

VPLIV TEMPERATURE NA TROPOSFERSKI OZON NA GORIŠKEM

THE IMPACT OF TEMPERATURE ON TROPOSPHERIC OZONE IN THE NOVA GORICA REGION

Nataša Šimac¹, Marjana Hladnik¹, Lijana Zaletel-Kragelj²

Prispelo: 3. 6. 2010 - Sprejeto: 26. 10. 2010

Izvirni znanstveni članek
UDK 504.3:551.510.534 (497.4 Goriška)

Izvleček

Uvod: Z raziskavo smo želeli ugotoviti, pri kateri temperaturi se na Goriškem pojavljajo koncentracije ozona, ki pomembno vplivajo na zdravje ljudi, in oceniti vpliv temperature na stopnjo onesnaženosti zraka z ozonom.

Metode: Uporabili smo podatke Agencije RS za okolje o povprečnih urnih koncentracijah ozona in temperature za leta 2002–2006 za Novo Gorico. Najprej smo iz 42.469 največjih 8-urnih dnevnih povprečij ocenili stopnjo onesnaženosti zraka z ozonom in določili temperaturo, pri kateri se pojavljajo zdravju škodljive koncentracije ozona. Nato smo za skupno 39.903 urnih obdobj z metodo linearne korelacije in regresije analizirali stopnjo oz. obliko povezanosti med povprečno urno koncentracijo ozona in temperaturo zraka v različnih temperaturnih območjih.

Rezultati: Na Goriškem so se pojavljale koncentracije ozona s pomembnim vplivom na zdravje pri temperaturi zraka 30 °C in več. Ob temperaturi zraka, nižji od 17 °C, se je pri porastu temperature za 1 °C koncentracija ozona zvišala v povprečju za 1,2 µg/m³ (povezanost je bila razmeroma šibka; $r=0,233$). Ob temperaturi zraka od vključno 17 °C se je pri porastu temperature za 1 °C koncentracija ozona zvišala povprečno za 6,0 µg/m³ (povezanost med spremenljivkama je bila razmeroma močna; $r=0,681$), medtem ko se je v območju od vključno 30 °C dalje pri porastu temperature zraka za 1 °C zvišala povprečno za 6,7 µg/m³ (povezanost je bila zmerna; $r=0,391$).

Zaključek: Temperatura pomembno vpliva na stopnjo onesnaženosti zraka z ozonom na Goriškem. Vpliv se z naraščanjem temperature veča, vendar pri temperaturi zraka 30 °C in več na porast koncentracije ozona vplivajo predvsem drugi dejavniki, ki pogojujejo nastanek ozona, in ne temperatura. Pri tem igrajo pomembno vlogo močnejši zahodni in jugozahodni vetrovi, ki prinesejo onesnažen zrak iz Padske nižine.

Ključne besede: troposferski ozon, koncentracija ozona, temperatura zraka, Goriška

Original scientific article
UDC 504.3:551.510.534 (497.4 Goriška)

Abstract

Introduction. The aim of the study was to identify the temperatures at which ozone concentrations with harmful health effects tend to occur, as well as to assess the impact of temperature on ozone air pollution levels in the Nova Gorica region.

Methods. The assessment was based on the data on average hourly temperatures and the corresponding ozone concentrations provided by the Environmental Agency of the Republic of Slovenia between 2002 and 2006. First, the level of ozone air pollution was calculated from 42,469 daily 8-hour averages, and next, the temperatures at which harmful ozone concentrations occur were determined. Subsequently, the strength of association between hourly ozone concentrations and air temperature was assessed by analyzing 39,903 hourly periods using correlation analysis and linear regression.

Results. Ozone concentrations with a significant impact on human health occurred at air temperatures of 30°C and higher. At air temperatures below 17°C, ozone concentrations increased on average by 1.2 µg/m³ with every

¹Uzavod za zdravstveno varstvo Nova Gorica, Vipavska cesta 13, 5000 Nova Gorica

²Center za javno zdravje, Medicinska fakulteta Univerze v Ljubljani, Zaloška 4, 1000 Ljubljana
Kontaktne naslov: e-pošta: lijana.kragelj@mf.uni-lj.si

rise of temperature by 1°C (a relatively weak association ; $r=0.233$). At air temperatures of 17°C and higher, the concentration of ozone increased by 6.0 µg/m³ with every 1°C increase in temperature (a relatively strong association ; $r=0.681$), while at air temperatures of 30°C and higher, every 1°C increment in air temperature elicited a 6.7 µg/m³ rise in ozone concentrations (moderate association ; $r=0.391$).

Conclusion. Air temperature substantially affects ozone air pollution in the Nova Gorica region. Ozone's impact increases with increases in temperature. At air temperatures exceeding 30°C, however, other factors besides air temperature are responsible for elevated ozone concentrations, the most important among them being strong west and southwest winds bringing polluted air from the Padan Plain in northern Italy.

Key words: tropospheric ozone, ozone concentration, air temperature, Nova Gorica region

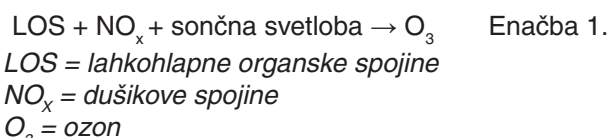
1 Uvod

Spremljanje kakovosti zraka v zadnjem desetletju je razkrilo prekomerno onesnaženost zraka v številnih velikih urbanih naseljih po svetu, še zlasti v nekaterih velikih mestih držav v razvoju (1). V poročilu Okolje in zdravje za leto 2005 Evropske agencije za okolje (European Environment Agency, EEA) je izpostavljeno, da je onesnaženost zraka okoljski dejavnik, ki najbolj vpliva na zdravje ljudi in povzroča pri ljudeh v Evropi največje breme bolezni, ki so povezane z okoljem (2). V Evropski regiji Svetovne zdravstvene organizacije (SZO) so na področju onesnaženosti zraka z zdravstvenega vidika najbolj zaskrbljujoči delci in troposferski ozon (3).

Onesnaženost zraka z ozonom je pereč javnozdravstveni problem sodobnega sveta. Gosto naseljena in težko industrializirana urbana naselja so močno onesnažena z ozonom in drugimi fotokemijskimi oksidanti (4). Evropski urad SZO ocenjuje, da vsako leto v državah te regije izpostavljenost ozonu povzroči več kot 21.000 smrti, 14.000 napotitev v bolnišnice zaradi bolezni dihal in sto tisoče epizod simptomov na dihalih, ki zahtevajo uporabo zdravil (3). V Sloveniji je glede na poročila Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) v ospredju onesnaženost zraka z ozonom in delci z aerodinamičnim premerom do 10 µm (PM₁₀) (5).

V zemeljskem ozračju je ozona največ v stratosferi (približno 90 %) na višini med 18 in 25 km nad površino Zemlje. Preostali ozon je v troposferi (6). Stratosferski ozon (ozonski plašč) je naravno prisoten ozon v ozračju in ga zaradi njegove zaščitne vloge pred škodljivim delom ultravijoličnega sevanja imenujemo tudi koristni ozon. Troposferski ali prizemni ozon, ki je predvsem posledica človekovega onesnaževanja ozračja, pa je škodljiv, saj med drugim pri ljudeh povzroča tudi zdravstvene težave. Kemijska zgradba ozona je pri obeh oblikah ozona, troposferskem in stratosferskem ozonu, enaka. Molekula ozona je zgrajena iz treh atomov kisika (O₃), njegova koristnost oziroma škodljivost pa je odvisna od lege v ozračju. Troposferski ozon je sekundarni onesnaževalec in torej ni posledica neposrednih

izpustov. Nastaja v kompleksni vrsti kemijskih reakcij iz svojih predhodnikov, primarnih onesnaževalcev, tj. dušikovih oksidov (NO_x) in lahkohlapnih organskih spojin (LOS), pod vplivom sončne svetlobe. Zelo poenostavljeno lahko nastanek troposferskega ozona prikažemo z naslednjo enačbo (7):



Glavni vir dušikovih oksidov sta predvsem promet in energetika (termoelektrarne), LOS pa v ozračje prispevajo gospodinjstva, industrija, promet, bencinske črpalke, kemične čistilnice, ipd. (8).

Koncentracije troposferskega ozona so zlasti visoke poleti ob večdnevem jasnem vremenu z močnim sončnim sevanjem in visokimi temperaturami na območjih v bližini visokih izpustov predhodnikov ozona (9). Zaradi prenosa ozona in njegovih predhodnikov z zračnimi masami se onesnaženost širi tudi na podeželje oziroma v oddaljene kraje. Prav tako koncentracije ozona naraščajo z nadmorsko višino, saj se zaradi nižjih koncentracij drugih snovi v zraku ravnotežje pomakne v prid nastajanju ozona in ne njegovemu razpadanju (3,6).

Ozon je izredno reaktiven plin in močan oksidant. Škodljivo vpliva na zdravje ljudi in živali. Škodljivo deluje tudi na rastline, ekosisteme (uničuje pridelke, rastlinje v mestih in gozdove) ter na nekatere materiale, ki jih je ustvaril človek (tekstil in vlakna, barve, pigmenti, črnila, slike in drugi površinski premazi). Povzroča tudi gospodarsko škodo (10).

Škodljivi učinki ozona pri ljudeh so lahko akutni in po izpostavljenosti izzvenijo, daljša izpostavljenost onesnaženemu zraku z ozonom pa lahko povzroči trajne okvare prizadetih organov (predvsem dihal). V študijah do sedaj še niso določili, kolikšno je trajanja izpostavljenosti in kolikšna stopnja onesnaženosti, ki že povzročita kronične učinke (1). Glavna vstopna pot ozona v telo so dihalna. Ozon povzroča draženje dihal, zmanjšuje pljučno funkcijo, zmanjšuje imunski

odziv in povzroča vnetje dihal ter poslabšuje astmo in druge kronične pljučne bolezni (1). Novejše raziskave so pokazale, da ozon škodljivo vpliva tudi na obtočila (motnje srčnega ritma, pojav arterioskleroze), kar je posledica njegovih sistemskih učinkov (1,11,12). Ozon akutno poveča obolevnost (zaradi škodljivih učinkov na dihala, delovanje srca) (1). Dokazana je vzročna povezanost med koncentracijami ozona v okolju in dnevno umrljivostjo (1), predvsem z umrljivostjo zaradi bolezni dihal in zaradi srčno-žilnih bolezni, kar so dokazali tudi v študijah (1,13).

V zadnjih desetletjih se koncentracije ozona v troposferi zaskrbnjujoče zvišujejo. Najvišje urne koncentracije troposferskega ozona so izmerili v južni Kaliforniji (do $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in Mehiki (do $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (3). V Evropi je zrak z ozonom najbolj onesnažen v severni Italiji (do $419 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (14).

Stopnja onesnaženosti zraka z ozonom v Sloveniji še ne dosega stopnje onesnaženosti z ozonom v najbolj obremenjenih evropskih državah, vendar pa so večkrat letno presežene opozorilne, ciljne in v nekaterih primerih tudi alarmne vrednosti, podane v evropski in slovenski zakonodaji za ozon v zunanjem zraku. V Sloveniji je onesnaženost zraka z ozonom največja na Primorskem, kar kažejo rezultati meritev na merilnih mestih v Kopru, Novi Gorici in na Otlici na obrobju Trnovskega gozda nad severozahodnim robom Vipavske doline (5,15–18). Najvišjo urno koncentracijo ozona so v obdobju 2002–2006 v Sloveniji izmerili na merilnem mestu v Novi Gorici leta 2003, in sicer je dosegala kar $244 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (15). V tem primeru je bila presežena alarmna vrednost za ozon ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (19). Vendar leta 2003 v državni mreži za spremljanje kakovosti zraka v Sloveniji še ni bilo merilne postaje v Kopru (od leta 2005) in na Otlici (od leta 2006), na katerih pogosto beležijo še višje koncentracije ozona kot na merilnem mestu v Novi Gorici (5,15–18).

Da bi v prihodnje na Goriškem izdelali smernice za čim bolj učinkovito obvladovanje zdravstvenih problemov prebivalstva, ki so povezani z onesnaženjem zraka z ozonom, smo želeli ugotoviti, pri kateri temperaturi se na Goriškem pojavljajo koncentracije ozona, ki pomembno vplivajo na zdravje ljudi, ter oceniti vpliv meteorološkega dejavnika – temperature na stopnjo onesnaženosti zraka z ozonom.

2 Metode

2.1 Podatki

V raziskavi smo uporabili podatke o povprečnih urnih koncentracijah ozona in povprečnih urnih temperaturah za prvo petletno obdobje delovanja merilne postaje v

Novi Gorici v državni mreži za spremljanje kakovosti zraka v Sloveniji (od 1.1.2002 do 31.12.2006), ki nam jih je posredovala ARSO (20). Slika 1 prikazuje mesto, na katerem je postavljena avtomatska ekološko-meteorološka merilna postaja v Novi Gorici.

2.2 Določanje temperature, pri kateri se na Goriškem pojavljajo koncentracije ozona, ki pomembno vplivajo na zdravje ljudi

V postopku določanja temperature, pri kateri se na Goriškem pojavljajo koncentracije ozona, ki pomembno vplivajo na zdravje ljudi, smo najprej izračunali največja 8-urna dnevna povprečja koncentracij ozona za vse dni v izbranem petletnem obdobju (2002–2006).

Uredba o ozonu v zunanjem zraku določa, da je največje dnevno 8-urno povprečje oziroma največja dnevna 8-urna srednja vrednost največja v enem dnevu izmerjena 8-urna koncentracija vseh 8-urnih tekočih povprečij, izračunanih na podlagi urnih povprečij (19). Pri tem je prvo 8-urno tekoče povprečje v dnevu povprečje v času od 17. ure prejšnjega dne do vključno 1. ure tekočega dne (19). Nadaljnja 8-urna povprečja izračunamo tako, da se pomikamo po eno uro naprej in izračunamo 8-urna povprečja za vsako naslednjo uro tekočega dne. V dnevu je torej 24 8-urnih povprečij. Zadnje 8-urno povprečje tekočega dne je v času od 16. do vključno 24. ure tekočega dne (19). Pri izračunu 8-urnih povprečij upoštevamo le tista 8-urna obdobja tekočega dne, ki imajo zabeleženih najmanj 6 povprečnih urnih koncentracij ozona.

Po izračunu 8-urnih tekočih povprečij smo za vsak dan v opazovanem obdobju (2002–2006) določili največjo vrednost 8-urnega povprečja. Na osnovi tako izračunanih največjih 8-urnih dnevni povprečij koncentracij ozona smo naredili sledeče.

1. Ocenili smo stopnjo onesnaženosti zraka z ozonom na Goriškem za obdobje 2002–2006 glede na Smernice za kakovost zraka SZO iz leta 2005, v katerih so podane smerna vrednost ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za največje 8-urno dnevno povprečje), vmesna vrednost za ozon v zunanjem zraku ($160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in več za največje 8-urno dnevno povprečje) in vrednost, s katero je opredeljena visoka stopnja onesnaženosti zraka z ozonom ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za največje 8-urno dnevno povprečje) (4) (Tabela 1). Izračunali smo število dni s prekoračenimi navedenim vrednostmi največjega 8-urnega dnevnega povprečja za ozon po mesecih za posamezno leto v obdobju 2002–2006 in število ur v dnevih s preseženo smerno vrednostjo, vmesno vrednostjo in vrednostjo za ozon visoke stopnje onesnaženosti zraka z ozonom.



Slika 1. Mesto, na katerem je v Novi gorici postavljena avtomatska ekološko-meteorološka merilna postaja državne mreže za spremljanje kakovosti zraka (●).

Figure 1. The location of the automatic ecological-meteorological measuring station of the national air quality monitoring network in Nova Gorica (●).

2. Določili smo temperaturo, pri kateri se pojavljajo koncentracije ozona, ki že pomembno vplivajo na zdravje ljudi. Iz povprečnih urnih temperaturnih vrednosti smo določili maksimalno urno temperaturo (najvišjo povprečno enourno vrednost temperature v dnevu) za vsak dan v letih 2002–2006. Najvišje temperature smo nato povezali s pripadajočimi največjimi 8-urnimi dnevnimi povprečji koncentracije ozona, da smo lahko opredelili temperaturno območje, v katerem se pojavljajo koncentracije ozona z vrednostmi največjega 8-urnega dnevnega povprečja, ki so nad vmesno vrednostjo za ozon (Tabela 1) in pomembno vplivajo na zdravje ljudi. Iz povprečnih urnih koncentracij ozona smo za vsak dan opazovanega petletnega obdobja (2002–2006) določili tudi največjo dnevno urno koncentracijo ozona, ki je najvišja povprečna enourna koncentracija ozona v dnevu.

2.3 Povezanost med povprečno urno koncentracijo ozona in povprečno urno temperaturo zraka

Za ocenjevanje povezanosti med koncentracijo ozona in temperaturo zraka smo uporabili metodi linearne korelacije in regresije (21). Pri tem je bila neodvisna spremenljivka povprečna urna temperatura zraka, odvisna spremenljivka pa povprečna urna koncentracija ozona.

Linearnega modela nismo mogli uporabiti neposredno, ker je prva porazdelitev točk v razsevnem diagramu nakazovala krivuljo višjega reda. Zaradi razumljivejšega tolmačenja rezultatov z regresijo višjega reda nismo nadaljevali, temveč smo povezanost med temperaturo in koncentracijo ozona modelirali v dveh temperaturnih območjih. Optimalno delitev na dve območji smo iskali z iterativnim postopkom. Postopek smo ponavljali z deljenjem temperature na intervalu med 12 °C in 19

°C, kjer krivulja nakazuje prelom. Optimalno delitev, to je tisto delitev, pri kateri je vsota kvadratov razdalj točk od obeh premic najmanjša, smo dobili pri vrednosti temperature 17 °C.

Z linearno korelacijo in regresijo smo ocenili tudi vpliv temperature v območju, pri katerem se na Goriškem najpogosteje pojavljajo največja 8-urna dnevna

povprečja koncentracij ozona nad vmesno vrednostjo za ozon (Tabela 1), ki lahko že pomembno vplivajo na zdravje ljudi.

Za statistično analizo smo uporabili statistični program SPSS 13.0 za okolje Windows (SPSS Inc., Chicago, IL).

Tabela 1. Smerna in vmesna vrednost za koncentracijo ozona ter vrednost za koncentracijo ozona pri visoki stopnji onesnaženosti za največje 8-urno dnevno povprečje glede na Smernice Svetovne zdravstvene organizacije (4).

Table 1. Recommended and intermediate values of ozone concentration and daily maximum 8-hour average ozone concentrations at high pollution levels, the World Health Organization guidelines (4).

Vrednost Value	Koncentracija ozona za največje 8-urno dnevno povprečje Daily maximum 8-hour average ozone concentration
Smerna vrednost Recommended value	100 µg/m ³
Vmesna vrednost Intermediate value	160 µg/m ³
Vrednost pri visoki stopnji onesnaženosti High pollution level value	240 µg/m ³

3 Rezultati

3.1 Največja 8-urna dnevna povprečja koncentracij ozona

V letih 2002–2006 je bilo skupaj 42.469 8-urnih obdobij, od katerih je 821 (2 %) imelo zabeleženih manj kot 6 povprečnih urnih koncentracij ozona in jih zato nismo mogli upoštevati v analizi. V oceno smo tako vključili skupaj 41.648 8-urnih obdobij.

Smerna vrednost za ozon (Tabela 1), ki naj bi zagotavljala zadostno zaščito zdravja prebivalstva, je bila v petletnem obdobju presežena povprečno 103 dni v letu, in sicer v mesecih od marca do septembra. Največkrat je bila presežena v letu 2003, ko je bilo takšnih kar 151 dni (v obdobju od februarja do septembra).

Ugotovili smo, da je bila vmesna vrednost za ozon, ki po ocenah SZO že pomembno vpliva na zdravje ljudi in se med drugim kaže s prehodnim zmanjšanjem pljučne funkcije in 3- do 5-odstotnim deležem pripisljivih smrti pri dnevni izpostavljenosti, med letoma 2002 in 2006 povprečno presežena 11 dni v poletnih mesecih (največ leta 2003 – 22 dni). Ta stopnja onesnaženosti zraka z ozonom se je pojavljala pri najvišji dnevni urni

temperaturi od 28,9 °C do 39 °C oziroma najpogosteje pri temperaturi 30 °C in več ter pri najvišji dnevni urni koncentraciji ozona 170 µg/m³ in več.

V poletnih mesecih med letoma 2002–2006 je največje 8-urno dnevno povprečje koncentracij ozona presegalo vrednost 200 µg/m³ v 5 dneh, vendar visoka stopnja onesnaženosti zraka z ozonom (240 µg/m³ za največje 8-urno dnevno povprečje) ni bila dosežena. Največja 8-urna dnevna povprečja z vrednostjo nad 200 µg/m³ so se pojavljala pri vrednostih najvišje dnevne temperature nad 30 °C.

Glede na opisane rezultate smo temperaturo 30 °C in več opredelili kot mejno vrednost, pri kateri se na Goriškem najpogosteje pojavljajo koncentracije ozona s pomembnim vplivom na zdravje ljudi (prekoračena vmesna vrednostjo za ozon – Tabela 1).

3.2 Povezanost med povprečno urno koncentracijo ozona in povprečno urno temperaturo zraka

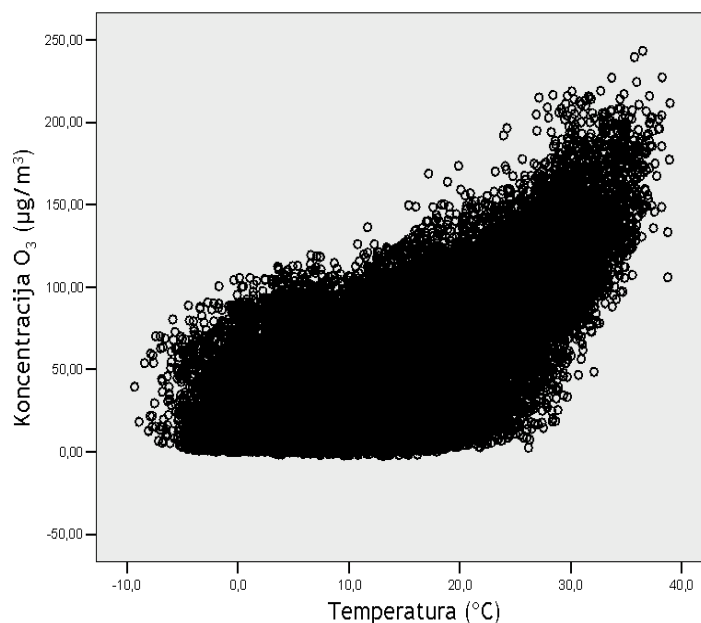
Obdobje med letoma 2002 do 2006 obsega v celoti 43.824 urnih obdobij. Baza zapisov povprečnih urnih koncentracij ozona ter povprečnih urnih temperatur za opazovano petletno obdobje, ki nam jih je

posredovala ARSO v programu Microsoft Excel, je vsebovala podatke o povprečni urni temperaturi zraka za 43.403 urnih obdobj, podatke o povprečni urni koncentraciji ozona pa za 40.073 urnih obdobj. Pri nekaterih urnih obdobjih tako ni bilo podatkov za oba opazovana pojava, zato smo za analizo lahko uporabili skupaj 39.903 urnih obdobj koncentracij ozona s pripadajočimi temperaturami zraka.

Slika 1 prikazuje razsevni diagram povezanosti med temperaturo in koncentracijo ozona za vseh 39.903 urnih obdobj. Porazdelitev točk kaže, da gre za krivuljo v obliki črke J s prelomom v temperaturnem območju med 12 °C in 19 °C (Slika 2).

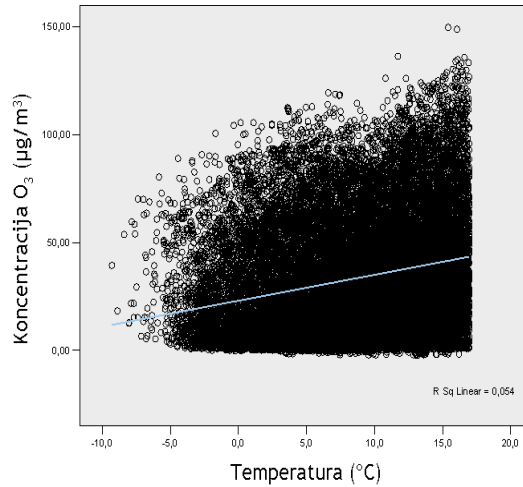
Slika 3 prikazuje razsevni diagram temperature in koncentracije ozona v dveh temperaturnih območjih. V prvem delu (Slika 3A) prikazuje temperature in koncentracije ozona s točkami do vključno vrednosti temperature 16,9 °C (skupno 25.917 točk). V tem temperaturnem območju se pri porastu temperature

za 1 °C koncentracija ozona zviša v povprečju za 1,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($b=1,201$), korelacijski koeficient pa kaže na razmeroma šibko povezanost med temperaturo zraka in koncentracijo ozona ($r=0,233$). Glede na vrednost determinacijskega koeficienta ($R^2=0,054$) lahko v tem temperaturnem območju z višanjem temperature pojasnimo le 5,4 % variabilnosti koncentracije ozona. V drugem delu (Slika 3B) razsevni diagram prikazuje temperature in koncentracije ozona s točkami od vključno vrednosti temperature 17 °C in več (skupno 13.986 točk). V tem temperaturnem območju se pri porastu temperature za 1 °C koncentracija ozona zviša v povprečju za 6,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($b=5,966$), korelacijski koeficient pa kaže na razmeroma močno povezanost med temperaturo zraka in koncentracijo ozona ($r=0,681$). Glede na vrednost determinacijskega koeficienta ($R^2=0,464$) lahko v tem temperaturnem območju z višanjem temperature pojasnimo 46,4 % variabilnosti koncentracije ozona.

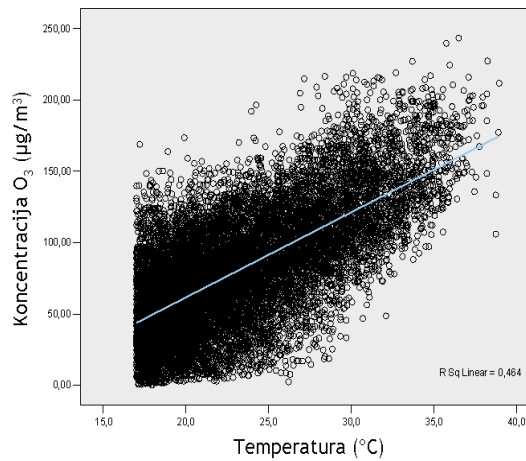


Slika 2. Razsevni diagram 39.903 vrednosti urnih temperatur (°C) in pripadajočih urnih koncentracij ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za leta 2002–2006; merilno mesto Nova Gorica.

Figure 2. A scattergram of 39,903 daily temperatures (°C) and corresponding hourly ozone concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) for the period 2002-2006; the Nova Gorica measurement site.



A)



B)

Slika 3. Razsevni diagram temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$) in koncentracije ozona ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za leta 2002–2006 na Goriškem (merilno mesto Nova Gorica) ločeno: (A) za območje vrednosti temperature zraka pod 17°C (25.917 točk) in (B) za območje vrednosti temperature zraka od vključno $17,0^{\circ}\text{C}$ naprej (13.986 točk).

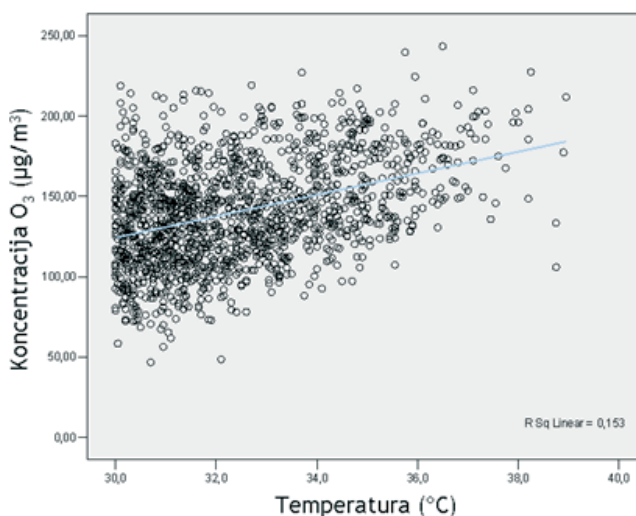
Figure 3. A scattergram of daily temperatures ($^{\circ}\text{C}$) and corresponding hourly ozone concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) for the period 2002–2006; the Nova Gorica measurement site. LEGEND: A) air temperatures below 17°C (25,917 intersections); B) air temperatures of 17°C and higher (13,986 intersections).

Na Sliki 4 je prikazan razsevni diagram, ki obsega skupno 1.488 točk iz temperaturnega območja 30 °C in več. V tem temperaturnem območju se pri porastu temperature za 1 °C koncentracija ozona zviša v povprečju za 6,7 µg/m³ (b=6,694), korelacijski koeficient pa kaže na zmerno povezanost med temperaturo zraka in koncentracijo ozona (r=0,391). Glede na vrednost determinacijskega koeficienta (R²=0,153) lahko v tem temperaturnem območju z višanjem temperature pojasnimo 15,3 % variabilnosti koncentracije ozona.

4 Razpravljanje

Naša raziskava je pokazala pomembne rezultate v obeh delih raziskave, tako v delu, v katerem smo ocenjevali, pri kateri temperaturi se na Goriškem pojavljajo koncentracije troposferskega ozona, ki imajo lahko že pomemben vpliv na zdravje ljudi, kot tudi v delu, v katerem smo ocenjevali stopnjo povezanosti med povprečno urno koncentracijo ozona in povprečno urno temperaturo zraka.

Povzetek rezultatov kaže, da stopnja onesnaženosti zraka z ozonom na Goriškem predstavlja tveganje za zdravje ljudi v mesecih od marca do septembra, ko je lahko presežena smerna vrednost za ozon (povprečno 103 dni v letu), predvsem pa v poletnih mesecih, ko lahko že pomembno vpliva na zdravje ljudi, saj je mogoče, da preseže vmesno vrednost za ozon (Tabela 1) (povprečno 11 dni). Visoka stopnja onesnaženosti zraka z ozonom (240 µg/m³ za največje 8-urno dnevno povprečje) na Goriškem sicer še ni bila dosežena, ne smemo pa prezreti dejstva, da najvišja 8-urna dnevna povprečja koncentracij ozona v obdobju 2002–2006 presegajo vrednost 200 µg/m³ in lahko v primeru vročega poletja, kot je bilo leta 2003, dosežejo vrednosti blizu 240 µg/m³. V poletnih mesecih leta 2003, ko je zaradi vročinskega vala po ocenah SZO v Evropi umrlo približno 40.000 ljudi, je bilo na Goriškem 22 dni z največjim 8-urnim dnevnim povprečjem nad 160 µg/m³ (vmesno vrednostjo za ozon), v 10 dneh pa so povprečne urne koncentracije ozona dosegale vrednost 200 in več µg/m³ tudi do 8 ur dnevno (22).



Slika 4. Razsevni diagram 1.488 vrednosti temperature zraka (°C) in pripadajočih urnih koncentracij ozona (µg/m³) za območje vrednosti temperature zraka 30,0 °C in več za leta 2002–2006; merilno mesto Nova Gorica.

Figure 4. A scattergram of 1,488 daily temperatures (°C) and corresponding hourly ozone concentrations (µg/m³) for air temperatures of 30°C and higher for the period 2002-2006; the Nova Gorica measurement site.

Ugotovili smo, da na Goriškem temperatura zraka, ki je nižja od 17 °C, ne vpliva bistveno na spremembe v koncentraciji ozona, pri temperaturah, višjih od 17 °C, pa je njen vpliv pomemben, saj skoraj polovico variabilnosti v koncentraciji ozona lahko pripišemo prav temperaturi. Preostalo variabilnost (dobro polovico) lahko pripišemo drugim dejavnikom, ki pogojujejo nastanek troposferskega ozona. To so npr. koncentracija predhodnikov ozona, intenzivnost sončne svetlobe oz. ultravijoličnega sevanja in gibanje zračnih mas, ki lahko prinesejo onesnaženje z ozonom tudi iz precej oddaljenih krajev.

Posebej smo ocenjevali vpliv temperature na koncentracijo ozona pri temperaturi 30 °C in več, ker so se v tem temperaturnem razredu na Goriškem najpogosteje pojavljala največja 8-urna dnevna povprečja koncentracij ozona z vrednostmi nad 160 µg/m³, ki že pomembno vplivajo na zdravje ljudi. Ugotovili smo, da je vpliv temperature na variabilnost koncentracije ozona v tem območju prisoten, vendar bistveno manjši kot v celotnem temperaturnem območju od 17 °C naprej. Iz tega sledi, da pri temperaturi zraka 30 °C in več na porast koncentracije ozona vplivajo predvsem drugi dejavniki, ki pogojujejo nastanek ozona, in ne temperatura. Ta ugotovitev sovpada z ocenami, da smo najvišje koncentracije ozona na merilnem mestu Nova Gorica izmerili pri močnejših zahodnih in jugozahodnih vetrovih, ki s seboj prinašajo z ozonom in njegovimi predhodniki onesnažen zrak iz severne Italije (23,24).

Povsem pričakovano je, da ne moremo celotne variabilnosti v koncentracije ozona pojasniti s temperaturo, saj je koncentracija ozona v troposferi odvisna od številnih dejavnikov. Količino ozona določa ravnotežje med kemijskimi procesi, ki tvorijo ozon in procesi, ki ozon razgrajujejo. Ravnotežje je določeno s količino plinov, ki reagirajo (predhodnikov ozona), in hitrostjo učinkovitosti reakcij glede na intenzivnost sončne svetlobe, višinsko razporeditev v atmosferi, temperaturo in druge dejavnike (25).

V gosto naseljenih predelih Evropske regije s težko industrijo se razmerje med predhodniki bistveno ne spreminja, zato so v glavnem meteorološki dejavniki (temperatura zraka, intenzivnost ultravijoličnega sevanja, gibanje zračnih mas, ipd.) tisti, ki uravnavajo fotokemijske procese in prispevajo k vsakoletnim razlikam v koncentracijah troposferskega ozona. Vzrok za visoke koncentracije troposferskega ozona na Goriškem (in v primerjavi z ostalo Slovenijo tudi širše na Primorskem) so poleg lokalnega onesnaževanja ozračja s predhodniki ozona ugodne razmere za potek fotokemijskih reakcij (veliko sončnega obsevanja, visoke temperature). Svojo vlogo pri tem igra tudi

prenos ozona ter njegovih predhodnikov z zahodnimi in jugozahodnimi vetrovi (26) iz severne Italije, ki sodi med območja v Evropi, ki so najbolj onesnažena z ozonom (11). Ugotavljamo, da postaja čezmejno širjenje ozona na velike razdalje v Evropi vedno večji problem, na katerega opozarja tudi Evropski urad SZO (27).

Raziskava ima tako pomanjkljivosti kot prednosti. Pomanjkljivost je uporaba linearnih modelov in ne modelov višjih stopenj, vendar so prvi širšemu krogu bralcev bistveno bolj razumljivi. Z metodološkega vidika bi lahko bilo nekoliko problematično še to, da točke v razsevnih diagramih niso razsejane enakomerno (ni homoskedastičnosti), vendar pa predpostavljamo, da na končni rezultat to bistveno ne vpliva. Naše ocene bi bile tudi bistveno bolj natančne, če bi upoštevali v analizah sočasno še vsaj koncentracije NO_x. Te pomanjkljivosti se zavedamo, a smo se odločili, da najprej poskusimo priti do grobe ocene, kompleksne analize pa prestavimo v bližnjo prihodnost. Po drugi strani pa so rezultati raziskave ključnega pomena za ozaveščanje prebivalcev na Goriškem, saj skupaj z napovedmi najvišjih urnih dnevni koncentracij ozona in najvišjih temperatur za en dan vnaprej, ki jih napoveduje in objavlja ARSO, omogočajo prebivalcem na Goriškem lažje načrtovanje varnih dnevni dejavnosti na prostem. Rezultate raziskave smo poleg ostalih dosedanjih ugotovitev že vključili v najnovejša priporočila ki jih je izdal Zavod za zdravstveno varstvo Nova Gorica za ukrepanje ob povišanih koncentracijah troposferskega ozona (28).

5 Zaključek

Temperatura pomembno vpliva na stopnjo onesnaženosti zraka z ozonom na Goriškem že od vrednosti 17 °C naprej. Z naraščanjem temperature se njen vpliv povečuje, vendar pa pri temperaturah zraka, višjih od 30 °C, pri katerih se sicer na Goriškem pojavljajo koncentracije ozona s pomembnim vplivom na zdravje ljudi, na porast koncentracije ozona vplivajo predvsem drugi dejavniki (85 %), ki pogojujejo nastanek ozona, in ne več v tolikšni meri temperatura. Pri tem igrajo pomembno vlogo tudi močnejši zahodni in jugozahodni vetrovi, ki prinašajo onesnaženje z ozonom tudi z oddaljenih območij, predvsem iz Padske nižine v Italiji.

Literatura

- 1 World Health Organization. Air quality guidelines. Global update 2005. Particular matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen: World Health Organization,, 2006.

- 2 European Environment Agency. Environment and health. Copenhagen: European Environment Agency, 2005.
- 3 World Health Organization. How large a risk to health is air pollution in the European region, and is there evidence indicating effective measures to reduce it? Pridobljeno 28.2.2007 s spletne strani: http://www.euro.who.int/HEN/Syntheses/short/20051128_1.
- 4 World Health Organization. Air quality guidelines for Europe. 2nd ed. Copenhagen: World Health Organization, 2000. Pridobljeno 28.2.2007 s spletne strani: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf.
- 5 Agencija Republike Slovenije za okolje. Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2005. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje, 2006. Pridobljeno 10.8.2009 s spletne strani: http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/kakovost_zraka_2005.pdf.
- 6 Agencija Republike Slovenije za okolje. Ozon: vprašanja in odgovori: ozon naš zaščitnik in sovražnik. Pridobljeno 10.8.2009 s spletne strani: <http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/vpra%20c5%a1anja%20in%20odgovori/>
- 7 U.S. Environmental Protection Agency. Ozone. Pridobljeno 23.8.2007 s spletne strani: <http://www.epa.gov/air/urbanair/ozone/what.html>.
- 8 Agencija Republike Slovenije za okolje. Ozon. Pridobljeno 23.8.2007 s spletne strani: <http://www.arso.gov.si/novice/datoteke/021858-Ozon.doc>.
- 9 European Environment Agency. Air pollution by ozone in Europe in summer 2005. EEA Technical Topic report 3/2006. Copenhagen: European Environment Agency, 2006.
- 10 U.S. Environmental Protection Agency. Air quality criteria for ozone and related photochemical oxidants. Pridobljeno 23.8.2007 s spletne strani: <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?died=149923>.
- 11 Park SK, O'Neill MS, Vokonas PS, Sparrow D, Schwartz J. Effects of air pollution on heart rate variability: the VA normative aging study. *Environ Health Perspect* 2005; 113: 304-309.
- 12 Künzli N, Jerrett M, Mack WJ, Beckerman B, LaBree L, Gilliland F, et al. Ambient air pollution and atherosclerosis in Los Angeles. *Environ Health Perspect* 2005; 113: 201-6.
- 13 Hong YC, Lee JT, Kim H, Kwon HJ. Air pollution: a new risk factor in ischemic stroke mortality. *Stroke* 2002; 33: 2165-2169.
- 14 European Environment Agency. Air pollution by ozone in Europe in summer 2004. EEA Technical Topic report 3/2005. Copenhagen: European Environment Agency, 2005. Pridobljeno 23.8.2007 s spletne strani: http://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2005_3.
- 15 Agencija Republike Slovenije za okolje. Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2002. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje, 2005. Pridobljeno 23.8.2007 s spletne strani: http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/kakovost_zraka_2002.pdf.
- 16 Agencija Republike Slovenije za okolje. Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2003. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje, 2005. Pridobljeno 23.8.2007 s spletne strani: http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/kakovost_zraka_2003.pdf.
- 17 Agencija Republike Slovenije za okolje. Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2004. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje, 2005. Pridobljeno 23.8.2007 s spletne strani: <http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Porocilo2004.pdf>.
- 18 Agencija Republike Slovenije za okolje. Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2006. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje, 2007. Pridobljeno 23.8.2007 s spletne strani: <http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/LETNO2006.pdf>.
- 19 Uredba o ozonu v zunanjem zraku. Uradni List RS. 2003; 13: 533-5. Pridobljeno 29.5.2010 s spletne strani: http://www.uradni-list.si/_pdf/2003/Uru2003008.pdf.
- 20 Agencija RS za okolje Šdomača stran na svetovnem spletu. Pridobljeno 29.5.2010 s spletne strani: <http://www.arso.gov.si/>.
- 21 Altman DG. Practical statistics for medical research. London: Chapman & Hall, 1993.
- 22 World Health Organisation. Climate and change. Pridobljeno 28.3.2008 s spletne strani: <http://www.who.int/globalchange/news/fsclimandhealth/en/index.html>.
- 23 Agencija Republike Slovenije za okolje. Kakovost zraka v Novi Gorici v letih 2002-2006. Pridobljeno 5.6.2008 s spletne strani: <http://www.nova-gorica.si/>.
- 24 Žabkar R. Statistično napovedovanje ozona s predhodnim razvrščanjem trajektorij v skupine. Pridobljeno 5.6.2008 s spletne strani: <http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/>.
- 25 *National Oceanic and Atmospheric Administration*. Twenty questions and answers about the ozone layer: 2006 update. Pridobljeno 28.8.2007 s spletne strani: <http://www.esrl.noaa.gov/csd/assessments/2006/chapters/twentyquestions.pdf>.
- 26 Agencija Republike Slovenije za okolje. Ozon. Pridobljeno 23.8.2007 s spletne strani: <http://www.arso.gov.si/slike/01166-Ozon.doc>.
- 27 Amann M, Derwent D, Forsberg B, Hänninen O, Hurley F, Krzyzanowski M, de Leeuw F, Liu SJ, Mandin C, Schneider J, Schwarze P, Simpson D. Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution. Copenhagen: World Health Organization, 2008. Pridobljeno 28.5.2010 s spletne strani: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78647/E91843.pdf.
- 28 Šimac N. Ukrepanje ob povišanih koncentracijah prizemnega ozona. Nova Gorica: Zavod za zdravstveno varstvo Nova Gorica, 2008. Pridobljeno 28.8.2009 s spletne strani: http://www.zzv-go.si/fileadmin/pdfdoc2008/46_ozon_ukrepanje.pdf.