

ONESNAŽENOST ZRAKA Z DELCI PM₁₀ V MARIBORU, LJUBLJANI IN KOPRU V OBDOBJU 2005–2014

Uroš Rebernak

profesor geografije in zgodovine, inženir logistike
Ritoznoj 74, SI – 2310 Slovenska Bistrica, Slovenija
e-mail: uros.rebernak@gmail.com

UDK: 911.2:614.7

COBISS: 1.01

Izvleček

Onesnaženost zraka z delci PM₁₀ v Mariboru, Ljubljani in Kopru v obdobju 2005–2014

Onesnaženost zraka ima velik vpliv na zdravje in počutje ljudi, poleg tega vpliva tudi na ostale žive organizme. V preteklosti je za najbolj problematično onesnaževalo veljal žveplov dioksid, po uvedbi goriv z nizko vsebnostjo žvepla ter izvedenih ukrepov v termoelektrarnah in industriji v Sloveniji težav z njim nimamo več. Sedaj je pri nas najbolj pereč problem onesnaženost zraka z ozonom in delci PM₁₀. Članek analizira letne in dnevne režime delcev PM₁₀ v Mariboru, Ljubljani in Kopru v obdobju 2005–2014, interpretira linearni trend koncentracij delcev PM₁₀, primerja povprečne vrednosti delcev PM₁₀ na vseh treh merilnih mestih in analizira primera dnevnih režimov ekstremno visokih koncentracij delcev PM₁₀, ki sta ju povzročila ognjemeta in uporaba zasebne pirotehniko.

Ključne besede

kakovost zraka, onesnaženost zraka, delci PM₁₀, Maribor, Ljubljana, Koper

Abstract

Air pollution with PM₁₀ particles in Maribor, Ljubljana and Koper in the period 2005–2014

Air pollution has a large impact on health and well-being of people, and it affects other living organisms, as we cannot avoid the air that we breathe. Sulphur dioxide was considered the most problematic pollutant in the past. After introduction of fuels with low sulphur content and implemented measures in thermal power plants and in industry, we no longer have problems with sulphur in Slovenia. Ozone pollution and PM₁₀ particles pollutions are currently the most serious ones in Slovenia. The article analyses annual and daily regimes of PM₁₀ particles in Maribor, Ljubljana, and Koper in the period 2005–2014. It interprets the linear trend of PM₁₀ particles trend, compares average values of PM₁₀ particles in all three measuring locations, and analyses the examples of daily regimes of extremely high PM₁₀ particles concentration caused by the fireworks and use of private pyrotechnics.

Key words

Air quality, air pollution, PM₁₀ particles, Maribor, Ljubljana, Koper

Uredništvo je članek prejelo 15.9.2017

1. Uvod

Onesnaženost zraka ima velik vpliv na zdravje in počutje ljudi, poleg tega vpliva tudi na ostale žive organizme. V preteklosti je za najbolj problematično onesnaževalo veljal žveplov dioksid, po uvedbi goriv z nizko vsebnostjo žvepla ter izvedenih ukrepov v termoelektrarnah in industriji v Sloveniji težav z njim nimamo več. Sedaj je pri nas najbolj pereč problem onesnaženost zraka z ozonom in delci PM₁₀.

Onesnaževala zraka so snovi, ki škodljivo vplivajo na človeka ali okolje. Mednje sodijo plini, kot so dušikovi oksidi in ozon. Med onesnaževala zraka uvrščamo tudi delce, ki lebdi v zraku. Ti so različnih velikosti, sestave in agregatnega stanja. Onesnaženost zraka je v največji meri posledica človekove dejavnosti, kakovost zraka pa lahko poslabšajo tudi naravni viri, kot so požari v naravi ali izbruhi ognjenikov. Nekatera (primarna) onesnaževala v zrak neposredno sproščajo viri onesnaževanja. Druga (sekundarna) onesnaževala, na primer ozon, pa nastajajo v ozračju kot produkt kemičnih procesov. Zaradi gibanja zračnih mas lahko onesnaževala zraka prepotujejo velike razdalje in vplivajo na človeka ter okolje daleč od mesta njihovega izpusta (Kakovost zraka... 2014).

Onesnažen zrak vpliva na zdravje in počutje ljudi bolj kot drugi vplivi okolja, zato velja za najpomembnejši zdravstveni problem, ki je povezan z onesnaževanjem okolja. V Evropi je okoli 90 odstotkov prebivalstva, ki živi v mestih, izpostavljenega čezmernim vrednostim dušikovih oksidov, ozona, delcev PM₁₀ in benzena v zunanjem zraku (Kuenzli 2000).

Onesnažen zrak je po oceni Svetovne zdravstvene organizacije v letu 2012 v Evropi povzročil več kot 400 000 prezgodnjih smrti. Najpogostejši vzroki prezgodnje smrti, povezani z onesnaženostjo zraka, so srčna kap in bolezen srca (80 odstotkov primerov), sledijo pa bolezen pljuč in pljučni rak. Mednarodna agencija za raziskave raka je leta 2013 onesnažen zunanji zrak uvrstila med kancerogene dejavnike za ljudi. S povečano pojavnostjo raka je najtesneje povezana onesnaženost zraka z delci. Izpostavljenost zraku, onesnaženem z delci, povzroča nastanek pljučnega raka in povečuje tveganje za nastanek raka na mehurju (Simon 2013; Burden of disease... 2014).

Raziskave iz istega leta kažejo tudi, da lahko ima izpostavljenost onesnaženemu zraku v zgodnjem otroštvu pomemben vpliv na razvoj otroka in lahko sproži nastanek bolezni, ki se pokažejo kasneje, v odrasli dobi (diabetes, astma in alergije). Po podatkih Svetovne zdravstvene organizacije lahko izpostavljenost onesnaženemu zraku med nosečnostjo med drugim povzroči spontani splav, zmanjšano rast ploda in prezgodnje rojstvo, prizadet je lahko tudi imunski sistem novorojenčkov. Kljub temu da ima onesnažen zrak velik vpliv na zdravstveno stanje manjšine prebivalstva, je treba poudariti, da večini prebivalstva ne povzroča hudih zdravstvenih posledic (Effects of air pollution... 2005; Environment and human health 2013).

Onesnažen zrak zaradi vnosa škodljivih snovi preko zraka v vodo in tla v veliki meri prizadene tudi ekosisteme. Leta 2010 je bilo evτροφikaciji izpostavljene 62 odstotkov površine Evropske unije, vključno z 71 odstotki ekosistemov na območjih Natura 2000. Onesnažen zrak škodljivo vpliva na gozdove in zmanjšuje pridelke v kmetijstvu, škoduje pa tudi zgradbam in drugim konstrukcijam (Kakšen zrak dihamo... 2013; Kakovost zraka... 2015).

Ekonomski vidik onesnaženosti zraka je viden v zmanjšanju produktivnosti zaradi boleznih in naraščajočih stroškov medicinske oskrbe. Skupni eksterni stroški Evropske unije, ki so posledica vplivov na zdravje, se gibljejo med 330 in 940 milijardami evrov. Neposredna gospodarska škoda vključuje zdravstvene stroške v višini 4 milijarde evrov, 15 milijard evrov je stroškov, ki so posledica izgubljenih delovnih dni, zaradi izgube pridelka je škoda za 3 milijarde evrov, škoda na objektih pa znaša 1 milijardo evrov (Program "Čisti zrak za Evropo" 2014; Otorepec in Kovač 2015).

Čeprav se je onesnaženost zraka v zadnjih petdesetih letih bistveno zmanjšala, je izboljšanje kakovosti zraka še vedno eden izmed osrednjih ciljev okoljskih politik. Podnebne spremembe in onesnaženost zraka sta različna, a povezana problema. Toplogredni plini, ki se v ozračju zadržujejo daljši čas, lahko tudi več stoletij, so inertni in na zdravje človeka ne vplivajo neposredno, onesnaževala zraka pa se v ozračju po navadi zadržujejo le nekaj dni ali tednov. Kljub temu nekatera onesnaževala zraka vplivajo na podnebje. Nekatera onesnaževala prispevajo k ohlajanju ozračja, spet druga povzročajo njegovo segrevanje. Poleg tega toplogredne pline in onesnaževala pogosto sproščajo iste aktivnosti, na primer uporaba fosilnih goriv, zato obstaja medsebojno dopolnjevanje med zmanjševanjem onesnaženosti zraka in blaženjem podnebnih sprememb. Obstajajo pa tudi nasprotja, do katerih pride na primer pri uporabi lesa v energetske namene. Les je CO₂ nevtralno gorivo, povzroča pa lahko visoke izpuste delcev PM₁₀, še posebej, če se uporablja v zastarelih kurilnih napravah v gospodinjstvih (Kakovost zraka... 2014).

Izraz delci (angl. Particulate Matter – PM) se uporablja kot splošen izraz, ki obsega suspendirane delce (tekoče in trdne) v plinu. PM_{2,5} se nanaša na fine delce (fine particles), ki imajo aerodinamični premer, manjši od 2,5 μm, PM₁₀ pa se nanaša na delce z aerodinamičnim premerom pod 10 μm. PM₁₀ poleg finih delcev, ki imajo aerodinamični premer pod 2,5 μm, vključujejo tudi grobe delce (coarse particles), ki imajo aerodinamični premer med 2,5 in 10 μg/m³ (Kakovost zraka... 2016).

Delce glede na izvor delimo na primarne in sekundarne. Primarne delce sproščajo v ozračje viri izpustov neposredno, sekundarni delci pa nastajajo v ozračju z oksidacijo in pretvorbo primarnih plinastih izpustov. Najbolj pomembni plini, ki prispevajo k tvorbi delcev, so žveplov dioksid, dušikovi oksidi in amonijak ter hlapne organske spojine. Imenujemo jih predhodniki delcev. Pri reakcijah med žveplovim dioksidom, dušikovimi oksidi in amonijakom pride do nastanka spojin, ki vsebujejo sulfat, nitrat in amonij in s kondenzacijo tvorijo nove delce, ki jih imenujemo sekundarni anorganski aerosoli. Pri oksidaciji nekaterih hlapnih organskih spojin nastajajo manj hlapne spojine, ki tvorijo sekundarne organske aerosole. Nastajanje sekundarnih delcev je odvisno od številnih kemijskih in fizikalnih dejavnikov. Najpomembnejši so visoka koncentracija predhodnikov delcev, reaktivnost ozračja, ki je odvisna predvsem od koncentracije visoko reaktivnih spojin (hidroksilni radikali in ozon), in meteorološke spremenljivke (temperatura, sončno sevanje, relativna vlaga, oblačnost). Sekundarni anorganski in organski aerosoli, dviganje usedlin s tal (resuspenzija), elementarni ogljik in morski aerosoli predstavljajo približno 70 odstotkov mase delcev PM₁₀ in PM_{2,5}, preostalih 30 odstotkov lahko pripišemo vodi. Delci so lahko antropogenega ali naravnega izvora. Naravni viri delcev so predvsem posledica vnosa morske soli, naravne resuspenzije tal, ki lahko vpliva na velike razdalje (puščavski prah), in cvetnega prahu. Antropogeni viri obsegajo ogrevanje stanovanjskih in drugih stavb, zgorevanje goriv v termoenergetskih objektih in industriji ter kmetijstvo in promet. Pomemben vir delcev v naseljih predstavljajo predvsem izpusti iz prometa ter resuspenzija s cestišč in izpusti iz individualnih kurišč.

Značilnost teh virov so nizke višine izpustov (po navadi so nižje od 20 metrov), zato ti viri v veliki meri prispevajo k ravnem onesnaženosti zunanjega zraka pri tleh (Kakovost zraka... 2014).

Študije, ki jih je opravila epidemiološka stroka, kažejo, da imajo z vidika onesnaženosti zraka delci najbolj negativen vpliv na zdravje. Zdravstveno tveganje lahko predstavljajo celo koncentracije pod sedanjimi zakonsko določenimi mejnimi vrednostmi. Poročila, ki jih je pripravila Svetovna zdravstvena organizacija, kažejo na to, da ne obstaja meja, pod katero ni pričakovati vplivov na zdravje. Vdihavanje delcev in njihov posledični vdor v pljuča in krvni sistem namreč vpliva na zdravje, saj povzroča okvare kardiovaskularnega, respiratornega, imunskega in živčnega sistema. Manjši delci lahko prodrejo globlje v pljuča. Do vnetja ali poškodb tkiva prihaja zaradi kemijskih in fizikalnih interakcij med tkivom in delci. Poleg negativnega vpliva na zdravje onesnaženost z delci vpliva tudi na ekosisteme in podnebje. Delci v ozračju zmanjšajo vidljivost, vplivajo na padavinski režim in povzročajo škodo na objektih. Delci tudi spreminjajo odbojnost Zemlje za sončno svetlobo, to pa vpliva na podnebne spremembe (Otošec 2010).

V Evropi v povprečju približno polovico mase delcev $PM_{2,5}$ in eno tretjino mase delcev PM_{10} v zraku predstavlja vsota anorganskih ionov nitrata, amonija in sulfata (sekundarni anorganski aerosoli). Te spojine so posledica kemijskih reakcij v ozračju, ki vključujejo predhodnike: dušikove okside, amonijak in žveplove okside. Druga pomembna komponenta delcev so organske snovi, ki predstavljajo približno 30 odstotkov mase $PM_{2,5}$ in 20 odstotkov mase PM_{10} (Air quality... 2014).

Slovenija sodi med države Evropske unije z največjimi specifičnimi izpusti delcev. Po izpustih delcev PM_{10} na prebivalca je bila Slovenija v letu 2014 na četrtem mestu, pri izpustih delcev $PM_{2,5}$ pa celo na drugem mestu, takoj za Latvijo. Za večino držav z visokimi izpusti delcev na prebivalca je značilna velika poraba lesa in ostalih trdih goriv v malih kurilnih napravah. Po izpustih delcev PM_{10} glede na površino ozemlja je prva Belgija, katere gostota prebivalstva je kar 3,5-krat večja od slovenske. Pred Slovenijo sta tudi Poljska in Danska. Pri izpustih delcev $PM_{2,5}$ na enoto površine je Slovenija na drugem mestu, takoj za Belgijo. V primerjavah nista upoštevana Malta in Luksemburg, ker njihovi rezultati zaradi majhnosti in izračuna izpustov v prometu na osnovi prodanih količin goriva niso primerljivi (Kakovost zraka... 2016).

Visoki specifični izpusti delcev PM_{10} in $PM_{2,5}$ v Sloveniji so predvsem posledica velikega deleža ogrevanja gospodinjstev z lesom v zastarelih individualnih kurilnih napravah. Za njihov vpliv na kakovost zraka je pomembno tudi, da se izpusti zaradi ogrevanja stavb sproščajo v hladni polovici leta, ko so v Sloveniji še posebej neugodne razmere za razredčevanje (dispertzijo) izpustov, saj prevladujejo tipične anticiklonalne razmere s šibkimi vetrovi ter z izrazitimi plitvimi temperaturnimi inverzijami v prizemnih plasteh ozračja (Kakovost zraka... 2014; Kakovost zraka... 2015).

Da bi se izognili škodljivim učinkom na zdravje ljudi in okolje, jih zmanjšali ali celo preprečili, je Slovenija v skladu z Direktivo 2008/50/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 21. maja 2008 o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo izdala Uredbo o kakovosti zunanjega zraka in Uredbo o spremembah in dopolnitvah Uredbe o kakovosti zunanjega zraka, ki določata standarde kakovosti zunanjega zraka, še posebej ciljne, mejne, opozorilne, kritične in alarmne vrednosti, način obveščanja javnosti ob preseganju opozorilne in alarmne vrednosti za določena onesnaževala ter obveznost priprave načrtov za ohranjanje in izboljšanje kakovosti

zunanjega zraka. Za delce PM₁₀ sta predpisani dnevna in letna mejna vrednost. Dnevna mejna vrednost, ki znaša 50 µg/m³, ne sme biti presežena več kot 35-krat v koledarskem letu, letna mejna vrednost pa znaša 40 µg/m³ (Uradni list RS 9/11; Uradni list RS 8/15).

2. Metodologija

V članku so predstavljeni rezultati statistične analize onesnaženosti zraka z delci PM₁₀ v Mariboru, Ljubljani in Kopru za obdobje 2005–2014.

Najprej smo iz urnih vrednosti koncentracij delcev PM₁₀ izračunali povprečne mesečne in letne vrednosti delcev PM₁₀ v Mariboru, Ljubljani in Kopru ter analizirali linearni trend, ki nam pokaže, ali so se koncentracije delcev PM₁₀ v posameznem mesecu na letnem nivoju v obdobju 2005–2014 povečale ali znižale. Z linijskim grafikonom smo med seboj primerjali izračunana povprečja mesečnih vrednosti v 10-letnem obdobju za merilna mesta Maribor, Ljubljana in Koper.

V nadaljevanju smo preučili povprečne dnevne režime delcev PM₁₀ na nivoju izbranega leta. Kriterija, na podlagi katerih smo izbrali leto, sta bila, da je bila povprečna letna koncentracija onesnaževala med najvišjimi in da so bili podatki urnih vrednosti koncentracij delcev PM₁₀, ki smo jih prejeli od Agencije Republike Slovenije za okolje, na voljo za vse mesece v letu. Na podlagi teh kriterijev smo izbrali leto 2006. Nato smo izračunali še 10-dnevne drseče sredine, ki smo jih prikazali na linijskih grafikonih. Na koncu smo analizirali primera ekstremno visokih koncentracij delcev PM₁₀. Podatke smo prikazali z linijskima grafikonom, pri analizi primerov ekstremno visokih koncentracij delcev PM₁₀ pa smo uporabljali tudi arhiv produktov modela ALADIN/SI Državne meteorološke službe.

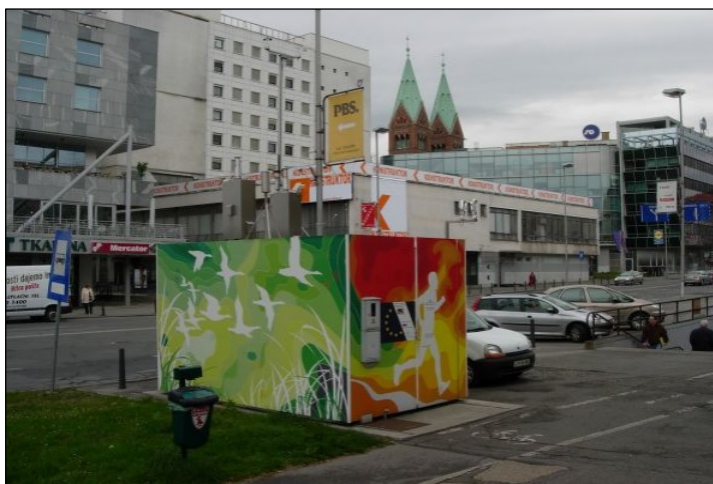
Merilna mesta Maribor, Ljubljana in Koper smo izbrali predvsem zaradi dvojega: ker so urni podatki koncentracij delcev PM₁₀ s teh merilnih mest na voljo najdlje časa in ker smo lahko s primerjavo podatkov dobili horizontalni pregled onesnaženosti zraka z delci PM₁₀ v Sloveniji za obdobje 2005–2014.

3. Merilna mesta

Državno merilno mrežo za spremljanje kakovosti zunanjega zraka upravlja Agencija Republike Slovenije za okolje. Lokacije merilnih mest so bile izbrane v skladu z določili Pravilnika o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka (Uradni list RS 55/11; Uradni list RS 6/15; Uradni list RS 5/17).

Merilno mesto Maribor leži na 272,4 metra nadmorske višine, znotraj cestnega kanjona, ob prometnici (Titova cesta), z dnevnim prometom 46 000 vozil, v neposredni bližini semaforiziranega križišča in avtobusnega postajališča. Uvrščamo ga v prometni tip merilnega mesta. Tip območja je urbani, značilnost območja je poslovno-stanovanjska. Meritve na prometnih mestnih merilnih mestih kažejo, kakšna je kakovost zraka v ozkem pasu ob prometnih cestah, kjer se ljudje večinoma zadržujejo kratek čas. Agencija Republike Slovenije za okolje ocenjuje, da je onesnaženost zraka na takih lokacijah od 60 do 70 odstotkov višja kot na lokacijah mestnega ozadja, kjer živi večina prebivalstva. Aglomeracija Maribor, kamor sodi merilno mesto Maribor, zajema območje mestne občine Maribor s 110 000 prebivalci in površino 148 km², leži na prehodu doline Drave na Dravsko in Ptujsko polje. Teren je večinoma raven, klima pa je pretežno celinska z vplivom predalpske. V primerjavi

s kotlinami osrednje Slovenije je to območje sicer bolj prevetreno, vendar ne dovolj, zato se v zimskem obdobju onesnaževala v zunanjem zraku dalj časa zadržujejo nad urbaniziranim območjem občine Maribor, kar kažejo tudi rezultati meritev (Atlas okolja 2013; Kakovost zraka... 2016).



Slika 1: Merilno mesto Maribor.

Vir: Atlas okolja, 2013.

Merilno mesto Ljubljana, ki leži na 279,9 metra nadmorske višine, je locirano na dvorišču Agencije Republike Slovenije za okolje (v neposredni bližini je parkirišče Agencije) in se uvršča v tip mestnega ozadja. Reprerativno je za velik del urbanih območij, za območja, ki niso izpostavljena direktnim obremenitvam z zelo prometnih cest. V neposredni bližini so poslovno-stanovanjski objekti. Merilno mesto je pretežno pod vplivom lokalnega prometa in manjših industrijskih obratov ter v manjši meri pod vplivom emisij individualnih kurišč v bližnji okolici. Reprerativno je za širše območje poselitve mestne občine Ljubljana. Aglomeracija Ljubljana, kamor sodi merilno mesto Ljubljana, zajema območje mestne občine Ljubljana z 266.000 prebivalci in površino 275 km². Leži na dnu Ljubljanske kotline. Teren je večinoma raven z nekaj manjšimi griči. Klima je predalpska. Za Ljubljansko kotlino so značilne zelo pogoste temperaturne inverzije z višino od 100 do 300 m nad dnem kotline in vetrovi s hitrostjo pod 1 m/s (Atlas okolja 2013; Določitev novih merilnih mest... 2009).

Merilno mesto Koper leži na vzpetini na 52,7 metra nadmorske višine na zahodnem obrobju mesta in je reprerativno za večino prebivalstva mesta Koper. Uvršča se v tip mestnega ozadja, značilnost območja je stanovanjska. V bližini merilnega mesta ni večjih virov onesnaževanja. Viri, ki so bolj na severnem obrobju mesta, zaradi specifičnih vetrovnih razmer zelo malo vplivajo na kakovost zraka v samem mestu. Sredozemsko območje, kamor se uvršča merilno mesto Koper, zajema del Julijskih Alp, osrednji del meji na Padsko nižino, južni del pa je ob obali Jadranskega morja. Poseljenost tega območja je neenakomerna, večina prebivalstva je naseljena v okolici Gorice, Vipavske doline, obale in doline Soče. V nižjih delih je nekaj obdelovalnih površin, na severnem in vzhodnem delu pa je pretežno gozd. Pogoji za disperzijo onesnaževal so boljši kot v notranjosti države, saj je območje bolj prevetreno, pa tudi temperaturnih inverzij je malo (Atlas okolja 2013; Kakovost zraka... 2016).



Slika 2: Merilno mesto Ljubljana.

Vir: Atlas okolja, 2013.



Slika 3: Merilno mesto Koper.

Vir: Uroš Rebernak, 3. 8. 2015.

4. Povprečne mesečne vrednosti delcev PM_{10} v Mariboru, Ljubljani in Kopru v obdobju 2005–2014

Povprečje koncentracij delcev PM_{10} v Mariboru v obdobju 2005–2014 znaša $36,3068 \mu\text{g}/\text{m}^3$. V preučevanem obdobju (upoštevali smo leta, ko so bili urni podatki na voljo za vse mesece v letu) je bila najnižja povprečna letna vrednost delcev PM_{10} v Mariboru leta 2013 ($36,2320 \mu\text{g}/\text{m}^3$), najvišja pa leta 2006 ($43,2992 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Višje vrednosti so predvsem posledica stabilnejših vremenskih razmer v zimskem času, ko se zaradi temperaturnih inverzij onesnažen zrak dalj časa zadržuje v kotlini, v razmerah brez temperaturne inverzije pa so povprečne vrednosti delcev PM_{10} zaradi večje prevetrenosti nižje.

Pri pregledu povprečja letnih režimov po mesecih ugotovimo, da so bile povprečne mesečne vrednosti delcev PM₁₀ v Mariboru najvišje v zimskih mesecih (januar 50,9929 µg/m³) in najnižje v poletnih (avgust 30,2342 µg/m³). Nižje koncentracije delcev PM₁₀ poleti in višje pozimi so vidne v notranjosti Slovenije na mestnih merilnih mestih, saj se pozimi zaradi stabilnejše atmosfere in šibkejših vetrov onesnažen zrak zadržuje v bližini cestišč, ki so izvor emisij. Do povišanih koncentracij delcev prihaja v zimskem času zaradi dodatnih emisij iz individualnih kurišč. Letni režim koncentracij delcev PM₁₀ v Mariboru z minimumom poleti in maksimumom pozimi je opazen, čeprav poleti pozitiven učinek boljšega mešanja zraka zaradi močnejšega sončnega obsevanja zmanjšuje konvekcija toplega zraka pri tleh, zaradi česar pride v zrak več delcev. Zato so povprečne julijske vrednosti delcev PM₁₀ (30,2342 µg/m³) v Mariboru nekoliko višje od koncentracij junija (27,9434 µg/m³) in avgusta (26,4432 µg/m³). Linearni trend, ki obsega podatke povprečnih letnih vrednosti delcev PM₁₀ v Mariboru med letoma 2010 in 2014, znaša -1,0975 µg/m³ na nivoju enega leta. Po mesecih linearnega trenda ne moremo primerjati, saj smo ga zaradi pomanjkljivih urnih podatkov izračunali za januar, februar, marec, april in maj med letoma 2011 in 2014, za junij, september, oktober, november in december med letoma 2010 in 2014, za julij in avgust pa med letoma 2010 in 2013.

Povprečje koncentracij delcev PM₁₀ v Ljubljani v obdobju 2005–2014 znaša 30,2583 µg/m³. V preučevanem obdobju je bila najnižja povprečna letna vrednost delcev PM₁₀ leta 2014 (23,2440 µg/m³), najvišja pa leta 2005 (36,4039 µg/m³). Ogrin in Vintar Mally (2013) upad onesnaževal med letoma 2006 in 2010 pripisujeta gospodarski krizi in pojavu večjega deleža vozil s čistejšimi motorji. Nato pa so zaradi ponovne krepitve gospodarstva povprečne letne vrednosti delcev PM₁₀ ponovno nekoliko narasle. Višje vrednosti so predvsem posledica vremenskih razmer v zimskem času, ko se zaradi temperaturnih inverzij onesnažen zrak dalj časa zadržuje v kotlini, v razmerah brez temperaturne inverzije pa so povprečne vrednosti delcev PM₁₀ zaradi večje prevetrenosti nižje. Linearni trend, ki obsega podatke povprečnih letnih vrednosti delcev PM₁₀ v Ljubljani med letoma 2005 in 2014, znaša -1,0833 µg/m³ na nivoju enega leta, kar predstavlja trend zmanjševanja vrednosti delcev PM₁₀ za kar 10,833 µg/m³ na nivoju desetih let. Trend zmanjševanja vrednosti delcev PM₁₀ v Ljubljani je viden vseh dvanajst mesecev. Najvišji trend zmanjševanja je januarja, ki je z delci PM₁₀ najbolj onesnažen mesec, in znaša -2,8554 µg/m³ na nivoju enega leta, kar na nivoju desetih let pomeni -28,554 µg/m³. To je posledica vgradnje čistilnih naprav na eni strani, na drugi strani pa vremenskih razmer z manj inverzijami v zimskem času, ki onemogočajo disperzijo delcev PM₁₀.

Povprečje koncentracij delcev PM₁₀ v Kopru v obdobju 2005–2014 znaša 25,5455 µg/m³. V preučevanem obdobju je bila najnižja povprečna letna vrednost delcev PM₁₀ v Kopru leta 2014 (20,5282 µg/m³), najvišja pa leta 2005 (30,5634 µg/m³). Če pogledamo povprečje letnih režimov, ugotovimo, da so bile povprečne mesečne vrednosti delcev PM₁₀ v Kopru najvišje v zimskih mesecih (februar 31,1193 µg/m³), najnižje pa v poletnih (avgust 21,1631 µg/m³). Linearni trend, ki obsega podatke povprečnih letnih vrednosti delcev PM₁₀ v Kopru med letoma 2005 in 2014, znaša -0,8110 µg/m³ na nivoju enega leta, kar predstavlja trend zmanjševanja vrednosti delcev PM₁₀ za 8,8100 µg/m³ na nivoju desetih let. Po mesecih linearnega trenda ne moremo primerjati, saj smo ga zaradi pomanjkljivih urnih podatkov od januarja do maja 2005, novembra 2005 in od julija do avgusta 2008 izračunali za januar, februar, marec, april, maj in november med letoma 2006 in 2014, za julij in avgust pa med letoma 2009 in 2014.

Primerjava povprečnih vrednosti delcev PM₁₀ na vseh treh merilnih mestih v preučevanem obdobju kaže, da je zrak z delci PM₁₀ najbolj onesnažen v Mariboru (36,7521 µg/m³), sledi Ljubljana (30,2583 µg/m³), najmanj pa je zrak z delci PM₁₀ onesnažen v Kopru (25,4839 µg/m³). Najvišje povprečne vrednosti delcev PM₁₀ v Mariboru so posledica izpostavljenosti merilnega mesta prometu. Zaradi manjšega vpliva prometa na merilno mesto v Ljubljani so tudi povprečne vrednosti delcev PM₁₀ nižje večino leta. Višje kot v Mariboru so le decembra, saj se kaže povečan negativni vpliv temperaturnih inverzij, ki onemogočajo disperzijo delcev PM₁₀.

Preglednica 1: Povprečne mesečne vrednosti delcev PM₁₀ (v µg/m³) v Mariboru, Ljubljani in Kopru med letoma 2005 in 2014, izračunane iz urnih podatkov.

Mesec	Maribor	Ljubljana	Koper
1	50,9929	48,1784	29,9755
2	49,1537	44,1407	31,1193
3	44,7615	33,5007	30,3325
4	31,4402	23,7144	24,3107
5	28,0937	21,0298	22,8304
6	27,9434	20,9268	22,7258
7	30,2342	20,9145	24,5437
8	26,4432	19,2526	21,1631
9	30,6938	22,3679	21,9303
10	40,8453	31,7607	26,7869
11	41,2142	36,0685	24,5945
12	39,2090	41,2440	25,4945
Povprečje	36,7521	30,2583	25,4839

Vir: Agencija Republike Slovenije za okolje.

Preglednica 2: Trend povprečnih vrednosti delcev PM₁₀ (v µg/m³) po mesecih v Mariboru, Ljubljani in Kopru med letoma 2005 in 2014.

Mesec	Maribor	Ljubljana	Koper
1	-3,0225*	-2,8554	-0,6150****
2	-12,0000*	-1,05	-0,4629****
3	-7,0961*	-0,7546	-0,0364****
4	-0,8379*	-0,8601	-1,6670****
5	-4,1097*	-1,0363	-2,0491****
6	-0,2344**	-1,1457	-1,7472
7	3,2591***	-0,9597	-1,4926****
8	2,1173***	-0,1774	-0,7921****
9	-1,6535**	-1,0335	-1,0851
10	-1,3613**	-1,5555	-0,9943
11	-3,3146**	-1,0012	0,0869****
12	-2,5395**	-0,5698	-0,5934
Povprečje	-1,0975**	-1,0833	-0,8110

Opomba

* Linearni trend med letoma 2011–2014

** Linearni trend med letoma 2010–2014

*** Linearni trend med letoma 2010–2013

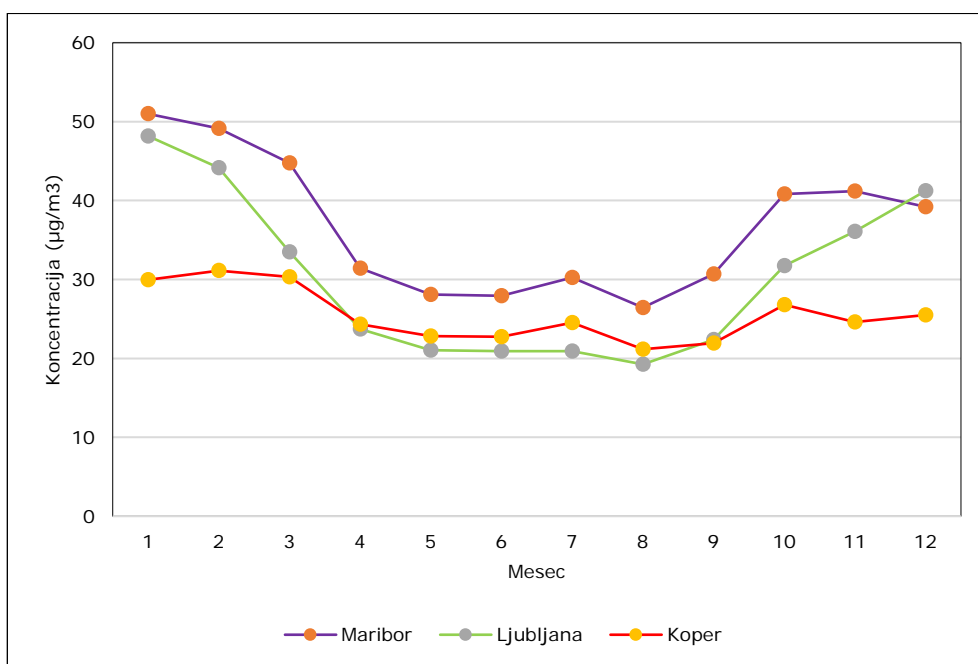
**** Linearni trend med letoma 2006–2014

***** Linearni trend med letoma 2009–2014

Vir: Agencija Republike Slovenije za okolje.

Letni režim koncentracij delcev PM₁₀ v Mariboru z minimumom poleti in maksimumom pozimi je opazen, čeprav poleti pozitiven učinek večjega mešanja zraka zaradi močnejšega sončnega obsevanja zmanjšuje konvekcija toplega zraka pri tleh, zaradi česar pride v zrak več delcev. Zato so povprečne julijske vrednosti delcev PM₁₀ v Mariboru nekoliko višje od vrednosti delcev PM₁₀ junija in avgusta. Letni režim koncentracij delcev PM₁₀ v Ljubljani z minimumom poleti in maksimumom pozimi je dobro izražen. Nižje koncentracije delcev PM₁₀ poleti in višje pozimi so vidne, ker se

pozimi zaradi stabilnejše atmosfere in šibkejših vetrov onesnažen zrak zadržuje v bližini cestišč, ki so izvor emisije. Do povišanih koncentracij delcev prihaja v zimskem času tudi zaradi dodatnih emisij iz individualnih kurišč. Zaradi gospodarske krize se uporabljajo cenejši in posledično manj čisti energenti (drva, biomasa in premog), kurilne naprave, ki so pogosto stare, pa imajo slabši toplotni izkoristek. Letni režim koncentracij delcev PM₁₀ v Kopru z minimumom poleti in maksimumom pozimi je opazen, ni pa izrazit, saj poleti pozitiven učinek boljšega mešanja zraka zaradi močnejšega sončnega obsevanja zmanjšuje konvekcija toplega zraka pri tleh, zaradi česar pride v zrak več delcev. Zato so povprečne julijske vrednosti delcev PM₁₀ v Kopru višje od junijskih, med aprilom in avgustom pa so povprečne vrednosti višje tudi od povprečnih vrednosti delcev PM₁₀ v Ljubljani. Precej manj kot v notranjosti Slovenije je v Kopru izražen zimski maksimum koncentracij delcev PM₁₀, saj je tam malo temperaturnih inverzij in manj emisij iz kurišč zaradi manjše potrebe po ogrevanju.



Slika 4: Povprečne mesečne vrednosti delcev PM₁₀ (v µg/m³) v Mariboru, Ljubljani in Kopru med letoma 2005 in 2014, izračunane iz urnih podatkov.

Vir: Agencija Republike Slovenije za okolje.

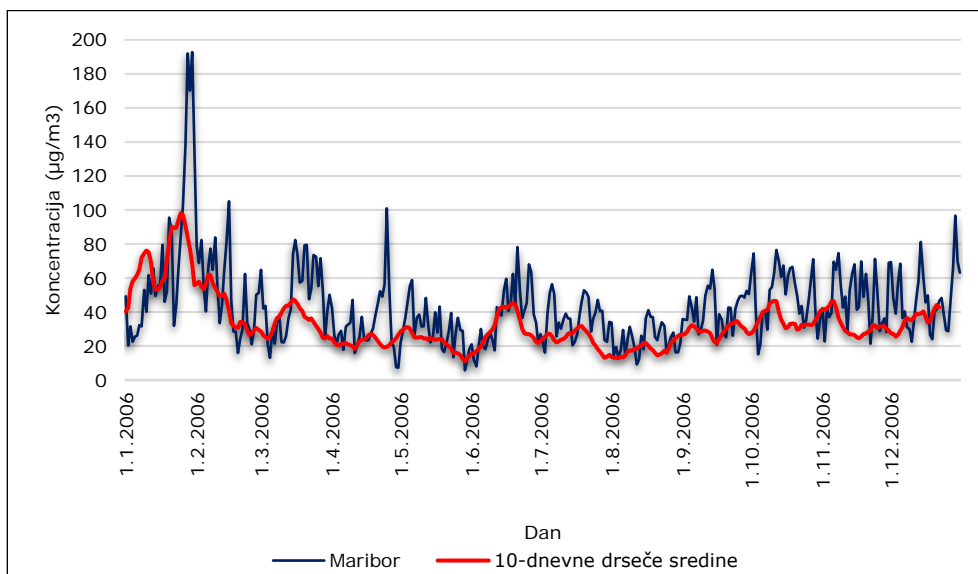
5. Povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀

Značilen letni režim delcev PM₁₀ ima maksimum v zimskem času, saj se takrat zaradi prevladujočega anticiklonalnega tipa in šibkejših vetrov zrak težje razredčuje. Povišane koncentracije v zimskem času so tudi posledica prometa in emisij iz individualnih kurišč.

Leta 2006 je bil v Mariboru letni režim povprečnih mesečnih vrednosti delcev PM₁₀ z maksimumom pozimi in minimumom poleti dokaj dobro izražen. Januarja so

povprečne mesečne vrednosti znašale 70,4072 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, februarja 51,7773 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, marca 48,4895 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, aprila 32,8800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, maja 30,7130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, junija 37,3586 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, julija 36,1878 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, avgusta 24,1501 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, septembra 41,5671 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, oktobra 49,9317 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, novembra 48,1444 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in decembra 47,9839 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Povprečna letna koncentracija delcev PM_{10} , izračunana iz urnih podatkov, je tako v Mariboru leta 2006 znašala 43,2992 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. To pomeni, da je bila presežena mejna letna vrednost za delce PM_{10} , ki po Uredbi o kakovosti zunanjega zraka (Uradni list RS 9/11; Uradni list RS 8/15) znaša 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Mejna dnevna vrednost za delce PM_{10} , ki znaša 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, po Uredbi o kakovosti zunanjega zraka (Uradni list RS 9/11; Uradni list RS 8/15) ne sme biti presežena več kot 35-krat v koledarskem letu. Iz povprečnih urnih vrednosti za delce PM_{10} , ki smo jih izračunali, je razvidno, da je bila ta vrednost v Mariboru leta 2006 presežena kar 117-krat. Onesnaženost zraka z delci PM_{10} je bila januarja v Mariboru visoka. Razlog za to sta dve daljši obdobji suhega, stabilnega vremena, s pogostimi temperaturnimi inverzijami. Povprečne urne vrednosti delcev PM_{10} so bile najvišje med 28. in 30. januarjem, ko se je končalo enotedensko obdobje stabilnega, mrzlega vremena brez vetra. Januarja je bila mejna dnevna vrednost delcev PM_{10} v Mariboru presežena 18-krat. Februarja so bile povprečne urne vrednosti delcev PM_{10} nižje od januarskih. V prvi polovici meseca je prevladovalo suho in mrzlo vreme s pogostim severovzhodnim vetrom, v drugi polovici meseca pa je prevladovalo spremenljivo vreme s pogostimi padavinami. Na nižje povprečne februarske vrednosti delcev PM_{10} sta ugodno vplivali obe vremenski situaciji, kljub temu je bila mejna dnevna vrednost delcev PM_{10} presežena 15-krat. Marca so bile povprečne urne vrednosti delcev PM_{10} nižje od februarskih. Razlog za navedeno gre iskati v spremenljivem vremenu s pogostimi padavinami in vetrovi. Maksimumi povprečnih urnih vrednosti delcev PM_{10} so se pojavljali v drugi polovici meseca, ko so se pojavljala krajša obdobja stabilnega vremena. Marca je bila mejna dnevna vrednost delcev PM_{10} v Mariboru presežena 16-krat. Aprila so bile povprečne urne vrednosti delcev PM_{10} še nižje kot v marcu, saj je prevladovalo še bolj spremenljivo vreme s pogostimi padavinami in vetrom. Razlog za maksimum 25. aprila je razvoj območja visokega zračnega pritiska, ki je prinesel topel in suh zrak. Aprila je bila mejna dnevna vrednost delcev PM_{10} v Mariboru presežena 5-krat. Maja so bile povprečne urne vrednosti delcev PM_{10} podobne aprilskim, saj je bilo vreme še naprej spremenljivo. Maksimum se je pojavil na začetku meseca, ko smo imeli nekajdnevno obdobje suhega vremena. Maja je bila mejna dnevna vrednost delcev PM_{10} v Mariboru presežena 2-krat, predvsem zaradi vpliva prometa. Junija so bile povprečne urne vrednosti delcev PM_{10} značilne za suhe poletne dni. Minimumi, ki so se pojavljali v juniju, so odraz krajevnih neviht, ki so prekinjale daljša obdobja suhega vremena. Junija je bila mejna dnevna vrednost delcev PM_{10} v Mariboru presežena 7-krat. Julija so bile povprečne urne vrednosti delcev PM_{10} še nižje od junijskih, saj je prevladovalo bolj vetrovno vreme. Julija je bila mejna dnevna vrednost delcev PM_{10} v Mariboru presežena 5-krat, predvsem zaradi resuspenzije, ko so se delci PM_{10} zaradi vpliva prometa (pritiska pnevmatik, turbulence okoli vozila) in vetra ponovno dvignili s cestišča, ki je ob merilnem mestu. Avgusta so bile povprečne urne vrednosti delcev PM_{10} zaradi pogostih padavin in močnejših vetrov nizke, zato mejna dnevna vrednost ni bila presežena. Septembra so bile povprečne urne vrednosti delcev PM_{10} zaradi prevladujočega lepega vremena višje kot avgusta, zato je bila mejna dnevna vrednost delcev PM_{10} v Mariboru presežena 9-krat. Oktobra so bile povprečne urne vrednosti delcev PM_{10} višje kot v septembru, saj je bil oktober nadpovprečno topel, padavin pa je bilo zelo malo. Mejna dnevna vrednost delcev PM_{10} je bila presežena 18-krat. Novembra so bile povprečne urne vrednosti delcev PM_{10} nižje kot oktobra. Mejna dnevna vrednost delcev PM_{10} je bila presežena 12-krat, saj je bilo vreme še naprej nadpovprečno toplo in brez temperaturnih inverzij, ki imajo v tem času navadno že

povečan negativni vpliv. Decembra so bile povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ nižje kot oktobra, saj je bilo vreme podobno kot novembra, torej nadpovprečno toplo. Mejna dnevna vrednost delcev PM₁₀ je bila presežena 11-krat.

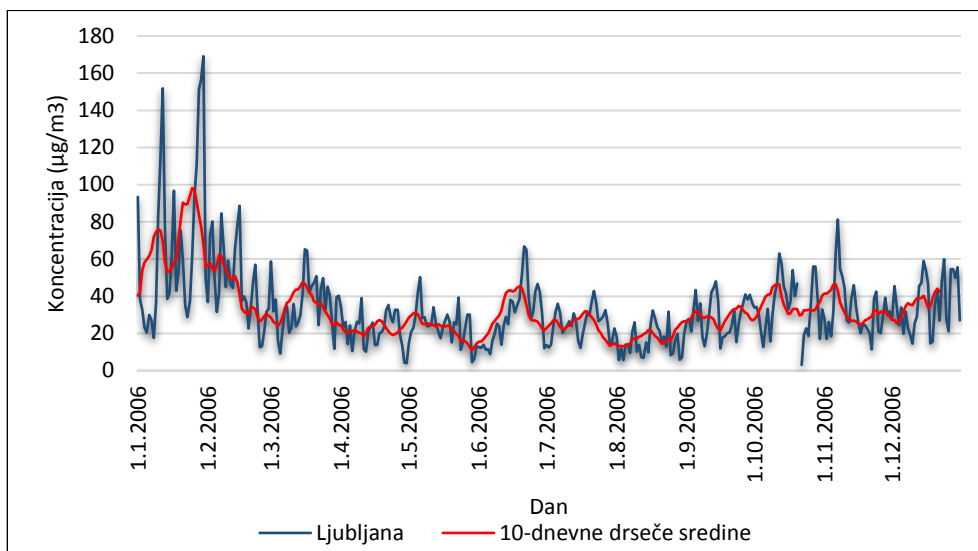


Slika 5: Povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ (v µg/m³) v Mariboru leta 2006, izračunane iz urnih podatkov.

Vir: Agencija Republike Slovenije za okolje.

Leta 2006 je bil v Ljubljani letni režim povprečnih mesečnih vrednosti delcev PM₁₀ z maksimumom pozimi in minimumom poleti dokaj dobro izražen. Januarja so povprečne mesečne vrednosti delcev PM₁₀ znašale 67,8512 µg/m³, februarja 46,9041 µg/m³, marca 35,8246 µg/m³, aprila 21,9008 µg/m³, maja 24,3137 µg/m³, junija 29,3734 µg/m³, julija 25,1284 µg/m³, avgusta 15,6211 µg/m³, septembra 29,2538 µg/m³, oktobra 34,7453 µg/m³, novembra 32,9425 µg/m³ in decembra 36,0282 µg/m³. Povprečna letna koncentracija delcev PM₁₀, izračunana iz urnih podatkov, je tako v Ljubljani leta 2006 znašala 33,3239 µg/m³. To pomeni, da leta 2006 v Ljubljani mejna letna vrednost za delce PM₁₀, ki po Uredbi o kakovosti zunanega zraka (Uradni list RS 9/11; Uradni list RS 8/15) znaša 40 µg/m³, ni bila presežena. Dnevna mejna vrednost za delce PM₁₀, ki znaša 50 µg/m³, po Uredbi o kakovosti zunanega zraka (Uradni list RS 9/11; Uradni list RS 8/15) ne sme biti presežena več kot 35-krat v koledarskem letu. Iz povprečnih urnih vrednosti za delce PM₁₀, ki smo jih izračunali, je razvidno, da je bila ta vrednost v Ljubljani leta 2006 presežena 51-krat. Onesnaženost zraka z delci PM₁₀ je bila januarja v Ljubljani visoka. Razlog za to sta dve daljši obdobji suhega, stabilnega vremena, s pogostimi temperaturnimi inverzijami. Prvi januarski maksimum je viden 11. in 12. januarja. Nastal je zaradi povečane potrebe po ogrevanju, zaradi česar so nastale še dodatne emisije iz individualnih kurišč. Ker je merilno mesto v Ljubljani individualnim kuriščem bolj izpostavljeno od merilnega mesta v Mariboru, je tudi maksimum bolj izražen. Tako kot v Mariboru pa so bile povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ najvišje med 28. in 30. januarjem, ko se je končalo enotedensko obdobje stabilnega, mrzlega vremena brez vetra. Januarja je bila mejna dnevna vrednost delcev PM₁₀ v Mariboru presežena 16-krat. Februarja so bile povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ nižje od januarskih.

V prvi polovici meseca je prevladovalo suho in mrzlo vreme s pogostim severovzhodnim vetrom, v drugi polovici meseca pa je prevladovalo spremenljivo vreme s pogostimi padavinami. Na nižje povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ sta ugodno vplivali obe vremenski situaciji, vendar so bile najvišje vrednosti delcev PM₁₀ v prvi polovici meseca, z maksimumom 15. februarja. Februarja je bila mejna dnevna vrednost delcev PM₁₀ v Ljubljani presežena 10-krat. Marca so bile povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ nižje od februarskih. Razlog za navedeno gre iskati v spremenljivem vremenu s pogostimi padavinami in vetrovi. Maksimumi povprečnih urnih vrednosti delcev PM₁₀ so se pojavljali v drugi polovici meseca, ko so se pojavljala krajša obdobja stabilnega vremena. Marca je bila mejna dnevna vrednost delcev PM₁₀ v Ljubljani presežena 5-krat. Aprila so bile povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ še nižje kot v marcu, saj je prevladovalo še bolj spremenljivo vreme s pogostimi padavinami in vetrom. Mejna dnevna vrednost delcev PM₁₀ v Ljubljani aprila ni bila presežena. Maja so bile povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ podobne aprilskim, saj je bilo vreme še naprej spremenljivo. Maksimum se je pojavil na začetku meseca, ko smo imeli nekajdnevno obdobje suhega vremena. Maja je bila mejna dnevna vrednost delcev PM₁₀ v Ljubljani presežena 1-krat. Junija so bile povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ značilne za suhe poletne dni. Minimumi, ki so se pojavljali v juniju, so odraz krajevnih neviht, ki so prekinjale daljša obdobja suhega vremena. Junija je bila mejna dnevna vrednost delcev PM₁₀ v Ljubljani presežena 3-krat.



Slika 6: Povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ (v µg/m³) v Ljubljani leta 2006, izračunane iz urnih podatkov.

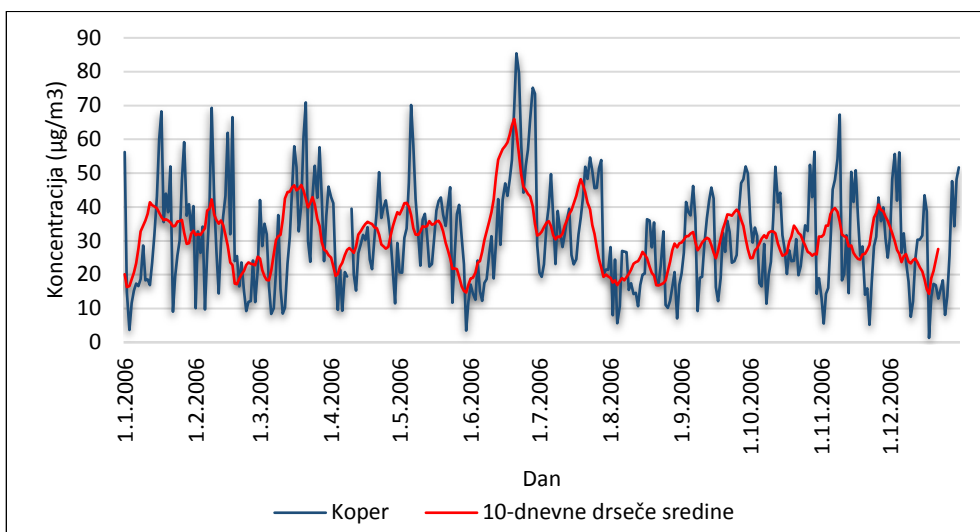
Vir: Agencija Republike Slovenije za okolje.

Julija so bile povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ še nižje od junijskih, saj je prevladovalo bolj vetrovno vreme. Mejna dnevna vrednost delcev PM₁₀ v Ljubljani julija zato ni bila presežena. Avgusta so bile povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ zaradi pogostih padavin in močnejših vetrov nizke, zato mejna dnevna vrednost ni bila presežena. Septembra so bile povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ zaradi prevladujočega lepega vremena višje kot avgusta, vendar mejna dnevna vrednost delcev PM₁₀ v Ljubljani ni bila presežena. Oktobra so bile povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ višje kot v septembru, saj je bil oktober nadpovprečno topel, padavin pa

je bilo zelo malo. Mejna dnevna vrednost delcev PM₁₀ je bila presežena 5-krat. Novembra so bile povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ nižje kot oktobra. Mejna dnevna vrednost delcev PM₁₀ je bila presežena 4-krat, kar je manj kot oktobra, saj je bilo vreme še naprej nadpovprečno toplo in brez temperaturnih inverzij, ki imajo v tem času navadno že povečan negativni vpliv. Decembra so bile povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ nekoliko višje kot novembra, saj je bilo vreme podobno, torej nadpovprečno toplo. Mejna dnevna vrednost delcev PM₁₀ je bila presežena 7-krat.

Leta 2006 letni režim povprečnih mesečnih vrednosti delcev PM₁₀ v Kopru z maksimumom pozimi in minimumom poleti ni bil izražen. Januarja so povprečne mesečne vrednosti znašale 31,5073 µg/m³, februarja 28,4536 µg/m³, marca 34,9157 µg/m³, aprila 28,5633 µg/m³, maja 33,1520 µg/m³, junija 34,5548 µg/m³, julija 35,5548 µg/m³, avgusta 19,4777 µg/m³, septembra 32,4134 µg/m³, oktobra 30,0459 µg/m³, novembra 29,8798 µg/m³ in decembra 28,2908 µg/m³. Povprečna letna koncentracija delcev PM₁₀, izračunana iz urnih podatkov, je tako v Kopru leta 2006 znašala 30,5634 µg/m³. To pomeni, da leta 2006 v Kopru mejna letna vrednost za delce PM₁₀, ki po Uredbi o kakovosti zunanjšega zraka (Uradni list RS 9/11; Uradni list RS 8/15) znaša 40 µg/m³, ni bila presežena. Mejna dnevna vrednost za delce PM₁₀, ki znaša 50 µg/m³, po Uredbi o kakovosti zunanjšega zraka (Uradni list RS 9/11; Uradni list RS 8/15) ne sme biti presežena več kot 35-krat v koledarskem letu. Iz povprečnih urnih vrednosti delcev PM₁₀, ki smo jih izračunali, je razvodno, da je bila ta vrednost v Kopru leta 2006 presežena 48-krat. Onesnaženost zraka z delci PM₁₀ je bila januarja v Kopru visoka. Razlog za to sta dve daljši obdobji suhega, stabilnega vremena, s pogostimi temperaturnimi inverzijami. Prvi januarski maksimum je viden 17. januarja. Nastal je zaradi povečane potrebe po ogrevanju, zaradi česar so nastale še dodatne emisije iz individualnih kurišč. Sekundarni januarski maksimum povprečnih urnih vrednosti delcev PM₁₀ se je pojavil med 28. in 30. januarjem, ko se je končalo drugo januarsko obdobje stabilnega, mrzlega vremena brez burje. Januarja je bila mejna dnevna vrednost delcev PM₁₀ v Kopru presežena 4-krat. Februarja so bile povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ nižje od januarskih. V prvi polovici meseca je prevladovalo suho in mrzlo vreme s pogosto burjo, v drugi polovici meseca pa je prevladovalo spremenljivo vreme s pogostimi padavinami. Na nižje povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ sta ugodno vplivali obe vremenski situaciji, vendar so bile najvišje vrednosti delcev PM₁₀ v prvi polovici meseca, z maksimumom 8. februarja. Februarja je bila mejna dnevna vrednost delcev PM₁₀ v Kopru presežena 3-krat. V marcu so bile povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ višje od februarskih, torej ravno obratno kot v Mariboru in Ljubljani, saj je prevladovalo suho, delno jasno vreme, brez burje, medtem ko je v Mariboru in Ljubljani prevladovalo spremenljivo vreme s pogostimi padavinami in vetrovi. Marca je bila mejna dnevna vrednost delcev PM₁₀ v Kopru presežena 6-krat. Aprila so bile povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ na nivoju februarskih, saj je prevladovalo še bolj spremenljivo vreme s pogostimi padavinami in vetrom. Mejna dnevna vrednost delcev PM₁₀ v Kopru je bila aprila presežena 2-krat. Maja so bile povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ podobne aprilskim, saj je bilo vreme še naprej spremenljivo. Maksimum se je pojavil na začetku meseca, ko smo imeli nekajdnevno obdobje suhega vremena. Maja je bila mejna dnevna vrednost delcev PM₁₀ v Kopru presežena 2-krat. Junija so bile povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ značilne za suhe poletne dni. Za razliko od Maribora in Ljubljane, ko so krajevne nevihte prekinjale daljša obdobja suhega vremena, je v Kopru prevladovalo suho vreme, zato opazimo naraščanje vrednosti delcev PM₁₀ do 21. junija, ko se je začelo deževno vreme. Junija je bila mejna dnevna vrednost delcev PM₁₀ v Kopru presežena kar 11-krat. Julija so bile povprečne urne vrednosti delcev PM₁₀ podobne junijskim. Julija je bila mejna dnevna vrednost delcev PM₁₀ v Kopru presežena 8-krat, predvsem

zaradi resuspenzije, ponovnega dviga delcev PM_{10} s tal zaradi konvekcije zraka, ki je posledica višjih temperatur, ki ogrejejo tla. Avgusta so bile povprečne urne vrednosti delcev PM_{10} zaradi pogostih padavin in močnejših vetrov nizke, zato mejna dnevna vrednost ni bila presežena. Septembra so bile povprečne urne vrednosti delcev PM_{10} zaradi prevladujočega lepega vremena višje kot avgusta, zato je bila mejna dnevna vrednost delcev PM_{10} v Kopru presežena 1-krat. Oktobra so bile povprečne urne vrednosti delcev PM_{10} nižje kot v septembru, saj se je začela pojavljati burja. Mejna dnevna vrednost delcev PM_{10} je bila presežena 3-krat. Novembra so bile povprečne urne vrednosti delcev PM_{10} nižje kot oktobra. Mejna dnevna vrednost delcev PM_{10} je bila presežena 4-krat, kar je manj kot oktobra, saj je bilo vreme še naprej nadpovprečno toplo (maksimumi), dni z burjo je bilo malo (minimumi). Decembra so bile povprečne urne vrednosti delcev PM_{10} nižje kot novembra, saj je bilo vreme podobno, torej nadpovprečno toplo (maksimumi), dni z burjo je bilo malo (minimumi). Mejna dnevna vrednost delcev PM_{10} je bila presežena 3-krat.



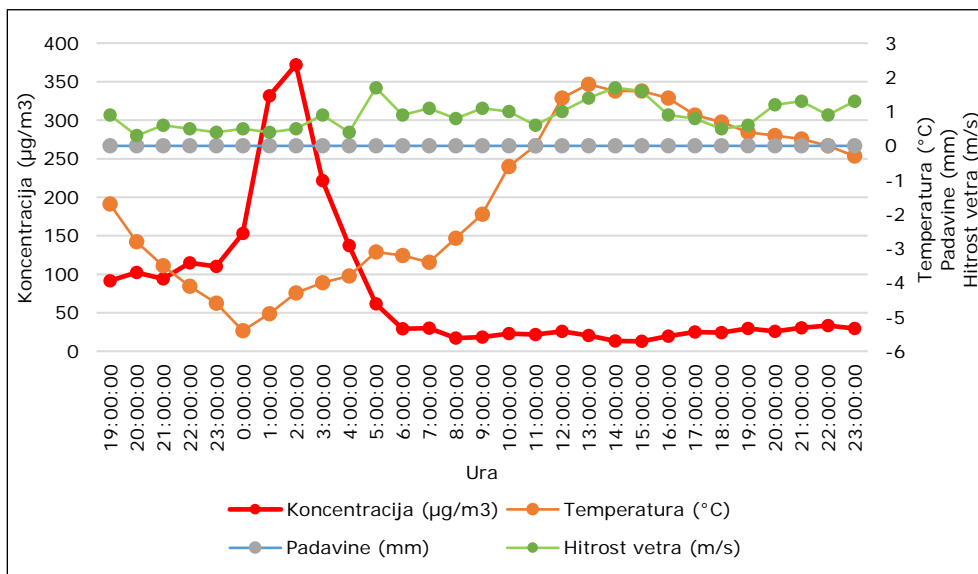
Slika 7: Povprečne urne vrednosti delcev PM_{10} (v $\mu\text{g}/\text{m}^3$) v Kopru leta 2006, izračunane iz urnih podatkov.

Vir: Agencija Republike Slovenije za okolje.

6. Primera ekstremno visokih koncentracij delcev PM_{10}

Povprečna dnevna vrednost delcev PM_{10} je 1. januarja 2008 v Mariboru znašala $71,0629 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tako je bila dnevna mejna vrednost za delce PM_{10} , ki po Uredbi o kakovosti zunanjega zraka (Uradni list RS 9/11; Uradni list RS 8/15) znaša $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in ne sme biti presežena več kot 35-krat v koledarskem letu, presežena že prvi dan novega leta. Izmerjene vrednosti so maksimum dosegle ob treh zjutraj ($372,0500 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Zaradi praznika, ko ni bilo jutranje in popoldanske prometne konice, sta dopoldanski maksimum (med šesto in sedmo uro) in popoldanski maksimum, ki se je pojavil zvečer, ko so hitrosti vetra upadle, le malo izražena. Markošek (2008) navaja, da je bilo 1. januarja 2008 nad severovzhodno Evropo obsežno območje visokega zračnega pritiska, ki je segalo proti srednji Evropi in Balkanu. V višinah je višinsko jedro hladnega in vlažnega zraka segalo od Skandinavije prek srednje Evrope do vzhodnega Balkana. V vzhodni Sloveniji je bilo oblačno, občasno je ponekod rahlo snežilo. Iz tega izhaja, da razvoj vremena ni imel velikega vpliva na višje

koncentracije delcev PM₁₀. Viri za ekstremno visoke koncentracije delcev PM₁₀ med polnočjo in tretjo uro zjutraj so antropogenega izvora. Do ekstremno visokih koncentracij delcev PM₁₀ je namreč prišlo zaradi ognjemeta in uporabe druge pirotehniko po polnoči ter nizke hitrosti vetra (poraba zasebne pirotehniko se kaže že v izmerjenih visokih koncentracijah delcev PM₁₀ ves večer pred 1. januarjem 2008). Nizka hitrost vetra (do 0,9 m/s) je pomenila, da so se delci PM₁₀ transportirali do merilnega mesta, ni pa prišlo do disperzije. Povprečne vrednosti delcev PM₁₀ med šesto in triindvajseto uro znašajo 23,8050 µg/m³, zato predpostavljamo, da bi bila povprečna urna vrednost delcev PM₁₀ 1. januarja 2008 v Mariboru, če ne bi bilo ognjemeta in uporabe ostale pirotehniko, takšna ali še nižja.

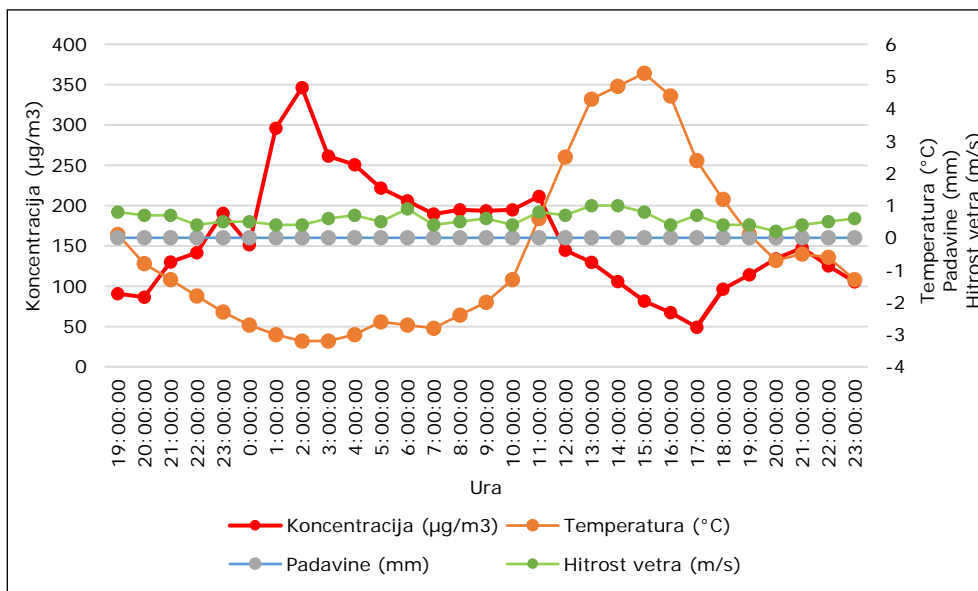


Slika 8: Urna koncentracija delcev PM₁₀, temperatura, količina padavin in hitrost vetra v Mariboru 1. januarja 2008.

Vir: Agencija Republike Slovenije za okolje.

Povprečna dnevna vrednost delcev PM₁₀ je 1. januarja 2005 v Ljubljani znašala 167,4317 µg/m³. Tako je bila dnevna mejna vrednost za delce PM₁₀ presežena že prvi dan koledarskega leta. Izmerjene vrednosti so maksimum dosegle ob treh zjutraj (346,2700 µg/m³). Zaradi praznika, ko ni bilo jutranje prometne konice, je dopoldanski maksimum le malo izražen. Sekundarni maksimum, ki se je pojavil zvečer, ko so hitrosti vetra upadle, je posledica izpustov iz individualnih kurišč. Viri za ekstremno visoke koncentracije delcev PM₁₀ med polnočjo in peto uro zjutraj so antropogenega izvora. Do ekstremno visokih koncentracij delcev PM₁₀ je namreč prišlo zaradi ognjemeta in uporabe druge pirotehniko po polnoči, uporaba zasebne pirotehniko pa se kaže že v visokih izmerjenih koncentracijah delcev PM₁₀ ves večer pred 1. januarjem 2005. Poleg tega je imel na višje koncentracije delcev PM₁₀ velik vpliv razvoj vremena, predvsem v dopoldanskem času. Markošek (2005) namreč navaja, da je bilo 1. januarja 2005 nad zahodno in srednjo Evropo ter Balkanom območje visokega zračnega pritiska. V višinah je z zahodnimi vetrovi pritekal topel in suh zrak. Bilo je pretežno jasno, zjutraj je bilo prehodno zmerno do pretežno oblačno. Bilo je tudi razmeroma toplo. Razlog, da so izmerjene vrednosti delcev PM₁₀ do enajste ure ostale nad 190 µg/m³, je v anticiklonskem vremenskem tipu, ki v kombinaciji z

nizkimi hitrostmi vetra omogoča močno sevanje in ohlajanje tal. Ob nagnjenih pobočjih se od tal ohlajeni zrak počasi spušča navzdol, prejšnji, toplejši zrak pa je odrinjen nad hladnejšega. Nastane temperaturna inverzija, ki preprečuje navpično mešanje zraka in s tem disperzijo delcev PM₁₀. Po enajsti uri je inverzna plast začela razpadati in koncentracije delcev so upadle.



Slika 9: Urna koncentracija delcev PM₁₀, temperatura, količina padavin in hitrost vetra v Ljubljani 1. januarja 2005.

Vir: Agencija Republike Slovenije za okolje.

Pri primerjavi izbranih dni z ekstremno visokimi vrednostmi delcev PM₁₀ na merilnih mestih v Mariboru in Ljubljani opazimo, da so v Mariboru izmerjene vrednosti delcev PM₁₀, zaradi ciklonalnega vremenskega tipa, torej manj stabilnega ozračja, brez temperaturne inverzije, ki bi onemogočala disperzijo delcev PM₁₀, upadle prej in bolj kot v Ljubljani, kjer se je pojavila inverzna plast, ki je onemogočala navpično mešanje zraka. Imata pa oba preučevana primera skupni imenovalec za presežene vrednosti delcev PM₁₀: ognjemet in zasebno uporabo pirotehnik. Tavčar (2014) navaja, da zabavna pirotehnika, kamor sodijo ognjemeti in petarde, poleg zvočnih in barvnih učinkov, ki služijo zabavi, močno onesnažuje zrak. Pri eksploziji se v ozračje sprostijo vse snovi pirotehniškega izdelka in vsi reakcijski produkti v obliki plinov in trdnih delcev, ki nastanejo pri reakciji s kisikom oziroma pri reakciji z določenimi komponentami eksploziva. Delci, ki se pri ognjemetu sprostijo v ozračje, so visoko kemijsko aktivni drobnimi kovinski delci, ki pri oksidaciji barvito zažarijo, a ker so majhni, ostanejo v ozračju. Delci vsebujejo svinec, magnezij, aluminij, fosfor, kalij, silicij, železo, baker, kalcij, molibden in natrij. Na delcih se kondenzira zračna vlaga, zato je ozračje videti megleno.

7. Zaključek

Primerjava povprečnih vrednosti delcev PM₁₀ na vseh treh merilnih mestih v obdobju med letoma 2005 in 2014 kaže, da je zrak z delci PM₁₀ najbolj onesnažen v Mariboru

(36,7521 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), sledi Ljubljana (30,2583 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), najmanj pa je zrak z delci PM₁₀ onesnažen v Kopru (25,4839 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Razlog za to so izpusti iz prometa, ki jim je merilno mesto v Mariboru najbolj izpostavljeno. Z delci PM₁₀ pa zrak onesnažujejo tudi emisije iz individualnih kurišč, industrija, puščavski pesek in cvetni prah.

V preučevanem obdobju se na vseh treh merilnih mestih kaže trend upadanja koncentracij delcev PM₁₀, k čemur je med drugim pripomogla tudi gospodarska kriza, saj so se zaradi nje zmanjšali izpusti iz prometa, industrijskih procesov, proizvodnja elektrike in raba topil. Linearni trend, ki obsega podatke povprečnih letnih vrednosti delcev PM₁₀ v Mariboru med letoma 2010 in 2014, znaša $-0,0975 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na nivoju enega leta. Linearni trend, ki obsega podatke povprečnih letnih vrednosti delcev PM₁₀ v Ljubljani med letoma 2005 in 2014, znaša $-1,0833 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na nivoju enega leta, kar predstavlja trend zmanjševanja vrednosti delcev PM₁₀ kar za $10,833 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na nivoju desetih let. Linearni trend, ki obsega podatke povprečnih letnih vrednosti delcev PM₁₀ v Kopru med letoma 2005 in 2014, znaša $-0,8810 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na nivoju enega leta, kar predstavlja trend zmanjševanja vrednosti delcev PM₁₀ za $8,8100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na nivoju desetih let.

Kljub temu še vedno prihaja do prekoračitev dnevni mejnih vrednosti delcev PM₁₀. V preučevanem letu 2006 je bila mejna dnevna vrednost za delce PM₁₀ v Mariboru prekoračena 117-krat, v Ljubljani 51-krat in v Kopru 48-krat, kar kaže na velik vpliv emisij iz prometa. Rešitev za večje zmanjšanje koncentracij PM₁₀ vidimo v menjavi trdih goriv s čistejšimi gorivi (zemeljski plin, kurilno olje) in energijami (vetrna energija, sončna energija) ter večji uporabi javnega prometa. Poleg izpustov iz virov onesnaževanja na višje koncentracije v zimskem času vpliva tudi stabilnost ozračja. Anticiklonalno vreme s temperaturnimi inverzijami v hladni polovici leta zaradi nižje prevetrenosti onemogoča navpično mešanje zraka in s tem disperzijo delcev PM₁₀.

Če ovrednotimo pomen reliefa in meteoroloških dejavnikov za vsakega od preučevanih krajev, ugotovimo, da Maribor leži na prehodu doline Drave na Dravsko in Ptujsko polje. Teren je večinoma raven, klima pa je pretežno celinska z vplivom predalpske. V primerjavi s kotlinami osrednje Slovenije je to območje sicer bolj prevetreno, vendar ne dovolj, tako da se v zimskem obdobju onesnaževala v zunanjem zraku dlje časa zadržujejo nad urbaniziranim območjem občine Maribor, višje hitrosti vetra pa bi pomenile večjo disperzijo delcev PM₁₀. Podobno je tudi v Ljubljani. Teren je večinoma raven z nekaj manjšimi griči, klima je predalpska. Za Ljubljansko kotlino so značilne zelo pogoste temperaturne inverzije z višino od 100 do 300 metri nad dnem kotline in vetrovi s hitrostjo pod 1 m/s. Anticiklonalni tip vremena namreč v zimskem času v kombinaciji z nizkimi hitrostmi vetra omogoča močno sevanje in ohlajanje tal. Ob nagnjenih pobočjih se od tal ohlajeni zrak počasi spušča navzdol, prejšnji, toplejši zrak pa je odrinjen nad hladnejšega. Nastane temperaturna inverzija, ki preprečuje navpično mešanje zraka in s tem disperzijo delcev PM₁₀. V Kopru so pogoji za disperzijo delcev PM₁₀ boljši kot v notranjosti države, saj je območje bolj prevetreno. Poleg tega je tudi temperaturnih inverzij malo, kar omogoča večjo disperzijo in s tem nižje izmerjene vrednosti delcev PM₁₀, manjša kot v notranjosti države pa je tudi potreba po ogrevanju.

Literatura

Atlas okolja. 2013. Pridobljeno 10. 8. 2017,
http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso.

- Burden of disease from Ambient Air Pollution for 2012. 2014. Pridobljeno 17. 7. 2017,
http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AAP_BoD_results_March2014.pdf.
- Določitev novih merilnih mest v Ljubljani in Mariboru. 2009. Pridobljeno 26. 7. 2017,
<http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/NovaMerilnaMestaLjMb.pdf>.
- Effects of air pollution on children's health and development: a review of the evidence. 2005. Pridobljeno 20. 4. 2017,
<http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/107652/1/E86575.pdf>.
- Environment and Human Health. 2013. Pridobljeno 20. 4. 2017,
<http://www.eea.europa.eu/publications/environment-and-human-health>.
- Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2013. 2014. Pridobljeno 11. 8. 2017,
http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/porocilo_2013.pdf.
- Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2014. 2015. Pridobljeno 15. 8. 2017,
http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/porocilo_2014.pdf.
- Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2015. 2016. Pridobljeno 12. 8. 2017,
http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/porocilo_2015.pdf.
- Kuenzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M, Chanel, O., Filliger, P., idr. 2000: Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a european assessment. Pridobljeno 17. 7. 2017,
[http://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(00\)02653-2](http://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(00)02653-2).
- Markošek, J. 2005: Razvoj vremena v januarju 2005. Mesečni bilten, XII (1). 20–26.
- Markošek, J. 2008: Razvoj vremena v januarju 2008. Naše okolje. Bilten agencije RS za okolje, XV (1). 24–30.
- Ogrin, M., Vintar Mally, K. 2013: Primerjava poletne onesnaženosti zraka z dušikovim oksidom v Ljubljani med letoma 2005 in 2013. Dela (40). 55–72.
- Otorepec, P. 2010: Vpliv prašnih delcev na zdravje. Pridobljeno 12. 8. 2017,
<http://www.nijz.si/vpliv-delcev-na-zdravje>.
- Otorepec, P. in Kovač, N. 2015: Vpliv onesnaženosti zraka na zdravje ljudi in stroški, ki nastajajo pri zdravljenju. V: eNBOZ. Pridobljeno 22. 8. 2017,
http://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/uploaded/enboz_april_2015.pdf.
- Pravilnik o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka. Uradni list RS. 55/11.
- Pravilnik o spremembah in dopolnitvah Pravilnika o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka. Uradni list RS. 6/15.
- Pravilnik o spremembah in dopolnitvah Pravilnika o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka. Uradni list RS. 5/17.
- Program "Čist zrak za Evropo". 2014: Pridobljeno 22. 7. 2017,
<https://imisije.wordpress.com/program-cist-zrak-za-evropo>.
- Simon, S. 2013: World Health Organization: Outdoor Air Pollution Causes Cancer. Pridobljeno 18. 8. 2017, <http://www.cancer.org/cancer/news/world-health-organization-outdoor-air-pollution-causes-cancer>.
- Tavčar, B. 2014: Ognjemeti in petarde zastrupljajo ozračje. Pridobljeno 19. 8. 2017,
<http://www.delo.si/novice/okolje/ognjemeti-in-petarde-zastrupljajo-ozracje.html>.
- Uredba o kakovosti zunanjega zraka. Uradni list RS. 9/11.
- Uredba o spremembah in dopolnitvah Uredbe o kakovosti zunanjega zraka. Uradni list RS. 8/15.

AIR POLLUTION WITH PM₁₀ PARTICLES IN MARIBOR, LJUBLJANA AND KOPER IN THE PERIOD 2005–2014

Summary

Comparison of average PM₁₀ particles values at all three measuring locations in the period 2005-2014 shows that air is most polluted with PM₁₀ particles in Maribor (36,7521 µg/m³), followed by Ljubljana (30,2583 µg/m³), and least polluted city with PM₁₀ particles is Koper (25.4839 µg/m³). The reason for this lies in traffic emissions to which the measuring location in Maribor is most exposed. Emissions from individual fireplaces, industry, desert sand, and pollen also pollute the air with PM₁₀ particles.

Spreadsheet 1: Average monthly values of PM₁₀ particles (in µg/m³) in Maribor, Ljubljana, and Koper between 2005 in 2014 are calculated on hourly-based information.

Month	Maribor	Ljubljana	Koper
1	50,9929	48,1784	29,9755
2	49,1537	44,1407	31,1193
3	44,7615	33,5007	30,3325
4	31,4402	23,7144	24,3107
5	28,0937	21,0298	22,8304
6	27,9434	20,9268	22,7258
7	30,2342	20,9145	24,5437
8	26,4432	19,2526	21,1631
9	30,6938	22,3679	21,9303
10	40,8453	31,7607	26,7869
11	41,2142	36,0685	24,5945
12	39,2090	41,2440	25,4945
Average	36,7521	30,2583	25,4839

Source: Slovenian Environment Agency.

In the period 2005-2014, pollution with PM₁₀ particles is dropping; because of the economic crisis, traffic emissions, industrial processes, electricity production, and use of solvents decreased. Linear trend of PM₁₀ particles in Maribor between 2010 and 2014 is $-0.0975 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at the level of one year. Linear trend of PM₁₀ particles in Ljubljana between 2005 and 2014 is $-1.0833 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at the level of one year, which represents the trend of reduction of PM₁₀ particles for $10,833 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at a 10-year level. Linear trend of PM₁₀ particles in Koper between 2005 and 2014 is $-0.8810 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at the level of one year, which represents the trend of reduction of PM₁₀ particles for $8.8100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at a 10-year level.

However, daily emission limit values of PM₁₀ particles are still exceeded. The studied year 2006 showed that daily limit value for PM₁₀ particles in Maribor was exceeded 117-times in Maribor, 51-times in Ljubljana, and 48-times in Koper, which shows great influence of emissions from traffic. We see the solution for reducing PM₁₀ particles concentrations in exchanging solid fuels for purer fuels (natural gas, fuel oil) and energy (electric power, solar power), and use of public traffic. Along with emissions from pollution sources, stability of the atmosphere also affects higher concentrations in the winter period. Anticyclone weather with temperature inversions in the cold part of the year prevents vertical mixture of air and dispersion of PM₁₀ particles due to lower wind speeds.

If we assess the importance of terrain and meteorological factors for each of the studied locations, we determine that Maribor is located at the transition of the Drava river valley into flat area of Dravsko polje and Ptujsko polje. The terrain is mostly flat,

and the climate is mostly continental with influence of pre-Alpine climate. Compared to basins in central Slovenia, this area has higher wind speeds, but they are not sufficient to avoid longer periods of higher level of pollutants above the urban area of the Municipality of Maribor in the winter. The situation in Ljubljana is similar. The area is mostly flat with some smaller hills. Climate is pre-Alpine. Temperature inversion is a common phenomenon for Ljubljana basin, with height from 100 to 300 metres above the basin ground, and with winds below 1 m/s. Anticyclone weather type in winter, in combination with low wind speed, enables strong radiation and cooling at the ground. On inclined slopes, the cooled air is slowly lowering towards the ground and the former, warmer air, is pushed above the colder one. This causes temperature inversion, which prevents vertical mixture of air and consequently dispersion of PM₁₀ particles. Compared to the inland of the country, the conditions for dispersion of PM₁₀ particles are better in Koper as the area is windier. The area does not have many temperature inversions, which improves dispersion of PM₁₀ particles, and the requirement for heating is lower compared to the inland.

