretvorbenih preglednic ločeno po različnih virih izpustov razdelili izpuste v posamezne podskupine med seboj podobnih organskih spojin oziroma trdnih delcev, v skladu z zahtevami modela CAMx.

Za izračun biogenih izpustov uporabljamo emisijski model SMOKE (Sparse Matrix Operator Kernel Emissions) (8), ki je prav tako sklopljen z meteorološkim modelom ALADIN/SI. Z mehanizmom BEIS3 znotraj modela SMOKE simuliramo vrednosti emisij hlapnih organskih spojin iz vegetacije ter izpuste NO iz tal.

2.3 Združevanje podatkov

Združevanje podatkov štejemo v eno izmed tehnik asimilacije podatkov (9). V primerih spremljanja onesnaženja zraka se pogosto uporablja za združevanje rezultatov numeričnih modelov na eni strani in točkovnih meritev na drugi strani (10). Absolutne vrednosti onesnaževal, ki jih izračunamo z numeričnim modelom, so odvisne od prostorske ločljivosti numeričnega modela in njegovih ostalih lastnosti, predvsem od podrobnosti opisov dinamičnih, fizikalnih in kemičnih procesov v atmosferi ter od kakovosti vhodnih podatkov (evidence izpustov). Ravno nasprotno nam meritve dajo zelo natančne vrednosti onesnaževal v določeni točki (obremenjene le z mersko napako), vendar pa zaradi omejene gostote merilnih mest ne moremo ugotoviti, kakšne so vrednosti izven merilnih mest. S tehniko združevanja podatkov izkoristimo prednosti obeh omenjenih virov podatkov, da kot rezultat dobimo čim boljšo oceno prostorske porazdelitve onesnaževal (10).

Za spremljanje prostorske porazdelitve vrednosti onesnaževal v realnem ali skoraj realnem času so v literaturi najbolj pogosto omenjeni različni statistični (11), geostatistični (10, 12, 13), v zadnjem času tudi Bayesovi pristopi (14, 15). Osnovni pogoj za uporabo statističnih tehnik je zadostna količina podatkov (16), kar pomeni, da potrebujemo dovolj gosto mrežo točkovnih podatkov. V našem primeru je tudi zaradi relativno majhne površine obravnavanega območja (Slovenija z okolico) gostota točkovnih meritev majhna (Tabela 1). Iz tega razloga smo bili pri izboru metodologije omejeni. Odločili smo se za geostatistični pristop kriging z zunanjim vplivom (16) z izjemo izračuna prostorske porazdelitve vrednosti delcev $\text{PM}_{2.5}$, kjer smo zaradi zelo omejenega števila merilnih točk izdelali enostavni empirični matematični model.

Tabela 1: Število merilnih mest z meritvami vrednosti za posamezno onesnaževalo. Mesečne vrednosti za posamezno merilno mesto so podane v Poročilu Agencije Republike Slovenije za okolje (17).

Onesnaževalo	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	NO _x
število merilnih mest	21	4	17	16

Legenda: PM₁₀ - trdni delci z aerodinamskim premerom do 10 μm, PM_{2,5} - trdni delci z aerodinamskim premerom do 2,5 μm, NO₂ - dušikov dioksid, NO_x - dušikovi oksidi.

2.3.1 Geostatistični pristop združevanja podatkov

Za izračun povprečne mesečne vrednosti onesnaževala v pravilni mreži smo uporabili metodo kriginga z zunanjim vplivom (16). Kriging je geostatistični algoritem, kjer vrednost spremenljivke (interpolirano vrednost) $\hat{Z}(\mathbf{s}_0)$ v poljubni mrežni točki (\mathbf{s}_0) izračunamo kot linearno kombinacijo meritev $Z(\mathbf{s}_i)$ na okoliških merilnih mestih (\mathbf{s}_i):

$$\hat{Z}(\mathbf{s}_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(\mathbf{s}_i)$$

Koeficiente te linearne kombinacije izračunamo tako, da zahtevamo, da je povprečje kvadrata razlik med izmerjenimi in interpoliranimi vrednostmi v točkah meritev (varianca kriginga σ^2) najmanjše:

$$\sigma^2 = E\left(Z(\mathbf{s}_0) - \hat{Z}(\mathbf{s}_0)\right)^2$$

Poleg te zahteve pri izračunu koeficientov linearne kombinacije upoštevamo informacijo o prostorski povezanosti spremenljivke, kar opišemo s funkcijo variogram. V našem primeru predpostavimo, da se povprečje spremenljivke na obravnavanem območju spreminja, informacijo o tem spreminjanju pa dobimo iz polja numeričnega modela. To je ena od pojasnjevalnih spremenljivk determinističnega dela geostatističnega modela. Povprečje obravnavane spremenljivke je lahko odvisno tudi od drugih pojasnjevalnih spremenljivk, kot je npr. nadmorska višina. V takem primeru povprečje izrazimo kot linearno kombinacijo pojasnjevalnih spremenljivk in iščemo prostorsko korelacijo le za ostanke te funkcije. To metodo imenujemo kriging z zunanjim vplivom (angl. kriging with external drift). Matematični model za slučajni proces $Z(\mathbf{s})$ v tem primeru zapišemo v obliki:

$$Z(\mathbf{s}) = \mu(\mathbf{s}) + \delta(\mathbf{s}) = \sum_{j=1}^{p+1} f_{j-1}(\mathbf{s})\beta_{j-1} + \delta(\mathbf{s}), \quad \mathbf{s} \in D$$

$\mu(\mathbf{s})$ je povprečje slučajnega procesa in je linearna kombinacija vnaprej izbranih pojasnjevalnih spremenljivk $\{f_0(\mathbf{s}), \dots, f_p(\mathbf{s})\}$, $\mathbf{s} \in D$, β_{j-1} pa so koeficienti linearne kombinacije. $\delta(\mathbf{s})$ je notranje stacionaren slučajni proces, ki ga opišemo z variogramom $2\gamma(\mathbf{r})$. V našem primeru smo deterministični del modela sestavili z regresijsko analizo,

kjer smo za vsak mesec posebej analizirali statistično značilno odvisnost izmerjene vrednosti onesnaževala od modelske vrednosti v dani točki, nadmorske višine in geografskih koordinat. V linearni model so bile vključene le tiste pojasnjevalne spremenljivke, ki so statistično značilno pojasnjevale prostorsko spremenljivost mesečne povprečne vrednosti onesnaževala. Za ostanke determinističnega modela smo nato izračunali empirični variogram (16):

$$2\hat{\gamma}(\mathbf{r}) = \frac{1}{|N(\mathbf{r})|} \sum_{N(\mathbf{r})} (Z(\mathbf{s}_i) - Z(\mathbf{s}_j))^2, \quad \forall \mathbf{r} \in R^2$$

Razlike med vsemi pari meritev $(Z(\mathbf{s}_i) - Z(\mathbf{s}_j))$ razdelimo v razrede glede na velikost razdalje med lokacijama. Za vsak razred razdalj $N(\mathbf{r}) = \{(\mathbf{s}_i, \mathbf{s}_j) : |\mathbf{s}_i - \mathbf{s}_j| = |\pm \mathbf{r}|\}$ izračunamo oceno za variogram. $|N(\mathbf{r})|$ je število parov lokacij v razredu $N(\mathbf{r})$, $|\pm \mathbf{r}|$ pa je evklidska norma v prostoru R^2 .

V naslednjem koraku smo iskali teoretično krivuljo, ki se je po metodi uteženih najmanjših kvadratov najbolje prilagajala empiričnemu variogramu. S pomočjo modela variograma in koeficientov determinističnega (regresijskega) modela smo nato izračunali uteži λ_i linearne kombinacije meritev.

2.3.2 Matematični pristop združevanja podatkov

Meritve vrednosti delcev $PM_{2,5}$ so bile izvajane le v štirih točkah, kar je občutno premalo za združevanje podatkov z geostatistično ali katero drugo statistično metodo. Tri lokacije meritev so bile na mestih v bližini virov onesnaženja (Ljubljana Biotehniška fakulteta, Maribor center in Maribor Vrbanski plato) s pričakovanimi visokimi vrednostmi $PM_{2,5}$, ena postaja pa je bila na lokaciji, primerni za meritve onesnaženosti (Iskrba).

Vrednosti delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ so povezane, saj izhajajo iz istih virov onesnaženja in odvisnost njihove vrednosti od razmer v ozračju je podobna za obe onesnaževali (17, 18). Močno povezavo med vrednostmi delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ smo izkoristili pri združevanju modelskih rezultatov z meritvami za vrednosti $PM_{2,5}$. Za vse štiri točke (i) z meritvami vrednosti $PM_{2,5}$ smo poiskali razmerje (K_i) med povprečno mesečno vrednostjo $PM_{2,5}$ ($C_{2,5}^i$) in povprečno mesečno vrednostjo PM_{10} (C_{10}^i):

$$K_i = \frac{C_{2,5}^i}{C_{10}^i}.$$

V primeru, da so si bila razmerja med postajami podobna:

$$|K_i - K_j| < 0,05 \quad \forall i \in [1..4]$$

smo za posamezni mesec izračunali povprečno razmerje K:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^4 K_i}{4}$$

S pomočjo tega razmerja smo nato ocenili vrednosti delcev $PM_{2,5}$ na vseh lokacijah z meritvami vrednosti delcev PM_{10} :

$$C_{2,5}^i = K \cdot C_{10}^i \quad i - \text{postaje z meritvami vrednosti } PM_{10}$$

V primeru, ko so bile razlike med razmerji med merilnimi mesti večje kot 0,05, smo z metodo najmanjših kvadratov poskušali linearno odvisnost razmerja (K) od vrednosti delcev PM_{10} (C_{10}):

$$K = k \cdot C_i + n$$

To linearno zvezo smo nato uporabili za izračun ocene vrednosti delcev $PM_{2,5}$ na postajah z meritvami vrednosti delcev PM_{10} . V obeh primerih smo poleg izmerjenih vrednosti delcev $PM_{2,5}$ dobili ocene vrednosti $PM_{2,5}$ na dodatnih 17 lokacijah. Združevanje podatkov smo nato nadaljevali z geostatističnim pristopom.

V tem primeru je potrebno poudariti, da smo povezavo med vrednostmi delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ uporabili samo v točkah meritev in smo v koraku z geostatističnim pristopom še vedno upoštevali specifične modelske rezultate za vrednosti delcev $PM_{2,5}$. Kljub dobri povezavi med delci je dinamika porazdeljevanja delcev v prostoru kljub temu specifična glede na njihovo velikost in to smo pri združevanju upoštevali.

3 REZULTATI

3.1 Negotovost ocenjenih vrednosti

Vzorec meritev vrednosti je bil za vsa onesnaževala zelo majhen, zato je bila za postavitev geostatističnega modela vsaka meritev izjemno pomembna. Neodvisnega vzorca za preverjanje kvalitete rezultatov zato nismo mogli oblikovati. Kvaliteto rezultatov smo preverili z navzkrižnim preverjanjem, kjer smo geostatistični model za združevanje podatkov opredelili na podlagi vseh merilnih točk, nato pa smo jih izmenično izločali in v izločeni točki ocenili vrednost z geostatističnim modelom. Ujemanje merjenih in modeliranih vrednosti v merilnih točkah smo ocenili s Pearsonovim korelacijskim koeficientom (r). Poleg korelacijskega koeficienta za navzkrižno preverjanje smo za deterministični del modela ocenili tudi determinacijski koeficient (R^2), ki pove, kolikšen delež prostorske spremenljivosti vrednosti posameznega onesnaževala smo pojasnili z determinističnim linearnim modelom (modelski rezultati, nadmorska višina in geografske koordinate).

Navzkrižno preverjanje rezultatov združevanja meritev z modelskimi rezultati kaže, da so ocenjene vrednosti (končna polja mesečnih vrednosti) dovolj zanesljiva, saj je za večino primerov korelacijski koeficient med izračunanimi in izmerjenimi vrednostmi višji od 0,5. Pri tem moramo upoštevati dejstvo, da je bilo število merilnih točk izjemno majhno in nam rezultati navzkrižnega preverjanja večinoma precenijo negotovost rezultatov, saj je v teh rezultatih zajeta tudi reprezentativnost posameznih merilnih točk.

Rezultati združevanja podatkov za vrednosti delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ so bistveno boljši za

mesece v hladni polovici leta (r med 0,70 in 0,89), ko je zaradi visokih vrednosti spremljanje vrednosti bolj pomembno, kot v topli polovici leta (r med 0,17 in 0,54). Slabši rezultati za tople mesece so posledica manjše prostorske spremenljivosti vrednosti, zato je s statističnim modelom težje zaznati razlike med območji z visokimi vrednostmi od ozadja. V povprečju so rezultati združevanja najboljši za NO_2 , kjer je najnižji korelacijski koeficient 0,49 za julij. Rezultati za vrednosti NO_x so le nekoliko slabši. Tudi v primeru dušikovih oksidov so rezultati združevanja podatkov boljše za hladne mesece kot za tople, vendar razlika med meseci ni tako velika kot v primeru delcev. Pomembno za združevanje podatkov vseh onesnaževal je, da je zelo velik del prostorske spremenljivosti pojasnjen z linearnim (determinističnim) modelom, kjer upoštevamo povezanost vrednosti z rezultati numeričnega modela. Koeficient determinacije za deterministični del modela je za vrednosti delcev v večini primerov višji od 40 %, za vrednosti dušikovih oksidov pa več kot 50 % (Tabela 2). To pomeni, da se v končnih rezultatih v veliki meri odražajo rezultati numeričnega modela.

Tabela 2: Rezultati determinacijskega koeficienta (R^2) determinističnega dela modela in korelacijskega koeficienta navzkrižnega preverjanja (r) za geostatistične modele, ki so oblikovani za vsak mesec posebej, po opazovanih onesnaževalih.

onesnaževalo	PM_{10}		$\text{PM}_{2,5}$		NO_2		NO_x	
	R^2 (%)	r	R^2 (%)	r	R^2 (%)	r	R^2 (%)	r
januar	64	0,74	62	0,76	67	0,65	66	0,63
februar	69	0,75	65	0,72	64	0,61	63	0,54
marec	55	0,72	56	0,75	63	0,55	61	0,55
april	48	0,50	44	0,46	58	0,55	53	0,46
maj	40	0,40	40	0,45	60	0,52	52	0,41
junij	35	0,41	31	0,42	60	0,50	58	0,43
julij	42	0,50	39	0,54	64	0,49	53	0,39
avgust	26	0,17	32	0,29	69	0,58	59	0,45
september	54	0,70	56	0,72	72	0,65	62	0,49
oktober	65	0,82	64	0,84	75	0,70	68	0,57
november	67	0,89	67	0,88	73	0,72	67	0,63
december	53	0,64	62	0,70	74	0,71	75	0,69

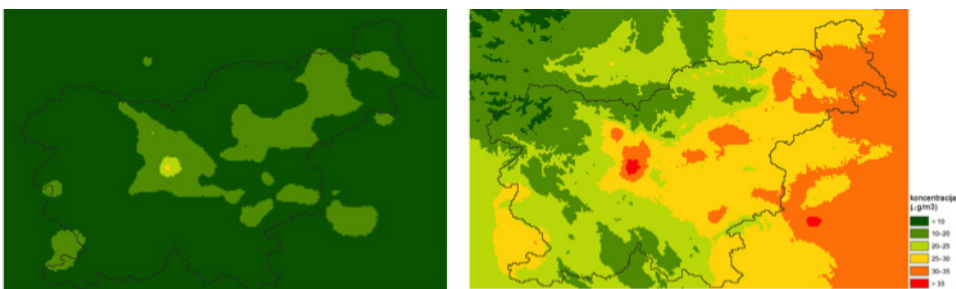
Legenda: PM_{10} - trdni delci z aerodinamskim premerom do 10 μm , $\text{PM}_{2,5}$ - trdni delci z aerodinamskim premerom do 2,5 μm , NO_2 - dušikov dioksid, NO_x - dušikovi oksidi; r - Pearsonov korelacijski koeficient; R^2 - determinacijski koeficient.

3.2 Primerjava rezultatov numeričnega modeliranja in združevanja podatkov

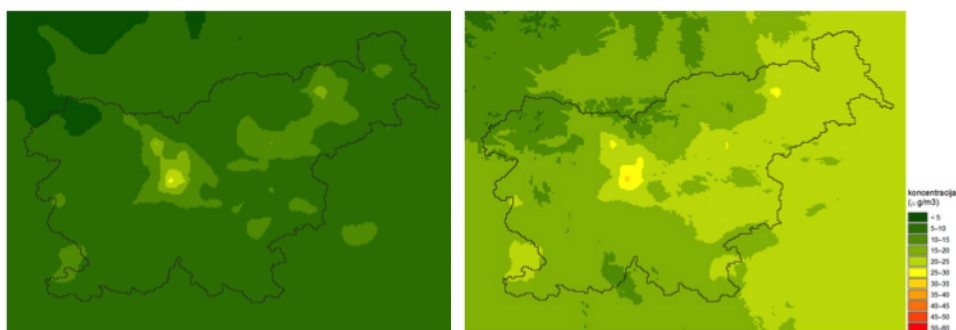
Primerjava prostorske porazdelitve vrednosti onesnaževal, ki jih dobimo z numeričnim modeliranjem in združevanjem podatkov pokaže, da s korakom združevanja podatkov izboljšamo dve lastnosti prostorskih polj:

1. Absolutna vrednost je v končnem polju primerljiva z meritvami.
2. Izboljša se ločljivost prostorskih polj – po koraku združevanja podatkov iz prostorske porazdelitve vrednosti onesnaževal lahko razločimo več podrobnosti, ki so povezane tudi s terenom.

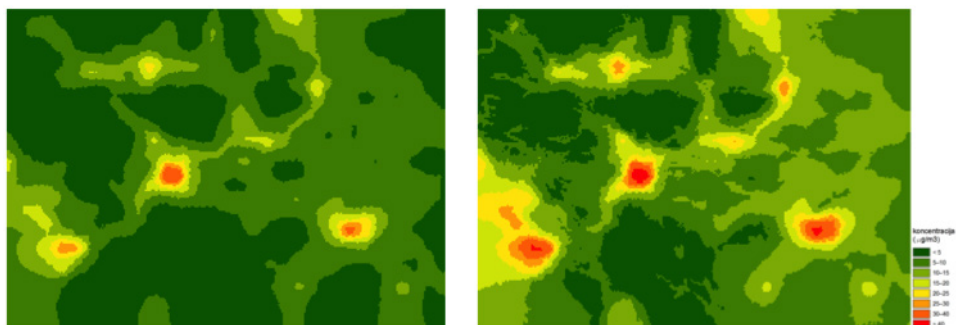
Rezultati prostorske porazdelitve za letne povprečne vrednosti PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, NO_2 in NO_x izračunane z numeričnim modelom in po postopku združevanja podatkov so prikazani na Slikah od 3 do 6.



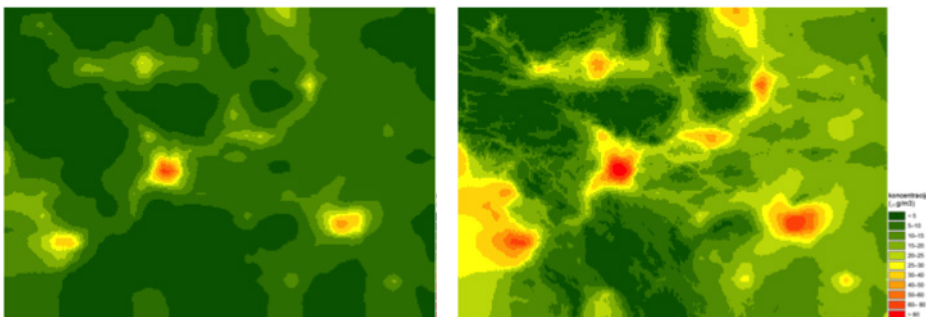
Slika 3: Prostorska porazdelitev letne povprečne vrednosti trdnih delcev z aerodinamskim premerom do $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}) izračunane z numeričnim modelom (levo) in po postopku združevanja podatkov (desno).



Slika 4: Prostorska porazdelitev letne povprečne vrednosti trdnih delcev z aerodinamskim premerom do $2,5\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) izračunane z numeričnim modelom (levo) in po postopku združevanja podatkov (desno).



Slika 5: Prostorska porazdelitev letne povprečne vrednosti dušikovega dioksida (NO_2) izračunane z numeričnim modelom (levo) in po postopku združevanja podatkov (desno).



Slika 6: Prostorska porazdelitev letne povprečne vrednosti dušikovega oksida (NO_x) izračunane z numeričnim modelom (levo) in po postopku združevanja podatkov (desno).

4 RAZPRAVA

Z opisanim postopkom smo v Sloveniji prvič analizirali prostorsko porazdelitev vrednosti onesnaževal v zunanjem zraku v pravilni mreži za celotno območje Slovenije. V preteklosti zaradi zelo majhne gostote merilnih točk vrednosti onesnaževal prostorska analiza za celo državo ni bila mogoča. Avtorji so predvsem s pomočjo numeričnih simulacij analizirali porazdelitev onesnaževal v zunanjem zraku na manjših omejenih območjih (20). Meritve so v teh primerih večinoma služile za preverjanje rezultatov. Z razvojem numeričnega modela, ki simulira fizikalne in kemijske procese v ozračju, smo dobili dobro oceno za prostorsko porazdelitev onesnaževal glede na atmosferske pogoje in teren. Zaradi precej majhne ločljivosti numeričnega modela ($4,4 \times 4,4$ km) so njegovi rezultati za območje Slovenije, ki ima izjemno kompleksen teren, še vedno pomanjkljivi. Izračuni odražajo grobo prostorsko porazdelitev onesnaževal in nakazujejo območja z največjim onesnaženjem, ne odražajo pa podrobnosti, ki so povezane s terenskimi oblikami v boljši ločljivosti. Zaradi zelo velike modelske točke ($4,4 \times 4,4$ km) so tudi na območjih z najvišjimi vrednostmi onesnaževala dobro premešana, zato so modelske vrednosti tu precej podcenjene. Z združevanjem modelskih rezultatov z meritvami vrednosti opazovanih onesnaževal v zunanjem zraku smo obe pomanjkljivosti numeričnih modelov nekoliko popravili.

Ena od težav, s katero smo se srečevali v postopku združevanja podatkov, je bilo majhno število merilnih mest. Predvsem nam je za vsa onesnaževala primanjkovalo merilnih mest z meritvami ozadja. Glede na rezultate numeričnega modela so tudi vrednosti ozadja odvisne od terena in vplivov iz okoliških regij, česar pa z eno samo merilno točko pri združevanju podatkov nismo uspeli pokriti.

Poleg tega, da majhna gostota merilnih točk pomeni šibkost statističnih modelov, ki smo jih uporabili pri združevanju podatkov, je slednje tudi nemogoče oceniti pri tako majhnem številu merilnih točk. Rezultati preverjanja izračunov so tako le grobe ocene negotovosti mesečnih vrednosti onesnaževal v zunanjem zraku.

Eden od meril ustreznosti rezultatov je tudi primerjava s prostorskimi polji onesnaževal v zunanjem zraku na državni meji. Prostorska polja vrednosti onesnaževal smo skupaj z nekaterimi sosednjimi državami v okviru FAIRMODE (Forum for air quality modelling in Europe) prispevali v skupno bazo. Prostorska polja letnih povprečnih vrednosti za PM_{10} in NO_2 smo primerjali z letnimi vrednostmi za isto onesnaževalo na meji s Hrvaško (za leto 2011), z Italijo (za leto 2012) in na meji z Avstrijo (leto 2010). Zaradi testne narave projekta

polj sosednih držav na tem mestu ne moremo objaviti.

Primerjava polj NO_2 lepo pokaže ujemanje vrednosti na mejah z Italijo in Avstrijo, nekoliko manj konsistentna je situacija na naši meji s Hrvaško, predvsem zaradi slabše ločljivosti njihovega regionalnega modela in domnevno slabše emisijske baze (potek glavnih cest namreč sploh ni razviden).

Primerjava vrednosti PM_{10} kaže na previsoke vrednosti na vzhodnem delu Slovenije, ki so posledica pomanjkanja merilnih postaj na tem območju in ne odražajo realnega stanja. V Ljubljani in okolici so vrednosti PM_{10} primerljive ali pa celo višje v primerjavi z industrializiranim delom Padske nižine, kar gre pripisati dejstvu, da je Slovenija modelske rezultate (ki so ponavadi podcenjeni) nadgradila z meritvami.

5 SKLEP

Ugotavljamo, da je opisana metodologija dober pristop za združevanje modelskih in merjenih vrednosti onesnaževal v zunanjem zraku. Seveda pa smo v postopku ugotovili nekatere pomanjkljivosti, ki pa jih je v prihodnosti mogoče vsaj delno odpraviti. Glavne smernice pri nadaljnjem delu so:

- izboljšana prostorska ločljivost modelskega sistema ALADIN/SI-CAMx tako v horizontalni kot v vertikalni smeri (zgostitev vertikalnih nivojev), s katero bomo lahko bolj natančno opisali tako meteorološke kot fotokemične pogoje, hkrati pa bo znotraj modela CAMx tudi bolj razvidna prostorska razgibanost baze izpustov.
- izboljšana baza izpustov tako za območje Slovenije kot tudi za območje Evrope (prehod iz MACC-II v MACC-III).
- nadgradnja sheme za izračun turbulentne difuzivnosti v okviru predpiprave vhodnih polj za model CAMx, s čimer se bo spremenila dinamika mešanja in redčenja v vertikalni smeri.
- postopno uvajanje in implementacija lokalnega oz. urbanega modela znotraj obstoječega modela CAMx, ki bi nam omogočal podrobnejši opis vetrovnega polja.
- izboljšanje postopka združevanja podatkov. Pri tem je ena od možnosti vpeljava dodatnih pojasnjevalnih spremenljivk v deterministični del geostatističnega modela. Ena od potencialno pomembnih spremenljivk je prostorska porazdelitev virov izpustov za posamezno onesnaževalo v dovolj veliki prostorski ločljivosti.
- vsekakor zelo pomemben korak pri izboljšanju pa je razširitev merilnih točk, kjer je ena od možnosti pridobitev podatkov iz merilnih mest drugih držav v bližini meje s Slovenijo. Predvsem je pomembno razširiti nabor merilnih mest z meritvami ozadja.

6 LITERATURA

1. Agencija Republike Slovenije za okolje (2015). Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2014. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje.
2. ENVIRON International Corporation (2015). CAMx Ozone Particulates TOxics User's Guide, Comprehensive Air Quality Model With Extensions Version 6.2. Novato, California.
3. Agencija RS za okolje. Produkti modela ALADIN/SI. <http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/aladin>. <1. 8. 2016>
4. National Aeronautics and Space Administration's (NASA) Earth Observing System (2013). TOMS - Total Ozone Monitoring Spectrometer. <http://eosps.nasa.gov/missions/total-ozone-mapping-spectrometer-earth-probe>. <1. 8. 2016>
5. The European centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). MACC reanalysis. <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/macc-reanalysis/levtype=ml>. <1. 8. 2016>
6. Carter WPL (2000). Documentation of the SAPRC-99 Chemical Mechanism for VOC Reactivity Assessment. Final Report to California Air Resources Board Contract No. 92-329, and 95-308.

- <http://www.cert.ucr.edu/~carter/absts.htm#saprc99>. <1. 8. 2016>
7. Kuenen JJP, Visschedijk AJH, Jozwicka M in sod. (2014). TNO-MACC_II emission inventory; a multi-year (2003–2009) consistent high-resolution European emission inventory for air quality modelling. *Atmos Chem Phys* 14: 10963–76.
 8. SMOKE. Community Modeling and Analysis System. <https://www.cmascenter.org/smoke/>. <1. 8. 2016>
 9. Lahoz W, Schneider P (2014). Data assimilation: making sense of Earth Observation. *Front Environ Sci* 2(16): 1–28.
 10. Schneider P, Castell N, Lahoz W (2015). Making sense of crowdsourced observations: Data fusion techniques for real-time mapping of urban air quality, Proceedings of ESA eo open science 2.0, Frascati, Italy.
 11. Berrocal VJ, Gelfand AE, Holland DM (2012). Space-time data fusion under error in computer model output: an application to modeling air quality. *Biometrics* 68(3): 837–48.
 12. Paci L, Bonafè G, Trivisano C (2016). Air Pollution Modeling and its Application XXIV: Dynamic Data Fusion Approach for Air Quality Assessment Part of the series Springer Proceedings in Complexity: 629–33.
 13. Liu Z, Le N, Zidek JV (2008). Combining measurements and physical model outputs for the spatial prediction of hourly ozone space-time fields. The University of British Columbia Department of Statistics Technical Report.
 14. Berrocal VJ, Gelfand AE, Holland DM (2010). A spatio-temporal downscaler for outputs from numerical models. *J Agric Biol Environ Stat* 15(2): 176–97.
 15. Fuentes M, Raftery AE (2005). Model evaluation and spatial interpolation by Bayesian combination of observations with outputs from numerical models. *Biometrics* 61: 36–45.
 16. Cressie NAC (1993). *Statistics for Spatial Data*. 2nd. New York: Wiley.
 17. Agencija republike Slovenije za okolje (2012). *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2011*. Ljubljana: Agencija republike Slovenije za okolje.
 18. Williams RJ, Suggs C, Rodes P in sod. (2000). Comparison of PM_{2.5} and PM₁₀ monitors. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 10(5): 497–505.
 19. Zhao CX, Wang YQ, Wang YJ in sod. (2014). Temporal and spatial distribution of PM_{2.5} and PM₁₀ pollution status and the correlation of particulate matters and meteorological factors during winter and spring in Beijing. *Huan Jing Ke Xue* 35(2): 418–27.
 20. Dolinar M. (ur.) (2014). *Vetrnica, glasilo Slovenskega meteorološkega društva*. (7).

POVEZANOST MED UMRLJIVOSTJO IN ONESNAŽENOSTJO ZUNANJEGA ZRAKA: EKOLOŠKA PROSTORSKA RAZISKAVA (LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS)

ASSOCIATION BETWEEN MORTALITY AND OUTDOOR AIR POLLUTION:
ECOLOGICAL SPATIAL STUDY (LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS)

Andreja Kukec, An Galičič, Tina Grča, Natalija Kranjec,
Lijana Zaletel-Kragelj, Ivan Eržen, Peter Otorepec

IZVLEČEK

Uvod: Svetovna zdravstvena organizacija je ocenila, da je leta 2012 zaradi onesnaženega zunanjega zraka umrlo 3,7 milijona ljudi, kar predstavlja 6,7 % vseh smrti. **Namen:** Oceniti prostorsko povezanost med umrljivostjo in onesnaženostjo zunanjega zraka na ravni občin v Sloveniji z upoštevanjem dejavnikov ozadja. **Metode:** Epidemiološka ekološka prostorska raziskava vpliva vrednosti trdnih delcev z aerodinamskim premerom do 10 μm (PM_{10}) in 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$), dušikovega dioksida (NO_2) ter dušikovih oksidov (NO_x) na umrljivost zaradi vseh naravnih vzrokov, bolezni obtočil, bolezni dihal, malignih neoplazem ter malignih neoplazem bronhija (sapnice) in pljuč, standardizirano na potencialne dejavnike ozadja, je bila izvedena s Poisson-ovo regresijsko analizo. **Rezultati in razprava:** Z multivariatnim modelom je bila ocenjena pozitivna statistično značilna prostorska povezanost med PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$ ter umrljivostjo zaradi vseh naravnih vzrokov, bolezni dihal, bolezni obtočil in malignih neoplazem, standardizirano na potencialne dejavnike ozadja. **Sklep:** Modelne vrednosti PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$ so prostorsko povezane z umrljivostjo.

Ključne besede: ekološka raziskava, prostorska povezanost, onesnaženost zunanjega zraka, umrljivost, Slovenija

ABSTRACT

Introduction: World Health Organization has assessed that in 2012 3.7 million people died of outdoor air pollution related causes, which presents 6.7 % of all deaths. **Aim:** Assessment of spatial association between mortality and outdoor air pollution at the municipality level in Slovenia with inclusion of potential confounders. **Methods:** Epidemiological ecological spatial study of the effect of particles with aerodynamic diameter 10 μm or less (PM_{10}) and 2.5 μm or less ($\text{PM}_{2,5}$), nitrogen dioxide (NO_2) and nitrogen oxides (NO_x) on mortality for all natural causes, cardiovascular diseases, respiratory diseases, malignant neoplasms, malignant neoplasms of bronchus and lungs, standardized on potential background factors was implemented with Poisson regression analysis. **Results and discussion:** Positive statistically significant spatial association with multivariate model was observed between PM_{10} and $\text{PM}_{2,5}$ and mortality for all natural causes, respiratory diseases, cardiovascular diseases and malignant neoplasms standardized on background factors. **Conclusion:** Modeled values of PM_{10} and $\text{PM}_{2,5}$ are spatially associated with mortality.

Key words: ecological study, spatial association, outdoor air pollution, mortality, Slovenia

1 UVOD

Glavni viri onesnaževal v zunanjem zraku v Evropski uniji (EU) so promet, energetska industrija, individualna kurišča, industrijski sektor, kmetijstvo in sektor gospodarjenja z odpadki (1). Iz poročila Kakovost zraka v Sloveniji za leto 2014 (2) izhaja, da so glavni vir trdnih delcev z aerodinamskim premerom do 10 μm (PM_{10}) in 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) v Sloveniji mala kurišča, in sicer v 62 % za PM_{10} in v 74 % za $\text{PM}_{2,5}$. Več kot polovico izpustov dušikovih oksidov (NO_x) v zunanjem zraku je v letu 2014 prispeval promet, hkrati pa je promet predstavljal tudi največji vir nastanka ozona (O_3) (2).

Onesnaženje zunanjega zraka predstavlja velik javnozdravstveni problem zaradi njegove razširjenosti in potencialnih škodljivih zdravstvenih učinkov (3). Svetovna zdravstvena organizacija (SZO) (4) je ocenila, da je leta 2012 zaradi onesnaženega zunanjega zraka umrlo 3,7 milijona ljudi, kar predstavlja 6,7 % vseh smrti. Onesnaženemu zunanjemu zraku lahko pripišemo 20 % smrti zaradi srčne in možganske kapi, 16 % zaradi pljučnega raka, 13 % zaradi okužb dihal in 11 % zaradi kronične obstruktivne pljučne bolezni (4).

Predlogi za zmanjšanje bremena onesnaženosti zunanjega zraka na zdravje prebivalstva za nekatere kazalnike zdravja, med katerimi je tudi umrljivost, so podani na podlagi dosedanjih raziskav povezovanja zdravstvenih in okoljskih podatkov (5). Za povezovanje zdravstvenih in okoljskih podatkov je SZO priporočila časovne in prostorske raziskave na populacijski ravni (6, 7). Vpliv onesnaženega zunanjega zraka na zdravje prebivalstva se pogosto ocenjuje z epidemiološkimi ekološkimi raziskavami, kjer je enota opazovanja populacija oziroma skupina ljudi (8). Prostorske raziskave tako primerjajo stopnjo opazovanih zdravstvenih izidov med opredeljenimi prostorskimi enotami v istem časovnem obdobju (9, 10). V Sloveniji sta bili do sedaj izvedeni dve ekološki prostorski raziskavi, obe na območju Zasavja (11, 12). Za območje celotne Slovenije prostorska raziskava še ni bila izvedena.

Namen naše raziskave je bil oceniti prostorsko povezanost med umrljivostjo zaradi opazovanih zdravstvenih izidov in onesnaženostjo zunanjega zraka v Sloveniji na ravni občin z upoštevanjem dejavnikov ozadja.

2 METODE

2.1 Vrsta raziskave

Za oceno povezanosti med umrljivostjo zaradi opazovanih zdravstvenih izidov in onesnaženostjo zunanjega zraka standardizirano na dejavnike ozadja smo uporabili epidemiološko ekološko prostorsko raziskavo. Podatki v raziskavi so bili pridobljeni v okviru evropskega projekta LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS (angl. Mediterranean Health Interview Surveys Studies: long term exposure to air pollution and health surveillance) (13).

2.2 Obdobje in območje opazovanja

Podatki o umrljivosti za opazovanimi zdravstvenimi izidi so bili pridobljeni za obdobje od 2010 do 2014. Modelirane letne povprečne vrednosti za opazovana onesnaževala na ravni občin so bile pridobljene za leto 2011.

Območje opazovanja je predstavljalo ozemlje Republike Slovenije (RS). Opazovane prostorske enote so predstavljale 210 občin na območju RS, ki so obstajale na dan 1.7.2010.

2.3 Opazovani zdravstveni izidi

Za oceno prostorske povezanosti med umrljivostjo in onesnaženostjo zunanjega zraka so bile za kazalnik umrljivost opazovane naslednje diagnoze po Mednarodni klasifikaciji bolezni in sorodnih zdravstvenih problemov za statistične namene (MKB-10) (14): vsi naravni vzroki (A00–R99), bolezni obtočil (I00–I99), bolezni dihal (J00–J99), maligne neoplazme (C00–C97) in maligne neoplazme bronhija (sapnice) ter pljuč (C34). Podatki za opazovane zdravstvene izide so bili za obdobje od 2010 do 2014 pridobljeni na Nacionalnem inštitutu za javno zdravje (NIJZ).

2.4 Opazovana onesnaževala v zunanjem zraku

Vrednosti opazovanih onesnaževal v zunanjem zraku so predstavljale modelirane povprečne letne vrednosti za leto 2011 na ravni občin. V analizo povezanosti med opazovanimi zdravstvenimi izidi so bila vključena naslednja onesnaževala: PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_2 in dušikovi oksidi (NO_x). Modelne vrednosti opazovanih onesnaževal so pripravili na Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO).

2.5 Dejavniki ozadja

Upoštevani dejavniki ozadja v multivariatni analizi povezanosti so bili: prevalenca nizke izobrazbe, kajenja (kadarkoli, trenutno in pasivno kajenje), debelosti, fizične ne-aktivnosti, uživanja alkohola, stopnje delovne aktivnosti in povprečnega mesečnega dohodka. Podatki o dejavniki ozadja so bili pridobljeni iz Popisa 2002 in Statističnega letopisa za leto 2013 s Statističnega urada Republike Slovenije (SURS) in iz raziskave Tvegana vedenja, povezana z zdravjem in nekatera zdravstvena stanja pri odraslih prebivalcih Slovenije iz leta 2012 s strani NIJZ. Dejavniki ozadja so natančneje opisani v prispevku Metodologija ocenjevanja vplivov onesnaženosti zunanjega zraka na zdravje: evropski projekt LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS v tem zborniku.

2.6 Analiza povezanosti

Opazovane zdravstvene izide v analizi povezanosti predstavljata standardizirana stopnja umrljivosti za obdobje od 2010 do 2014. Pojasnjevalne dejavnike v analizi povezanosti predstavljajo modelirane letne povprečne vrednosti PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_x in NO_2 v talnem nivoju za leto 2011. Dejavniki ozadja v analizi povezanosti predstavljajo: prevalenca nizke stopnje izobrazbe, kajenja kadarkoli, trenutnega kajenja, pasivnega kajenja, debelosti, fizične ne-aktivnost, uživanja alkohola, stopnje delovne aktivnosti in povprečnega mesečnega dohodka.

Za analizo povezanosti med opazovanimi zdravstvenimi izidi, pojasnjevalnimi dejavniki in dejavniki ozadja je bila uporabljena Poisson-ova regresijska analiza. Analiza povezanosti je bila izvedena z univariatnim in multivariatnim modelom povezanosti. Z univariatnimi modeli smo ocenili prostorsko povezanost med opazovanim zdravstvenim izidom in pojasnjevalnim dejavnikom brez in s prostorsko razporeditvijo slučajnih vplivov. Z multivariatnim modelom povezanosti smo ocenili prostorsko povezanost med opazovanim zdravstvenim izidom, pojasnjevalnim dejavnikom in dejavniki ozadja brez in s prostorsko razporeditvijo slučajnih vplivov.

Rezultate univariatne in multivariatne Poisson-ove regresijske analize smo prikazali tabelarično. Epidemiološka mera povezanosti relativno tveganje (RT) in 95 % interval

zaupanja predstavljata rezultat ocene povezanosti med opazovanimi pojavi. Rezultati modelov nam povedo, za koliko se spremeni RT, če se vrednost opazovanega onesnaževala poveča za eno svojo osnovno enoto ($1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Za analizo povezanosti je bil uporabljen statistični program R (Verzija 3.2.4).

3 REZULTATI

Rezultati univariatne analize so pokazali pozitivno in statistično značilno povezanost med onesnaženostjo zunanega zraka s trdnimi delci ter umrljivostjo za 5 let zaradi boleznih dihal, boleznih obtočil, malignih neoplazem in vseh naravnih vzrokov.

Rezultati multivariatne analize povezanosti so pokazali pozitivno in statistično značilno povezanost med onesnaženostjo zunanega zraka s trdnimi delci ter umrljivostjo za 5 let zaradi boleznih dihal, boleznih obtočil in vseh naravnih vzrokov.

Pozitivna, a ne statistično značilna povezanost je bila ugotovljena v multivariatni analizi za onesnaževali NO_2 in NO_x pri umrljivosti za 5 let zaradi vseh naravnih vzrokov, boleznih obtočil, boleznih dihal in malignih neoplazem.

Natančnejši rezultati so predstavljeni v Tabeli 1.

Tabela 1: Rezultati univariatne in multivariatne analize povezanosti med letnimi povprečnimi vrednostmi onesnaževal in umrljivostjo zaradi vseh naravnih vzrokov (MKB-10 A00–R99), boleznih obtočil (MKB-10 I00–I99), boleznih dihal (MKB-10 J00–J99), malignih neoplazem (MKB-10 C00–C97) in malignih neoplazem bronhija (sapnice) in pljuč (MKB-10 C34) za 5 let (obdobje 2010–2014) na ravni občin v Sloveniji.

OPAZOVANI ZDRAVSTVENI IZID	POJASNEVALNI DEJAVNIK (\uparrow 1 $\mu\text{m}/\text{m}^3$)	UNIVARIATNI MODEL				MULTIVARIATNI MODEL STANDARDIZIRAN NA DEJAVNIKE OZADJA*							
		brez prostorskih slučajnih vplivov		s prostorskimi slučajnimi vplivi		brez prostorskih slučajnih vplivov		s prostorskimi slučajnimi vplivi					
		RT	95 % IZ	RT	95 % IZ	RT	95 % IZ	RT	95 % IZ				
vsi naravni vzroki	p. letna vred. PM_{10}	1,013	1,007	1,019	0,998	0,989	1,007	1,009	1,004	1,015	1,009	1,003	1,015
	p. letna vred. $\text{PM}_{2,5}$	1,017	1,005	1,029	0,993	0,977	1,007	1,016	1,005	1,026	1,014	1,002	1,026
	p. letna vred. NO_2	0,997	0,991	1,003	0,994	0,989	1,000	1,004	0,998	1,009	1,002	0,996	1,008
	p. letna vred. NO_x	0,998	0,995	1,001	0,997	0,994	1,000	1,002	0,999	1,005	1,001	0,998	1,004
boleznih obtočil	p. letna vred. PM_{10}	1,014	1,007	1,022	0,992	0,981	1,003	1,012	1,005	1,018	1,009	0,999	1,018
	p. letna vred. $\text{PM}_{2,5}$	1,017	1,003	1,031	0,983	0,965	1,001	1,019	1,006	1,032	1,011	0,991	1,028
	p. letna vred. NO_2	0,993	0,987	1,000	0,990	0,984	0,998	1,004	0,997	1,011	0,999	0,992	1,007
	p. letna vred. NO_x	0,996	0,992	1,000	0,995	0,991	0,998	1,002	0,998	1,006	0,999	0,995	1,003
boleznih dihal	p. letna vred. PM_{10}	1,017	1,004	1,031	1,011	0,990	1,029	1,014	1,000	1,028	1,014	1,000	1,028
	p. letna vred. $\text{PM}_{2,5}$	1,027	1,001	1,053	1,012	0,976	1,046	1,026	0,999	1,054	1,026	0,999	1,054
	p. letna vred. NO_2	1,002	0,990	1,015	1,000	0,987	1,013	1,011	0,997	1,025	1,010	0,997	1,025
	p. letna vred. NO_x	1,001	0,994	1,008	0,999	0,992	1,006	1,005	0,998	1,013	1,005	0,998	1,013
maligne neoplazme	p. letna vred. PM_{10}	1,005	1,000	1,009	1,004	1,000	1,009	1,003	0,998	1,007	1,003	0,998	1,007
	p. letna vred. $\text{PM}_{2,5}$	1,006	0,998	1,014	1,005	0,996	1,014	1,004	0,996	1,012	1,004	0,996	1,012
	p. letna vred. NO_2	1,000	0,996	1,004	1,000	0,996	1,004	1,001	0,997	1,005	1,001	0,997	1,005
	p. letna vred. NO_x	1,000	0,998	1,002	1,000	0,998	1,002	1,000	0,998	1,003	1,000	0,998	1,003
maligne neoplazme bronhija in pljuč	p. letna vred. PM_{10}	0,991	0,982	0,999	0,991	0,982	0,999	0,989	0,981	0,996	0,989	0,981	0,997
	p. letna vred. $\text{PM}_{2,5}$	0,982	0,967	0,998	0,982	0,967	0,998	0,977	0,963	0,991	0,977	0,963	0,991
	p. letna vred. NO_2	0,996	0,989	1,004	0,996	0,989	1,004	0,989	0,981	0,996	0,989	0,981	0,996
	p. letna vred. NO_x	0,998	0,994	1,002	0,998	0,994	1,002	0,994	0,990	0,998	0,994	0,990	0,998

Legenda: PM_{10} - delci z aerodinamskim premerom do 10 μm ; $\text{PM}_{2,5}$ - delci z aerodinamskim premerom do 2,5 μm ; NO_2 - dušikov dioksid; NO_x - dušikovi oksidi; RT - relativno tveganje; IZ - interval zaupanja; p. - povprečje; vred. - vrednost; **kreppko** - biološka smiselnost (smer povezanosti je biološko sprejemljiva) in statistično značilna povezanost pri $p \leq 0,05$; *Dejavniki ozadja: prevalenca nizke stopnje izobrazbe, kajenja kadarkoli, trenutnega kajenja, pasivnega kajenja, debelosti, fizične ne-aktivnosti, uživanja alkohola, aktivne populacije in povprečnega mesečnega dohodka.

4 RAZPRAVA

Najpomembnejši rezultati multivariatne analize povezanosti, standardizirane na dejavnike ozadja, so pokazali pozitivno in statistično značilno povezanost med modelirano povprečno letno vrednostjo PM_{10} in umrljivostjo zaradi bolezni dihal, bolezni obtočil ter vseh naravnih vzrokov. Podobno kot v naši raziskavi so vpliv PM_{10} na umrljivost zaradi vseh vzrokov ocenili tudi Leem in sodelavci (15). Ugotovili so pozitivno in statistično značilno povezanost med umrljivostjo zaradi vseh vzrokov pri odraslih ob zvišanju vrednosti PM_{10} za $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (15). Prav tako so Maheswaran in sodelavci (16) ocenili pozitivno in statistično značilno povezanost med umrljivostjo zaradi cerebrovaskularnih bolezni in visokimi vrednostmi (20 % najvišjih vrednosti) PM_{10} v zunanjem zraku, standardizirano na spol, starost, socialno prikrajšanost in kajenje. Medtem ko so Maheswaran in sodelavci (17) ocenili, da je povezanost med umrljivostjo zaradi ishemičnih bolezni in povišanimi vrednostmi (60 % najvišjih vrednosti) PM_{10} v zunanjem zraku, standardizirano na spol, starost, socialno prikrajšanost in kajenje, pozitivna, a ne statistično značilna.

Rezultati naše raziskave so pokazali tudi pozitivno in statistično značilno povezanost med onesnaženostjo zunanjega zraka s $PM_{2,5}$ in umrljivostjo zaradi bolezni obtočil in vseh naravnih vzrokov. Prav tako so pozitivno in statistično značilno povezanost med umrljivostjo zaradi vseh naravnih vzrokov in bolezni obtočil ter povišanjem vrednosti $PM_{2,5}$ za $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ocenili tudi Choi in sodelavci (18). Orru in sodelavci (19) so ocenili, da je v Talinu zaradi onesnaženosti zunanjega zraka s $PM_{2,5}$ pričakovana življenjska doba ob rojstvu krajša za povprečno 0,64 leta.

V naši raziskavi se je pozitivna povezanost, vendar ne statistično značilna, pokazala tudi pri multivariatni analizi med modeliranima povprečnima letnima vrednostima za NO_2 in NO_x ter umrljivostjo zaradi vseh naravnih vzrokov in bolezni dihal. Povezanost med NO_x in NO_2 ter nekaterimi zdravstvenimi izidi so ocenili tudi Scoggins in sodelavci (20), Maheswaran in sodelavci (17) ter Lobdell in sodelavci (21). Scoggins in sodelavci (20) so ocenili, da se pri zvišanju letne povprečne vrednosti NO_2 za $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ poveča umrljivost brez zunanjih vzrokov za 1,3 % in umrljivost zaradi bolezni obtočil ter dihal za 1,8 %. Maheswaran in sodelavci (17) so ocenili, da je tveganje za umrljivost zaradi koronarne srčne bolezni za 15 % višje na območjih z visokimi vrednostmi (20 % najvišjih vrednosti) NO_x v zunanjem zraku, standardizirano na spol, starost, socialno prikrajšanost in kajenje. Podobno so Lobdell in sodelavci (21) s projekcijskimi modeli ocenili, da bi predvideno znižanje NO_x za 10 % do 60 % glede na vrednosti onesnaževal iz lokalnih virov v obdobju od 2001 do 2010, statistično značilno prispevalo k znižanju umrljivost zaradi vseh vzrokov.

4.1 Omejitve in prednosti raziskave

Glavne omejitve naše raziskave se kažejo v kakovosti in dostopnosti zdravstvenih in okoljskih podatkov. Zdravstveni podatki so bili pridobljeni v združeni obliki na ravni občin, kar predstavlja omejitev v prostorski ločljivosti v nadaljnjem povezovanju z okoljskimi podatki. Kljub združeni obliki, so bili zdravstveni podatki kakovostno ustrezni. Vrednosti onesnaževal v zunanjem zraku so bile pridobljene le za leto 2011, zato glavno omejitev zbranih okoljskih podatkov predstavlja njihova časovna dostopnost.

Kljub omejitvam je bila v Sloveniji prvič izvedena epidemiološka ekološka raziskava prostorske povezanosti med onesnaženim zunanjim zrakom in umrljivostjo za celotno državo na ravni občin. Pri povezovanju z zdravstvenimi podatki je bilo v Sloveniji prvič vključeno tudi

onesnaževalo $PM_{2,5}$. Prednost naše raziskave je bila tudi vključitev potencialnih dejavnikov ozadja v analizo povezanosti, ki so bili zbrani na ravni občin. Podrobnejši opis omejitev in prednosti je predstavljen v prispevku Metodologija ocenjevanja vplivov onesnaženosti zunanjega zraka na zdravje: evropski projekt LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS v tem zborniku.

4.2 Nadaljnje raziskovanje

Za nadaljnje raziskovanje na področju prostorskega povezovanja umrljivosti in onesnaženosti zunanjega zraka na območju celotne Slovenije predstavlja izziv povezovanje na ravni malih prostorskih enot, vključitev dodatnih onesnaževal zunanjega zraka, vključitev podatkov vrednosti onesnaževal za daljše časovno obdobje in povezovanje zdravstvenih ter okoljskih podatkov na sezonski oziroma mesečni ravni.

5 SKLEP

Z multivariatno analizo smo ocenili pozitivno in statistično značilno povezanost med onesnaženostjo zunanjega zraka s PM_{10} in umrljivostjo zaradi bolezni dihal, bolezni obtočil in vseh naravnih vzrokov smrti ter s $PM_{2,5}$ in boleznimi obtočil ter vsemi naravnimi vzroki smrti.

6 LITERATURA

1. Agencija Republike Slovenije za okolje (2015). Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2014. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje.
2. Evropska agencija za okolje (2013). Environment and human health. Luksemburg: Založniška zbornica Evropske unije. <http://www.eea.europa.eu/publications/environment-and-human-health>. <1. 7. 2016>
3. Billionnet C, Sherrill D, Annesi-Maesano I (2012). Estimating the health effects of exposure to multi-pollutant mixture. *Ann Epidemiol* 22(2): 126–41.
4. Svetovna zdravstvena organizacija (2016). Mortality from ambient air pollution. Geneva: Svetovna zdravstvena organizacija. http://www.who.int/gho/phe/outdoor_air_pollution/burden_text/en/. <18. 5. 2016>
5. Miao Q, Chen D, Buzzelli M in sod. (2015). Environmental equity research: review with focus on outdoor air pollution research methods and analytic tools. *Arch Environ Occup Health* 70(1): 47–55.
6. Briggs D (ur.), Corvalan C (ur.), Nurminen M (ur.) (1996). Linkage methods for environment and health analysis. General guidelines. Geneva: Svetovna zdravstvena organizacija.
7. Corvalan C (ur.), Nurminen M (ur.), Pastides H (ur.) (1997). Linkage methods for environment and health analysis. Technical guidelines. Geneva: Svetovna zdravstvena organizacija.
8. Zaletel-Kragelj L, Eržen I (2010). Ecological studies: basic principles. V: Zaletel-Kragelj L (ur.), Božikov J (ur). *Methods and tools in public health*. Laga: Forum for public health in south eastern Europe; 289–308.
9. Morgenstern H (1982). Uses of ecologic analysis in epidemiologic research. *Am J Public Health* 72(12): 1336–44.
10. Morgenstern H, Thomas D (1993). Principles of study design in environmental epidemiology. *Environ Health Perspect* 101(Suppl 4): 23–38.
11. Kuček A, Zaletel-Kragelj L, Farkaš-Lainščak J in sod. (2014). Health geography in case of Zasavje: linking of atmospheric air pollution and respiratory diseases data. *Acta Geogr Slov* 54(2): 345–62.
12. Galičič A (2016). Izboljšanje metodologije prostorskega povezovanja zdravstvenih in okoljskih podatkov na razgibanem terenu Zasavja. Magistrsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta.
13. Mediterranean Health Interview Surveys Studies: long term exposure to air pollution and health

- surveillance (LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS). <http://medhiss.eu/>. <1. 6. 2016>
14. Svetovna zdravstvena organizacija (2011). International Classification of Diseases (ICD). <http://apps.who.int/classifications/icd10/browse/2016/en>. <1. 7. 2016>
 15. Leem JH, Kim ST, Kim HC (2015). Public-health impact of outdoor air pollution for 2nd air pollution management policy in Seoul metropolitan area, Korea. *Ann Occup Environ Med* 27: 7–18.
 16. Maheswaran R, Haining RP, Brindley P in sod. (2005). Outdoor Air Pollution and Stroke in Sheffield, United Kingdom: A Small-Area Level Geographical Study. *Stroke* 36(2): 239–43.
 17. Maheswaran R, Haining RP, Brindley P in sod. (2005). Outdoor air pollution, mortality, and hospital admissions from coronary heart disease in Sheffield, UK: a small-area level ecological study. *Eur Hear J* 26: 2543–9.
 18. Choi J, Fuentes M, Reich BJ (2009). Spatial-temporal association between fine particulate matter and daily mortality. *Comput Stat Data Anal* 53(8): 2989–3000.
 19. Orru H, Teinmaa E, Lai T in sod. (2009). Health impact assessment of particulate pollution in Tallinn using fine spatial resolution and modeling techniques. *Environ Health* 8: 7–16.
 20. Scoggins A, Kjellstrom T, Fisher G in sod. (2004). Spatial analyses of annual air pollution exposure and mortality. *Sci Total Environ* 321(1-3): 71-85.
 21. Lobdell DT, Isakov V, Baxter L in sod. (2011). Feasibility of assessing public health impacts of air pollution reduction programs on a local scale: New Haven case study. *Environ Health Perspect* 119(4): 487–93.

POVEZANOST MED ŠTEVILOM BOLNIŠNIČNIH OBRAVNAV IN ONESNAŽENOSTJO ZUNANJEGA ZRAKA: EKOLOŠKA PROSTORSKA RAZISKAVA (LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS)

THE ASSOCIATION BETWEEN THE NUMBER OF HOSPITALIZATIONS AND
OUTDOOR AIR POLLUTION (LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS)

Andreja Kukec, An Galičič, Tina Grča, Natalija Kranjec,
Lijana Zaletel-Kragelj, Ivan Eržen, Peter Otorepec

IZVLEČEK

Uvod: Svetovna zdravstvena organizacija je ocenila, da je kratkotrajna izpostavljenost onesnaženemu zunanjemu zraku povezana z naraščanjem števila sprejemov v bolnišnico. **Namen:** Oceniti prostorsko povezanost med številom bolnišničnih obravnav in onesnaženostjo zunanjega zraka na ravni občin v Sloveniji z upoštevanjem dejavnikov ozadja. **Metode:** Izvedena je bila epidemiološka ekološka prostorska raziskava. Modelne vrednosti opazovanih onesnaževal v zunanjem zraku so bile pripravljene na Agenciji Republike Slovenije za okolje. Podatki o številu bolnišničnih obravnav zaradi opazovanih zdravstvenih izidov so bili pridobljeni na Nacionalnem inštitutu za javno zdravje. Za analizo povezanosti je bila uporabljena Poisson-ova regresijska analiza. **Rezultati in razprava:** Z multivariatnim modelom je bila ocenjena pozitivna, a ne statistično značilna prostorska povezanost med trdnimi delci z aerodinamskim premerom do 10 μm (PM_{10}) in 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$), dušikovim dioksidom (NO_2), dušikovim oksidom (NO_x) ter številom bolnišničnih obravnav zaradi bolezni dihal, astme in malignih neoplazem bronhija (sapnice) in pljuč standardizirano na dejavnike ozadja. **Sklep:** Nakazuje se prostorska povezanost med modelnimi vrednostmi PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, NO_2 in NO_x ter številom bolnišničnih obravnav.

Ključne besede: ekološka raziskava, prostorska povezanost, onesnaženost zunanjega zraka, število bolnišničnih obravnav, Slovenija

ABSTRACT

Introduction: World Health Organization has assessed that short-term exposure to outdoor air pollution is associated with increased number of hospitalisations. **Aim:** Assessment of spatial association between the number of hospitalisations and outdoor air pollution at the level of municipalities in Slovenia with inclusion of background factors. **Methods:** Epidemiological ecological spatial study was implemented. Modeled values of observed outdoor air pollutants were assembled by Slovenian Environment Agency. Health data of the number of hospitalisations was assembled by The National Institute of Public Health. For the analysis Poisson regression analysis was used. **Results and discussion:** With multivariate model a positive, but not statistically significant, association was assessed between particles with aerodynamic diameter 10 μm or less (PM_{10}) and 2.5 μm or less ($\text{PM}_{2,5}$), nitrogen dioxide (NO_2) and nitrogen oxides (NO_x) and the number of hospitalisations for respiratory diseases, asthma and malignant neoplasms of bronchus and lungs standardized on background factors. **Conclusion:** Spatial association between modeled values PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, NO_2 and NO_x and the number of hospitalisations is suggested.

Key words: ecological study, spatial association, outdoor air pollution, number of hospitalisations, Slovenia

1 UVOD

V epidemioloških raziskavah se za oceno povezanosti med stopnjo onesnaženosti zunanjega zraka z zdravstvenimi izidi najpogosteje kot opazovani zdravstveni kazalnik uporablja umrljivost. Pri tem gre lahko za splošno umrljivost ali umrljivost zaradi specifičnih bolezni. Vendar pa je Svetovna zdravstvena organizacija (SZO) (1) ugotovila, da onesnažen zunanji zrak ne vpliva samo na umrljivost in obolevnost zaradi bolezni dihal in obtočil, temveč je kratkotrajna izpostavljenost povezana tudi z naraščanjem števila sprejemov v bolnišnico. Epidemiološke raziskave so ocenile povezanost med različnimi vrednostmi onesnaževal v zunanjem zraku in dnevno umrljivostjo, odpusti iz bolnišnice in urgentnimi sprejemi zaradi bolezni dihal in obtočil (2, 3). Učinki izpostavljenosti onesnaženemu zunanjemu zraku so lahko akutni ali kronični, odvisno od časa izpostavljenosti, vrste onesnaževala in zdravstvenega stanja posameznika (4).

Namen našega prispevka je bil oceniti prostorsko povezanost med številom bolnišničnih obravnav zaradi opazovanih zdravstvenih izidov in onesnaženostjo zunanjega zraka v Sloveniji na ravni občin z upoštevanimi dejavniki ozadja.

2 METODE

2.1 Vrsta raziskave

Za oceno povezanosti med številom bolnišničnih obravnav zaradi opazovanih zdravstvenih izidov in onesnaženostjo zunanjega zraka standardizirano na dejavnike ozadja smo uporabili epidemiološko ekološko prostorsko raziskavo. Podatki v raziskavi so bili pridobljeni v okviru evropskega projekta LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS (angl. Mediterranean Health Interview Surveys Studies: long term exposure to air pollution and health surveillance) (5).

2.2 Obdobje in območje opazovanja

Podatki o številu bolnišničnih obravnav za opazovanimi zdravstvenimi izidi so bili pridobljeni za obdobje od 2010 do 2014. Modelirane letne povprečne vrednosti za opazovana onesnaževala na ravni občin so bila pridobljena za leto 2011.

Območje opazovanja predstavlja ozemlje Republike Slovenije (RS). Opazovane prostorske enote predstavljajo 210 občin na območju RS, ki so obstajale na dan 1. 7. 2010.

2.3 Opazovani zdravstveni izidi

Za oceno prostorske povezanosti med številom bolnišničnih obravnav in onesnaženostjo zunanjega zraka so bile za kazalnik števila bolnišničnih obravnav opazovane naslednje diagnoze po Mednarodni klasifikaciji bolezni in sorodnih zdravstvenih problemov za statistične namene (MKB-10) (6): vsi naravni vzroki (A00–R99), bolezni obtočil (I00–I99), bolezni dihal (J00–J99), astma (J45), maligne neoplazme (C00–C97) ter maligne neoplazme bronhija (sapnice) in pljuč (C34). Podatki za opazovane zdravstvene izide so bili za obdobje od 2010 do 2014 pridobljeni na Nacionalnem inštitutu za javno zdravje (NIJZ).

2.4 Opazovana onesnaževala v zunanjem zraku

Vrednosti opazovanih onesnaževal v zunanjem zraku so predstavljale modelirane povprečne letne vrednosti za leto 2011 na ravni občin. V analizo povezanosti med opazovanimi zdravstvenimi izidi so bila vključena naslednja onesnaževala: trdni delci z aerodinamskim premerom do 10 μm (PM_{10}) in 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$), dušikov dioksid (NO_2) ter dušikovi oksidi (NO_x). Modelne vrednosti opazovanih onesnaževal so pripravili na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO).

2.5 Dejavniki ozadja

Upoštevani dejavniki ozadja v multivariatni analizi povezanosti so bili: prevalenca nizke izobrazbe, kajenja (kadarkoli, trenutno in pasivno kajenje), debelosti, fizične ne-aktivnosti, uživanja alkohola, stopnje delovne aktivnosti in povprečnega mesečnega dohodka. Podatki o dejavniki ozadja so bili pridobljeni iz Popisa 2002 in Statističnega letopisa za leto 2013 Statističnega urada Republike Slovenije (SURS) in iz raziskave Tvegana vedenja, povezana z zdravjem in nekatera zdravstvena stanja pri odraslih prebivalcih Slovenije iz leta 2012 s strani NIJZ. Dejavniki ozadja so natančneje opisani v prispevku Metodologija ocenjevanja vplivov onesnaženosti zunanjega zraka na zdravje: evropski projekt LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS v tem zborniku.

2.6 Analiza povezanosti

Opazovane zdravstvene izide v analizi povezanosti predstavljata standardizirana stopnja števila bolnišničnih obravnav za obdobje od 2010 do 2014. Pojasnjevalne dejavnike v analizi povezanosti predstavljajo modelirane letne povprečne vrednosti PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, NO_x in NO_2 v talnem nivoju za leto 2011. Dejavnike ozadja v analizi povezanosti predstavljajo: prevalenca nizke stopnje izobrazbe, kajenja kadarkoli, trenutnega kajenja, pasivnega kajenja, debelosti, fizične ne-aktivnost, uživanja alkohola, stopnje delovne aktivnosti in povprečnega mesečnega dohodka.

Za analizo povezanosti med opazovanimi zdravstvenimi izidi, pojasnjevalnimi dejavniki in dejavniki ozadja smo uporabili Poisson-ovo regresijsko analizo. Analiza povezanosti je bila izvedena z univariatnimi in multivariatnimi modeli povezanosti. Z univariatnimi modeli smo ocenili prostorsko povezanost med opazovanim zdravstvenim izidom in pojasnjevalnim dejavnikom brez in s prostorsko razporeditvijo slučajnih vplivov. Z multivariatnim modelom povezanosti smo ocenili prostorsko povezanost med opazovanim zdravstvenim izidom, pojasnjevalnim dejavnikom in dejavniki ozadja brez in s prostorsko razporeditvijo slučajnih vplivov.

Rezultate univariatne in multivariatne Poisson-ove regresijske analize smo prikazali tabelarično. Epidemiološka mera povezanosti relativno tveganje (RT) in 95 % interval zaupanja predstavljata rezultat ocene povezanosti med opazovanimi pojavi. Rezultati modelov nam povedo za koliko se spremeni RT, če se vrednost opazovanega onesnaževala poveča za eno svojo osnovno enoto (1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Za analizo povezanosti je bil uporabljen statistični program R (Verzija 3.2.4).

3 REZULTATI

Univariatna analiza brez prostorskih slučajnih vplivov je pokazala pozitivno in statistično značilno povezanost med onesnaženostjo zunanjega zraka s PM_{10} in številom bolnišničnih obravnav za 5 let zaradi astme, bolezni dihal in zaradi vseh naravnih vzrokov.

Pozitivna, a ne statistično značilna povezanost pri univariatni in multivariatni analizi je bila pri boleznih obtočil, malignih neoplazmah in malignih neoplazmah bronhija (sapnice) in pljuč za 5 let in onesnaževali zunanjega zraka PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_x in NO_2 . Natančnejši rezultati so prikazani v Tabeli 1.

Tabela 1: Rezultati univariatne in multivariatne analize povezanosti med letnimi povprečnimi vrednostmi onesnaževal in številom bolnišničnih obravnav zaradi vseh naravnih vzrokov (MKB-10 A00–R99), boleznih obtočil (MKB-10 I00–I99), boleznih dihal (MKB-10 J00–J99), astme (MKB-10 J45), malignih neoplazem (MKB-10 C00–C97) in malignih neoplazem bronhija (sapnice) in pljuč (MKB-10 C34) za 5 let (obdobje 2010–2014) na ravni občin v Sloveniji.

OPAZOVANI ZDRAVSTVENI IZID	POJASNEVALNI DEJAVNIK (1 µm/m ³)	UNIVARIATNI MODEL						MULTIVARIATNI MODEL STANDARDIZIRAN NA DEJAVNIKE OZADJA*					
		brez prostorskih slučajnih vplivov			s prostorskimi slučajnimi vplivi			brez prostorskih slučajnih vplivov			s prostorskimi slučajnimi vplivi		
		RT	95 % IZ spodnji	zgornji	RT	95 % IZ spodnji	zgornji	RT	95 % IZ spodnji	zgornji	RT	95 % IZ spodnji	zgornji
vsi naravni vzroki	p. letna vred. PM ₁₀	1,003	1,000	1,007	1,000	0,995	1,005	1,000	0,997	1,004	1,002	0,997	1,007
	p. letna vred. PM _{2,5}	1,002	0,995	1,009	0,998	0,990	1,006	0,998	0,991	1,004	1,000	0,992	1,009
	p. letna vred. NO ₂	0,998	0,995	1,002	0,999	0,996	1,002	0,999	0,995	1,002	1,000	0,997	1,003
	p. letna vred. NO _x	0,999	0,997	1,001	0,999	0,998	1,001	0,999	0,997	1,001	1,000	0,998	1,001
bolezni obtočil	p. letna vred. PM ₁₀	1,000	0,995	1,005	0,999	0,991	1,007	0,996	0,991	1,001	1,000	0,992	1,009
	p. letna vred. PM _{2,5}	0,995	0,985	1,005	0,996	0,983	1,009	0,990	0,981	1,000	0,997	0,983	1,011
	p. letna vred. NO ₂	0,997	0,992	1,002	0,999	0,994	1,004	0,997	0,992	1,002	0,999	0,994	1,005
	p. letna vred. NO _x	0,998	0,996	1,001	0,999	0,997	1,002	0,998	0,995	1,001	0,999	0,996	1,002
bolezni dihal	p. letna vred. PM ₁₀	1,010	1,004	1,017	1,003	0,993	1,014	1,005	0,998	1,011	1,009	0,998	1,020
	p. letna vred. PM _{2,5}	1,011	0,997	1,024	1,000	0,983	1,017	1,004	0,991	1,017	1,009	0,991	1,028
	p. letna vred. NO ₂	0,998	0,991	1,004	0,999	0,993	1,006	1,001	0,995	1,008	1,003	0,996	1,010
	p. letna vred. NO _x	0,998	0,995	1,002	1,000	0,996	1,003	1,000	0,996	1,004	1,001	0,998	1,005
astma	p. letna vred. PM ₁₀	1,019	1,002	1,037	1,001	0,975	1,028	1,013	0,995	1,032	1,001	0,973	1,031
	p. letna vred. PM _{2,5}	1,027	0,993	1,062	1,007	0,964	1,052	1,022	0,988	1,058	1,006	0,958	1,058
	p. letna vred. NO ₂	1,005	0,989	1,022	1,004	0,989	1,020	1,014	0,996	1,032	1,005	0,986	1,023
	p. letna vred. NO _x	1,001	0,992	1,010	1,002	0,993	1,010	1,005	0,995	1,015	1,002	0,992	1,012

Tabela 1: Nadaljevanje.

OPAZOVANI ZDRAVSTVENI IZID	POJASNEVALNI DEJAVNIK (\uparrow 1 $\mu\text{m}/\text{m}^3$)	UNIVARIATNI MODEL						MULTIVARIATNI MODEL STANDARDIZIRAN NA DEJAVNIKE OZADJA*					
		brez prostorskih slučajnih vplivov			s prostorskimi slučajnimi vplivi			brez prostorskih slučajnih vplivov			s prostorskimi slučajnimi vplivi		
		RT	95 % IZ spodnji	zgornji	RT	95 % IZ spodnji	zgornji	RT	95 % IZ spodnji	zgornji	RT	95 % IZ spodnji	zgornji
maligne neoplazme	p. letna vred. PM ₁₀	0,999	0,994	1,004	1,002	1,011	0,998	0,993	1,002	1,000	0,991	1,010	
	p. letna vred. PM _{2,5}	0,998	0,989	1,007	1,005	1,020	0,994	0,985	1,003	1,001	0,985	1,017	
	p. letna vred. NO ₂	1,002	0,997	1,006	1,003	1,008	0,999	0,994	1,004	1,001	0,995	1,007	
	p. letna vred. NO _x	1,001	0,998	1,003	1,001	1,004	0,999	0,996	1,002	1,001	0,997	1,004	
maligne neoplazme bronhija in pljuč	p. letna vred. PM ₁₀	0,975	0,961	0,990	1,007	1,033	0,976	0,961	0,991	1,006	0,977	1,037	
	p. letna vred. PM _{2,5}	0,958	0,931	0,985	1,011	1,057	0,953	0,926	0,981	1,006	0,958	1,059	
	p. letna vred. NO ₂	0,996	0,983	1,011	1,008	1,025	0,984	0,969	0,999	1,005	0,986	1,025	
	p. letna vred. NO _x	0,998	0,990	1,005	1,004	1,013	0,991	0,983	0,999	1,002	0,992	1,013	

Legenda: PM₁₀ - delci z aerodinamskim premerom do 10 μm ; PM_{2,5} - delci z aerodinamskim premerom do 2,5 μm ; NO₂ - dušikov dioksid, NO_x - dušikovi oksidi; RT - relativno tveganje; IZ - interval zaupanja; p. - povprečje; vred. - vrednost; **krepek** - biološka smiselnost (smer povezanosti je biološko sprejemljiva) in statistično značilna povezanost pri $p \leq 0,05$; *Dejavniki ozadja: prevalenca nizke stopnje izobrazbe, kajenja kadarkoli, trenutnega kajenja, pasivnega kajenja, debelosti, fizične ne-aktivnosti, uživanja alkohola, aktivne populacije, povprečnega mesečnega dohodka.

4 RAZPRAVA

Multivariatna analiza med opazovanimi pojavi je pokazala pozitivno, vendar ne statistično značilno povezanost med številom bolnišničnih obravnav zaradi bolezni dihal, astme, malignih neoplazem in malignih neoplazem bronhija (sapnice) in pljuč ter onesnaženostjo zunanjega zraka s PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_2 in NO_x , standardizirano na potencialne dejavnike ozadja. Tako kot v naši raziskavi so Maheswaran in sodelavci (7) ocenili, da je povezanost med številom sprejemov v bolnišnico zaradi ishemičnih bolezni in povišanimi vrednostmi (60 % najvišjih vrednosti) PM_{10} v zunanjem zraku, standardizirano na spol, starost, socialno prikrajšanost in kajenje, pozitivna, a ne statistično značilna. Maheswaran in sodelavci (8) pa so ocenili pozitivno, a ne statistično značilno povezanost med umrljivostjo zaradi cerebrovaskularnih bolezni in visokimi vrednostmi (20 % najvišjih vrednosti) NO_x v zunanjem zraku, standardizirano na spol, starost, socialno prikrajšanost in kajenje.

Močnejšo pozitivno in statistično značilno povezanost med onesnaženim zunanjim zrakom in številom sprejemov v bolnišnico in hospitalizacijami glede na našo raziskavo so ocenili Maheswaran in sodelavci (8), Ignotti in sodelavci (9), Lobdell in sodelavci (10) ter Leem in sodelavci (11). Leem in sodelavci (11) so ugotovili, da zvišanje vrednosti PM_{10} za $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vpliva na povečanje števila bolnišničnih obravnav zaradi bolezni dihal, bolezni obtočil, incidenco pljučnega raka ter poslabšanje astme pri otrocih in odraslih. Ignotti in sodelavci (8) so ocenili, da je povišanje letnega števila urnih vrednosti $PM_{2,5}$ nad $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za 1 % povezano z 8 % povišano hospitalizacijo otrok, 10 % povišano hospitalizacijo starejših in 5 % povišano hospitalizacijo prebivalcev srednje starostne skupine zaradi bolezni dihal. Maheswaran in sodelavci (8) so ocenili pozitivno in statistično značilno povezanost med umrljivostjo zaradi cerebrovaskularnih bolezni in visokimi vrednostmi (20 % najvišjih vrednosti) NO_x v zunanjem zraku, standardizirano na spol, starost, socialno prikrajšanost in kajenje. Podobno so Lobdell in sodelavci (10) s projekcijskimi modeli ocenili, da bi predvideno znižanje vrednosti NO_x za 10 % do 60 % glede na vrednosti onesnaževal iz lokalnih virov v obdobju od 2001 do 2010, statistično značilno prispevalo k znižanju hospitalizacij zaradi bolezni dihal in obtočil.

4.1 Omejitve in prednosti raziskave

Glavne omejitve naše raziskave se kažejo v kakovosti in dostopnosti zdravstvenih in okoljskih podatkov. Zdravstveni podatki so bili pridobljeni v združeni obliki na ravni občin, kar predstavlja omejitev v prostorski ločljivosti v nadaljnjem povezovanju z okoljskimi podatki. Kljub združeni obliki, so bili zdravstveni podatki kakovostno ustrezni. Vrednosti onesnaževal v zunanjem zraku so bile pridobljene le za leto 2011, zato omejitev zbranih okoljskih podatkov predstavlja njihova časovna dostopnost.

Kljub omejitvam je bila v Sloveniji prvič izvedena epidemiološka ekološka raziskava prostorske povezanosti med onesnaženim zunanjim zrakom in umrljivostjo za celotno državo na ravni občin. Pri povezovanju z zdravstvenimi podatki je bilo v Sloveniji prvič vključeno tudi onesnaževalo $PM_{2,5}$. Prednost naše raziskave je bila tudi vključitev potencialnih dejavnikov ozadja v analizo povezanosti, ki so bili zbrani na ravni občin. Podrobnejši opis omejitev in prednosti je predstavljen v prispevku Metodologija ocenjevanja vplivov onesnaženosti zunanjega zraka na zdravje: evropski projekt LIFE12 ENV/IT/000834 MED HISS v tem zborniku.

4.2 Nadaljnje raziskovanje

Za nadaljnje raziskovanje na področju prostorskega povezovanja števila bolnišničnih obravnjav in onesnaženosti zunanjega zraka na območju celotne Slovenije predstavlja izziv povezovanje na ravni malih prostorskih enot, vključitev dodatnih onesnaževal zunanjega zraka, vključitev podatkov vrednosti onesnaževal za daljše časovno obdobje in povezovanje zdravstvenih ter okoljskih podatkov na sezonski oziroma mesečni ravni.

5 SKLEP

Z multivariatno analizo povezanosti smo ocenili pozitivno, a ne statistično značilno povezanost, med onesnaženostjo zunanjega zraka s PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_2 in NO_x ter številom bolnišničnih obravnjav zaradi bolezni dihal, astme in malignih neoplazem (sapnice) in pljuč na ravni občin v Sloveniji.

6 LITERATURA

1. Svetovna zdravstvena organizacija (2006). Air Quality Guidelines for Europe, 3rd edition. Copenhagen: Regionalni urad Svetovne zdravstvene organizacije za Evropo.
2. Dockery DW, Stone PH (2007). Cardiovascular risks from fine particulate air pollution. *New Engl J Med* 356(5): 511–3.
3. Dockery DW (2009). Health effects of particulate air pollution. *Ann Epidemiol* 19(4): 257–63.
4. Eržen I, Gajšek P, Hlastan-Ribič C in sod. (2010). Zdravje in okolje. Maribor: Univerza v Mariboru, Medicinska fakulteta.
5. Mediterranean Health Interview Surveys Studies: long term exposure to air pollution and health surveillance (LIFE12 ENV/IT/000834). <http://medhiss.eu/>. <1. 6. 2016>
6. Svetovna zdravstvena organizacija (2011). International Classification of Diseases (ICD). <http://apps.who.int/classifications/icd10/browse/2016/en>. <1. 7. 2016>
7. Maheswaran R, Haining RP, Brindley P in sod. (2005). Outdoor air pollution, mortality, and hospital admissions from coronary heart disease in Sheffield, UK: a small-area level ecological study. *Eur Hear J* 26: 2543–9.
8. Maheswaran R, Haining RP, Brindley P in sod. (2005). Outdoor Air Pollution and Stroke in Sheffield, United Kingdom: A Small-Area Level Geographical Study. *Stroke* 36(2): 239–43.
9. Ignotti E, Valente JG, Longo KM in sod. (2010). Impact on human health of particulate matter emitted from burnings in the Brazilian Amazon region. *Rev Saude Publica* 44(1): 121–30.
10. Lobdell DT, Isakov V, Baxter L in sod. (2011). Feasibility of assessing public health impacts of air pollution reduction programs on a local scale: New Haven case study. *Environ Health Perspect* 119(4): 487–93.
11. Leem JH, Kim ST, Kim HC (2015). Public-health impact of outdoor air pollution for 2nd air pollution management policy in Seoul metropolitan area, Korea. *Ann Occup Environ Med* 27: 7–18.

LIFE MED HISS

LIFE12 ENV/IT/000834
MEDITERRANEAN HEALTH
INTERVIEW SURVEYS
STUDIES: LONG TERM
EXPOSURE TO AIR
POLLUTION AND HEALTH
SURVEILLANCE
