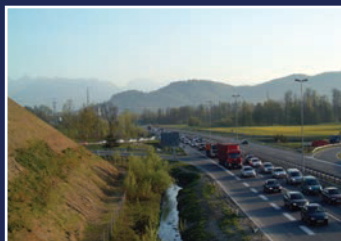


Prometno onesnaževanje ozračja z dušikovim dioksidom v Ljubljani

Matej Ogrin

GeograFF



PROMETNO ONESNAŽEVANJE OZRAČJA Z DUŠIKOVIM DIOKSIDOM V LJUBLJANI

Matej Ogrin
Ljubljana, 2018

Urednika zbirke: Metka Špes in Darko Ogrin
Recenzent: Andrej Černe
Kartograf: Jaka Ortar
Fotografa: Matej Ogrin, Jaka Ortar
Prevajalka: Katja Vrtačnik Garbas
Lektorica: Milena Sevšek Potočnik

Published by/Založila: Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani
(Ljubljana University Press, Faculty of Arts), zanjo Roman Kuhar, dean of the Faculty of Arts/
dekan Filozofske fakultete

Issued by/Izdal: Department of Geography/Oddelek za geografijo
Design and layout/Oblikovanje in prelom: Tiskarna Oman

First edition/Digital edition; Prva izdaja/e-izdaja

Publication is free of charge. /Publikacija je brezplačna.

Publication is available on/Publikacija je dostopna na: <https://e-knjige.ff.uni-lj.si>

DOI: 10.4312/9789610600497

Delo je zaščiteno z mednarodno licenco Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International
License (priznanje avtorstva, deljenje pod istimi pogoji).

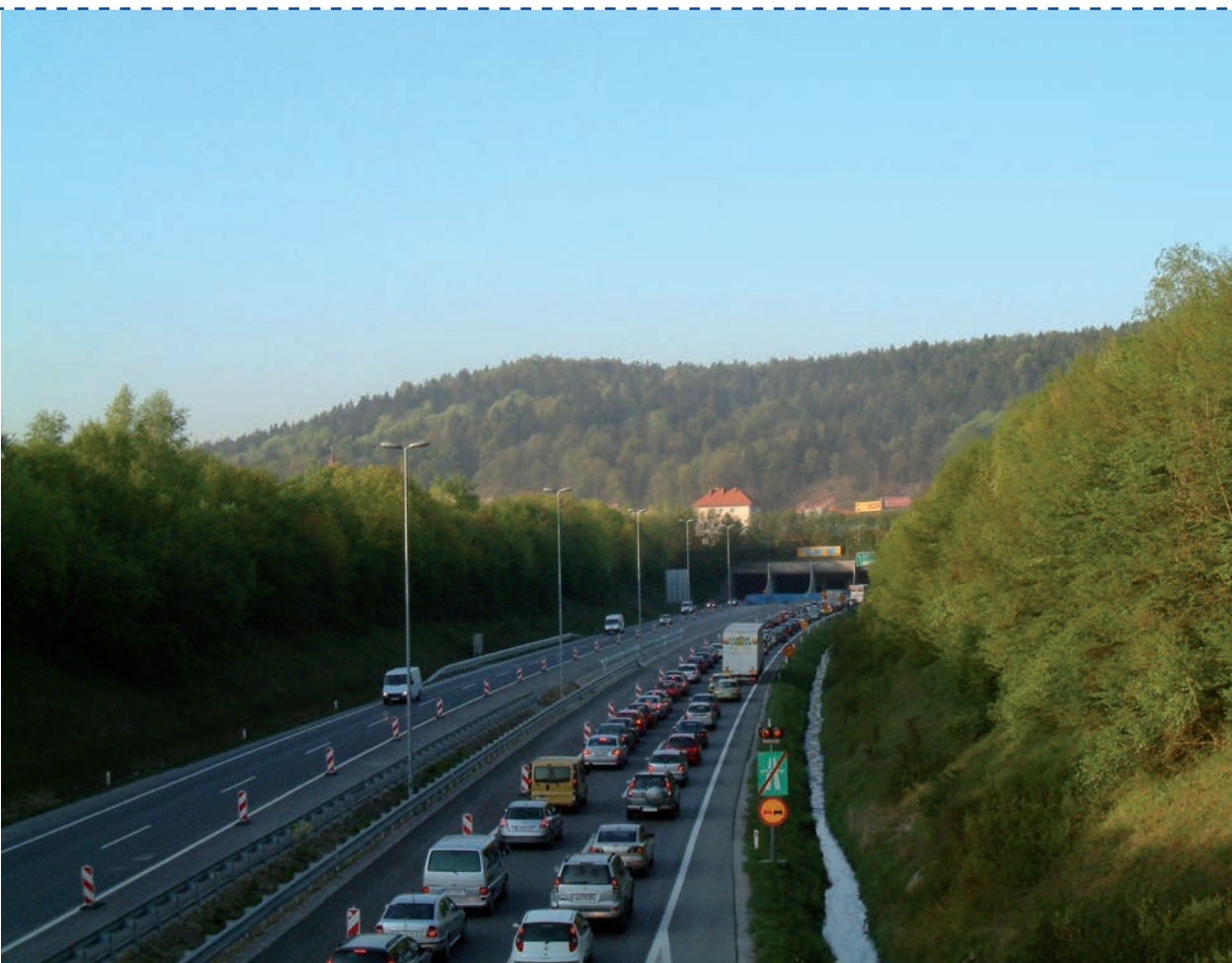


Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili
v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

COBISS.SI-ID=294003968

ISBN 978-961-06-0048-0 (epub)

ISBN 978-961-06-0049-7 (pdf)



KAZALO VSEBINE

1	UVOD	7
2	CESTNI PROMET V LJUBLJANI	9
3	PROMETNO ONESNAŽEVANJE OZRAČJA	15
	3.1 ŽVEPLOV DIOKSID	16
	3.2 TRDI DELCI	17
	3.3 OZON PRI TLEH – O ₃ (TROPOSFERSKI OZON)	20
	3.3.1 Koncentracije ozona	21
	3.4 BENZEN	26
	3.5 DUŠIKOVI OKSIDI (NO _x)	28
4	MERITVE KONCENTRACIJ DUŠIKOVEGA DIOKSIDA Z METODO DIFUZIVNIH VZORČEVALNIKOV	31
	4.1 METODOLOGIJA PROUČEVANJA PROMETNEGA ONESNAŽEVANJA OZRAČJA Z DIFUZIVNIMI VZORČEVALNIKI	31
	4.2 IDENTIFIKACIJA IN DOLOČANJE NAPAK MERITEV	33
5	METEOROLOŠKE RAZMERE V LJUBLJANI V ČASU MERITEV	37
	5.1 VREME MED POLETNO KAMPANJO (od 25. avgusta do 14. septembra 2005)	37
	5.2 VREME MED ZIMSKO KAMPANJO (od 24. januarja do 7. februarja 2006)	41
6	ONESNAŽENOST ZRAKA Z DUŠIKOVIM DIOKSIDOM V LJUBLJANI V OBDOBJU AVGUST 2005 – FEBRUAR 2006	45
	6.1 DELITEV MERILNIH MEST GLEDE NA LASTNOSTI PROSTORA	46
	6.1.1 Cestni koridor	47
	6.1.2 Obcestni prostor zunaj cestnih koridorjev	48
	6.1.3 Urbano ozadje	49
	6.2 MEJNE VREDNOSTI ZA DUŠIKOV DIOKSID	51
	6.3 KONCENTRACIJE DUŠIKOVEGA DIOKSIDA V ČASU MERILNIH KAMPANJ	53
	6.3.1 Koncentracije dušikovega dioksida v cestnem koridorju	53
	6.3.2 Koncentracije dušikovega dioksida ob cestah brez strnjene pozidave v neposredni okolici (merilna mesta ob cestah zunaj cestnega koridorja)	56
	6.3.3 Koncentracije dušikovega dioksida v urbanem ozadju	59
	6.4 PREČNI PROFILI KONCENTRACIJ DUŠIKOVEGA DIOKSIDA	61
	6.4.1 Koncentracije dušikovega dioksida na profilu Grič	62
	6.4.2 Koncentracije dušikovega dioksida na profilu Šmartno	63
	6.4.3 Koncentracije dušikovega dioksida na profilu Kranj	64
	6.4.4 Koncentracije dušikovega dioksida na profilu Blagovica	65
	6.4.5 Koncentracije dušikovega dioksida na profilu Podmilj	66
	6.4.6 Koncentracije dušikovega dioksida na profilu Cankarjeva – Čopova	67
	6.5 UGOTOVITVE O PREČNIH PROFILIH KONCENTRACIJ DUŠIKOVEGA DIOKSIDA	71
7	SKLEPNE MISLI O ONESNAŽENOSTI ZRAKA Z DUŠIKOVIM DIOKSIDOM, OZONOM IN BENZENOM V LJUBLJANI IN PREDLOGI ZA IZBOLJŠANJE STANJA	73
	7.1 KATEGORIZACIJA PROSTORA OB CESTAH GLEDE NA KAKOVOST ZRAKA KOT POSLEDICA PROMETNIH EMISIJ	77
8	VIRI IN LITERATURA	80
9	SEZNAM PREGLEDNIC	82
10	SEZNAM SLIK	84
11	STVARNO KAZALO	87

1 UVOD

Cestni promet v mestih je obsežen in vse bolj zapleten sistem, ki zahteva ustrezno načrtovanje, upravljanje in nenehen razvoj. Mesto s svojimi mesto-tvornimi in mesto-služnimi funkcijami v sistemu ureditve regije oziroma države predstavlja gravitacijsko jedro, ki dnevno pritegne prebivalstvo iz širše okolice. Zlasti to velja za prestolnice in druga večja mesta. Z zgoščevanjem in neprestanim naraščanjem cestnega prometa v večini evropskih mest so se začele pojavljati tudi težave, povezane z zastoji. Poleg zmanjšane pretočnosti cest, kar povzroča ekonomsko škodo, je naraščanje prometnih obremenitev močno povezano z naraščanjem cestnega onesnaževanja ozračja. Ker so mesta območja koncentracije prebivalstva, so tudi območja, kjer gostota cestnega prometa in spremljajoče infrastrukture močno naraste, povečajo pa se tudi okoljski pritiski. V večini evropskih mest se danes srečujejo s težavami zaradi preobremenjenosti cest in vsaj lokalno tudi s povečanimi koncentracijami onesnažil, ki jih povzroča promet. Tudi Ljubljana se srečuje s podobnimi težavami, saj prometne obremenitve naraščajo že več kot 15 let, avto pa je v tem času postal prevladujoče prevozno sredstvo.

Delo predstavlja problematiko prometnega obremenjevanja ozračja v Ljubljani. Večinoma se ukvarja s koncentracijami dušikovega dioksida, deloma pa se posveča tudi drugim onesnažilom, na primer delcem, ozonu in benzenu. Kakovost zraka je v mestih vse bolj odvisna tudi od prometne politike, pri čemer ne smemo pozabiti geografske lege mesta. Ljubljana leži v neprevetreni kotlini, s pogostim temperaturnim obratom in pojavom mestnega toplotnega otoka, kar je zelo pomembno pri obravnavanju okoljskih pritiskov, umeščanju in dimenzioniranju virov ter ocenjevanju samočistilnih sposobnosti ozračja. V preteklosti so se tako v Ljubljani, kot tudi marsikje drugje v kotlinah in dolinah Slovenije, soočali z veliko onesnaženostjo zraka zaradi uporabe trdih goriv z visoko vsebnostjo žvepla, npr. v individualnih kuriščih ter v termoelektrarnah, toplarnah in tudi železarnah. Problem so strokovnjaki v sodelovanju s politiko učinkovito rešili z menjavo energentov, povezavo gospodinjstev na skupno ogrevanje ter dvigovanjem dimnikov večjih virov nad višino najpogostejšega temperaturnega obrata.

Dve desetletji pozneje smo pred podobnim izzivom, le da je tokrat vir precej bolj razpršen, tudi mobilen. Promet je glavni onesnaževalec ozračja ne le v lokalnem ali regionalnem, temveč tudi v globalnem merilu, saj predstavlja okoli 30 odstotkov izpustov toplogrednih plinov. Vse bolj postaja jasno, da bo treba prometno onesnaževanje ozračja rešiti zelo kmalu, pa čeprav do danes prav veliko zgodb o uspehu še ne poznamo. Napredek tehnike sicer omogoča vse manjše emisijske faktorje novih vozil, a neprestana rast cestnega prometa skupnih prometnih emisij ne manjša, njihov relativni delež pa celo povečuje. V publikaciji je izpostavljen le del prometnega onesnaževanja, saj se posveti predvsem dušikovemu dioksidu, v manjši meri pa tudi ozonu in benzenu. Pozornost namenja prostorskemu vidiku onesnaževanja, kar se kaže v izboru in velikem številu merilnih mest, ki so bila podlaga za podatke o onesnaženosti zraka. Upoštevana je tudi velika pestrost mestnega prostora, kjer so različne gostote prometa in različna gostota

stavb, ki lahko pomembno vplivajo na samočistilne sposobnosti zraka v mestnih predelih. Ta pristop je v Ljubljani nov, zato so rezultati še toliko bolj zanimivi.

Meritve in ugotovitve so rezultat sodelovanja Oddelka za geografijo Filozofske fakultete v Ljubljani in Agencije Republike Slovenije za okolje, ki sta za Mestno občino Ljubljana opravila to študijo. Poleg tega pa so predstavljene še ugotovitve, do katerih je prišel avtor v svojem petletnem raziskovanju.

Predstavljen je tudi seznam mogočih rešitev, ki bi preprečile oziroma zmanjšale nadaljnje onesnaževanje in izboljšale kakovost zraka tam, kjer koncentracije že presegajo mejne vrednosti oziroma so jim zelo blizu.

2 CESTNI PROMET V LJUBLJANI

Ljubljana je največje slovensko mesto, hkrati pa tudi finančno, administrativno, gospodarsko, prometno in demografsko središče Slovenije. To pomeni, da se številni tokovi v Ljubljani prepletajo in združujejo, prav tako pa tam tudi nastajajo. Število prebivalstva se v Ljubljani v zadnjih letih sicer nekoliko zmanjšuje, vendar le zato, ker se ljudje selijo na obrobje mesta, pogosto že zunaj območja mestne občine Ljubljana (MOL). Kljub temu vsi navedeni dejavniki močno zaznamujejo promet mesta. Če k temu dodamo še neustrezen javni mestni potniški in zelo slab medkrajevni javni promet, je razumljivo, da je osebni avtomobil izrazito prevladujoče prevozno sredstvo. V Ljubljani, ki je največje zaposlitveno središče v državi, je več kot 170 000 delovnih mest, temu pa dodajmo še 47 000 študentov, od katerih jih 79 odstotkov prihaja iz drugih občin (Bajt, 2006). Število avtomobilov v Ljubljani narašča skozi vse povojno obdobje. Od leta 1996, ko je bila ustanovljena mestna občina, je število motornih vozil naraslo s 135 567 na 157 218 leta 2004 (Statistični letopis Ljubljane, 2005). Ob zadnjem popisu leta 2002 je živelo v MOL 265 881 prebivalcev, registriranih pa je bilo 154 838 motornih vozil, od tega 127 969 osebnih vozil (Statistični letopis Ljubljane, 2005). To pomeni 481 vozil na 1000 prebivalcev oziroma 2,1 prebivalca na osebno vozilo. Kljub rahlemu upadu prebivalstva je za Ljubljano značilen porast števila dnevno prevoženih kilometrov, narašča tudi lastništvo avtomobilov, večja pa je tudi dnevna migracija (Plut, 2007).

V MOL se okoli 65 odstotkov vseh potovanj opravi z avtomobilom, med regijo in mestom pa ta odstotek naraste na okoli 90 odstotkov. Znotraj MOL je slika dnevnih potovanj nekoliko drugačna, saj je okoli 55 odstotkov dnevnih potovanj opravljenih z avtomobilom, na drugem mestu je pešačenje (19 odstotkov), nato uporaba javnega potniškega prometa (14 odstotkov), 10 odstotkov Ljubljančanov pa za notranje migracije uporablja kolo (Bajt, 2006). Znotraj MOL vsak dan poteka približno 1,2 milijona potovanj, od tega jih 70 odstotkov opravijo Ljubljančani, 30 odstotkov pa drugi. V Ljubljano naj bi po različnih ocenah dnevno potovalo od 90 000 do 120 000 ljudi, od tega približno dve tretjini z avtom (Strategija trajnostnega razvoja ..., 2001; Lejga, tramvaj ..., 2002; Pichler Milanović, 2005 – povzeto po Dekleva, 2000).

Infrastruktura za mirujoči promet ne more sprejeti vseh vozil, saj je evidentiranih le 13 216 javnih in zasebnih parkirišč. Sem spadajo parkirna mesta na cesti, parkirna mesta Slovenskih železnic, parkirišča, ki jih upravlja Javno podjetje Parkirišča, parkirišča v parkirno-garažnih hišah in zasebne garaže ter parkirna mesta (Možina, 2005). Če upoštevamo še parkirna mesta pred stanovanjskimi soseskami, je bilo konec devetdesetih let vsega skupaj v MOL 28 000 parkirnih mest (Prostorski plan MOL – Zasnove ..., 2000). Večina dnevnih migrantov, ki pridejo v mesto z avtomobilom, torej parkira na neurejenih parkiriščih, veliko jih parkira tudi nezakonito. Mestni potniški promet (LPP) deluje na 21 progah in je v zadnjih letih doživel nekaj sprememb, začel se je prilagajati potrebam meščanov, kar je po dolgih letih prvi pozitiven premik na področju javnega prometa v Ljubljani. Dostopnost postajališč LPP je že desetletja ugodna. Če upoštevamo razdaljo 500 m od postajališča, živi 94 odstotkov prebivalstva znotraj te

razdalje, nekaj pa je še nepokritih območij, kot npr. Kozarje, Glince in Zgornji Kašelj (Bajt, 2006). Glavna težava LPP je zelo majhna potovalna hitrost avtobusov, ki je le 17 km/h in je tudi v konicah za 10 km/h nižja od hitrosti osebnih vozil (Bajt, 2006). Pozitivna sprememba leta 2008 je poskusna širitev mreže LPP do Brezovice, vendar je smiselna le, če bo tudi ostala.

V letu 2008 so cene parkiranja v MOL od 0,6 do en evro na uro, odvisno od lege parkirnega mesta glede na središče mesta, medtem ko je cenik vožnje z LPP s plačilom žetona 0,8 evra na vožnjo. Cenovno razmerje med avtomobilskim obiskom mesta in obiskom z LPP je še vedno v prid avtomobila, kar ovira krepitev LPP v Ljubljani. Število potnikov, ki jih prepeljejo mestni avtobusi, upada že dve desetletji, v zadnjih letih pa se padec počasi umirja. Leta 1986 se je z mestnim avtobusom v Ljubljani prepeljalo okoli 150 milijonov potnikov, leta 1996 le še okoli 110 milijonov (Prispevek ..., 1997), leta 2004 okoli 93 milijonov (Bajt 2006), 2005 pa le še okoli 90 milijonov (Ljubljana, glavno mesto, 2006).

Za ljubljansko urbano regijo, ki združuje več občin okoli MOL, lahko rečemo, da tudi železniški potniški promet še zdaleč ne zadovoljuje vseh potreb. Železniški promet je razvit v smeri proti Kamniku, Litiji, Grosupljem, Logatcu in Kranju. Izrazito razpršena poselitve, ki se razrašča z novjšimi gradnjami stanovanjskih sosesk in nakupovalnih središč na robu Ljubljane, pa še krepi uporabo osebnega avtomobila. Zato so prometni zastoji v Ljubljani precej pogosti, temu primerno pa je tudi prometno obremenjevanje. Na obrobju mesta poteka tudi mestna obvoznica, tako imenovani »mestni obroč«, ki je tudi križišče slovenskega avtocestnega križa. Tam se združijo prometni tokovi petega evropskega prometnega koridorja, ki čez Slovenijo poteka od severovzhoda proti jugozahodu (in obratno) in dela desetega evropskega prometnega koridorja, ki skozi Karavanški predor poteka proti jugovzhodu v smeri Zagreba in naprej na Balkan. Tako se v Ljubljani soočamo z lokalnimi, regionalnimi in evropskimi prometnimi tokovi, ki tedaj, ko konice součinkujejo, privedejo do zastojev in velike prometne gneče. Zastoje je od druge polovice leta 2008 verjetno za nekaj let zmanjšal Šentviški predor.

Na cesti pride do zastoja, ko je dosežena kritična gostota prometa za to cesto. Takrat se hitrost prometa hitro zmanjša in cesta postane manj pretočna. Vendar se onesnaževanje ozračja ne zmanjša sorazmerno z manjšo pretočnostjo prometa, saj promet na cesti ves čas poteka in motorji ves čas delujejo. Tako na mestnih cestah in ulicah, kjer so prometne obremenitve sicer precej manjše, ne prihaja do sorazmerno manjših izpustov, saj ceste velik del časa zasedajo vozila, ki vozijo počasi ali pa stojijo pred semaforji. Dodaten dejavnik, ki poveča izpuste v mestih, je način vožnje, saj mestna vožnja pomeni veliko zaviranj in pospeševanj. Obraba pnevmatik in zavor ter obraba cestišča so pomemben vir lebdečih delcev v zraku, povečana poraba goriva ob pospeševanju pa poveča izpuste dušikovih oksidov in ogljikovodikov. Res pa je, da pri nizkih obratih motorji porabijo manj goriva in da prihaja do drugačne sestave izpušnih plinov. Pri stoječih ali počasi vozečih motorjih je na primer v izpuhih precej več ogljikovega monoksida, pri hitri vožnji pa več dušikovih oksidov. Pomembna je tudi sestava prometa oziroma sestava voznega parka. Za mestni promet velja, da je v izraziti prevladi promet z osebnimi vozili. V preglednicah 1 in 2 so obremenitve na nekaterih mestnih cestah v času zimskih meritev.

Preglednica 1: *Promet na nekaterih večjih cestah v Ljubljani.*

Odsek	PLDP	Leto podatka
Celovška cesta (center Mercator)	58972	2004
Celovška cesta (podvoz)	41843	2004
Dunajska cesta (podvoz)	41275	1. 6. 2004–1. 6. 2005*
Tržaška cesta (Vič)	32627	2004
Tivolska cesta (Tobačna tovarna)	31555	2004
Šmartinska cesta (Emona)	29251	2004
Drenikova cesta (podvoz)	26837	2004
Šmartinska cesta (Zmaj)	26720	2004
Zaloška cesta (Toplarna)	26130	2004
Dunajska cesta (Stožice)	22012	2004
Poljanska cesta (Roška)	21165	2004
Kajuhova cesta (jug)	19789	2004
Nemška cesta	18882	2004
Slovenska cesta (Šumi)	18052	2004
Barjanska cesta	17797	2004
Litijska cesta (Fužine)	14876	2003
Hladnikova cesta (Livada)	13485	1. 6. 2004–1. 6. 2005*
Večna pot (Brdo)	11649	2004
Tacenska cesta (Sava)	11385	2004
Zaloška cesta (silos)	10701	25. 5. 2003–30. 3. 2004*
Erjavčeva cesta (podvoz)	9729	1. 6. 2004–1. 6. 2005*
Cesta v Mestni log	9057	1. 6. 2004–1. 6. 2005*
Dolenjska cesta (Galjevica)	8816	2003
Poljanska cesta (zahod)	8628	27. 8. 2003–30. 3. 2004*
Ižanska cesta	7629	1. 6. 2004–1. 6. 2005*
Ciril-Metodov trg	4366	2004

Vir: MOL.

Prometne obremenitve so zelo visoke le na odsekih vpadnic (Celovška cesta, Dunajska cesta, Tržaška cesta, Šmartinska cesta in Zaloška) ter na povezovalnih cestah, ki povezujejo vpadnice (Tivolska cesta, Drenikova cesta). Nad 30 000 vozil pomeni že precej velike obremenitve, v to kategorijo pa spada pet od 26 odsekov. Večina odsekov pomembnejših cest v Ljubljani pa ima obremenitve od 10 000 do 30 000 vozil na dan. Vendar pa je zelo pomembna tudi hitrost vozil, ki je pri mestni vožnji zelo majhna, kar pripomore k manjši pretočnosti cest in večjemu onesnaževanju mestnega ozračja. Tako so obremenitve mestnih cest z nizkimi hitrostmi in podeželskih cest z večjimi hitrostmi neprimerljive.

Preglednica 2: *Delež osebnih vozil in vseh vrst tovornjakov ter avtobusov na nekaterih cestah v Ljubljani.*

	Odstotek osebnih avtomobilov	Odstotek tovornjakov vseh vrst in avtobusov
Drenikova cesta (podvoz)	99	1
Slovenska cesta (Drama)	94	6
Tržaška cesta (Dolgi most)	96	4
Zaloška cesta (toplarna)	97	3
Celovška cesta (podvoz pri Tivoliju)	96	4
Šmartinska cesta (Emona)	97	3
Dunajska cesta (podvoz pri Gospodarskem razstavišču)	96	4

Delež osebnih avtomobilov je v mestu zelo velik, od 94 do 99 odstotkov, kar za vožnjo v mestu ni presenetljivo, saj je vožnja tovornih vozil marsikje prepovedana ali omejena. Od večjih vozil le avtobusi LPP predstavljajo kategorijo, ki imajo poleg osebnih avtomobilov še pomemben delež. Njihov delež je nekoliko večji predvsem na Celovski, Dunajski in Zaloški cesti, ki spadajo med glavne ceste, po katerih poteka tudi javni potniški promet.

Ljubljana ima zvezdasto strukturo prometnega omrežja, glavne vpadnice pa obdaja mestni avtocestni obroč, notranji mestni obroč pa v celoti še ni zgrajen. V to strukturo je zelo dobro vpeta mreža avtobusnih prog in postajališč, ki prostorsko dobro služi gosto poseljenemu mestnemu območju, območij s slabšim dostopom do postajališč je le malo. To so novejšše soseske, za katere nikakor ne moremo reči, da so sledile merilu dostopnosti z javnim potniškim prometom (na primer soseska v Mostecu in številne gradnje v Črni vasi), enako velja za večja nakupovalna središča (na primer BTC ali nakupovalno središče Rudnik). Javni promet se tem prostorskim spremembam le v posameznih primerih in zelo počasi prilagaja s spreminjanjem prog, kar le še dodatno krepí že tako veliko odvisnost od avtomobila.

Zvezdasta struktura, v kateri nekatere vpadnice vodijo prav v mestno središče, v konicah z okrepljenim tokom vozil proti središču mesta povzroča velike prometne zastoje, ki jih Ljubljana doživlja zelo pogosto. Ker veliko prometa konča v mestnem središču, je to vsakodnevno preplavljeno s pločevino, mirujoči promet pa spada med glavne težave ljubljanskega prometa. Politika parkiranja še vedno spodbuja parkiranje v mestnem središču. To kaže nizka cena plačljivih parkirnih mest in kar nekaj parkirnih hiš v središču. Kot, da to ni dovolj, mestne oblasti razmišljajo o novi parkirni hiši v središču mesta. Možnost parkiranja v središču mesta pomeni vožnjo v središče in s tem še naprej vsakodnevne obremenitve na vpadnicah, ki ob prometnih konicah že zdaj presegajo zmogljivosti teh cest. Večino avtomobilskega prometa, namenjenega v mestno središče, bi morali ustaviti že na obrobju mesta in potnike preusmeriti na javni promet. Tako bi sprostili preobremenjene ceste in hkrati zmanjšali prometno obremenjevanje okolja, številne parkirne površine v mestu pa bi lahko dobile drug

značaj. Prometne tokove iz regije v Ljubljano pa je treba ustaviti še veliko prej in ljudem zagotoviti učinkovit ter hiter dostop v mesto z javnim prometom.

Javni promet v MOL po desetletjih mirovanja uvaja prve spremembe, nujno pa bi moral biti še bolj prilagodljiv. Tako avtobusi še vedno nimajo možnosti, da bi sprejemali kolesarje, na avtobusnih postajah pa tudi ni kolesarskih parkirišč. Frekvenca voženj na nekaterih progah je še vedno premajhna, cene pa vse manj konkurenčne. Rumeni pasovi so občutno prekratki in vse bolj prazni avtobusi stojijo v gneči med osebnimi vozili z enim ali dvema potnikoma. Že več let je v načrtu tudi enotna vozovnica za sredstva javnega prometa v Sloveniji, a do danes še ni bila uvedena. V številnih naseljih na mestnem obrobju še vedno ni zagotovljena osnovna infrastruktura za pešce in kolesarje, kot sta pločnik in kolesarski pas na vozišču ali celo kolesarska steza. Gradnje pločnikov in kolesarskih stez so sicer vse pogostejše, a še vedno preredke, brez celovitega koncepta, velik problem pa ostaja nepovezanost.

Glede na težnjo poseljevanja obrobja mesta lahko pričakujemo, da bo javni promet v mestu še naprej izgubljal pomen, če ne bo prišlo do njegove korenite prenovе. To pa vodi v nadaljevanje prometnih zastojev in prevlado osebnega avtomobila. Izrazita prevlada avtomobilskega prevoza in močna podhranjenost javnega prevoza s sinergijskimi učinki zgoščanja prometa v središču avtocestnega križa, ki poteka prek ljubljanskega obroča, neizogibno vodita v velike prometne obremenitve okolja, zlasti porabo prostora, hrup in onesnaževanje ozračja. Kakovost zraka zaradi prometnega onesnaževanja v Ljubljani postaja resen problem, saj je prometno onesnaževanje v mestih tihi ubijalec. V Evropi prometnemu onesnaževanju pripisujejo od 40 do 130 tisoč žrtev letno, v Franciji in Avstriji pa zaradi onesnaženega zraka umre dvakrat toliko ljudi kot zaradi prometnih nesreč (Otošec, 2008). Vendar pa je prometno onesnaževanje zapleten proces, zato moramo vsako onesnažilo obravnavati posebej, na koncu pa še medsebojne reakcije teh snovi, pri čemer so pomembne tudi razmere v ozračju.

3 PROMETNO ONESNAŽEVANJE OZRAČJA V LJUBLJANI

Skladno z naraščajočimi prometnimi obremenitvami v Ljubljani narašča tudi prometno onesnaževanje okolja. Ljubljana leži na jugovzhodnem robu Alp, dobro zaščiten pred zahodnimi vetrovi, ki pogosto pihajo v mestih severno in zahodno od Alp. Dodatno k majhni prevetrenosti vpliva lega na južnem delu Ljubljanske kotline, na nadmorski višini okoli 300 metrov, ki jo na jugu, vzhodu in zahodu zapirajo hribovja z nadmorsko višino od 500 do 1100 metrov, na severu pa se orografske ovire vzpenjo prek 2500 metrov. Lega na dnu kotline je povezana tudi s pojavom toplotnega obrata, saj se hladen zrak v nočeh z radiacijskim tipom vremena z okoliških pobočij steka na dno kotline, od koder ne more iztekati, zato začne nastajati jezero hladnega zraka. Jezero hladnega zraka tako pogosto oblikuje zaporno plast hladnejšega in gostejšega zraka nad mestom, ki navadno sega do relativne višine okoli 300 metrov, nad njim pa je topel zrak. Zlasti pozimi je to jezero hladnega zraka lahko tako trdovratno, da ostane več dni in prepreči vstop vetru do dna. Ta pojav slabi prevetrenost v zimskem času, hkrati pa močno vpliva na zadrževanje onesnažil v plasti hladnega zraka pri tleh in s tem na kakovost zraka v mestu.

Prometno onesnaževanje ozračja se začne z izpustom (emisijo) izpušnih plinov v ozračje. Ti plini so posledica izgorevanja goriv v motorjih vozil. Poleg plinov se v zrak sproščajo tudi delci, ki niso nujno povezani z izgorevanjem goriv, pač pa tudi z obrabo delov vozil (pnevmatik, zavor ipd.) in dviganjem prahu ter soli s cestišč. Po izpustih v zrak se te snovi v ozračju širijo in onesnažujejo zrak na širšem območju. V zraku se zadržijo različno dolgo, od nekaj ur do več tednov. Snovi, ki v zraku ostanejo kratek čas, so na primer večji delci in neobstojni plini. Večji delci se hitro usedejo na tla, neobstojni plini, kot je na primer dušikov monoksid, pa hitro reagirajo z drugimi plini v zraku. Druge snovi lahko ostanejo precej dlje, kot na primer ogljikov dioksid ali zelo majhni lebdeči delci (Ogrin, 2007).

Na kakovost zraka vplivajo izpusti (emisije) onesnažil in njihov prenos v prostoru, na kar vplivata molekularna difuzija in predvsem turbulentna (vrtinčna) difuzija, ki je približno 10 000-krat močnejša od molekularne (Petkovšek, Vrhovec, 2000). Tako ima pomembno vlogo tudi prevetrenost območja in ponekod, npr. v majhnih, zaprtih kotlinah in dolinah, so lahko že majhni izpusti (emisije) dovolj veliki, da so koncentracije (imisije) visoke. V tem je tudi razlika med zimskimi in poletnimi meteorološki stanji v Ljubljani, saj je ozračje poleti precej bolj prevetreno in premešano kot pozimi, zato so koncentracije onesnažil (razen ozona) pozimi navadno višje.

Glavni krivec izpustov dušikovih oksidov v Ljubljani je promet. Leta 2004 so izpusti dušikovih oksidov znašali 5300 ton, od leta 2001 pa je opazen rahel upad, vendar je manjši od pričakovanega glede na obnavljanje voznega parka v Ljubljani. Razlog je v povečanju deleža dizelskih motornih vozil (Loose in drugi, 2006). Izpusti trdih delcev so se v Ljubljani po letu 1993 zmanjšali zaradi dograditve elektrofiltrov na dimniku TE-

TOL. Vendar pa imajo zdaj vse večji pomen in vpliv trdni delci iz prometa. V obdobju 1999–2004 je delež prometa pri celotni emisiji delcev narasel s 47 kar na 74 odstotkov, pričakuje pa se, da se bodo razmere do obveznega uvajanja filtrov za trdne delce v EU še poslabšale, kar naj bi se zgodilo leta 2010 (Loose in drugi, 2006).

Kakovost zraka v Ljubljani spremljata z meritvami Mestna občina Ljubljana v okviru okoljskega merilnega sistema (OMS) in Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). ARSO opravlja meritve v okviru državne mreže, ki obsega enajst samodejnih merilnih postaj. V Ljubljani ta služba stalne meritve opravlja na merilnem mestu za Bežigradom, kjer je tudi sedež ARSO. Poleg tega občasno opravlja meritve z mobilno postajo, ki jo seli na različne lokacije in tam meri kakovost zraka krajši čas. MOL opravlja svoje meritve kakovosti zraka, in sicer v središču mesta, na lokaciji Figovec, ob enem najbolj obremenjenih mestnih križišč. Merilne metode niso enake in tako dobljeni podatki neposredno niso primerljivi. ARSO meri s točkovnim zajemom zraka, kar pomeni, da meri kakovost zraka v eni točki. Merilna postaja MOL pa meri optično vzdolž 200-metrške črte (Planinšek, 2006).

3.1 ŽVEPLOY DIOKSID

Kakovost zraka v Ljubljani se v zadnjih desetletjih spreminja tako glede prevladujočih onesnažil kot prevladujočih virov. Za obdobje do devetdesetih let 20. stoletja je veljalo, da je v Ljubljani največji problem onesnaževanje z žveplovim dioksidom, ki je bil posledica uporabe visoko žvepljenih goriv v individualnih kuriščih in toplarnah. Mnogi se še danes spominjamo neskončne sivine mrzlih meglenih dni z vonjem po žveplu, ki smo jim bili priča od novembra do februarja. Zaradi lege v kotlini in zgoščevanja prebivalstva ter številnih gospodarskih dejavnosti se je Ljubljana v sedemdesetih letih 20. stoletja uvrščala med mesta z najbolj onesnaženim zrakom v Sloveniji (Špes in drugi, 2000). Konec šestdesetih let so bile povprečne koncentracije žveplovega dioksida okoli $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$, v osemdesetih okoli $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, v devetdesetih okoli $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, po letu 2000 pa le še okoli $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Plut, 2007). Za obdobje do prve polovice devetdesetih let je tudi značilno, da so koncentracije tega onesnažila v Ljubljani presegle dopustne vrednosti (Plut, 2007). Danes prisotnost žveplovega dioksida v ozračju ne predstavlja več resne grožnje kakovosti zraka v Ljubljani in tudi število meglenih dni se je glede na obdobje pred letom 1990 zmanjšalo za približno eno tretjino. Prehod na ogrevanje z zemeljskim plinom in kurilnim oljem ter širjenje sistemov daljinskega ogrevanja sta povzročila izrazit upad koncentracij žveplovega dioksida, vse pomembnejše pa je postajalo prometno onesnaževanje, ki danes prevladuje. Onesnaževanje ozračja z žveplovim dioksidom so zamenjale težave z drugimi onesnažili, predvsem dušikovimi oksidi, ozonom in vse bolj tudi z delci ter ogljikovodiki.

3.2 TRDI DELCI

Atmosferski delci oziroma aerosoli so mešanica organskih in anorganskih sestavin. Del delcev prihaja v ozračje iz virov na površini (primarni delci), medtem ko so drugi posledica različnih pretvorb v ozračju (sekundarni delci). Delci so lahko naravnega izvora (cvetni prah, prah, morska sol, dim gozdnih požarov, meteorski prah, vulkanski pepel) ali antropogenega izvora (energetski objekti v najširšem pomenu, industrija, promet, poljedelstvo). Delci pomembno vplivajo na zdravje ljudi, na klimo, vidnost itn. Delimo jih tudi na delce PM₁₀ in delce PM_{2,5}. V Uredbi o žveplovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku (Uradni list RS, št. 52) so delci PM₁₀ definirani kot delci v zraku, ki jih prepušča filter s 50-odstotno neprepustnostjo za delce z aerodinamskim premerom 10 µm. Delci PM_{2,5} pa so delci, ki jih prepušča filter s 50-odstotno neprepustnostjo za delce z aerodinamskim premerom 2,5 µm. V tej uredbi so postavljene zahteve za monitoring delcev za ugotovitev stanja in uvedbo nujnih ukrepov (Projekt SILAQ, 2008).

Področje delcev PM₁₀ opredeljuje Uredba o žveplovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku (Uradni list RS, št. 52/2002) in Pravilnik o monitoringu kakovosti zunanjega zraka (Uradni list RS, št. 36/2007). Zakonsko predpisana 24-urna mejna vrednost za delce PM₁₀ je 50 µg/m³, ki je lahko presežena 35-krat v koledarskem letu. Sprejemljivo preseganje mejnih vrednosti je vsako leto manjše in ga od leta 2005 ni več.

V 8. členu Uredbe o ukrepih za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zunanjega zraka (Uradni list RS, št. 52/02) je navedeno: »Na poselitvenem območju ali drugem območju, kjer je zrak čezmerno onesnažen, je treba z ukrepi za izboljšanje kakovosti zraka zagotoviti, da se ravni onesnaženosti snovi iz priloge 3 znižajo do predpisanih mejnih vrednosti do roka, določenega s predpisi.«

Preglednica 3: Mejne vrednosti za delce.

Dan	Leto
50 (MV) ⁴	40 (MV)
20 (SOP) ⁴	10 (SOP)
30 (ZOP) ⁴	14 (ZOP)

⁴ Vrednost je lahko presežena 35-krat v enem letu.
Vir: Uredba o žveplovem UL RS 52/2002.

Preglednica 4: Sprejemljivo preseganje za delce.

	2000	2001	2002	2003	2004
SP (dan)	25	20	15	10	5
SP (leto)	8	6	5	3	2

Vir: Uredba o žveplovem UL RS 52/2002.

Zgornji ocenjevalni prag je za žveplov dioksid, dušikove okside, delce in svinec predpisana raven onesnaženosti, pod katero se za ocenjevanje onesnaženosti lahko uporabljajo kombinacije meritev ter modelnih izračunov in drugih metod ocenjevanja (Uradni list RS, št. 52/2002). Spodnji ocenjevalni prag je za žveplov dioksid, dušikove okside, delce in svinec predpisana raven onesnaženosti, pod katero se za ocenjevanje onesnaženosti lahko uporabljajo zgolj modelni izračuni in druge metode ocenjevanja (Uradni list RS, št. 52/2002).

Čeprav v preteklih desetletjih onesnaževanju z delci niso namenjali večje pozornosti, se je izkazalo, da je prevelika količina delcev v zraku za zdravje nevarna. Večji delci se ob vdihavanju ustavijo na poti do pljuč, manjši pa lahko nemoteno prodrejo in tam škodljivo delujejo na človeški organizem. Njihova velikost in škodljivost pa sta odvisni tudi od sestave. Onesnaženost zraka s trdimi delci postaja največji problem prometnega onesnaževanja v večini evropskih mest, tudi v Ljubljani. MOL je začel neprekinjene meritve PM₁₀ šele ob koncu leta 2005, vendar so rezultati teh in prejšnjih kratkotrajnih meritev pokazali na zelo pogosto preseganje mejne vrednosti 40 µg/m³. Januarja 2006 so pri Figovcu izmerili povprečno koncentracijo 87 µg/m³, februarja 65 µg/m³, marca 51 µg/m³, aprila 40 µg/m³ in maja 43 µg/m³ (Loose in drugi, 2006). Povprečne koncentracije delcev PM₁₀ so bile za Bežigradom med 36 in 46 µg/m³, torej okoli mejne vrednosti. Bolj kot povprečne koncentracije delcev PM₁₀ skrbi število dni s preseganjem mejne vrednosti, ki je dovoljeno v 35 dneh, v Ljubljani pa je teh dni precej več.

Preglednica 5: Povprečne koncentracije delcev v Ljubljani za Bežigradom.

	2002	2003	2004	2005	2006
Ljubljana Bežigrad	42	46	41	37	36

Vir: ARSO.

Preglednica 6: Število dni, ko so bile presežene mejne vrednosti delcev PM₁₀ na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad.

	2002	2003	2004	2005	2006
Ljubljana Bežigrad	83	116	87	71	51

Vir: ARSO.

Tako kot pri drugih onesnažilih, ki jih povzroča promet, je tudi pri delcih zelo pomembna lokacija merilnega mesta, ki močno vpliva na vrednost meritev. Merilna mesta, ki so daleč od virov onesnaževanja in jim pravimo tudi merilna mesta v ozadju, izmerijo bistveno manjše vrednosti kot merilna mesta ob cestah ali blizu drugih virov (npr. parkirišč, garaž, industrije). Zato je za podrobno prostorsko informacijo treba imeti dovolj gosto mrežo meritev, kar pa se za daljša obdobja zaradi finančnih omejitev ne dogaja. Tako so uporabne tudi kratkotrajne merilne kampanje z gostejšo mrežo meritev, ki kažejo na raznolikost onesnaženja v prostoru, pa čeprav v krajšem obdobju.

Za ugotavljanje prometne onesnaženosti z delci sta bili opravljeni dve merilni kampanji v okviru projekta SILAQ, ki ga je v Sloveniji vodila ARSO. Od 17. marca do 1. aprila in od 20. maja do 1. julija 2003 so bile opravljene meritve na naslednjih merilnih mestih:

- Ljubljana Bežigrad (mestno okolje – ozadje),
- Ljubljana – Figovec (mestno okolje – prometno),
- Ljubljana Moste (predmestno okolje – ozadje),
- Domžale (mestno okolje – prometno),
- Iskrba pri Kočevski Reki (podeželsko okolje – ozadje).

Preglednica 7: *Koncentracije delcev med 17. marcem in 1. aprilom 2003 ter med 20. majem in 1. julijem 2003.*

		Pozimi		Poleti	
		PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}
Ljubljana Bežigrad	dolžina vzorčenja	9	9	17	17
	povprečna koncentracija	52	36	35	20
Ljubljana – Figovec	dolžina vzorčenja	7	7	18	14
	povprečna koncentracija	78	41	57	40
Ljubljana Moste	dolžina vzorčenja	8	2	11	18
	povprečna koncentracija	54	21	50	33
Domžale	dolžina vzorčenja	5	5	16	16
	povprečna koncentracija	111	64	67	40
Iskrba	dolžina vzorčenja	7	5	48	51
	povprečna koncentracija	23	9	25	16

Vir: Projekt SILAQ, ARSO.

Ugotovitve študije so (SILAQ, 2008):

- Da je največji vir delcev emisija iz prometa, kar potrjuje ocene mnogih, da je cestni promet resna grožnja zdravju povsod tam, kjer ga je veliko.
- Izmerjene koncentracije delcev so bile najvišje na merilnih mestih, ki so bila locirana tik ob prometni cesti (Ljubljana – Figovec, Domžale). Na teh merilnih mestih prevladujejo predvsem grobi delci, ki jih promet povzroča z mehanskimi učinki. Sem spadajo delci pnevmatik, ki se s časom odrgnejo in obrabijo, delci zavornih plošč, ponovno dvignjen prah s cest, pozimi sol in podobno.
- Koncentracije delcev PM₁₀ in PM_{2,5} so bistveno višje v zimskem obdobju, izjema je bilo le merilno mesto Iskrba. To pomeni, da je ozračje pozimi

zaradi večje stabilnosti prizemne plasti in slabšega mešanja še bolj ranljivo, izpostavljenost ljudi v mestih pa večja.

- Na merilnem mestu v podeželskem okolju – ozadju (Iskrba) so koncentracije PM₁₀ in PM_{2,5} nekoliko višje v poletnem času.
- Delci predstavljajo velik problem predvsem v mestnih središčih, kjer sta vzrok promet in industrija. Po študijah, ki so bile opravljene, imajo delci negativen vpliv na zdravje ljudi, ker prodrejo globoko v pljuča. Nekateri fini delci so tudi kancerogeni, kar je seveda odvisno od kemijske sestave (težke kovine, organske spojine).
- Problem je zelo majhno število meritev, ki so bile opravljene v zimski in poletni kampanji. Na podlagi daljšega niza meritev bi strokovno lažje ovrednotili dobljene rezultate. V Sloveniji nam manjka dolgotrajnih meritev v gosti prostorski mreži, ki bi prinesle zanesljivejše podatke o onesnaženosti zraka z delci.

3.3 OZON PRI TLEH – O₃ (TROPOSFERSKI OZON)

V mestih se je s pojavom množičnega prometa in fotokemičnega smoga pojavil problem troposferskega ozona ali ozona pri tleh. Tega ozona ne smemo zamenjati z ozonom v stratosferi na višini približno 30–50 kilometrov, ki ga v zadnjem času poznamo tudi v povezavi s pojavom ozonske luknje. V višinah je težava, da je ozona premalo, saj nas ščiti pred ultravijoličnim žarki, pri tleh pa je zaradi reakcij v fotokemičnem smogu ob prisotnosti Sončevega sevanja v večji meri, kot je to v čistem ozračju, začel nastajati ozon in ga je marsikje občasno preveč. Ozon je človeku škodljiv, saj povzroča draženje in vnetje dihalnih organov, sluznice in oči.

Uredba o ozonu v zunanjem zraku (Uradni list RS, št. 8/03) predpisuje za varovanje zdravja opozorilno in alarmno urno koncentracijo ter ciljno vrednost najvišje 8-urne dnevne koncentracije, za zaščito vegetacije pa je določena mejna vrednost faktorja AOT₄₀, dokler vegetacija traja. AOT₄₀ je parameter, ki se izraža v (µg/m³).h in se za določeno obdobje izračuna kot vsota razlike med urno koncentracijo in vrednostjo 80 µg/m³ urnih koncentracij, ki presegajo 80 µg/m³ in so izmerjene med 8. in 20. uro. Vrednost 80 µg/m³ (40 ppb) je izbrana kot vrednost za varstvo rastlin, zato se nanaša na vegetacijsko obdobje in svetli del dneva.

Preglednica 8: *Mejne vrednosti za ozon.*

	Parameter	Ciljna vrednost za leto 2010
1. Ciljna vrednost za varovanje zdravja ljudi	največja osemurna srednja vrednost	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ne sme biti preseženih več kot v 25 dneh koledarskega leta, izračunano kot povprečje v obdobju treh let
2. Ciljna vrednost za varstvo rastlin.	AOT 40, izračunan iz enournih vrednosti v obdobju od maja do julija	18.000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h kot povprečje v petletnem obdobju

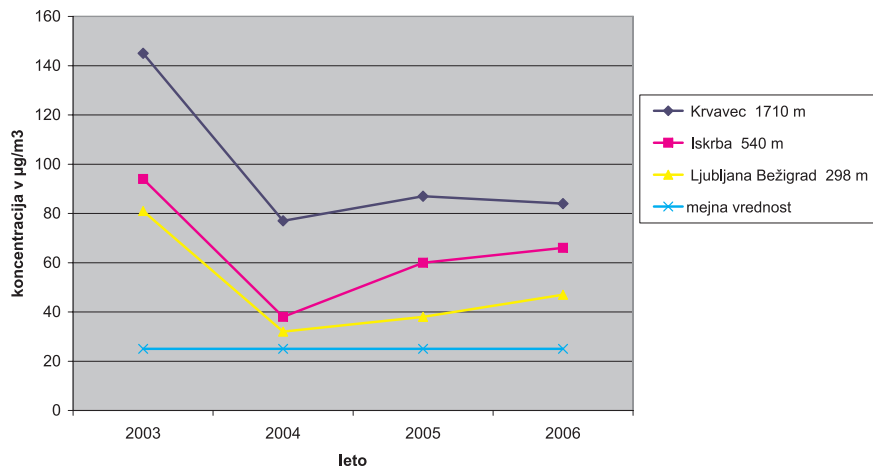
Vrednost je lahko presežena 25-krat v enem letu (cilj za leto 2010).

Vir: Uredba o ozonu UL RS 8/2003.

3.3.1 Koncentracije ozona

V Ljubljani je od devetdesetih let 20. stoletja zlasti poleti vse večji problem tudi troposferski ozon (O_3), pravimo mu tudi ozon pri tleh. Zanj je značilno, da koncentracije od leta 1990 dosegajo vrednosti okoli 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Onesnaženost z ozonom je zelo odvisna tudi od vremena, saj nastaja v vročem in sončnem vremenu. Zato ne preseneča, da je v rekordno vročem in sončnem poletju 2003 povprečna letna koncentracija ozona dosegla največjo vrednost, in sicer 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Plut, 2007). Pri ozonu v nižinah sicer niso problem povprečne letne koncentracije, saj nastaja podnevi in večinoma poleti oziroma v topli polovici leta. Nevarnejše so nekajurne visoke koncentracije sredi dneva, ko je veliko ljudi na prostem. Tako število dni, ko se je pojavila osemurna koncentracija ozona nad 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, od leta do leta zelo niha. Vendar ima tudi onesnaženje z ozonom prostorske zakonitosti. Zlasti v urbanih središčih, blizu cest in drugih virov dušikovih oksidov, dušikov monoksid razkrajajo ozon, zato tam dolgotrajnih visokih koncentracij ozona navadno ne izmerimo. V urbanem ozadju, stran od virov dušikovega monoksida, pa se ozon lahko zadrži precej dlje. Zato je razporeditev merilnih mest za ozon v urbanem prostoru zelo pomembna.

Slika 1: Število dni s preseženo ciljno vrednostjo za ozon ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



Avtor: M. Ogrin.
Vir podatkov: ARSO.

Preglednica 9: Število dni s preseženo ciljno vrednostjo za ozon ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

	2003	2004	2005	2006
Krvavec, 1710 m	145	77	87	84
Iskrba, 540 m	94	38	60	66
Ljubljana Bežigrad, 298 m	81	32	38	47
Mejna vrednost	25	25	25	25

Vir: ARSO.

Preglednica 10: Vrednosti AOT40 za ozon.

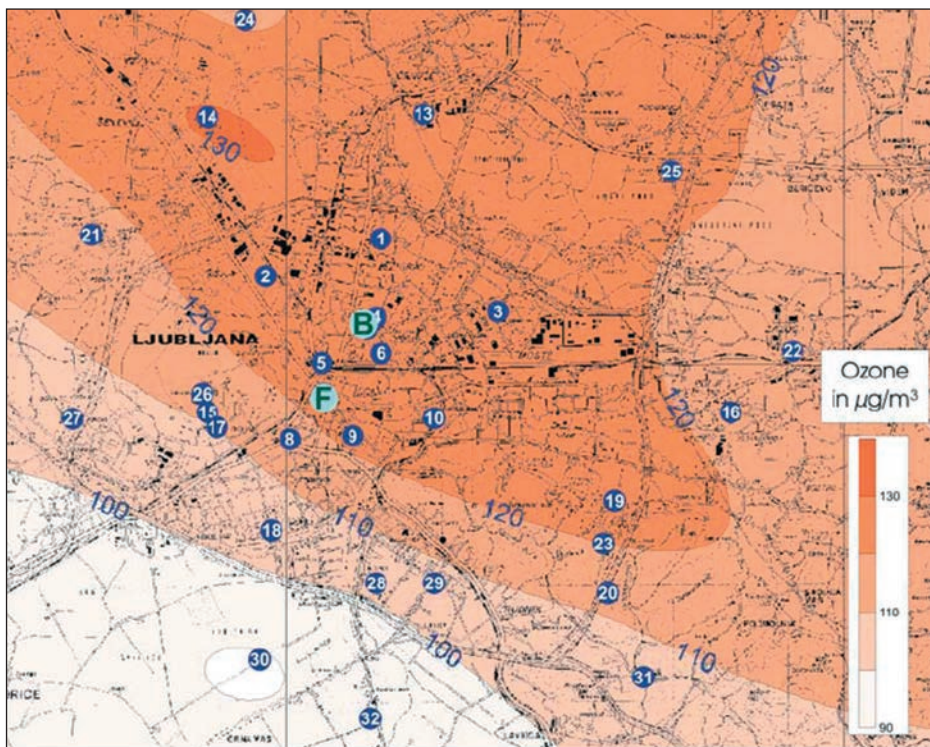
	2002	2003	2004	2005	2006
Krvavec	88071	88071	54601	60150	71924
Iskrba	67231	67231	36629	41417	50772
Ljubljana Bežigrad	59178	59178	28600	32868	39679
Mejna vrednost	20000	20000	20000	20000	20000

Vir: ARSO.

Zaskrbljujoče je število dni s preseganjem ciljne vrednosti, ki v Ljubljani pomembno presega dovoljeno mejno vrednost. V še veliko večji meri pa je to prisotno v višjih legah in daleč od virov fotokemičnega smoga, kjer so procesi razkrajanja ozona precej počasnejši, kar je lepo vidno iz podatkov merilnih postaj Krivavec in Iskrba. K sreči na nadmorski višini Kravca stalnih naselij ni in je izpostavljenost ljudi na teh območjih zelo majhna, kar pa ne velja za nadmorsko višino Iskrbe in Ljubljane. Vrednosti AOT40 so bile močno presežene povsod, tako v Ljubljani kot na Iskrbi in Kravcu, kar opozarja na škodljive vplive na gozdove.

Meritve troposferskega ozona v gosti mreži z uporabo difuzivnih vzorčevalnikov je v okviru projekta AIRPECO opravila tudi ARSO. V enodnevni meritvi 16. julija 2003 se je v sončnem poletnem dnevu pokazal vpliv tega dne prevladujočega jugozahodnega vetra, ki je zrak z ozonom vred potisnil od Ljubljane na severovzhod. Vrednosti so večinoma presegle $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lokalno tudi $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$, veter pa jih je odnesel proti severovzhodu. Interpretacija enodnevnih meritev služi le informativno in je ne moremo primerjati z osemurno mejno vrednostjo, ki je v enem letu lahko presežena 25-krat. Vsekakor pa kaže na problematičnost onesnaženja s troposferskim ozonom v Ljubljani poleti, kar občutijo tudi nekateri prebivalci mesta, ko jih v lepem sončnem poletnem vremenu sredi dneva pečejo oči.

Slika 2: Koncentracije ozona v Ljubljani 16. julija 2003.



Vir: Čemas, 2004, str. 5.

Preglednica 11: Povprečne koncentracije ozona v Ljubljani med 25. avgustom in 14. septembrom 2005.

Merilno mesto	Koncentracija ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tip merilnega mesta
Čopova ulica (1 m)*	20	cestni koridor
Cankarjeva ulica (1 m)*	23	cestni koridor
Vič, Rutarjeva ulica	24	urbano ozadje
severna obvoznica	25	navadno
Avtobusna postaja Ljubljana	26	navadno
Biotehniška fakulteta	27	urbano ozadje
Figovec	27	navadno
Jurčkova cesta	28	urbano ozadje
Cankarjeva cesta (130 m)*	29	urbano ozadje – koridor
Šiška, Andreaševa ulica	29	urbano ozadje
Šiška, Smrekarjeva ulica	29	urbano ozadje
Čopova ulica (150 m)*	34	urbano ozadje – koridor
ARSO, Bežigrad	34	urbano ozadje
Bežigrad	34	urbano ozadje
Moste, Rojčeva	36	urbano ozadje

*V oklepaju je oddaljenost od Slovenske ceste.

Merilna mesta ob cestah (sodijo v tip merilnega mesta: navadno) smo postavili na obeh straneh ceste.

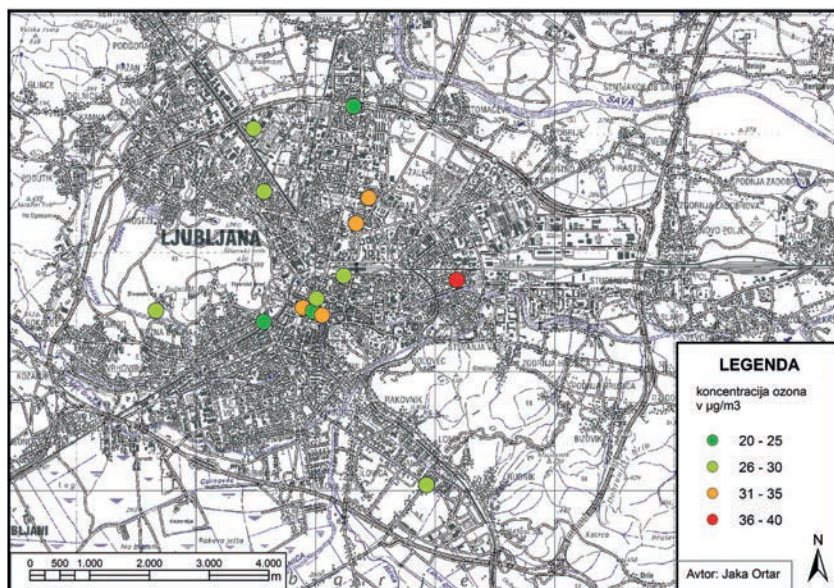
Izmerjene koncentracije ozona na merilnih mestih v Ljubljani v poletni kampanji leta 2005 niso bile zelo visoke, kar je razumljivo, saj imamo opravka s povprečnimi dnevnimi vrednostmi. Mejne vrednosti, ki jih navajamo na začetku poglavja, se nanašajo na najvišje osemurne dnevne vrednosti ali pa vrednosti za daljše obdobje. Te pa niso primerljive s povprečnimi vrednostmi skozi obdobje merjenja, saj v nočnih urah ozon ne nastaja, tisti, ki je nastal v prejšnjem dnevu, pa se večinoma razkroji.

Zanimiv je vrstni red merilnih mest po onesnaženosti, saj so na zadnjem mestu po kakovosti zraka merilna mesta, ki ne ležijo blizu cest. To je posebnost ozona v primerjavi z drugimi onesnažili. Na prvem mestu so merilna mesta urbanega ozadja, med z ozonom najmanj obremenjene predele pa spadajo območja, ki so v neposredni bližini virov prometnega onesnaževanja ali pa so pod njihovim velikim vplivom. To so merilna mesta cestnega koridorja in navadna merilna mesta. Med njimi je le eno mesto iz urbanega ozadja. Šest z ozonom najbolj onesnaženih merilnih mest spada v urbano ozadje. Vzrok za to razporeditev, ki je ravno obratna kot pri meritvah dušikovega

dioksida, je v kemijskih zakonitostih, ki določajo potek reakcij med onesnažili. Ozon je drugotno onesnažilo, kar pomeni, da nastane iz reakcij med primarnimi onesnažili. Gre za zmes ogljikovodikov, dušikovih oksidov in drugih spojin. Pravimo jim tudi predhodniki ozona in so navedeni v Uredbi o ozonu v zunanjem zraku. Pod vplivom sončne svetlobe reagirajo v zmes spojin, ki jih zaobjamemo s pojmom fotokemični smog. Eden najpomembnejših produktov je tudi ozon, za njegov nastanek pa je zelo pomembno, da je v okolici na voljo dovolj dušikovega dioksida in drugih predhodnikov ozona. Nasprotno pa koncentracijo ozona zmanjšuje prisotnost dušikovega monoksida, saj reaktiven in neobstoječ dušikov monoksid prek reakcije $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$ zmanjšuje koncentracijo ozona. To je tudi razlog, da v neposredni okolici cest in drugih virov dušikovega monoksida koncentracije ozona niso zelo visoke, saj ta povzroči njegov razpad. Na območjih, kjer je dušikovega monoksida manj, pa poteka razpad ozona počasneje. V našem primeru so to območja urbanega ozadja, kjer večjih cest ali drugih virov dušikovega monoksida ni, zato lahko ozon tam obstane dlje časa. To je tudi eden glavnih problemov, s katerim s srečujejo strokovnjaki, ki se ukvarjajo z onesnaženjem zaradi ozona. Njegove koncentracije so navadno največje daleč od virov njegovih predhodnikov, kot so ceste in industrijski ali termoeenergetski objekti. Pogosto se visoke koncentracije pojavijo v stanovanjskih soseskah in drugih predelih, kjer ni velikih virov onesnaženja zraka.

Če primerjamo koncentracije ozona na merilnih mestih ob cestah s stalnim merilnim mestom ARSO Bežigrad vidimo, da so koncentracije ob cestah večinoma nižje, kar je skladno s pričakovanji.

Slika 3: Povprečne koncentracije ozona v Ljubljani med 25. avgustom in 14. septembrom 2005.



Vir: Ogrin in drugi, 2006.

3.4 BENZEN

Onesnaževanje z ogljikovodiki kot so benzen, toluen in ksilen, postaja v mestih resen problem, zlasti zaradi zelo škodljivih vplivov in dokazane rakotvornosti benzena. Benzen je dobro topilo za maščobe, uporablja se kot dodatek k pogonskemu gorivu za motorje in kot topilo. Je brezbarven in brez vonja ter zelo strupen. Poleg naravnih virov so v mestih pomembni vir benzena bencinski servisi. Po Uredbi o benzenu in ogljikovem monoksidu v zunanjem zraku (Uradni list RS, št. 52/02) je le za benzen predpisana letna mejna vrednost koncentracije za varovanje zdravja.

Preglednica 12: *Mejna vrednost in sprejemljivo preseganje za benzen.*

	Časovni interval merjenja	Mejna koncentracija	Sprejemljivo preseganje
Letna mejna koncentracija za varovaje zdravja ljudi	koledarsko leto	5 µg/m ³	90 % Vsakega 1. januarja, začeni s 1. 1. 2002, se zmanjša za 10 %, tako da je sprejemljivo preseganje 1. januarja 2010 enako 0 %.

Vir: Uredba o žveplovm UL RS 52/2002.

Preglednica 13: *Zgornji in spodnji ocenjevalni prag za benzen.*

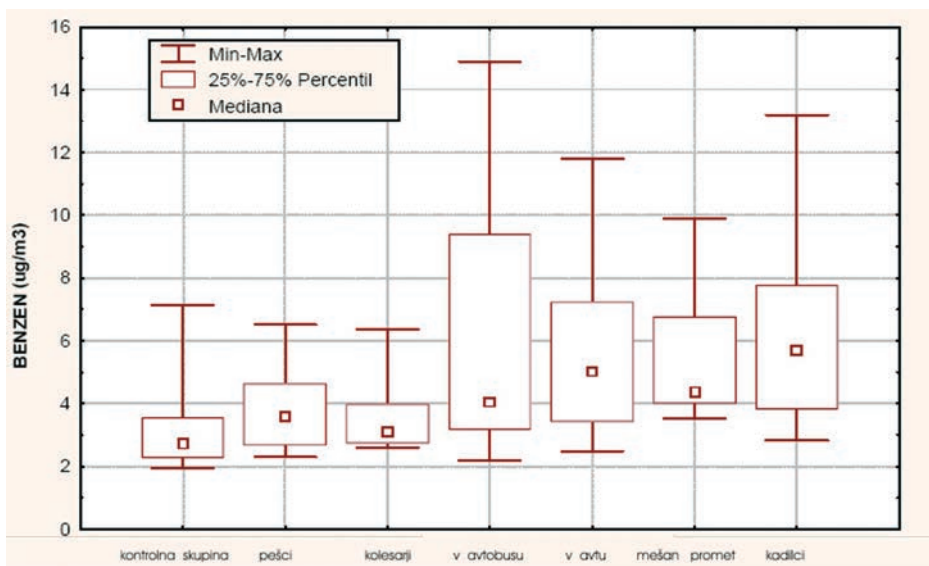
Zgornji ocenjevalni prag	70 % mejne vrednosti (3,5 µg/m ³)
Spodnji ocenjevalni prag	40 % mejne vrednosti (2 µg/m ³)

Vir: Uredba o žveplovm UL RS 52/2002.

Preglednica o mejnih vrednostih nam pove, da je za leto 2006, v katerem je potekala merilna kampanja za benzen, veljalo sprejemljivo preseganje za 40 odstotkov, kar pomeni, da je v tem letu mejna koncentracija za varovanje zdravja ljudi znašala 7 µg/m³.

Daljše meritve v Ljubljani še niso na voljo. Nekajletne meritve OMS MOL kažejo, da so koncentracije benzena na merilnem mestu Figovec med 2 in 4 µg/m³, mejna vrednost pa je 5 µg/m³ (Loose in drugi, 2006). Do podobnih rezultatov so prišli tudi z meritvami osebne izpostavljenosti ljudi benzenu, ki jih je opravila ARSO in so potekale en dan, in sicer 27. maja 2003. V okviru te raziskave so prišli do pomembnih razlik med različnimi skupinami glede na način mobilnosti, kar zgovorno kaže slika 4.

Slika 4: Koncentracije benzene, ki so jim bile izpostavljene različne skupine ljudi glede na način mobilnosti in glede na kadičce in nekadičce.



Vir: Čemas, 2004, str. 7.

Med ciljnim skupinami glede na mobilnost so bili pešci in kolesarji najmanj izpostavljeni benzenu, najbolj pa osebe v avtu. Pri tem je pomembno poudariti, da kolesarji in pešci med vožnjo oziroma hojo po mestu iščejo manj prometne ulice in bližnjice tudi tam, kjer ni prometa, na primer skozi parke. Če pa se kolesar vozi po glavnih cestah ali na njihovem robu po kolesarski stezi, je izpostavljen praktično enakim koncentracijam kot osebe v motornih vozilih, oziroma na kolesarskih stezah toliko manj, kolikor dlje od cestišča te potekajo. Tudi pločniki ob vpadnicah in avtobusne postaje sodijo med območja z visokimi koncentracijami.

Preglednica 14: *Koncentracije benzena med 28. februarjem in 14. marcem 2006.*

Merilno mesto	Koncentracije ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tip merilnega mesta
Slovenska cesta (glavna pošta)	7,2	cestni koridor
Filozofska fakulteta	6,8	cestni koridor
Slovenska cesta (A-Banka)	6,4	cestni koridor
Aškerčeva cesta (1)	6,0	cestni koridor
Slovenska cesta (Kongresni trg)	5,8	cestni koridor
Aškerčeva cesta (2)	5,4	cestni koridor
Dunajska cesta (podvoz)	5,8	navadno
Šmartinska cesta (Kajuhova ulica)	5,6	navadno
Zaloška cesta (bolnišnica)	4,7	navadno
Figovec	4,7	navadno
Celovška cesta (kino Šiška)	3,9	navadno
južna obvoznica (bencinska črpalka Barje)	3,1	navadno
Vič (Rutarjeva ulica)	3,9	urbano ozadje
Bežigrad (ARSO)	3,7	urbano ozadje

*V cestnem koridorju so vrednosti dobljene iz parov merilnih mest, to pomeni iz povprečja dveh vzorčevalnikov na vsaki strani ceste, sicer pa so meritve potekale le z enim vzorčevalnikom na merilnem mestu.

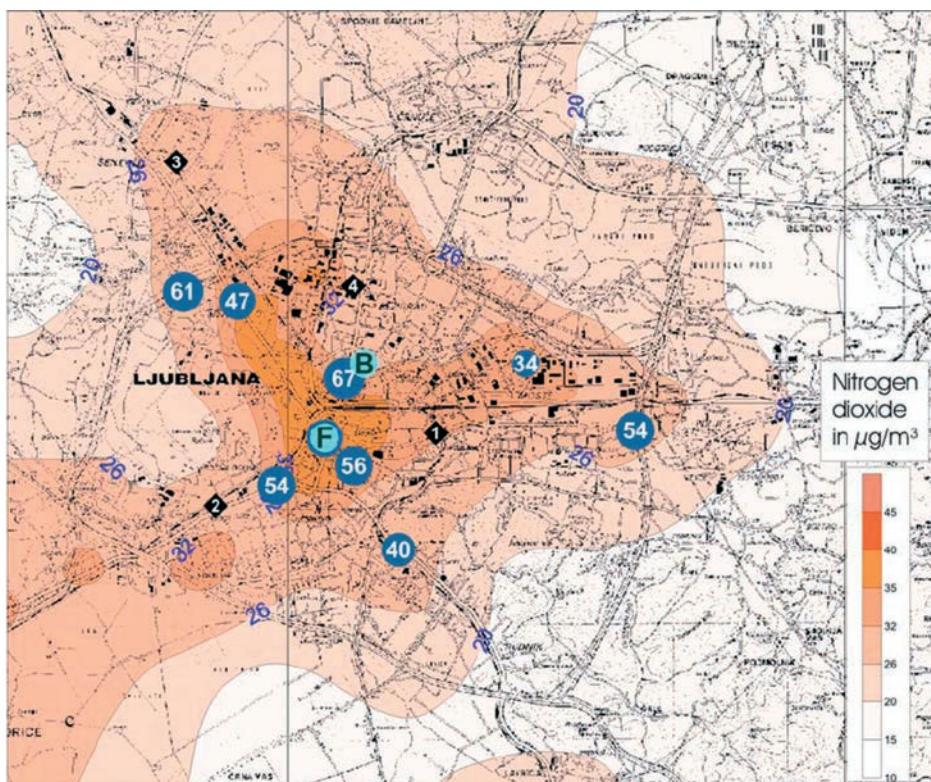
Na osmih merilnih mestih so koncentracije benzena ob meritvah pozimi 2006 presegle $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Meritve so trajale le dva tedna in bi jih za letne vrednosti morali nujno nadaljevati tudi poleti. Vseeno pa lahko sklepamo, da je prisotnost benzena ob Slovenski cesti v Ljubljani zaradi velike prometne obremenjenosti problematična in zdravju škodljiva.

3.5 DUŠIKOVI OKSIDI (NO_x)

K dušikovim oksidom spadata dušikov monoksid (NO) in dušikov dioksid (NO_2). Večina izpustov dušikovih oksidov iz prometa je v obliki neobstojnega dušikovega monoksida, ki v ozračju zelo hitro reagira s kisikom in preide v dušikov dioksid, ki je obstojnejši. Nad mesti, kjer so koncentracije dušikovih oksidov visoke, se oblikuje značilen rdečkast odtенок ozračja, viden na primer pozimi, ko je Sonce nizko nad obzorjem. Koncentracija dušikovih oksidov je močno odvisna od lokacije meritev, oziroma od oddaljenosti od virov. Enako velja tudi za razmerje med dušikovim oksidom in dioksidom. Pri dušikovitih oksidih velja, da je razmerje med NO in NO_2 z oddaljevanjem od vira vse bolj v korist slednjega. Povprečne koncentracije dušikovih oksidov v Ljubljani od leta 1990 kažejo manjši upad oziroma stabilizacijo v drugi polovici devetdesetih let, nato pa spet porast po letu 2000 (Plut, 2007). Meritve dušikovega dioksida OMS MOL pri Figovcu so

leta 2001 pokazale $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$, leta 2002 $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, leta 2003 pa so prvič izmerili višje koncentracije dušikovega dioksida ($59 \mu\text{g}/\text{m}^3$) od takrat dovoljenih $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$. V letih 2004 in 2005 je ta vrednost ostala nespremenjena (Loose in drugi, 2006). Odmik od dovoljenih vrednosti pa je vse večji, saj se normativ počasi bliža ciljni vrednosti $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ki jo bo dosegel leta 2010. Tudi pri obravnavanju onesnaženosti z dušikovim dioksidom v mestih naletimo na problem raznolikosti prostora in množice virov, ki povzročijo, da se koncentracije na kratke razdalje lahko hitro spreminjajo. Zato je treba mrežo meritev dopolniti z občasnimi meritvami v gosti mreži. Prve take meritve so bile izvedene v projektu AIRPECO, ki jih je v sodelovanju s Centrom JRC iz Ispre opravila ARSO. Rezultati merilnih kampanj maja 2003 in februarja 2004 so pokazali, da je v Ljubljani onesnaženost z dušikovim dioksidom lahko problematična, saj so povprečne koncentracije, preračunane na letno raven, previsoke.

Slika 5: Koncentracije dušikovega dioksida v Ljubljani; preračun na letno raven s pomočjo samodejnih meritev.



Vir: Černas, 2004, str. 4.

4 MERITVE KONCENTRACIJ DUŠIKOVEGA DIOKSIDA Z METODO DIFUZIVNIH VZORČEVALNIKOV

K raznolikosti mestnega prostora in različni onesnaženosti zraka pomembno pripomore tudi zapletena mestna topografija, ki omejuje širjenje onesnaženja na vse smeri enako, hkrati pa vpliva na prevetrenost mestnih predelov in s tem na samočistilne sposobnosti. Zato je zelo primerna uporaba difuzivnih vzorčevalnikov, saj kljub nekaterim slabostim metode njihove prednosti prevladajo.

4.1 METODOLOGIJA PROUČEVANJA PROMETNEGA ONESNAŽEVANJA OZRAČJA Z DIFUZIVNIH VZORČEVALNIKI

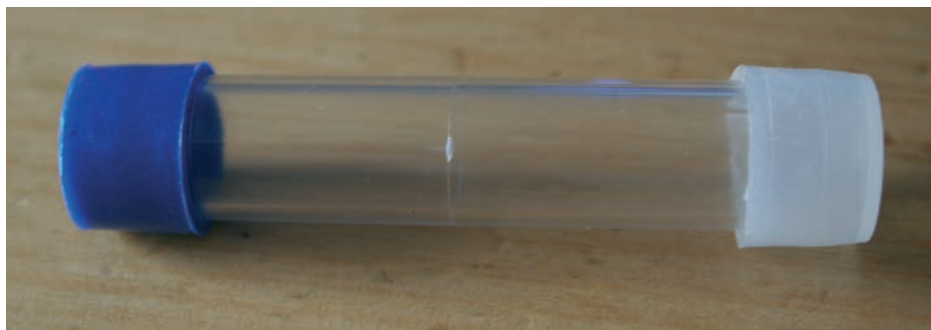
Difuzivni vzorčevalniki merijo prisotnost določenih snovi v zraku z metodo pasivnega vzorčenja, zato jim rečemo tudi pasivni vzorčevalniki. To pomeni, da vanje zraka ne dovajamo aktivno (ne potrebujemo črpalke), pač pa so izpostavljeni zunanjim razmeram. Stopnja vzorčenja je nadzorovana s stopnjo difuzije onesnažila v vzorčevalniku, določa pa jo Fickov zakon difuzije, kar pojasni ime difuzivni vzorčevalniki (Cox, 2003). Poznamo več vrst difuzivnih vzorčevalnikov, mi smo uporabili Palmesove, ki se uporabljajo pogosto in so bili prvič uporabljeni in opisani leta 1976 (Palmes in drugi, 1976). Gre za 7,1 cm dolgo cevko z notranjim presekom $0,71 \text{ cm}^2$, ki ima na zaprtem koncu kovinsko mrežico (membrano), premazano z reagentom. Za merjenje koncentracij dušikovega dioksida se uporablja tri-etanol amin (TEA). Na enem koncu je cevka zaprta, na drugem pa odprta. Med vzorčenjem služi ta odprtina neprestanemu stiku z zunanjim zrakom. Onesnažilo v cevki z molekularno difuzijo počasi prehaja proti membrani. Ko molekula dušikovega dioksida pride v stik s TEA, se pretvori v nitrit, ki ostane na membrani. Tako je teoretično koncentracija dušikovega dioksida v neposredni bližini membrane vedno enaka nič. Torej se v cevki vzorčevalnika vedno, ko je koncentracija dušikovega dioksida v zunanjem zraku različna od nič, vzpostavi gradient koncentracije, ki povzroči tok molekul dušikovega dioksida proti membrani z reagentom. Po koncu vzorčenja gredo membrane v kemijsko analizo, pri kateri se s primerno kemijsko analitsko metodo določi masa in posledično tudi povprečna koncentracija onesnažila (na primer dušikovega dioksida). Za lažjo predstavo bi lahko dejali, da deluje membrana kot limanice z vabo. Molekule počasi prehajajo k membrani, ko pa se je dotaknejo, se nanjo ujamejo.

Metoda merjenja z difuzivnimi vzorčevalniki ima kar nekaj izrazitih prednosti, pa tudi nekaj slabosti. Dobre lastnosti so prilagodljivost, cena in praktičnost. Merilne kampanje lahko pogosto ponavljamo, merilna mesta pa sproti izbiramo. Vzorčevalniki so lahki, majhni in ob ustrezni negi vzdržljivi. V enem dnevu jih lahko izpostavimo tudi več 100, kar močno poveča kakovost prostorske informacije o onesnaženosti zraka, ki jo dobimo. Cena nakupa in analize je razmeroma nizka, v primerjavi s samodejnimi

merilniki pa zelo nizka, kar omogoča lažjo ponovljivost in večjo uporabnost. Lahko jo uporabljamo tako v kombinaciji s samodejnimi merilniki kot samostojno.

Pomembna slabost te metode je manjša zanesljivost, saj je ocena napake točnosti do 30 odstotkov (na primer Cox, 2003; Bush in drugi, 2001), vendar obstajajo metode, s katerimi se lahko ta nezanesljivost precej zmanjša. Mi smo uporabili metodo korekcije z meritvami na referenčni samodejni merilni postaji. Druga slabost te metode je, da nam daje samo informacijo o povprečni onesnaženosti, ne pa tudi informacije o posameznih največjih urnih oziroma dnevnih vrednostih (na primer Ayers in drugi, 1998; Bush in drugi, 1999). Z urnimi in dnevnimi vrednostmi je povezana zakonodaja, ki določa mejne vrednosti. Metoda tudi ni primerna za spremljanje kakovosti zraka v realnem času, saj so rezultati dobljeni z zamikom, šele po končani kemijski analizi vzorčevalnikov. Zato s to metodo ne moremo spremljati trenutnega stanja ozračja. Merjenje z difuzivnimi vzorčevalniki je tudi manj primerno za krajše obdobje, sploh tam, kjer so koncentracije merjenih onesnažil nizke, saj se na membranah vzorčevalnika nabere premajhna količina produkta reagenta in onesnažila. Za kakovostne rezultate mora biti količina mase na membrani večja, kot je stopnja zaznavanja v analitski metodi. Prav tako ni dobro vzorčiti daljša obdobja, pri čemer je dolžina tega obdobja odvisna od koncentracije onesnažila v zraku in hitrosti nasičenja reagenta na membrani vzorčevalnika. Ta lahko nemoteno sprejema le določeno količino onesnažila, dokler ves reagent ne reagira. Vzorčenje, oziroma opravljanje meritev je tehnično preprosto opravilo. Ob začetku postopka, ko vzorčevalnike izpostavimo zunanjemu zraku, snamemo pokrovček s tistega konca cevke, ki je namenjen vходу zraka. Ko vzorčenje prenehamo, to odprtino spet hermetično zapremo ter vzorčevalnike oddamo v kemijsko analizo, pri kateri analizirajo maso produkta med reagentom in onesnažilom na membrani. Pri meritvah dušikovega dioksida je to nitrit. Primeren postopek analize je lahko ionska kromatografija (Vinjarnoorl in drugi, 1981). Vrednosti analize so podane v gostotah, danes pa je namesto gostote že uveljavljen izraz koncentracija. Enote so $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oziroma mikrogrami na kubični meter zraka.

Slika 6: *Palmesov difuzivni vzorčevalnik.*



Slika 7: Palmesovi difuzivni vzorčevalniki pripeti na ograji ob avtocesti.



4.2 IDENTIFIKACIJA IN DOLOČANJE NAPAK MERITEV

Meritve z difuzivnimi vzorčevalniki so lahko obremenjene z napakami, ki so lahko tudi nepojasnjene izvora. Vseeno je z izvedbo meritev mogoče vplivati tudi na napako. Zato smo meritve večinoma opravljali s tremi vzorčevalniki. Kot vrednost, ki smo jo pripisali posameznemu merilnemu mestu, smo od treh vrednosti vzeli povprečno vrednost dveh bližnjih, tretjo pa smo izločili.

Za meritve onesnaženosti zraka z difuzivnimi vzorčevalniki so potrebne tudi analize »slepih vrednosti« (na primer Bush, 2001; Gilbert in drugi, 2003; Cox, 2003). Dajo nam tako imenovano ničelno ali izhodiščno vrednost. To je tista vrednost, ki jo dobimo s kemijsko analizo vzorčevalnikov, čeprav jih ne izpostavimo. Poleg merilnih mest na prostem smo imeli nekaj vzorčevalnikov ob vsaki kampanji ves čas zaprtih. Z vrednostmi, ki so jih pokazali, smo ugotovili, koliko dušikovega dioksida je bilo na membrani, preden so vzorčevalniki začeli meriti. Če je dobljena vrednost različna od nič, jo odštejemo od končne koncentracije, saj se ta del onesnažila ni nabral med meritvami.

Kljub nekaterim raziskavam (na primer Bush, 2001), ki so vsaj deloma pokazale kakovostno ujemanje meritev vzorčevalnikov s samodejnimi merilniki koncentracije dušikovega dioksida, smo se odločili, da bomo rezultate popravili s faktorjem korekcije.

Ob vsaki merilni kampanji smo postavili merilne vzorčevalnike tudi na samodejno merilno postajo (SMP) ARSO, ki meri kakovost zraka in s tem tudi koncentracijo dušikovega dioksida. Vse SMP ARSO merijo po referenčni metodi in privzeli smo, da so vrednosti SMP točne. Tako smo dobili primerjavo zanesljivosti izmerjenih koncentracij s samodejnimi meritvami. Ker so te meritve v splošnem zanesljivejše, smo vrednosti, izmerjene z vzorčevalniki na mestu SMP ARSO, vedno popravili na vrednost SMP. Enak faktor korekcije smo potem vzeli tudi za vse druge izmerjene vrednosti. Predpostavljali smo, da so bile zunanje razmere, ki vplivajo na izmerjene vrednosti pri vzorčevalnikih (vetrovnost, temperatura, padavine), med merilno kampanjo na vseh merilnih mestih podobne.

Preglednica 15: Korekcijski faktorji pri merilnih kampanjah.

	Korekcijski faktor
Poletna kampanja v letu 2005	0,824
Zimska kampanja v letu 2006	1,126

Vzorčevalniki imajo omejen rok uporabe, ki je odvisen od mnogih dejavnikov. Bush s sodelavci (2001) navaja, da daljša obdobja izpostavitve lahko povzročijo nižje koncentracije. V primerjavi obdobj izpostavitve vzorčevalnikov na 14 mestih v vzhodnem Londonu je dobil zanimive rezultate. Štiritedenske koncentracije so bile opazno nižje od dvotedenskih, zlasti v poletnih mesecih. To naj bi bila posledica razpada TEA pod vplivom svetlobe, kar naj bi se bolj dogajalo v toplejših in sončnih poletnih mesecih. Za šestmesečno obdobje so štiritedenski vzorci dali 18 odstotkov nižje vrednosti kot dvotedenski (Bush in drugi, 2001). Naš preizkus nasičenosti je pokazal, da za obdobje treh tednov meritev z vzorčevalniki pri danih obremenitvah cest in danih vremenskih razmerah ni znakov, da bi se membrane že nasitile z dušikovim dioksidom oziroma nitritom, ki nastane kot produkt reakcije med dušikovim dioksidom in TEA.

K napakam pri uporabi vzorčevalnikov pomembno prispeva tudi turbulenca vetra, ki ob vdoru v cevko vzorčevalnika zmanjša njegovo efektivno dolžino oziroma zmanjša dolžino poti laminarnega toka k membrani. To povzroči precenitev koncentracij, ki jih izračunamo na podlagi mase absorbiranega nitrita in dolžine vzorčevalnika. To lahko preprečimo na več načinov:

- vzorčevalnike zaščitimo z zaklonom ali pa na odprto stran vzorčevalnika namestimo difuzivno membrano, ki prepušča zrak, hkrati pa preprečuje turbulenten tok v vzorčevalniku ter ga približa laminarnemu. Tako turbulenci vetra preprečimo vstop v vzorčevalnik. Lahko pa storimo kar oboje (Ayers, 1998);
- vzorčevalnike izpostavljamo tam, kjer ni močnega vetra: to so zaprti prostori ali zunaj, kjer ni močnih vetrov.

Med našimi meritvami so bili vzorčevalniki postavljeni v zaklonih. Vzorčevalnike moramo ščititi tudi pred dežjem, ker membrana, ki je premazana s tri-etanol aminom, ne sme biti omočena, saj je sicer neuporabna. Zaščito pred dežjem lahko dosežemo tudi

brez zaklonov, če vzorčevalnike obrnemo z odprtino navzdol, še najbolj pa je, da so postavljeni navpično z odprtino na spodnjem delu. Zakloni ščitijo vzorčevalnike tudi pred neposrednim soncem in tako zavirajo razpad TEA. Med merilnimi kampanjami smo vzorčevalnike vedno postavili v zaklone, uporabljali pa smo dve vrsti zaklonov. Sprva samo kvadraste, v katerih so bili vzorčevalniki približno v vodoravni legi, vendar smo pazili, da so bili z odprtim koncem obrnjeni rahlo navzdol, da jih deževnica ni zalila. V poznejših kampanjah smo uporabili tudi ovalne zaklone, kjer so bili vzorčevalniki postavljeni približno navpično. V obeh primerih so bili vzorčevalniki zaščiteni pred neposrednim Sončevim sevanjem in pred vdorom deževnice. Prav tako so zakloni vzorčevalnike nekoliko zaščitili pred vdorom turbulence.

Vreme pomembno vpliva na koncentracije onesnažil v zraku, saj jih z vetrom lahko učinkovito redči, s padavinami pa izpira. Nasprotno pa dolgotrajno suho, mirno in stabilno vreme, zlasti če je prisoten tudi toplotni obrat, prispeva k višjim koncentracijam onesnažil blizu virov. Zato je treba meritve izvajati v različnih letnih časih in ob različnih tipih vremena, ki so sicer značilni za neko območje.

Slika 8: *Kvadrasti zaklon pripet na stebru žičnate ograje ob avtocesti.*



Slika 9: Ovalni zaklon na semaforju Slovenske ceste.

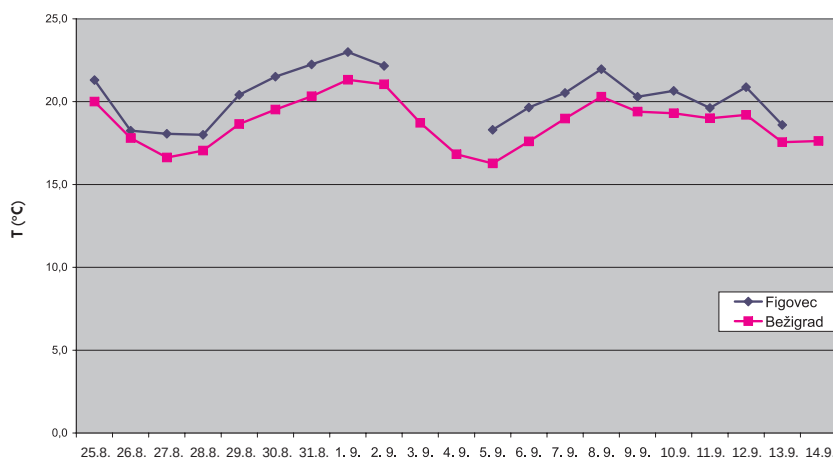


5 METEOROLOŠKE RAZMERE V LJUBLJANI V ČASU MERITEV

5.1 VREME MED POLETNO KAMPANJO (od 25. avgusta do 14. septembra 2005)

Poletna kampanja je trajala od 25. avgusta do 14. septembra 2005. V tem času so bile opravljene meritve dušikovega dioksida (NO_2) in ozona (O_3) na območju znotraj mestnega avtocestnega obroča. Meteorološke razmere so poleg velikosti emisij in topografije okolice ključen dejavnik, ki vpliva na razredčenje in širjenje onesnažil v zraku. Za opis vremena nam služijo podatki meteorološke postaje Ljubljana Bežigrad in deloma tudi Ljubljana Figovec. Vreme je bilo med poletno kampanjo precej podobno celotnemu poletju 2005, kar pomeni dokaj nestanovitno, z občasnimi padavinami in brez prave poletne vročine.

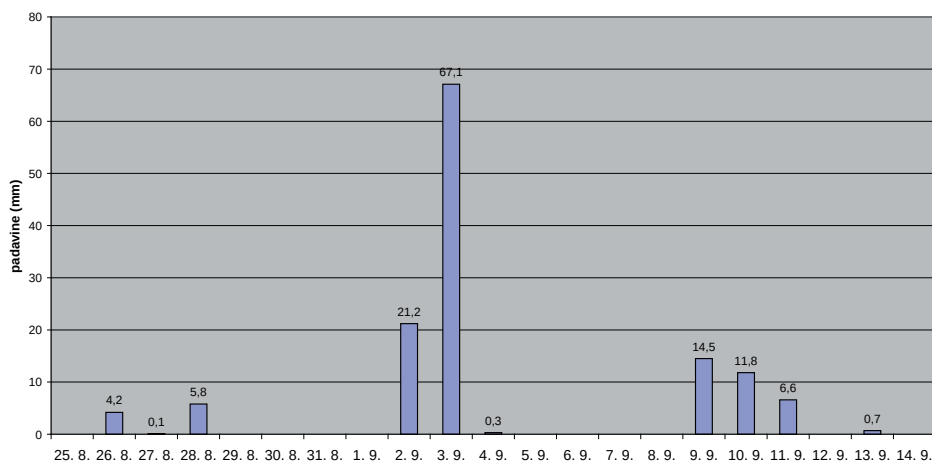
Slika 10: Temperaturne razmere v Ljubljani med poletno kampanjo od 25. avgusta do 14. septembra 2005.



Avtor: M. Ogrin.
Vir podatkov: MOL in ARSO.

Povprečna temperatura zraka v Ljubljani je bila v tem obdobju za Bežigradom 18,7 °C, najvišja 28,6 °C in najnižja 11,1 °C. Pri Figovcu je bila najvišja temperatura 32,2 °C, povprečna 20,3 °C, najnižja pa 12,1 °C. Primerjava temperatur zraka pokaže nekatere razlike. Lepo je vidna razlika med temperaturami v mestnem jedru (postaja Figovec) in na robu mestnega jedra (postaja Bežigrad). Vse vrednosti pri Figovcu so višje, povprečna dnevna temperatura v opazovanem obdobju (razen 3. in 4. septembra, ko ni podatkov) je pri Figovcu za 1,4 °C višja kot za Bežigradom. Razlike na sliki 10 so posledica mestnega toplotnega otoka, ki se oblikuje nad mestnim središčem (Jernej, 2000). To povzroča postopen padec temperatur od središča proti okolici, ta padec pa je prekinjen z manjšimi, gosteje pozidanimi jedri, kjer so temperature spet nekoliko višje. V Ljubljani je toplotni otok bolj podoben toplotnemu arhipelagu oziroma skupini manjših točk, ki se koncentrirajo okoli osrednjega jedra, ki se nahaja ravno v okolici Figovca in po Slovenski cesti proti jugu. Temperaturne razmere ne vplivajo neposredno na kakovost zraka, pač pa posredno, saj oblikujejo v mirnem, anticiklonskem vremenu posebno vetrovno cirkulacijo nad mestom, ko se zrak iz hladnejših delov premika proti toplejšim, tam pa se zaradi stekanja dviga. V splošnem v Ljubljani velja, da se v mirnem, anticiklonskem vremenu zrak pri tleh iz okolice premika proti mestnemu jedru. Nad mestnim središčem se zrak dviga in v višjih legah razteka v okolico. V Ljubljani se takšne razmere preko celega leta pojavljajo okoli tri četrtine časa. Poleti je tega manj, pozimi pa več.

Slika 11: Padavine v Ljubljani med poletno kampanjo od 25. avgusta do 14. septembra 2005.



Avtor: M. Ogrin.

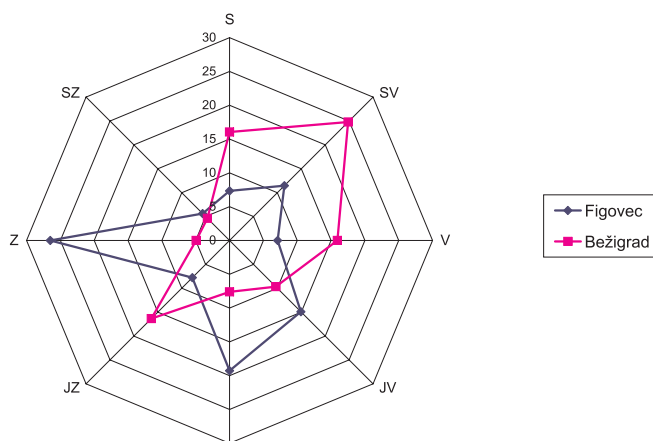
Vir podatkov: ARSO.

V celotnem obdobju je v Ljubljani padlo 132,3 mm padavin v sedmih padavinskih dneh (to so dnevi, ko je padlo več kot 1 mm padavin). V času meritev se daljše stabilno obdobje vremena ni oblikovalo. Najdaljše obdobje brez padavin v Ljubljani v je bilo tem času štiri dni, pojavilo pa se je dvakrat. Padavine so se pojavile v 10 dneh, od tega je v treh dneh padla le simbolična vrednost padavin oziroma manj kot 1 mm. Največ padavin je padlo 3. septembra, in sicer 67 mm. Večina padavin je bila v obliki ploh ali neviht, torej je šlo za krajše nalive. Celodnevne dežja ni bilo, v petih dneh se je pojavil le nekajurni dež. Padavinsko vreme, ki je posledica dinamičnega, nestabilnega vremena, vpliva na zmanjšanje koncentracij z izpiranjem onesnažil iz ozračja. Močnejše in dolgotrajnejše padavine izpirajo hitreje kot šibke, vendar pa neposrednega izpiranja nismo ugotavljali.

Vetrovne razmere so pomembne z vidika mešanja ozračja in s tem čiščenja zraka ob cestah. Veter prometne izpuste premeša z okoliškim zrakom in prenaša onesnažila stran od vira. Posledično torej zmanjša koncentracije v območju blizu prometnic in jih nekoliko poveča v območjih, ki so bolj oddaljena. Vremenske razmere se po različnih predelih Ljubljane nekoliko spreminjajo, delimo pa jih lahko na razmere v jasnem, mirnem vremenu in na razmere v oblačnem in vetrovnem (advektivnem) vremenu. Tok zraka, ki je posledica učinka delovanja mestnega toplotnega otoka, odvaja zrak iz parka Tivoli na vse strani, z Ljubljanskega barja na sever proti mestu in tudi s savskih teras na jug. Na nekaterih območjih so razlike onesnaženosti zraka na majhnih razdaljah lahko tudi posledica lokalnega kroženja, ki je posledica toplotnega otoka.

V našem primeru je predvsem pomembno spreminjanje vetrovnih razmer na različnih delih mesta. Spremembe smeri in hitrosti vetra pri tleh so tudi posledica heterogene mestne topografije, ki jo sestavljajo številne stavbe, ceste, ulice in drugi objekti, pa tudi vzpetine Rožnik, Grajski hrib in Golovec.

Slika 12: Relativna pogostnost vetra (v %) na postajah Bežigrad in Figovec v Ljubljani med poletno kampanjo od 25. avgusta do 14. septembra 2005.



Avtor: M. Ogrin.
Vir podatkov: MOL in ARSO.

Preglednica 16: Relativna pogostnost vetra (v %) na postajah Bežigrad in Figovec v Ljubljani med poletno kampanjo od 25. avgusta do 14. septembra 2005.

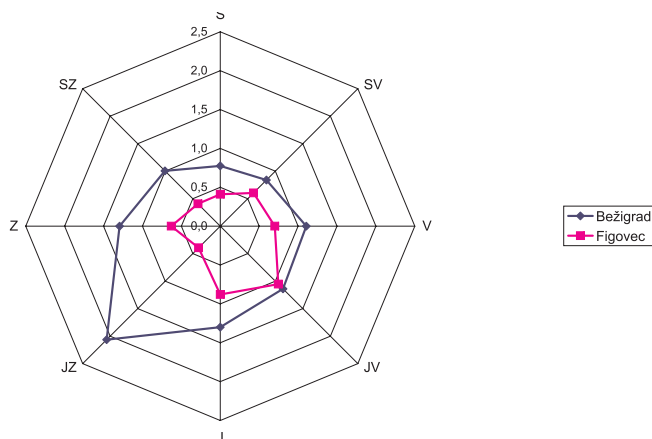
	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ
Bežigrad	16,0	24,8	15,9	9,7	7,6	16,4	4,9	4,6
Figovec	7,3	11,5	7,1	14,9	19,3	7,8	26,5	5,6

Vir: MOL in ARSO.

Podatki o vetru nam kažejo, da je bil med meritvami poletne kampanje za Bežigradom najpogostejše prisoten severovzhodni veter, ki je pihal skoraj četrtno časa, sledijo pa mu jugozahodni, severni in vzhodni veter, ki so bili prisotni okoli 16 odstotkov časa. Jugovzhodnik je pihal skoraj eno desetino časa, južni veter 7,6 odstotkov časa, najmanj pa sta bila prisotna zahodnik in severozahodnik, ki sta pihala skoraj 5 odstotkov časa. Pri Figovcu je najpogostejše pihal veter zahodne smeri, in sicer kar 26,5 odstotka časa meritev. Sledita mu južni in jugovzhodni veter z 19,3 oziroma 14,9 odstotka, najredkeje pa je pihal severozahodni veter, in sicer le 5,6 odstotka časa.

Zaradi heterogene topografije se vetru pri tleh na kratkih razdaljah hitro spreminjata smer in hitrost, kar je zlasti očitno v uličnih in cestnih koridorjih, ki dovoljujejo le pretok zraka v smeri njihove lege. To je očitno pri vetrovni roži Figovca, kjer sta najpogostejši smeri vetra zahod in jug. Z obeh smeri je merilno mesto odprto. Severovzhodna smer, ki je najpogostejše prisotna na merilnem mestu za Bežigradom, ki je le 1,4 km oddaljeno od Figovca, je z 11,5 odstotka pojavljanja pri Figovcu šele na četrtem mestu. Velika pogostnost zahodnega vetra pri Figovcu je gotovo posledica hladnejšega parka Tivoli, ki leži približno 300 metrov zahodneje. Zaradi že omenjenega učinka toplotnega otoka nad mestnim jedrom hladen zrak predvsem ponoči počasi polzi proti pregretemu mestnemu jedru, kjer je postaja Figovec.

Slika 13: Povprečna hitrost vetra (v m/s) na postajah Bežigrad in Figovec v Ljubljani med poletno kampanjo od 25. avgusta do 14. septembra 2005.



Avtor: M. Ogrin.

Vir podatkov: MOL in ARSO.

Preglednica 17: *Povprečna hitrost vetra (v m/s) na postajah Bežigrad in Figovec v Ljubljani med poletno kampanjo od 25. avgusta do 14. septembra 2005.*

	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ
Bežigrad	0,8	0,8	1,1	1,1	1,3	2,1	1,3	1,0
Figovec	0,4	0,6	0,7	1,0	0,9	0,4	0,6	0,4

Vir: MOL in ARSO.

V povprečju je bil najmočnejši veter za Bežigradom jugozahodnik z 2,1 m/s, najšibkejša pa sta bila severni in severovzhodni veter s povprečno hitrostjo 0,8 m/s. Razlike znašajo le 1,3 m/s. Pri Figovcu so bile povprečne hitrosti vetra še nižje, najmočnejši pa je bil jugovzhodni veter s hitrostjo 1,0 m/s. Kar tri smeri so imele najnižjo povprečno hitrost, ki je znašala 0,4 m/s. To so bili severni, severozahodni in jugozahodni veter.

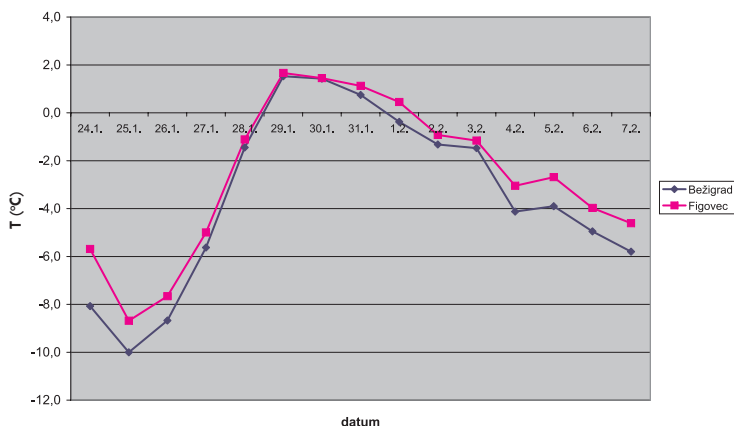
Mestna pozidava, ki je pri Figovcu gostejša in višja kot za Bežigradom, očitno vpliva na modifikacijo vetra pri tleh. Preglednica 17 kaže, da je pri sedmih od osmih smeri vetra povprečna hitrost višja na postaji za Bežigradom, le pri jugovzhodniku sta vrednosti skoraj izenačeni. Večja prevetrenost postaje Bežigrad je posledica večje odprtosti, pa tudi lege glede na toplotni otok. Veter je pri Figovcu šibkejši, drugačne pa so tudi smeri. Prevladujoči smeri sta južna in zahodna, medtem ko sta za Bežigradom severovzhodna in jugozahodna. Južna smer je pri Figovcu posledica usmeritve koridorja Slovenske ceste, zahodna pa vpliva toplotnega otoka mesta. Vetrovne razmere med poletno kampanjo nam potrjujejo dejstvo, da je Ljubljana neprevetreno mesto. Lahko rečemo, da je mestno jedro zaradi gostejše in višje pozidave precej manj prevetreno kot njegova okolica, kar se pozna tudi pri širjenju in redčenju onesnaženja s cest v okolico. Manjše redčenje povzroča višje koncentracije v zraku neposredno ob prometnicah, kar posledično pomeni slabšo kakovost zraka.

5.2 VREME MED ZIMSKO KAMPANJO (od 24. januarja do 7. februarja 2006)

Zimska kampanja merjenja dušikovega dioksida je trajala od 24. januarja do 7. februarja 2006. Vremenske razmere med zimsko kampanjo so bile tipično zimske. Stabilno in mrzlo zimsko vreme z neznatnimi padavinami je trajalo skozi vso kampanjo. 24. in 25. januarja je bilo vreme jasno in zelo mrzlo, severovzhodni veter je slabel. 25. januarja se je od severa postopno pooblačilo in začelo se je obdobje večinoma oblačnega vremena. Dotekal je toplejši zrak, občasno so se pojavljale rahle padavine, sprva kot rahel sneg, nato kot rosenje ali rahel dež. Padavin je bilo zelo malo. Od 30. januarja do 4. februarja je nad Ljubljano večino časa vztrajala megla ali nizka oblačnost, temperature so postopno padale. Le občasno je za nekaj ur posijalo tudi sonce. 5., 6., in sprva še 7. februarja je bilo pretežno jasno in mrzlo vreme, 5. februarja je pihal rahel do zmeren severovzhodni veter, ki je v naslednjih dneh slabel. 7. februarja dopoldne, ko se je merilna kampanja končala, se je od severa postopno pooblačilo.

Povprečna temperatura zraka v tem obdobju je bila za Bežigradom $-3,5^{\circ}\text{C}$, pri Figovcu pa $-2,7^{\circ}\text{C}$. Razlika je posledica lege v centru mesta, kjer je toplotni tok izrazitejši kot za Bežigradom. Za Bežigradom je bila najvišja dnevna temperatura $3,1^{\circ}\text{C}$ najnižja pa $-15,8^{\circ}\text{C}$. Pri Figovcu je bila najvišja temperatura $3,8^{\circ}\text{C}$, najnižja pa $-13,8^{\circ}\text{C}$. Tudi med zimsko kampanjo je očiten vpliv toplotnega otoka mesta z višjimi temperaturami v središču mesta. V celotnem obdobju je za Bežigradom padlo le $0,4\text{ mm}$ padavin, kar pomeni, da padavin praktično ni bilo.

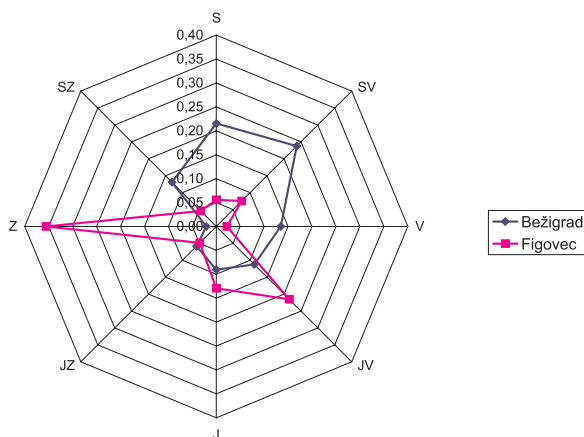
Slika 14: Povprečne dnevne temperature v Ljubljani med zimsko kampanjo od 24. januarja do 7. februarja 2006.



Avtor: M. Ogrin.

Vir podatkov: MOL in ARSO.

Slika 15: Relativna pogostnost vetra (v %) na postajah Bežigrad in Figovec v Ljubljani med zimsko kampanjo za dušikov dioksid od 24. januarja do 7. februarja 2006.



Avtor: M. Ogrin. Vir podatkov: MOL in ARSO.

Preglednica 18: *Relativna pogostnost vetra (v %) med zimsko kampanjo za dušikov dioksid na postajah Figovec in Bežigrad od 24. januarja do 7. februarja 2006.*

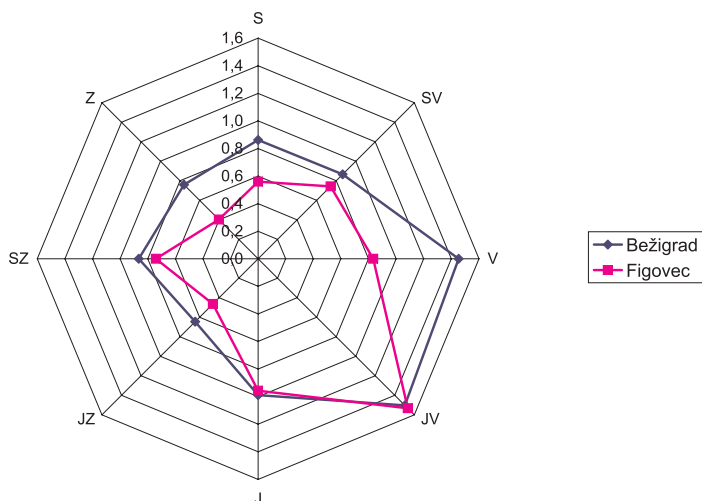
	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ
Bežigrad	21,5	23,8	13,5	11,3	9,0	5,8	2,1	13,1
Figovec	5,6	7,5	2,2	21,5	12,9	4,9	35,6	4,6

Vir: MOL in ARSO.

Vetrovna roža obeh postaj na sliki 15 nam kaže različno podobo. Merilna postaja Figovec nam da bolj uporabne vetrovne podatke za cestni koridor vzdolž Slovenske ceste. Zaradi goste in visoke pozidave v neposredni okolici so vetrovne razmere pri Figovcu specifične in jih do neke mere lahko prenesemo na druga merilna mesta vzdolž tega koridorja. Merilna postaja Bežigrad pa nam da boljšo splošno sliko kroženja zraka nad mestom, kadar učinka toplotnega otoka ni. Z njo tudi ne moremo pojasnjevati razmer na posameznih merilnih mestih.

Pri Figovcu je najpogostejše pihal zahodnik, ki se je pojavljal v 35,6 odstotkih celotnega obdobja. Glede na to, da v celotnem obdobju merilne kampanje nad Slovenijo zahodne cirkulacije ni bilo, lahko podobno kot v poletnem obdobju pogosto zahodno smer vetra pojasnimo z lokalno cirkulacijo dotekanja zraka iz hladnejšega mestnega parka Tivoli, ki leži približno 300 metrov zahodnje. Podobno lahko pričakujemo povsod vzdolž cestnega koridorja, kjer pravokotno na Slovensko cesto proti Tivoliju potekajo ulice (kot so npr. Beethovnova, Cankarjeva, Štefanova ...) Vidimo torej, da je zahodna smer posledica lokalnega kroženja zraka in ne splošnega toka zraka nad celotnim mestom. Drugi najpogostejši veter je bil pri Figovcu jugovzhodnik, ki je pihal 21,5 odstotkov časa. To ni glavna smer poteka koridorja, ki poteka v prevladujoči smeri sever-jug, pač pa je to smer, iz katere vodi k merilnemu mestu Figovec Dalmatinova ulica. Glede na dejstvo, da je med merilno kampanjo pogosto nad Ljubljano pihal veter vzhodnega kvadranta, je povsem mogoče, da velik delež jugovzhodne smeri predstavlja ta veter. To trditev nam poleg splošnega meteorološkega stanja potrjuje tudi vetrovna roža postaje Bežigrad, kjer so smeri vzhodnega kvadranta (SV, V, JV) prisotne 48,6 odstotkov časa. Več kot 10 odstotkov časa in sicer 12,9, je pihal samo še južni veter, kar je glavna smer mestnega koridorja. Za Bežigradom je bila južna smer prisotna v 9 odstotkih časa. Za Bežigradom je najpogostejše pihal severovzhodni veter (23,8 odstotkov), le malo manj pa severni (21,5 odstotkov), vzhodni in severozahodni veter sta bila prisotna približno 13 odstotkov časa. Vidimo, da je veter vzhodnega kvadranta pihal 48,6 odstotka časa, veter severnega kvadranta pa kar 58,9 odstotka, kar je v skladu s splošnim meteorološkim stanjem.

Slika 16: Povprečna hitrost vetra (v m/s) med zimsko kampanjo za dušikov dioksid na postajah Figovec in Bežigrad od 24. januarja do 7. februarja 2006.



Avtor: M. Ogrin.

Vir podatkov: MOL in ARSO.

Preglednica 19: Povprečna hitrost vetra med zimsko kampanjo za dušikov dioksid na postajah Figovec in Bežigrad od 24. januarja do 7. februarja 2006.

	S	SV	V	JV	J	JZ	SZ	Z
Bežigrad	0,9	0,9	1,5	1,5	1,0	0,6	0,9	0,8
Figovec	0,6	0,7	0,8	1,5	1,0	0,5	0,7	0,4

Vir: MOL in ARSO.

Vreme v zimski merilni kampanji za dušikov dioksid je bilo torej stabilno, suho in mrzlo. Prevladoval je občasen in rahel veter severnih in vzhodnih smeri, tako da so bile hitrosti majhne, v povprečju okoli 1 m/s. Dokaj pogosto se je pojavljal tudi toplotni obrat. Ti pogoji so ustvarili tipično zimsko meteorološko stanje, ko je mešanje prizemne plasti zraka slabo, kar pomembno vpliva na slabšo kakovost zraka v mestu. Tak tip vremena je v Ljubljanski kotlini pozimi pogost, kar poveča pomembnost rezultatov zimske merilne kampanje.

6 ONESNAŽENOST ZRAKA Z DUŠIKOVIM DIOKSIDOM V LJUBLJANI V OBDOBJU AVGUST 2005 – FEBRUAR 2006

Pri ugotavljanju vpliva prometnega onesnaževanja ozračja v Ljubljani nas je zelo zanimal prostorski vidik. Raznolikost prostora je praktično nemogoče povsem zaobjeti v tipih prostora, vseeno pa smo za mestni prostor glede na bližino ceste in oblikovanost tal določili tri tipe. Po teh tipih smo imenovali tudi merilna mesta in jih navajamo za zimsko in poletno kampanjo skupaj. Kot sintezo meritev poletne in zimske kampanje smo ocenili letne onesnaženosti zraka z dušikovim dioksidom na merilnih mestih, kjer sta potekali zimska in poletna kampanja. Ocena temelji na izračunu letnih koncentracij, izmerjenih s samodejno merilno napravo ARSO za Bežigradom. Za to lokacijo, kjer je bilo tudi merilno mesto z difuzivnimi vzorčevalniki, imamo na voljo povprečno letno koncentracijo od 1. julija 2005 do 1. julija 2006. Ta termin smo vzeli zato, ker sta v njem vključeni obe merilni kampanji. Oceno smo izračunali po naslednji metodi: Za obe kampanji smo izračunali razmerje med samodejno merilno postajo ARSO in med vsemi preostalimi merilnimi mesti, kjer smo merili z vzorčevalniki. Vrednosti koncentracij iz vzorčevalnikov, ki smo jih primerjali, so bile že normirane. Tako smo ugotovili za vsako merilno mesto, v kolikšnem razmerju glede na merilno mesto ARSO so bile koncentracije dušikovega dioksida med poletno in zimsko merilno kampanjo. V nabor so torej prišla le tista merilna mesta, kjer se je meritev opravljala v obeh kampanjah, kar pomeni 44 merilnih mest. Uporabili smo poletno in zimsko razmerje. Pokazalo se je, da se razmerja med letom ne ohranjajo in da se lahko pomembno razlikujejo. To pomeni, da je bolje uporabiti oba faktorja, zimskega in poletnega.

Skupni faktor smo izračunali glede na čas trajanja kampanje, kjer smo ustrezno obtežili poletni in zimski faktor. Ker je poletna kampanja trajala tri tedne, zimska pa dva, smo skupni faktor izračunali po naslednji formuli:

$$F_{i_{sk}} = 0,6 * F_{i_{pol}} + 0,4 * F_{i_{zim}},$$

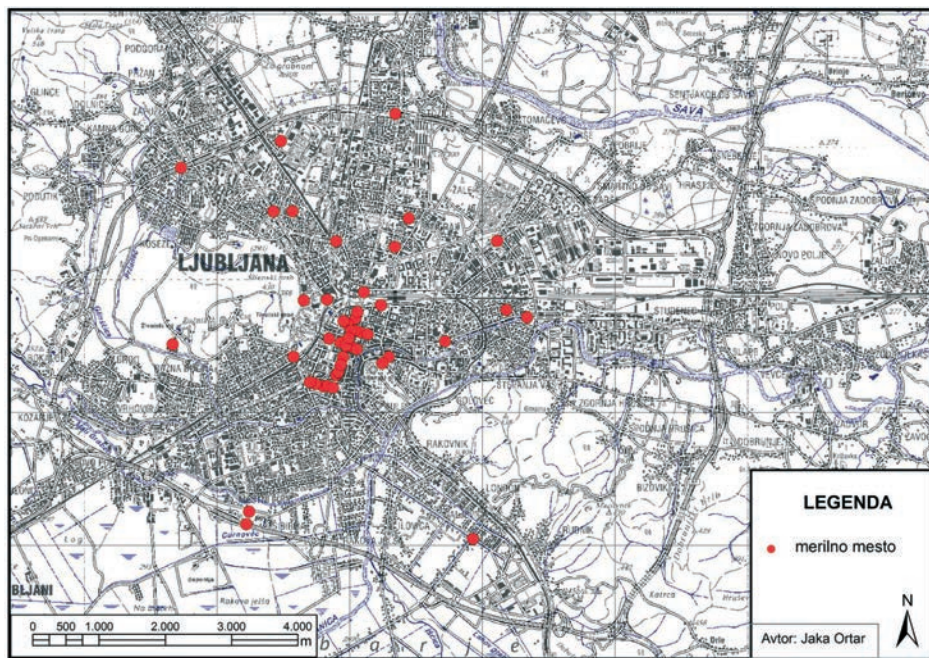
kjer je: $F_{i_{sk}}$ skupni faktor za i-to merilno mesto,
 $F_{i_{pol}}$ poletni faktor za i-to merilno mesto,
 $F_{i_{zim}}$ zimski faktor za i-to merilno mesto.

Oceno povprečne letne onesnaženosti za vsako merilno mesto smo izračunali:

$$K_{i_{letna}} = F_{i_{sk}} * K_{ARSO_{letna}},$$

kjer sta $K_{i_{letna}}$ letna koncentracija dušikovega dioksida za i-to merilno mesto in $K_{ARSO_{letna}}$ povprečna letna koncentracija dušikovega dioksida na merilnem mestu ARSO.

Slika 17: Merilna mesta, kjer so potekale meritve vsaj enega onesnažila.



6.1 DELITEV MERILNIH MEST GLEDE NA LASTNOSTI PROSTORA

Vsa merilna mesta poletne in zimske kampanje so bila znotraj obroča ljubljanske obvoznice, razdelili pa smo jih v naslednje skupine:

- navadna merilna mesta ob cestah (N),
- merilna mesta cestnega koridorja (CK),
- merilna mesta prečnega profila glede na glavno cesto (Pp),
- merilna mesta urbanega ozadja (UO).

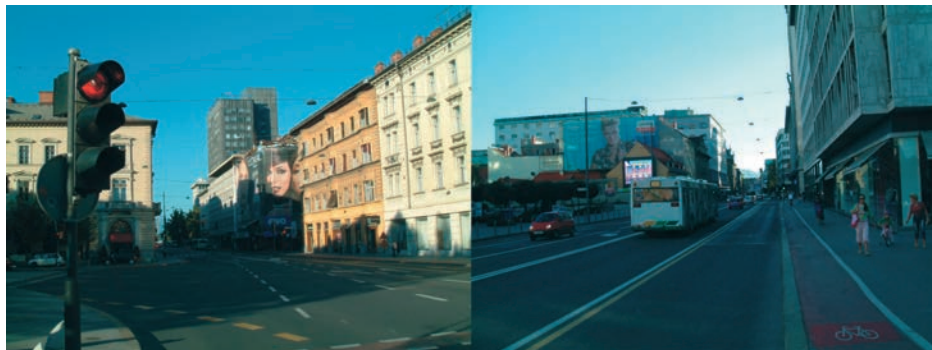
6.1.1 Cestni koridor

Merilna mesta cestnega koridorja so nameščena ob vozišču, kjer je okolica ceste gosto pozidana in tako cestna površina tvori koridor, v katerem so prezračevalne lastnosti bistveno omejene. To ustvarja večje koncentracije onesnažil, ki jih povzročajo promet. Tak koridor imamo v Ljubljani na primer vzdolž Slovenske ceste, na Aškerčevi cesti ali pa na Poljanski cesti od križišča s Kopitarjevo do križišča z Rozmanovo cesto. Za take koridorje je zaradi navedenih lastnosti značilno, da so koncentracije onesnažil bistveno višje kot bi sklepali na prometno obremenjenost, zaradi tega so to območja najbolj onesnaženega zraka.

Še bolj zaprti kot cestni koridorji so predori, galerije, daljši podvozi in podobni objekti. Vendar pa za nobenega od naštetih objektov ne velja, da ga množično uporabljajo ljudje, razen kadar se vozijo skozi. Cestni koridorji so pozidani s stavbami, v katerih so stanovanjski ali delovni prostori, sem spadajo tudi šole, fakultete, zdravstvene in druge ustanove. Okna teh prostorov so obrnjena tudi na cestišče in zrak prodira v te prostore bodisi z zračenjem bodisi z nenehnim prodiranjem zraka skozi majhne odprtine ob oknih, saj velika večina oken ni povsem neprodušnih. Cestni koridorji so pogosto edina pot tudi pešcem in kolesarjem, v mestih množice pešcev vsak dan hodijo ravno po takih koridorjih. Tu vozi tudi javni promet, na njih so postajališča, na katerih v vozila LPP vstopajo in izstopajo potniki, ob cestah pa je tudi veliko lokalov, trgovin in drugih točk, ki zagotavljajo mestno življenje. V Ljubljani poznamo kar nekaj takih cest, ki so prometno pomembne, so visoko obzidane, hkrati pa jih kot dnevne pešpoti uporablja množica ljudi. To so na primer Slovenska, Aškerčeva, Gosposvetska in Poljanska cesta, Wolfova in Stritarjeva ulica ter še nekatere druge.

Slovenska cesta je po številu pešcev gotovo najbolj obljuden del Ljubljane in tudi Slovenije, saj sta na njej dve glavni postajališči mestnega potniškega prometa, in sicer Bavarski dvor in Nama oziroma Pošta. Koncentracija trgovin (Nama, Maksimarket ...), izhodišče za obisk starega mesta in Prešernovega trga, bližina Univerze, parlamenta in Cankarjevega doma, vse to so dodatni razlogi, ki pripomorejo k množičnemu dnevnemu obisku Slovenske ceste. Razumljivo je, da so vsi ljudje, ki vsakodnevno hodijo po Slovenski cesti, izpostavljeni koncentracijam, ki jih vsebuje onesnažen zrak. Enako velja tudi za voznike in potnike v mestnem prometu, ki pogosto čakajo v zastoju ali počasnem prometu, ki poteka v delovnih urah dneva po tej cesti. Med poletno kampanjo je po tej cesti na odseku od Šubičeve ceste do Aškerčeve ceste vozilo okoli 354 000 vozil, kar je 743 vozil na uro. Na letni stopnji znaša povprečni letni dnevni promet (PLDP) 18 052 vozil, kar sicer te ceste ne uvršča med najbolj obremenjene odseke, kot so Celovška in Dunajska cesta ali obroč Ljubljanske obvoznice. Vendar pa ima promet na Slovenski cesti precej manjšo hitrost, zato se vozila na njej zadržujejo v povprečju precej dlje, saj ima na 1200 metrov dolgem odseku kar 11 semaforjev.

Slika 18: Cestni koridor na Slovenski cesti. Kjer se odpre na eno stran, je zaznaven padec koncentracij onesnažil. Če je odprti prostor posledica stika s cesto, kot so Gosposvetska, Dalmatinova, Aškerčeva in Zoisova, je padec koncentracij manjši.



6.1.2 Obcestni prostor zunaj cestnih koridorjev

Merilna mesta ob cestah, ki niso izpostavljena posebnemu zgoščanju koncentracij zaradi specifične topografije neposredne okolice, smo poimenovali navadna merilna mesta ali merilna mesta zunaj cestnega koridorja. Izpušni plini imajo praviloma dovolj prostora za redčenje, padec koncentracij z oddaljenostjo od ceste je znaten. Vrednosti kažejo prometno onesnaženost, ki je pretežno posledica prometnih obremenitev in manj posebnosti merilnega mesta. Idealen predstavnik takega merilnega mesta je merilno mesto ob edini cesti na prostrani ravnini. Merilnih mest, ki bi ustrezala taki definiciji, v mestih praktično ni. Zato smo to ime uporabili za vsa merilna mesta ob cestah, ki niso v cestnem koridorju ali ne pripadajo urbanemu ozadju.

Slika 19: Ob Tržaški cesti pri Dolgem Mostu je pozidava dovolj razredčena in oddaljena od ceste, da ne prihaja do posebnega učinka cestnega koridorja. Merilno mesto uvrščamo v obcestni prostor zunaj koridorjev ali med navadna merilna mesta.



6.1.3 Urbano ozadje

Beseda ozadje nam, kot že ime pove, predstavlja manj onesnažen prostor oziroma prostor, ki je oddaljen od večjih virov onesnaževanja. V mestih mu pravimo urbano ozadje, saj je še vedno del mestnega prostora in pod vplivom mestnega ozračja. Nad mestom se pogosto pojavi mrčast pokrov, ki mu lahko rečemo tudi mestni smog. Povsod pod tem pokrovom je zrak nekoliko bolj onesnažen kot zunaj njega. Nekateri avtorji delijo ozadje na več vrst, mi pa se bomo omejili le na urbano ozadje, ki je sestavni del mestnega prostora, in ozadje, ki je že del podeželja.

Merilna mesta urbanega ozadja nam kažejo stopnjo onesnaženosti na lokacijah, ki so od glavnih prometnic dovolj oddaljene, da jih neposreden vpliv prometnega onesnaževanja ne doseže. Predstavljajo stalno stopnjo onesnaženosti z onesnažili, ki jih povzročajo glavni viri, kot so promet, energetika, industrija itn. Pri dušikovem dioksidu so te koncentracije zaradi disperzije onesnažila manjše od tistih blizu prometnic. Za koncentracijo v urbanem ozadju velja, da se med dnevom malo spreminja. Z njo

lahko ugotovimo tudi neposreden vpliv cest na kakovost zraka v neposredni okolici. Če od izmerjenih koncentracij ob cestah (pod pogojem, da v bližini ni drugih večjih virov) odštejemo koncentracijo ozadja, dobimo koncentracijo, h kateri prispeva samo onesnaženje najbližjega vira. Vsaka izmerjena koncentracija na območju mesta torej vsebuje prispevek urbanega ozadja in prispevek najbližjega vira. Teh je lahko tudi več. Večja kot je razlika med koncentracijo urbanega ozadja in izmerjeno koncentracijo, večji je prispevek bližnjih virov. Pri ozonu je slika obrnjena, saj koncentracije ozadja pogosto presegajo tiste ob cestah. Merilna mesta urbanega ozadja so navadno v stanovanjskih soseskah, parkih, stranskih ulicah ali drugih lokacijah, ki so dovolj oddaljene od večjih cest. Zadovoljiva je že razdalja nad 100 metrov, odvisno tudi od topografije in velikosti vira. Prav lastnost urbanega ozadja, da ga poseljuje večina mestnega prebivalstva, močno poveča pomembnost tega območja.

Slika 20: Merilno mesto urbanega ozadja na Rutarjevi ulici na Viču. Na onesnaževanje z dušikovim dioksidom ima promet po mestnih ulicah majhen vpliv. Upoštevati pa je treba tudi individualna kurišča (zlasti na plin) in pa seveda širše onesnaženje zraka nad mestom.



6.2 MEJNE VREDNOSTI ZA DUŠIKOV DIOKSID

Meritve kampanj, ki smo jih opravili za ugotavljanje onesnaženosti z dušikovim dioksidom, nam dajejo le informacijo o povprečni onesnaženosti, ki pa jo je treba primerjati tudi z uzakonjenimi mejnimi vrednostmi za vrednotenje izmerjenih koncentracij.

Na podlagi prvega in drugega odstavka 27. člena in tretjega odstavka 69. člena Zakona o varstvu okolja (Uradni list RS, št. 32/93, 44/95 – odl. US, 1/96, 9/99 – odl. US, Zakon o ohranjanju narave, št. 56/99, Zakon o javnih skladih, št. 22/00) velja v Sloveniji Uredba o žveplovem dioksidu, dušikovih oksidih in delcih v zunanjem zraku, ki določa mejne vrednosti za dušikov dioksid (preglednica 20).

Preglednica 20: Zakonodaja v RS določa naslednje mejne vrednosti in sprejemljivo preseganje za dušikove okside:

	Časovni interval merjenja	Mejna vrednost	Sprejemljivo preseganje	Rok za doseganje mejne vrednosti
Urna mejna koncentracija za varovanje zdravja ljudi	1 ura	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 je lahko presežena največ 18-krat v koledarskem letu	40 %; vsakega 1. januarja, začeni s 1. 1. 2002, se zmanjša za 10 %, tako da je sprejemljivo preseganje 1. januarja 2005 enako 0 %	1. januar 2005
Letna mejna koncentracija za varovanje ljudi	koledarsko leto	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2	45 %; vsakega 1. januarja, začeni s 1. 1. 2002, se zmanjša za 5 %, tako da je sprejemljivo preseganje 1. januarja 2010 enako 0 %	1. januar 2010
Mejna koncentracija za varstvo rastlin v naravnem okolju	koledarsko leto in zimski čas od 1. oktobra do 31. marca	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2	ni sprejemljivega preseganja	dan uveljavitve te uredbe

Vir: Uredba o žveplovem UL RS 52/2002.

Sprejemljivo preseganje mejne vrednosti (v nadaljevanju sprejemljivo preseganje) je v odstotkih izražena vrednost, za katero lahko raven onesnaženosti v časovno omejenem obdobju presega mejno vrednost. Za leto 2005, ko je potekala poletna kampanja, je sprejemljivo preseganje letne koncentracije dušikovega dioksida za zdravje ljudi znašalo 25 odstotkov, to pomeni letno mejno koncentracijo $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, leta 2006 pa je letna mejna koncentracija padla na $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Preglednica 21: Ocenjevalni prag za koncentracijo dušikovega dioksida.

	Urna mejna koncentracija za varovanje zdravja ljudi (NO_2)	Letna mejna koncentracija za varovanje zdravja ljudi (NO_2)	Letna mejna koncentracija za varstvo rastlin v naravnem okolju (NO_2)
Zgornji ocenjevalni prag	70 % mejne vrednosti, tako da $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ni bilo preseženih več kot 18-krat v katerem koli koledarskem letu preteklega petletnega obdobja	80 % mejne vrednosti ($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	80 % mejne vrednosti ($24 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
Spodnji ocenjevalni prag	50 % mejne vrednosti, tako da $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ni bilo preseženih več kot 18-krat v katerem koli koledarskem letu preteklega petletnega obdobja	65 % mejne vrednosti ($26 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	65 % mejne vrednosti ($19,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Vir: Uredba o žveplovem UL RS 52/2002.

Zgornji ocenjevalni prag je za žveplov dioksid, dušikove okside, delce in svinec predpisana raven onesnaženosti, pod katero se za ocenjevanje onesnaženosti lahko uporabljajo kombinacije meritve ter modelnih izračunov in drugih metod ocenjevanja (Uradni list RS, št. 52/2002).

Spodnji ocenjevalni prag je za žveplov dioksid, dušikove okside, delce in svinec predpisana raven onesnaženosti, pod katero se za ocenjevanje onesnaženosti lahko uporabljajo zgolj modelni izračuni in druge metode ocenjevanja (Uradni list RS, št. 52/2002).

6.3 KONCENTRACIJE DUŠIKOVEGA DIOKSIDA V ČASU MERILNIH KAMPANJ

Meritve dušikovega dioksida so potekale v poletni kampanji na 44 merilnih mestih, v zimski pa smo jo razširili na 80 merilnih mest. Poletna kampanja je trajala od 25. avgusta do 14. septembra 2005, zimska pa od 24. januarja do 7. februarja 2006.

6.3.1 Koncentracije dušikovega dioksida v cestnem koridorju

V cestnem koridorju smo v poletni kampanji opravili meritve na 20 merilnih mestih. Po dve merilni mesti, vsako na eni strani ceste, sta sestavljali merilni par. Koncentracije obeh merilnih mest smo sešteli in delili z dve, tako da smo dobili povprečno onesnaženost zraka z dušikovim dioksidom na tem delu ceste. S povprečno vrednostjo smo se izognili vplivom vetra in neenakomernemu širjenju onesnaženja na eno od strani.

Preglednica 22: Vrednosti merilnih parov v cestnem koridorju poleti (od 25. avgusta do 14. septembra 2005) in pozimi (od 24. januarja do 7. februarja 2006) ter njihove razlike.

Merilni par	Koncentracija poleti ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Koncentracija pozimi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Porast pozimi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Slovenska cesta (glavna pošta)	83	83	0
Poljanska cesta	80	103	23
Slovenska cesta (A-Banka)	79	85	6
Slovenska cesta (Bavarski dvor)	70	87	17
Slovenska cesta (Drama)	68	66	-2
Slovenska cesta (Kazina)	65	61	-4
Slovenska cesta (Šestica)	64	70	6
Aškerčeva cesta (Filozofska fakulteta)	62	61	-1
Slovenska cesta (Metalka)	54	58	4
Slovenska cesta (Uršulinski samostan)	52	59	7
Zahodna obvoznica	/	54	/
Gospodsvetska cesta (II)	/	60	/
Gospodsvetska (III)	/	62	/
Aškerčeva cesta (I)	/	53	/
Aškerčeva cesta (II)	/	52	/
Aškerčeva cesta (III)	/	53	/

Najbolj onesnažen zrak v cestnem koridorju je bil med poletno kampanjo pri glavni pošti na Slovenski cesti ($83 \mu\text{g}/\text{m}^3$), najmanj pa pri Uršulinskem samostanu ($52 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Zanimivo je, da je kljub precej manjšemu prometu, ki se odvija po Poljanski cesti, merilno mesto na najbolj zaprtem delu obremenjeno z $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar ga uvršča na drugo mesto med vsemi merilnimi mesti. Povprečna onesnaženost merilnega mesta cestnega koridorja znaša $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar presega letno mejno dovoljeno koncentracijo s sprejemljivim tveganjem za leto 2006, ki znaša $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$. V zimskih meritvah je največjo onesnaženost izkazalo merilno mesto na Poljanski cesti, ki je celo preseglo mejo $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na drugem mestu je bil Bavarski dvor, na tretjem A-Banka in šele na četrtem glavna pošta (vsi na Slovenski cesti), kjer je bila koncentracija dušikovega dioksida enaka kot poleti. V povprečju so zimske koncentracije $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ali 7 odstotkov višje.

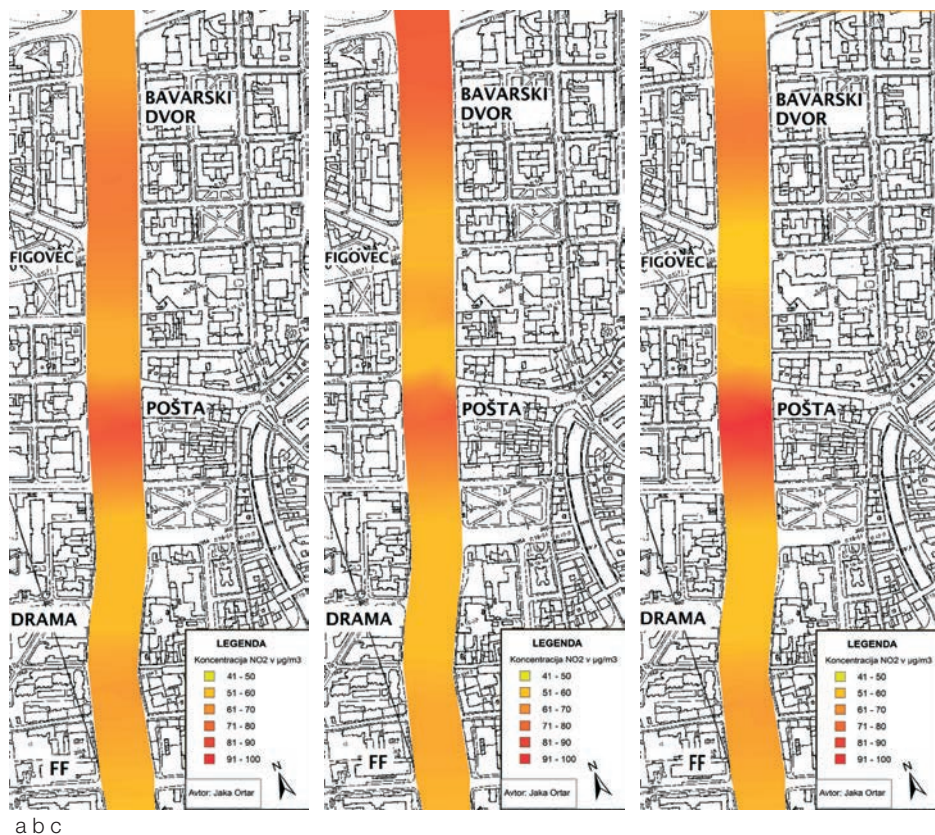
Merilna mesta cestnega koridorja so tista, ki v povprečju izkazujejo največje koncentracije dušikovega dioksida, saj majhna prostornina, ki je na voljo emisijam, omogoča porast koncentracij, kakovost zraka pa poslabšuje še slaba prevetrenost. Na vseh merilnih mestih so bile izmerjene koncentracije previsoke glede na mejno letno koncentracijo, ki je za leto 2006 znašala $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je jasen pokazatelj kakovosti zraka na teh območjih.

Ne glede na pričakovane višje koncentracije pozimi in nekoliko nižje poleti, je pomemben tudi podatek o letni koncentraciji, saj predstavlja tisto povprečno vrednost onesnaženosti, ki je lahko prisotna tudi v vmesnem času, ko je povprečna onesnaženost nekje med zimsko in poletno. Poleti je veliko ljudi na počitnicah, zato je prometa manj, tudi ozračje je zaradi močnega Sončevega sevanja bolj labilno, pozimi pa so prometni izpusti nekoliko večji zaradi večje porabe goriva, saj se motorji počasneje ogrejejo in tudi ozračje je stabilnejše.

Preglednica 23: Ocena letne onesnaženosti v cestnem koridorju v obdobju poletje 2005 – poletje 2006.

Merilno mesto	Letna koncentracija ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Poljanska cesta	83
Slovenska cesta (glavna pošta)	80
Slovenska cesta (A-Banka)	78
Slovenska cesta (Bavarski dvor)	72
Slovenska cesta (Drama)	65
Slovenska cesta (Kazina)	62
Slovenska cesta (Šestica)	63
Slovenska cesta (Filozofska fakulteta)	60
Slovenska cesta (Metalka)	53
Slovenska cesta (Uršulinski samostan)	51

Slika 21: Povprečne koncentracije dušikovega dioksida v cestnem koridorju Slovenske ceste: a) poleti - od 25. avgusta do 14. septembra 2005, b) pozimi – od 24. januarja do 7. februarja 2006 in c) na letni ravni – poletje 2005 – poletje 2006 (širina Slovenske ceste ni v merilu).



Slika 21 nam pokaže spreminjanje povprečne koncentracije dušikovega dioksida vzdolž cestnega koridorja na Slovenski cesti poleti, pozimi in na letni ravni. Razlike so majhne, vrednosti pa zelo visoke. Poleti so bile nekoliko večje koncentracije izmerjene pri glavni pošti, pozimi pa v okolici Bavarskega dvora. V obeh letnih časih in tudi na letni ravni pa so koncentracije močno povečane zlasti v okolici pošte in na Bavarskem dvoru, kjer znašajo od 70 do 100 µg/m³. Drugje so koncentracije nad 40 µg/m³, kar je ciljna vrednost za leto 2010.

Slika 22: Meritve so pokazale, da je cestni koridor na začetku Poljanske ceste kljub delni omejitvi prometa močno onesnažen z dušikovim dioksidom, saj je od vseh merilnih mest v raziskavi dosegel najvišje povprečne koncentracije. K temu močno pripomore zelo majhen in zaprt prostor ob cesti, ki omogoča učinkovito zadrževanje onesnažil.



6.3.2 Koncentracije dušikovega dioksida ob cestah brez strnjene pozidave v neposredni okolici (merilna mesta ob cestah zunaj cestnega koridorja)

Merilna mesta ob cestah zunaj cestnega koridorja niso izpostavljena posebnemu zgoščevanju koncentracij zaradi specifične topografije neposredne okolice, zato lahko tam pričakujemo nižje koncentracije kot v cestnih koridorjih. Vrednosti kažejo prometno onesnaženost, ki je pretežno posledica prometnih obremenitev in manj posebnosti okolice merilnega mesta.

Preglednica 24: Primerjava koncentracij dušikovega dioksida na merilnih parih ob cestah zunaj cestnega koridorja med poletno kampanjo (od 25. avgusta do 14. septembra 2005) in zimsko kampanjo (od 24. januarja do 7. februarja 2006).

Merilni par	Koncentracije poleti ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Koncentracije pozimi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Porast pozimi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Celovška cesta	66	59	-7
Avtobusna postaja Ljubljana	59	64	5
Predor (Kopitarjeva ulica)	57	53	-4
Dunajska cesta	46	43	-3
Drenikova cesta	/	69	/
Južna obvoznica	/	66	/
Dalmatinova ulica I	/	65	/
Dalmatinova ulica II	/	47	/
Dalmatinova ulica III	/	50	/
Šmartinska cesta	/	54	/
Zaloška cesta (Fužine)	/	52	/
Zaloška cesta (bolnišnica)	/	50	/
Tržaška cesta	/	64	/
Severna obvoznica	/	61	/
Celovška cesta (kino Šiška)	/	39	/

V poletni kampanji smo merili na štirih mestih, v zimski pa na 15. Največje koncentracije dušikovega dioksida so bile poleti izmerjene na merilnem paru ob Celovski cesti ($66 \mu\text{g}/\text{m}^3$), najmanjše pa ob Dunajski ($46 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Pozimi je bila največja koncentracija dušikovega dioksida izmerjena na Drenikovi cesti, znašala pa je $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Če primerjamo poletne in zimske koncentracije na istih lokacijah, vidimo, da je povprečen porast pozimi negativen, kar pomeni, da so bile poleti koncentracije v povprečju celo nekoliko višje (za $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Razlika sicer ni velika, vseeno pa bi pozimi pričakovali porast koncentracij. Razlog, da koncentracije dušikovega dioksida pozimi niso višje od poletnih, je po našem mnenju posledica daljšega reakcijskega časa oksidacije iz dušikovega monoksida v dušikov dioksid.

Rezultati v preglednici 25 nam potrjujejo predvidevanja, da so koncentracije ob cestah brez strnjene pozidave kljub enakim ali večjim prometnim obremenitvam nižje od tistih v mestnem koridorju. Razlike med merilnimi mesti so manjše kot pri cestnih koridorjih, vendar je bilo število mest ob prometnicah premajhno, da bi lahko na podlagi teh ugotovitev sklepali bolj zanesljive ugotovitve. Povprečja, tako poletna kot zimsko, so bila večinoma nad letno mejno vrednostjo s sprejemljivim preseganjem (za leto 2005 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, za leto 2006 $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$). V poletni kampanji je le na Dunajski cesti pri križišču z Linhartovo koncentracija znašala manj od dopustne, pozimi pa poleg lokacije Dunajska (prestavljena na podvoz pod železniško progo) še na Dalmatinovi ulici II (pri Evropa centru) in na Celovski cesti pri Kinu Šiška.

Preglednica 25: Ocena letne onesnaženosti ob cestah zunaj cestnega koridorja za obdobje poletje 2005 – poletje 2006.

Merilni par	Letna koncentracija ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Celovška cesta	62
Avtobusna postaja Ljubljana	58
Predor – Kopitarjeva ulica	54
Dunajska cesta	44

Enako kot v cestnem koridorju smo tudi zunaj koridorjev ocenili letno onesnaženost z dušikovim dioksidom, čeprav je merilnih mest, kjer so meritve potekale pozimi in poleti, precej manj. Ta nam pokaže, da je raven koncentracij podobna in niha od 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do 62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Najbolj onesnažen zrak med temi merilnimi pari je bil ob Celovski cesti, ob podvozu, najmanj pa ob Dunajski, kjer se je lokacija merjenja spremenila za približno 300 metrov (od križišča z Linhartovo k podvozu pod železnico). Povprečna onesnaženost znaša 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, vsa mesta razen ob Dunajski pa presegajo mejo 50 ali 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ki je leta 2005 oziroma 2006 veljala kot dopustna meja onesnaženosti z dušikovim dioksidom.

Slika 23: Merilno mesto pred predorom pod Ljubljanskim gradom smo uvrstili med navadna merilna mesta, čeprav je mesto specifično, saj predor predstavlja povečan vir onesnažil.



6.3.3 Koncentracije dušikovega dioksida v urbanem ozadju

Merilna mesta urbanega ozadja so najmanj onesnažena območja, saj niso v neposredni bližini večjih cest in drugih virov. Predstavljajo razmere v stanovanjskih soseskah, parkih, območjih brez večjega motornega prometa itn. Gre tudi za območja, kjer ljudje v mestih preživljajo prosti čas, se rekreirajo, sprehajajo hišne ljubljenske in se družijo. Koncentracije na teh mestih niso samo posledica prometa, pač pa na kakovost zraka na teh območjih znatno vplivajo tudi drugi viri. V stanovanjskih soseskah z individualnimi kurišči prevladuje ogrevanje, sicer pa so pomembne tudi industrija in toplotarne.

Preglednica 26: Primerjava koncentracij dušikovega dioksida na merilnih mestih urbanega ozadja med poletno kampanjo (od 25. avgusta do 14. septembra 2005) in zimsko merilno kampanjo (od 24. januarja do 7. februarja 2006).

Merilno mesto	Koncentracija poleti ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Koncentracija pozimi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Porast pozimi
Tivoli	/	54	/
Vič – Rutarjeva ulica	30	52	22
ARSO – Bežigrad	21	51	30
Rudnik – Jurčkova ulica	28	43	15
Vič – Biotehniška fakulteta	19	42	23
Šiška – Smrekarjeva ulica	26	33	7
Moste – Rojčeva ulica	32	30	-2
Šiška – Andreaševa ulica	31	29	-2
Bežigrad – Ptujška ulica	28	28	0

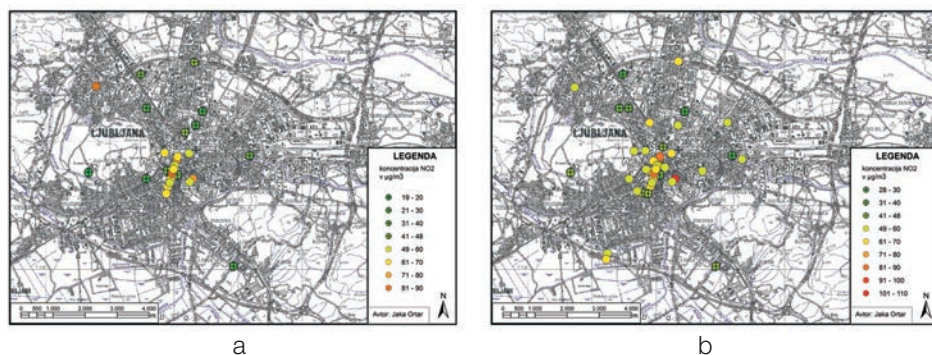
V poletni kampanji je povprečna koncentracija na teh mestih znašala $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, razpon pa je od $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pri Biotehniški fakulteti do $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na Rojčevi ulici v Mostah. Zimske koncentracije so precej višje, saj znaša povprečje zimskih meritev na istih lokacijah $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Najvišja koncentracija je bila izmerjena na merilnem mestu v parku Tivoli, kar je nepričakovano glede na to, da gre za parkovno površino. Zelo podobni koncentraciji sta bili izmerjeni tudi na merilnih mestih Vič – Rutarjeva ulica in ARSO – Bežigrad (52 in $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Razpon vseh meritev je med 54 in $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, povprečna vrednost pa znaša $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pod mejno letno koncentracijo za leto 2006, dosega pa ravno dovoljeno raven onesnaženja brez sprejemljivega preseganja, ki jo bomo dosegli leta 2010. Najnižje vrednosti so bile izmerjene na merilnih mestih Bežigrad – Ptujška ulica ($28 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in Šiška – Andreaševa ulica ($29 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

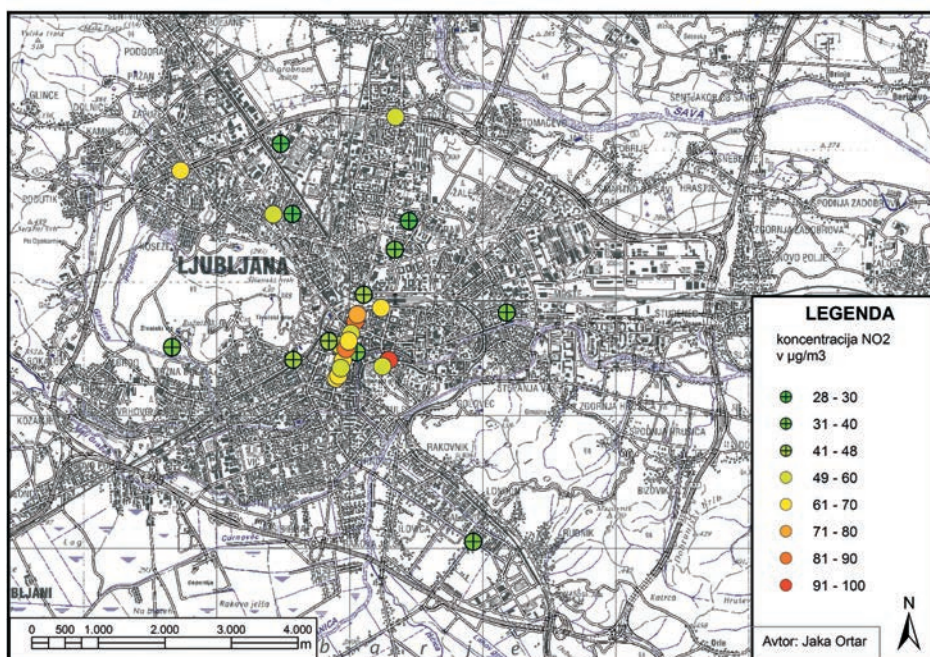
Preglednica 27: Ocena letne onesnaženosti v urbanem ozadju za obdobje poletje 2005 – poletje 2006.

Merilno mesto	Koncentracija ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Vič – Rutarjeva ulica	34
Moste – Rojčeva ulica	31
Rudnik – Jurčkova ulica	30
Šiška – Smrekarjeva ulica	30
ARSO – Bežigrad	28
Bežigrad – Ptujška ulica	27
Šiška – Andreaševa ulica	27
Vič – Biotehniška fakulteta	23

Čeprav gre za najmanj onesnažena območja, so območja urbanega ozadja pomembna zaradi prostočasnih dejavnosti meščanov. Onesnaženost je tu tudi bolj stalna, podatek o letni onesnaženosti pa za vse uporabnike tega prostora zelo pomemben. Ocena letne onesnaženosti v urbanem ozadju je pokazala dokaj enotno stopnjo onesnaženosti, pri kateri je sedem merilnih mest v intervalu $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($27\text{--}34 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Le najmanj onesnaženo merilno mesto Vič – Biotehniška fakulteta je imelo še $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nižjo koncentracijo. Vse vrednosti so bile pod dopustno mejo onesnaženosti.

Slika 24 (str. 58 in 59): Koncentracije dušikovega dioksida v Ljubljani: a) poleti (od 25. avgusta do 14. septembra 2005), b) pozimi (od 24. januarja do 7. februarja 2006) in c) na letni ravni (poletje 2005 – poletje 2006).





C

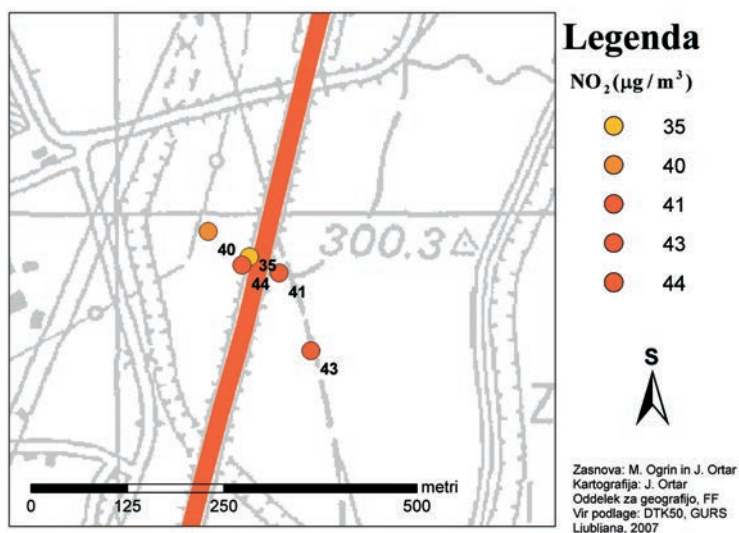
6.4 PREČNI PROFILI KONCENTRACIJ DUŠIKOVEGA DIOKSIDA

Pri prečnih profilih koncentracij ne gre za poseben tip prostora, pač pa za način postavljanja merilnih mest. Ta so postavljena prečno na potek ceste, ki je glavni vir onesnaževanja ozračja v okolici. Koncentracije prečnih profilov smo merili v več merilnih kampanjah. Tako lahko precej natančno ugotovimo vpliv prometnega onesnaževanja (v našem primeru z dušikovim dioksidom) na neposredno okolico. Taka informacija je zelo pomembna pri vrednotenju vplivov prometa na pokrajino, pa tudi na življenje ljudi ob cestah. Zelo pogosto se pri umeščanju predvsem večjih cest v prostor številne lokalne skupnosti zoperstavijo njihovem poteku skozi naselja ravno zaradi predvidenih negativnih vplivov ceste na okolje in s tem na kakovost bivanja. Lahko pa se na neki cesti promet s časom bistveno poveča, kar sorazmerno poveča tudi prometni vpliv na okolje. Vpliv prometnega onesnaževanja okolice ceste pa ima tudi ekonomski vpliv, saj vpliva na ceno zemljišč. Bližina večje ceste namreč že dolgo ni več le pozitiven dejavnik, ki omogoča navezavo novih dejavnosti v bližini te prometnice, pač pa je tudi dejavnik, ki odbija kupce od želje po nakupu, saj nihče noče živeti v onesnaženem zraku in hrupu. Tako se ekonomski vpliv kaže v nižanju cene zemljišča.

6.4.1 Koncentracije dušikovega dioksida na profilu Grič

Merilna mesta profila Grič so potekala prečno na zahodno ljubljansko obvoznico ob počivališču pri kraju Grič. Poleg tega, da je del mestnega obroča, ta avtocestni odsek prevzame tudi velik del tranzitnih obremenitev slovenskega avtocestnega križa in je za krakom severne ljubljanske obvoznice najbolj obremenjen cestni odsek v Sloveniji. Prostor, kjer smo postavili merilna mesta, je Viško polje, ki se razprostira na obe strani. Neposredna okolica ni poseljena. Povprečni letni promet na tem odseku leta 2004 je bil 65 452 vozil dnevno, kar uvršča ta odsek med tri najbolj obremenjene cestne odseke v Sloveniji (Prometne obremenitve 2004).

Slika 25: Onesnaženost zraka z dušikovim dioksidom ob zahodni obvoznici med 3. in 8. majem 2004.

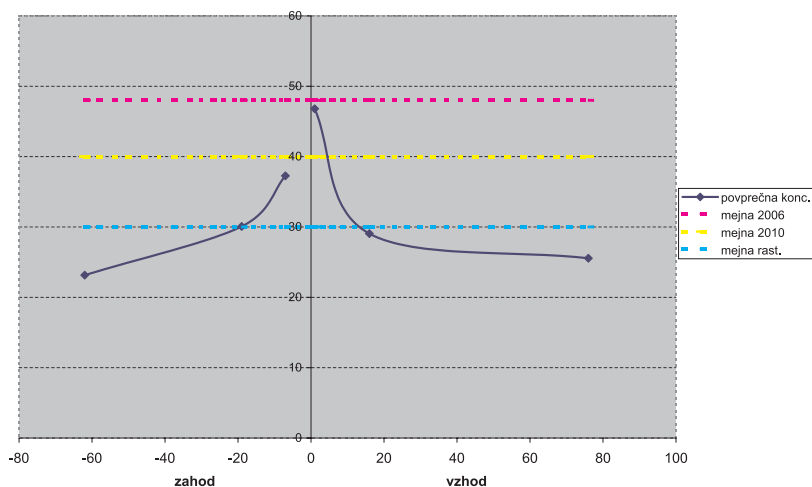


Sprememba koncentracije z oddaljevanjem od ceste na profilu Grič ni bila tipična. Na obeh straneh se je z oddaljevanjem pokazal celo rahel porast koncentracij, ki je segel na zahodni strani le do druge merilne točke. Spremembe koncentracij so bile zelo majhne in znotraj napake meritev.

6.4.2 Koncentracije dušikovega dioksida na profilu Šmartno

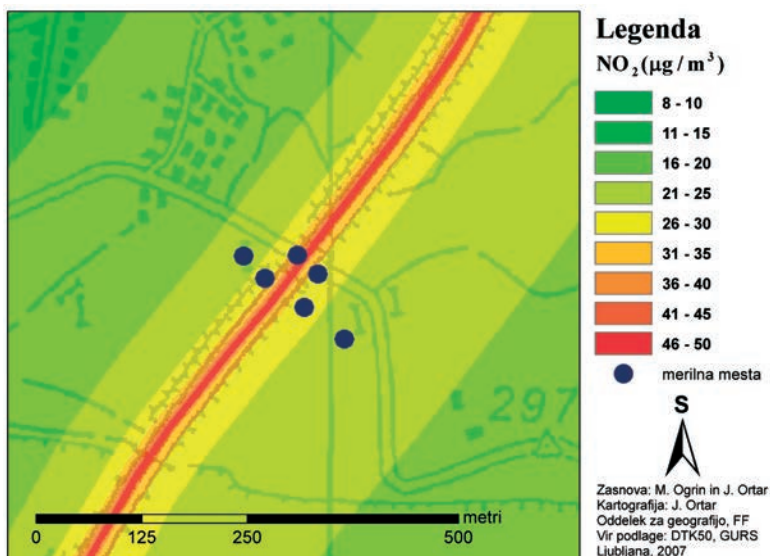
Profil Šmartno je vseboval niz šestih merilnih mest ob gorenjski avtocesti Ljubljana–Podtabor, v bližini reke Save na levem bregu najnižje savske terase v naselju Šmartno pod Šmarno goro, ki predstavlja severno mejo MOL. Terasa so del Ljubljanskega polja, torej gre za večinoma raven relief, ki se proti severu postopno dviga s terasami, proti jugu pa preide v strugo reke Save. Prevladujoča smer teras je smer toka reke Save, avtocesta pa poteka v prečni smeri na terase, kar pomeni, da je bil profil postavljen v smeri poteka terase, dovolj daleč od ježe (približno 470 m) ali struge (približno 200 m).

Slika 26: Potek koncentracij dušikovega dioksida v povprečnem prečnem profilu Šmartno. Izračunan je na podlagi štirih merilnih kampanj v letih 2004 in 2005.



S povprečnim profilom Šmartno smo poskušali dobiti povprečno onesnaženost, ki je dobljena iz štirih kampanj v letih 2004 in 2005. Vodoravne črtkane črte nam pokažejo mejne vrednosti za leto 2005, 2010 in mejno vrednost za varstvo rastlin. Slednja je bila presežena znotraj 20-metrskega pasu ceste na zahodu in 16-metrskega pasu na vzhodu. Ciljna vrednost za 2010 je bila presežena znotraj petmetrskega pasu na vzhodni strani, na zahodni pa vzorčevalnikov ni bilo tako blizu ceste. Povprečne vrednosti pa niso dosegle mejne koncentracije za leto 2005. Vpliv avtoceste na kakovost prostora zaradi onesnaževanja zraka z dušikovim dioksidom je bil zunaj 20-metrskega pasu na obeh straneh cestišča še v mejah dovoljenega. Ker so avtoceste ograjene z žičnato ograjo, ki omejuje različno širok prostor okoli ceste, je tako tudi fizično preprečena uporaba tega prostora. Tudi v praksi v 20-metrskem pasu okoli avtoceste redko poteka aktivna raba prostora, kot je poselitev ali kakšna druga dejavnost. Pogosto se zunaj ograje, ki omejuje ta prostor, opravlja kmetijska dejavnost, zato je s tega vidika pomembneje ugotavljati vpliv onesnaženja zraka zaradi varstva rastlin, ki zahteva tudi nižje koncentracije.

Slika 27: Povprečna onesnaženost zraka z dušikovim dioksidom ob avtocesti Ljubljana–Podtabor v Šmartnem pod Šmarno goro kot posledica prometa. Izračunana je na podlagi štirih merilnih kampanj v letih 2004 in 2005.

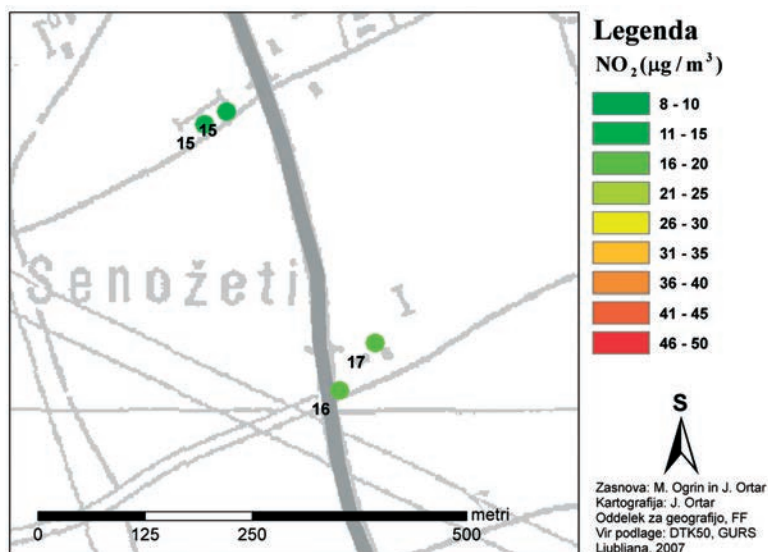


Slika 27 prikaže onesnaženost zraka z dušikovim dioksidom v okolici avtoceste, ki z oddaljevanjem od cestišča hitro pada. Karta ne upošteva drugih virov, razen na ravni »pojemajočega« ozadja. Če je v širši okolici prisoten drug vir, je lahko koncentracija na večji oddaljenosti od ceste (zunaj območja meritev) višja, kot je prikazana na karti.

6.4.3 Koncentracije dušikovega dioksida na profilu Kranj

Merilna mesta v profilu Kranj so potekala ob regionalni cesti Ljubljana–Kranj pri naselju Meja. Vzhodni in severni krak nista bila postavljena na istem mestu glede na cesto, pač pa se je zahodni krak nahajal približno 360 metrov severneje, to je v smeri proti Kranju. Širša okolica merilnih mest je večinoma raven prostor Sorškega polja, cesta pa je edini pravi vir dušikovega dioksida v okolici, saj poselitve ob cesti na tem odseku skorajda ni.

Slika 28: Povprečna onesnaženost zraka z dušikovim dioksidom ob cesti Ljubljana–Kranj kot posledica prometa. Izračunana je na podlagi treh merilnih kampanj v letih 2004 in 2005.



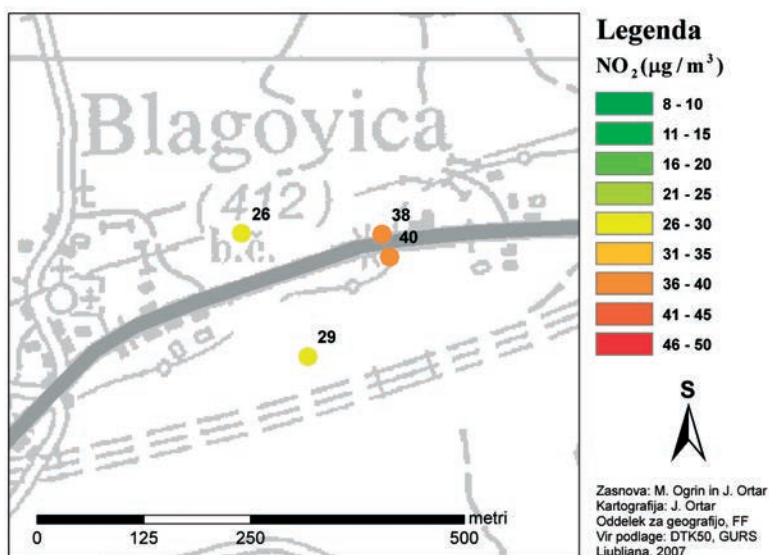
Povprečni profil treh kampanj v Kranju je pokazal nizke koncentracije na vseh merilnih mestih in celo nekoliko nižje koncentracije na mestih bližje cesti kot na tistih, ki so od ceste bolj oddaljena. Vendar pa so bile te razlike zelo majhne in so prej rezultat slučajnih napak, kot pa manj onesnaženega zraka. Vsekakor pa je očitno, da so bile glede na obremenitve ceste, ki je med merjenjem znašala od okoli 12 000 do 13 000 vozil dnevno (Prometne obremenitve 2004), merilna mesta predaleč od cestišča, da bi zaznala porast koncentracij ob cesti. Lahko rečemo, da na razdalji 40 metrov na zahodni strani in 20 metrov na vzhodni stran v povprečju ni kazal neposrednega vpliva cestnega onesnaževanja.

6.4.4 Koncentracije dušikovega dioksida na profilu Blagovica

Profile koncentracij dušikovega dioksida v Blagovici smo merili na dnu ozke doline Črnega grabna. V Blagovici se dolina sicer nekoliko razširi, tako da ne moremo govoriti, da cesta poteka v kanjonu, ki bi bistveno omejeval disperzijo onesnažil. Gotovo pa se ob jasnem in mirnem vremenu, zlasti v hladnejši polovici leta, poleti pa ponoči, oblikuje dolinsko stekanje zraka s pobočij proti dnu in po dolini navzdol. Zadrževanje hladnejšega zraka pri tleh pa zlasti pozimi lahko povzroči povečane koncentracije onesnažil med trajanjem temperaturnega obrata. Med kampanjo, ki je potekala poleti 2004, so bile inverzije kratkotrajne in so na povprečno koncentracijo vplivale le deloma. Povprečni profil Blagovica nam pokaže bolj izrazit padec koncentracij z razdaljo kot

pri profilu Kranj, a je bila tudi razmestitev merilnih mest drugačna. Večje so bile tudi obremenitve, saj je promet med meritvami znašal od 22 600 do 25 300 vozil dnevno in tudi okolica je bolj zaprta (Prometne obremenitve 2004, Prometne obremenitve 2005, Arhiv DRSC). Ker med dvema točkama na vsaki strani nismo začrtali krivulje ali ravne črte, težko ocenjujemo spreminjanje koncentracij z razdaljo. Povprečne koncentracije merilnih mest ob cesti na razdalji 10 metrov niso presegle mejnih vrednosti niti za leto 2010, torej so bile tudi pod mejnimi za leto 2005, ko smo meritve končali. Bližje cesti so bile koncentracije višje in so v ozkem pasu ob cesti zelo verjetno presegle vsaj mejno vrednost za leto 2010. Večjo težavo predstavlja mejna vrednost za varstvo rastlin. Ugotavljamo, da je bila na obeh straneh ceste ta presežena v 20- do 30-metrskem pasu ob cestišču. To je problematično zaradi kmetijske rabe tal, saj pašniki ali travniki segajo vse do ceste.

Slika 29: Povprečna onesnaženost zraka z dušikovim dioksidom v Blagovici, ob stari cesti Ljubljana–Celje. Izračunana je na podlagi treh merilnih kampanj v letih 2004 in 2005.

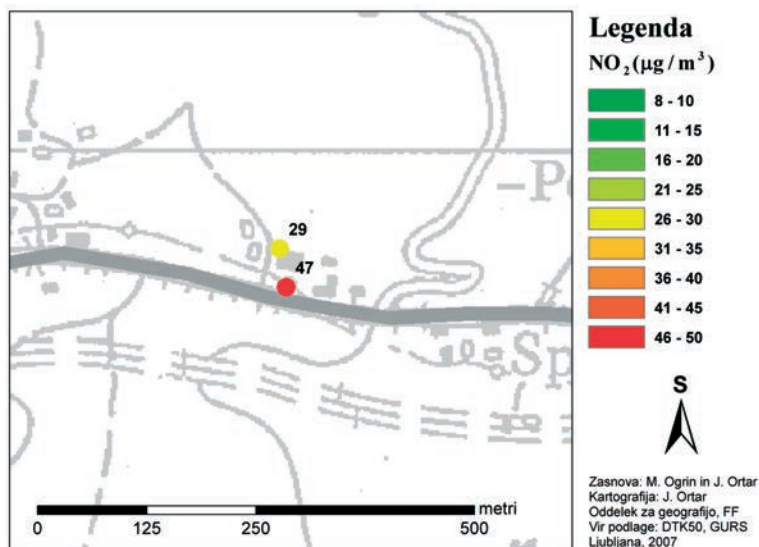


6.4.5 Koncentracije dušikovega dioksida na profilu Podmilj

Profil Podmilj je drugi profil, smo ga postavili v dolini Črnega grabna, ob potoku Radomlja. Nahajal se je približno dva kilometra po dolini navzgor oziroma vzhodneje od profila Blagovica. Tu pride do zoženja doline v obliki širšega koridorja. Na južni strani ceste je prostora samo še za potok in strmo gozdno pobočje, na severni strani pa je ravnega prostora nekoliko več. Tam je vrtnarija Kropivšek. Po dolini poteka glavna cesta Ljubljana–Celje, ki je bila v obdobju meritev v letih 2004 in 2005 še vedno

najpomembnejša cestna povezava med Ljubljansko kotlino in Štajersko. Povprečni letni dnevni promet po tej cesti je leta 2004 znašal 22 585 vozil dnevno (Prometne obremenitve 2004), kar uvršča odsek v kategorijo bolj obremenjenih cest. Pomemben je tudi podatek, da je kar 25 odstotkov teh vozil spadalo v kategorijo tovornjakov ali avtobusov (Prometne obremenitve 2004). Zaradi pomanjkanja prostora smo opravili meritve samo na severni strani ceste, in sicer na dveh merilnih mestih na razdalji pet in 45 metrov od ceste. Le nekaj metrov za drugim merilnim mestom se je končala ravnina na dnu doline. Povprečne koncentracije treh kampanj nam pokažejo, da je bila na petmetrski razdalji kakovost zraka vprašljiva tudi za zdravje človeka, saj je znašala $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je bilo leta 2005 sicer $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pod mejno vrednostjo, a je kakovost zraka vseeno slaba. Razmeroma velike koncentracije na tem odseku, ki so primerljive tudi s tistimi v Blagovici, smo izmerili tudi na bolj oddaljenem merilnem mestu, saj je bila koncentracija na 45-metrski oddaljenosti le $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pod mejno vrednostjo za varstvo rastlin. Dno severnega dela ozke doline Črnega grabna na tem mestu pa pripada zasebni vrtnariji.

Slika 30: Povprečna onesnaženost zraka z dušikovim dioksidom v Podmilju, ob stari cesti Ljubljana–Celje. Izračunana je na podlagi treh merilnih kampanj v letih 2004 in 2005.

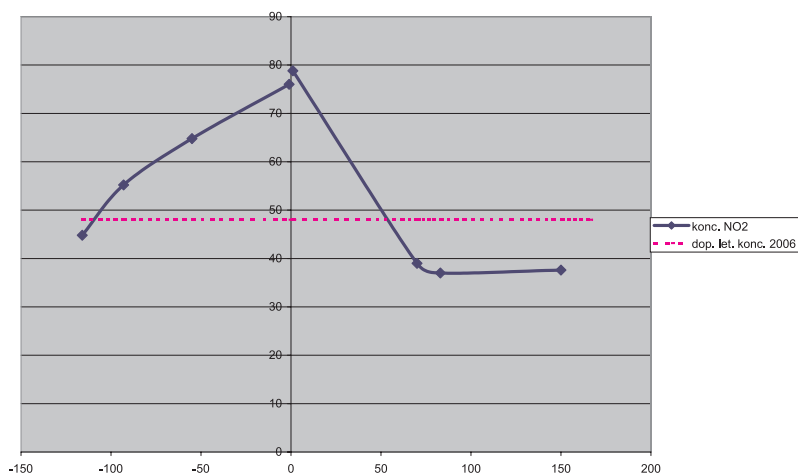


6.4.6 Koncentracije dušikovega dioksida na mestnem profilu Cankarjeva – Čopova

Meritve koncentracij v profilu Cankarjeva – Čopova so potekale od Cankarjeve ulice prek Slovenske ceste po Čopovi ulici proti Tromostovju v središču Ljubljane. Obe ulici sta v

Ljubljani eno glavnih območij za pešce, kar še posebej velja za Čopovo. Na stiku obeh ulic s Slovensko cesto je poleg Bavarskega dvora najpomembnejša postaja mestnega potniškega prometa (postajališči Pošta in Nama), kjer največ potnikov vstopa in izstopa. Po Čopovi ulici motorni promet ne poteka, zato je zelo primerna za ugotavljanje padca koncentracije z oddaljevanjem od Slovenske ceste. Konča se s Prešernovim trgom, kjer je v času meritev potekal omejen promet iz Wolfove ulice prek Tromostovja. To nekoliko popači padec koncentracij proti koncu Čopove ulice, a je bil zaradi odprtosti trga ta vpliv majhen. Cankarjeva ulica ima drugačno prometno ureditev. Na prvem odseku, dolgem približno 100 metrov, je sprehajalna cona, po kateri je dovoljena le dostava. Naprej pa je promet dovoljen. Križata jo Beethovnova in Zupančičeva ulica, ki sta prav tako prometni, konča pa se s Prešernovo cesto. Padec koncentracij s Slovenske ceste z oddaljevanjem od nje lahko popači promet po Beethovnovi in Zupančičevi, ki se križata s Cankarjevo. Na drugem delu Cankarjeve ulice pa je mogoč tudi vpliv Prešernove ceste.

Slika 31: Potek koncentracij dušikovega dioksida v povprečnem profilu Cankarjeva – Čopova. Izračunan je na podlagi dveh merilnih kampanj v letih 2005 in 2006.



Meritve na profilu Cankarjeva – Čopova so nam pokazale presenetljive rezultate, saj je bila onesnaženost zraka v območju za pešce ob cesti visoka in v delu tudi previsoka glede na mejne vrednosti. Neposredno ob cesti so koncentracije znašale celo med 68 in 80 µg/m³. Po Čopovi ulici je koncentracija padala hitreje in na drugem merilnem mestu od treh (oddaljenost 70 m) je padla pod 39 µg/m³. Naprej po ulici proti Prešernovemu trgu koncentracija ni več bistveno padala. Dosegla je raven urbanega ozadja, ki se je tedaj še »hranilo« tudi z izpusti prometa, ki je potekal po Prešernovem trgu. Na Cankarjevi ulici so bile poleti začetne koncentracije sicer malenkost nižje, a je bil nato padec koncentracije z oddaljevanjem od Slovenske ceste manjši kot na Čopovi. Na Cankarjevi ulici se je poznal vpliv prometa, ki poteka na delih te ceste, zato je bil tudi padec koncentracij počasnejši. Poletna in zimska krivulja se opazno razlikujeta. Proti Prešernovi cesti vpliv

te ceste narašča, saj po njej poteka kar gost dvosmerni promet, blizu pa je tudi Tivolska cesta, ki je z okoli 30 000 vozili PLDP še bolj prometna (Arhiv MOL).

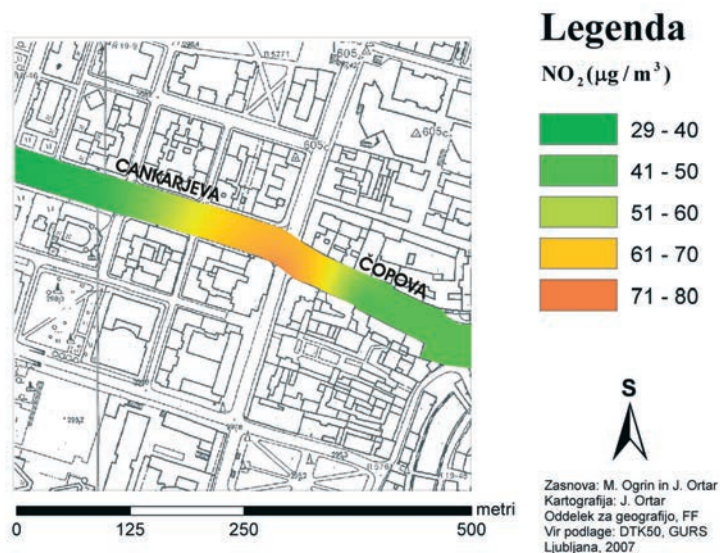
Na Čopovi ulici sta obe krivulji zelo podobni. Če bi bile poletne koncentracije vse leto, bi bila dopustna letna koncentracija na Čopovi ulici presežena znotraj 50-metrskega pasu od Slovenske ceste, na Cankarjevi pa znotraj približno 85-metrskega pasu. Če pa upoštevamo zimsko koncentracijo, bi na Čopovi ulici izmerili previsoke koncentracije znotraj 54-metrskega pasu, na Cankarjevi pa vsaj znotraj 118-metrskega pasu.

Ker sta obe ulici za pešce zelo pomembni oziroma bi za Čopovo ulico lahko celo rekli, da je ena najbolj obiskanih ulic v Ljubljani in tudi v Sloveniji, so ti podatki toliko bolj pomembni. Povprečen profil nam pokaže, da je bil zrak v povprečju prekomerno onesnažen znotraj 110-metrskega pasu na Cankarjevi in znotraj 52-metrskega pasu na Čopovi ulici. Povprečne koncentracije ob cesti pa so bile med 70 in 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sliki 32 in 33 nazorno kažeta izmerjene koncentracije in vpliv Slovenske ceste v območje za pešce. Le temno zelena barva spada v območje pod mejno letno vrednostjo za 2010. Pozimi so bile koncentracije še višje, zlasti pri cesti, njihov vpliv pa se pozna tudi drugje. Upravičeno se lahko vprašamo, kako je z drugimi ulicami, ki vodijo s Slovenske ceste. Kljub temu, da na drugih, podobno speljanih ulicah nismo merili, bi bil potek koncentracij zelo verjetno podoben. Poleg tega so tu še ceste, kjer prav tako teče promet, kot sta Dalmatinova in Gosposvetska, na katerih se vpliv onesnaževanja s Slovenske ceste združi z lastnim onesnaževanjem.

Raznolik prostor v mestnem jedru vsebuje tudi atrije in druge zaprte prostore, ki so ločeni od koridorja in drugih cest. Kolikšne so koncentracije dušikovega dioksida tam, ne vemo zagotovo, ker meritev nismo opravili, vendar pa ne morejo biti nižje, kot so vrednosti urbanega ozadja. Glede na visoke koncentracije v koridorju bi bilo zanimivo vedeti tudi, kolikšne so koncentracije v notranjih prostorih, ki se vsaj deloma zračijo z zrakom iz koridorja.

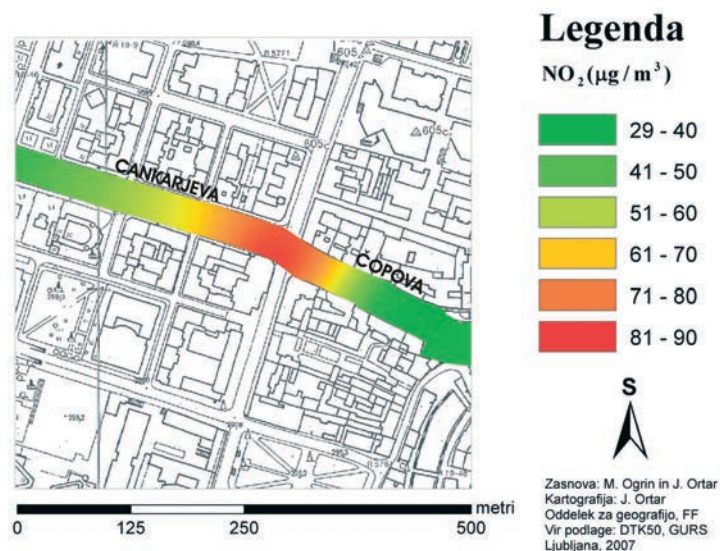
V mestih je zanimivo tudi spreminjanje koncentracij z višino, saj številni živijo ali so zaposleni v stolpnicaх nad cestami. Dviganje zraka nad mestnim jedrom, ki je posledica stekanja zaradi učinka toplotnega otoka, gotovo vpliva na prenos onesnažil v višje plasti. Na vsa ta in podobna vprašanja bomo lahko odgovorili, ko bodo opravljene meritve v teh delih raznoličnega mestnega prostora. Prav za take meritve je uporaba difuzivnih vzorčevalnikov zelo primerna.

Slika 32: Onesnaženost zraka z dušikovim dioksidom na Cankarjevi in Čopovi ulici med 25. avgustom in 14. septembrom 2005.



*Širina Cankarjeve in Čopove ulice ni v merilu.

Slika 33: Onesnaženost zraka z dušikovim dioksidom na Cankarjevi in Čopovi ulici med 24. januarjem in 7. februarjem 2006.



*Širina Cankarjeve in Čopove ulice ni v merilu.

6.5 UGOTOVITVE O PREČNIH PROFILIH KONCENTRACIJ DUŠIKOVEGA DIOKSIDA

Za zahodno obvoznico velja, da je drugi najbolj obremenjen odsek ljubljanske obvoznice in je s tem drugi najbolj obremenjen cestni odsek v Sloveniji. Velika onesnaženost je segla tudi do razdalje okoli 80 metrov od ceste. To je lahko opozorilo, da je ob takih prometnih obremenitvah smiselno opraviti več meritev in razširiti njihov pas, kar pomeni tudi več merilnih mest na vsaki strani ceste. Za vse druge profile, z izjemo profila Cankarjeva – Čopova v središču Ljubljane, lahko rečemo, da ob obremenitvah do 30 000 vozil dnevno zunaj 80-metrskega pasu nismo izmerili povprečnih koncentracij profilov, višjih od $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ta vrednost predstavlja mejo za varstvo rastlin. Mejna vrednost za varovanje zdravja ljudi, ki pada proti $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in jo bo leta 2010 tudi dosegla, pa v povprečnih profilih ni bila presežena zunaj približno 10-metrskega pasu. Izjema je seveda mestni profil Cankarjeva – Čopova.

V Sloveniji štejemo promet na 1021 števnih mestih v sklopu državne mreže, kar pomeni, da v to skupino niso všteta številna mesta v mestih. Od tega je na 44 izmerjen večji povprečni letni dnevni promet kot 30 000 vozil (Prometne obremenitve 2005). Vsako števno mesto predstavlja nek odsek ceste, kar pomeni, da ima kar 977 od 1021 odsekov (96 odstotkov) državnih cest, kjer poteka štetje prometa, nižji dnevni promet od 30 000 vozil. Iz tega lahko sklepamo, da velika večina slovenskih cest, kjer pozidava ne omejuje prostega mešanja tik ob cesti, z dušikovim dioksidom ne obremenjuje prekomerno okolja zunaj 10-metrskega pasu za ljudi in zunaj 45-metrskega pasu za rastline. Vendar nas taka interpretacija prostorske onesnaženosti ne sme zavesti, saj večina mestnih cest ni zajetih v to skupino. Kajti v mestih, kjer je pozidava gosta, promet pa praviloma najgostejši, prihaja do učinka zgoščevanja emisij in koncentracij. Poleg pozidave je velika težava tudi zelo počasna vožnja oziroma prometni zastoji. To ob razmeroma nizkih prometnih obremenitvah lahko pomeni večje izpuste, kajti prižgano vozilo, ki stoji pred semaforjem ali se po polžje premika v koloni, prav tako povzroča emisije.

Še bolj se učinek zgoščevanja onesnažil pozna, če upoštevamo, da tam, kjer so gosto pozidana območja, prebivajo ali se dnevno gibljejo ljudje. Visoke koncentracije v 10- ali 20-metrskem pasu ob avtocesti imajo manjši neposredni negativni učinek na ljudi kot enaka ali celo ožja območja v mestih in drugih poseljenih območjih, kjer ta prostor vsak dan in množično uporabljamo ljudje. V mestih lahko že majhne obremenitve povzročijo večje poslabšanje kakovosti zraka. To nam kažejo meritve profila na Cankarjevi in Čopovi ulici v Ljubljani, kjer so koncentracije zelo visoke (najvišje) in znotraj 52-metrskega pasu na eni oziroma 110-metrskega pasu na drugi strani previsoke. In to kljub temu, da je na teh ulicah območje za pešce. Ne smemo pa pozabiti, da je tudi vozišče prostor, ki ga uporabljamo ljudje. In povsod tam, kjer prihaja do visokih koncentracij, prihaja tudi do množične uporabe vozišč, saj prav množična raba povzroči visoke koncentracije. Med vožnjo smo vsi, ki se vozimo po cesti, izpostavljeni koncentracijam na cestišču. Zlasti če vožnja traja dlje, kar potrjujejo tudi ugotovitve projekta PEOPLE, ki ga je v sodelovanju z inštitutom JRC iz ISPRE izvedla ARSO (Evaluation of..., 2005), in se nanašajo na izpostavljanje ljudi onesnažilom iz prometa v mestih. Problem so tudi kolesarske steze neposredno ob cestah ali kar na cestišču. Za kolesarjenje po cestišču velja, da

so kolesarji izpostavljeni enakim koncentracijam onesnažil kot vozniki, za kolesarje, ki vozijo po kolesarski stezi znotraj 10-metrskega pasu ob cesti, kot na primer ob Celovski cesti ali pa ob Zaloški in Tržaški, pa tudi ni dosti bolje. Kolesarjenje po mestu je zdravo, če uporabljamo manj prometna območja, ki so tudi varnejša.

Izpostavljenost ljudi onesnažilom iz zraka dobimo, če seštejemo delne izpostavljenosti, ki smo jim izpostavljeni med dnevom, ko se giblujemo v različnih okoljih. Mnogi večino časa preživijo v službi ali v šoli, zato je kakovost zraka v teh okoljih zelo pomembna. Če so te stavbe v neposredni bližini cest, je zračenje prostorov skozi okna, ki so obrnjena neposredno k cestišču, lahko vprašljivo. V Ljubljani je takih stavb kar nekaj. Ob vpadnicah so bivalni prostori, ponekod celo gradijo nove, ob Aškerčevi cesti so šole, fakultete, tudi zdravstveni dom, ob Slovenski cesti je celo eden boljših hotelov v mestu in tako naprej. Pogosto druge rešitve kot odpiranje oken nad cestami ni, saj teh stavb ob gradnji niso ustrezno orientirali, pa tudi prometno onesnaževanje ozračja je bilo tedaj manjše ali manj poznano.

7 SKLEPNE MISLI O ONESNAŽENOSTI ZRAKA Z DUŠIKOVIM DIOKSIDOM, OZONOM IN BENZENOM V LJUBLJANI IN PREDLOGI ZA IZBOLJŠANJE STANJA

Meritve dušikovega dioksida v Ljubljani so pokazale, da so vrednosti v cestnem koridorju Slovenske in Poljanske ceste največje, v času meritev med 50 in 103 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Koncentracije so bile zelo visoke, tudi če jih preračunamo na letno raven. To bi moralo biti resno opozorilo mestu in državi, pa tudi vsem, ki ta prostor pogosto uporabljamo. Občutljivejše skupine ljudi, kot so na primer majhni otroci in starejši, pa so še posebej ranljive. Merilna mesta ob cestah, kjer ni zgoščene pozidave, so bila na drugem mestu po onesnaženosti, njihove vrednosti pa so bile približno od 40 do 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. V urbanem ozadju je bila stopnja onesnaženosti ozračja z dušikovim dioksidom najmanjša, prav tako je najmanjši tudi delež prometnega onesnaževanja, saj so večje ceste dovolj oddaljene. Ali lahko rečemo, da je zrak v Ljubljani prekomerno onesnažen z dušikovim dioksidom? Za številna območja to žal velja, seveda pa ne za vsa. Študija je pokazala, kje so koncentracije problematične in tudi kje ne, vendar pa vseh območij mesta, ki je, kot smo že zapisali, zelo raznoliko, nismo pokrili. Natančen vpogled v stanje onesnaženosti z dušikovim dioksidom po vsem mestu bi dobili le, če bi v gosti mreži meritev pokrili celotno območje mesta. Koncentracije ozona so bile v bližini cest razmeroma majhne, ker so tam velike emisije dušikovega monoksida. Tam tudi v prihodnje ni pričakovati dolgotrajnih visokih koncentracij ozona. Večjo težavo predstavljajo območja urbanega ozadja, saj so meritve nakazale največje koncentracije ozona ravno v teh predelih, kjer je tudi poselitev največja. Neposrednih primerjav z referenčnimi vrednostmi zaradi narave meritev, ki so dale le povprečne vrednosti, nismo mogli narediti. So pa predhodne meritve že nakazale, da je Ljubljana poleti pogosto z ozonom prekomerno onesnažena. Ker promet na naših cestah narašča in ker uvajanje čistejših vozil še ni prineslo vidnega izboljšanja, lahko podobne težave pričakujemo tudi še v prihodnjih letih, če mesto ne bo začelo izvajati učinkovite prometne politike, ki bo mesto razbremenila prometa.

Pri razporeditvi onesnaženosti z benzenom smo dobili podobno stanje kot pri onesnaženosti z dušikovim dioksidom, najbolj so namreč izpostavljena območja, ki so tudi najbližje cestam oziroma so v cestnem koridorju. Zimske koncentracije niso presegle zakonsko določenih letnih vrednosti, razen na eni lokaciji v cestnem koridorju, vendar je zelo verjetno, da bi na letni ravni tudi ta vrednost padla pod to mejo. Benzen je zelo strupen in spada v skupino ogljikovodikov, katerih meritve so zaenkrat precej okrnjene, čeprav v območjih množičnega prometa ne bi smelo biti tako.

Kaj nam povedo predstavljene številke in analize? Predvsem to, da je zrak v mestnem središču ob prometnih cestah in v cestnih koridorjih preveč onesnažen. Vzrok za tako veliko onesnaženje zraka so predvsem izpusti iz prometa. Iz slovenske in evropske zakonodaje sledi, da bomo morali pripraviti načrte in programe za izboljšanje kakovosti zraka. Stroka je že nakazala številne mogoče in povsem izvedljive rešitve. Zdaj je na potezi politika, ki sprejema odločitve. Vseeno pa lahko opozorimo na nekatere rešitve,

ki bi v sorazmerno kratkem času in z malo finančnih sredstev, torej zelo učinkovito, prinesle zadovoljiv rezultat.

Rešitev za boljši zrak v mestnem središču je zmanjšanje izpustov onesnažil oziroma prometa v mestnem središču. Razbremenitev osebnega prometa je mogoče uresničiti s primerno cenovno politiko v javnem prevozu, na primer s skupnimi vozovnicami za mestni in primestni promet, uvedbo enotne vozovnice za več prog in vrst javnega prevoza, gradnjo parkirišč na obrobju mesta in uvedbo tako imenovanega Park&Ride (parkiraj in se pelji z avtobusom) sistema po vsej Ljubljani. Prav tako je smiselno razbremeniti središče mesta s preusmeritvijo mestnih avtobusov, saj ni treba, da večina avtobusov vozi skozi mestno jedro. Nekaj takih ukrepov smo v zadnjem času sicer že doživeli, kar je sicer majhen korak, a v pravo smer. V ta namen predlagamo tudi uvedbo radialnih in tangencialnih prog, s katerimi bi lahko z enega na drugi konec mesta prišli tudi mimo mestnega jedra po mnogo manj obremenjenih cestah, s čimer bi se gotovo skrajšal tudi čas vožnje. Na avtobusnih postajah je treba urediti parkirišča za kolesa, na avtobusih pa prostor zanje, tako kot se to dogaja marsikje v tujini. S tem bi povečali dostopnost javnega prometa, ne da bi širili mrežo prog in postajališč, kar je pogosto predrago.

K boljši kakovosti zraka lahko pripomore tudi uporaba čistejših goriv ali uporaba zemeljskega plina, ki povzročajo manjše emisije škodljivih snovi. Večino teh goriv je z razumnimi stroški predelave vozil mogoče uporabljati v sedanjih motorjih z notranjim izgorevanjem. Končni cilj so vozila brez škodljivih emisij, na primer vozila na električni pogon, ki so posebej primerna za mestni promet. S tem v zvezi je bilo v Ljubljani narejenih že več študij za uporabo tirnih vozil.

Poleg omenjenih bi mestne oblasti lahko uresničile še nekatere druge ukrepe, ki zmanjšujejo promet v mestnem središču. Na primer več površin za kolesarske steze, več rumenih prog za LPP na vseh vpadnicah z več pasovi, ulice zaprte za motorni promet, prepoved vožnje za večje onesnaževalce ali zaračunavanje vstopa v mestno središče z avtomobilom, kot je to že praksa v nekaterih drugih evropskih mestih. Zelo zanimiv način reševanja prometnih zastojev imajo v nekaterih predelih ZDA in nekaterih mestih v Evropi, kjer imajo posebne pasove za javni prevoz in tista osebna vozila, ki prevažajo več kot enega potnika. Pri nas bi lahko za to uporabili podaljšane rumene pasove LPP.

V tujini so se kot alternativa avtobusnemu in železniškemu prevozu pojavila vozila na tirnicah, ki lahko prepeljejo nekaj ljudi med različnimi postajami brez vmesnega postanka. Tak sistem je centralno voden, zato promet poteka tekoče, brez zastojev in vmesnih postaj. Tako se bistveno poveča pretočnost in zmanjša čas vožnje. Tudi stroški postavitve sistema so manjši od infrastrukture za mestno železnico (tramvaj).

Glede na velike stroške, ki jih zahteva popolna prenova prometnega sistema, ki ne bi več onesnaževal zraka oziroma bi bilo onesnaževanje bistveno manjše kot danes, pa se bo treba temu cilju približevati po korakih, z izboljševanjem sedanjih sistemov. K temu spadajo tudi nekateri ukrepi mestne prometne politike.

V nekaj letih bi morali celotno mestno politiko na področju urejanja in upravljanja prometa spremeniti v smeri trajnostnih rešitev, ki v številnih evropskih prestolnicah že dolgo niso več samo ideje. Vožnja z avtom neposredno do vrat je v gosto pozidanem in dnevno močno obljudenem središču mesta nadstandard, ki ga je treba ustrezno plačati. Z uvedbo sistema plačljivih voženj v središče mesta so v Londonu dosegli občuten upad prometa osebnih vozil v enem letu. Podobne rešitve uvajajo ali pa o njih razmišljajo tudi v nekaterih skandinavskih mestih. Prav tako je na vožnjo po mestnem jedru treba gledati tudi z vidika osebne solidarnosti. Občutljivost mestnega ozračja se kaže z manjšo prevetrenostjo in zato manjšimi samočistilnimi sposobnostmi zaradi mestne topografije. Poleg tega ne smemo pozabiti, da Ljubljana leži v kotlini, po drugi strani pa je zaradi množice ljudi in koncentracije prometa pritisk na prizemni del ozračja bistveno večji. Razumljivo je, da vzorec mobilnosti z obrobja mesta in podeželja v mestnem jedru ne pride v poštev. To je že več let samo po sebi umevno pri cenah in izrabi prostora, saj so cene prostora v središču mesta bistveno večje kot v okolici, poraba prostora na prebivalca pa je zato v mestih manjša kot na podeželju. Ta vidik je treba upoštevati tudi pri prometnem onesnaževanju zraka, kar pomeni, da je sprejemljivo prometno onesnaževanje ozračja na osebo v mestu bistveno manjše kot zunaj njega. V urbanih območjih ti pogledi niso novi, pri ogrevanju so normativi glede goriv, ki služijo kakovosti zraka, znani že vrsto let. To bi tudi pomenilo, da je treba mestno prometno politiko voditi tako, da bo večji del prometa, ki je namenjen v mesto, ostal na obrobju. Znotraj mestnega obročja bi morala večji del dnevnih migracij prevzeti javni in tudi nemotorizirani promet, kot sta kolesarjenje in hoja. Javni promet mora biti usmerjen k hitremu, varnemu in udobnemu prevozu potnikov, dolgoročno bi moral biti cilj LPP prevzem večjega dela notranjih migracij. Glede dostave dobrin in storitev v mesto je na obrobju treba zagotoviti enega ali več logističnih centrov, ki bodo usmerjali dinamiko in količino prevozov v mestno središče, saj dostavna vozila, kot so kombiji in lahki ter srednji tovornjaki, zaradi večjih emisijskih faktorjev povzročajo večji del emisij, kot je njihov delež v povprečnih dnevni obremenitvah.

Promet v mestu se učinkovito zmanjša tudi s trajnostnimi prometnimi načrti podjetij in drugih ustanov, ki na območju mesta zaposlujejo veliko ljudi. Gre za to, da te ustanove aktivno podpirajo trajnostno mobilnost lastnih delavcev in tudi omogočajo po svojih močeh, da je te mobilnosti čim več. Podjetja z več zaposlenimi ali skupine podjetij na nekem območju, ki ni dostopno z javnim prometom, tako lahko prispevajo sredstva, ki jih ponudnik prevoza potrebuje, da uvede novo postajališče, morda podaljša progo ali izboljša vozni red. Lahko tudi prispevajo k ureditvi kolesarske steze do teh ustanov ali celo pešpoti. Svojim zaposlenim omogočijo infrastrukturo za kolesa, morda tudi prostore za preoblačenje in prhanje, saj po daljših vožnjah v toplem vremenu kolesarji na delo pogosto prispejo preznojeni. Vsem, ki dokažejo, da na delo pridejo z javnim prometom, kolesom ali morda tudi peš, lahko podjetja pripišejo nagrado v obliki mesečnega izplačila. Taka nagrada ima ekonomski vzrok. Manj delavcev z avtomobilom pomeni manj stroškov z urejanjem parkirišč in tudi manj stroškov, ki pokrijejo plačilo parkirnin v parkirnih hišah ali na plačljivih parkiriščih. In kar je tudi pomembno, kolesarjenje in hoja sta za mnoge pogosto edini način dnevne rekreacije. Tako se poveča kondicija in izboljšata zdravje ter počutje, kar ima vse merljive ekonomske učinke.

Seveda marsikje še vedno niso izpolnjeni osnovni pogoji, predvsem dostopnost s sredstvi javnega prometa, vendar je dejstvo, da so spremembe v mobilnosti nujne in čim dlje odlašamo, težji in dražji bodo prvi ukrepi. Tudi v prometno naprednih skandinavskih mestih so nekoč morali narediti prvi korak.

V mestnem središču bi morali privzeti vzorce prometne ureditve, kot jo poznajo na primer na Danskem. Ljubljana je majhna, ravna in večino leta povsem ugodna za kolesarjenje. Kolesarji bi po številnih mestnih cestah morali imeti prednost pred osebnimi vozili, saj mestu bolj koristijo kot avtomobili. Tu mislimo predvsem na intervale zelenih luči, ki bi bili za kolesarje daljši kot za avtomobile, in na prednost za kolesarje v prometu na križiščih, kjer se sekata kolesarska steza in navadna cesta. Na običajno parkirno mesto lahko parkiramo štiri do šest koles, kar pomeni, da bi marsikje lahko rešili težave s parkiranjem.

Podobno bi v mestnem središču, na primer po Slovenski cesti, prednost pred avtomobili lahko imeli pešci, interval zelene luči naj bi bil zanje daljši kot za motorni promet ali vsaj primerljivo dolg. Tako bi odvrnili številne, ki se vozijo skozi mestno središče, čeprav se njihova pot tam ne začne niti ne konča. Taki ukrepi postopno uvajajo umirjanje prometa v mestnih središčih, ves čas pa je treba intenzivno vlagati v razvoj modernih, učinkovitih in udobnih javnih prometnih sistemov, ki so sposobni nadomestiti individualni osebni prevoz. Šele ko so ti sistemi dovolj razviti, je zaračunavanje vstopa v mesto z osebnim avtomobilom primerno in navadno povzroči precej manjši odpor kot sicer.

Državni tranzit in regionalni promet v smereh severovzhod–jugozahod in severozahod–jugovzhod, ki sta prevladujoči prometni osi Slovenije, poteka tudi po ljubljanskem obroču. Toplotni otok, ki se v lepem in mirnem vremenu oblikuje nad mestom predvsem ponoči, povzroči tok zraka iz okolice proti središču. To pomeni tudi prenos onesnažil z obvoznice proti mestu, kar nakazuje, da je treba mestno prometno politiko usklajevati tudi na državni ravni in tovorni prevoz čim več preusmeriti na tire. Ideja o alpski borzi za tovorni promet, s katero bi določili kvote cestnih prevozov čez alpske dežele, je lahko rešitev. Tako bi, podobno kot pri trgovanju s kvotami ogljikovega dioksida, lahko trgovali z dovolilnicami za cestni tovorni promet v primerih, ko bi posamezne države presegle določeno kvoto. To bi ceno cestnega tovornega prevoza dvignilo, kar bi povečalo konkurenčnost železnice in vse prevoznike spodbujalo k večji učinkovitosti. Dolgoročno bi lahko železnica, po zgledu Švice in Avstrije, prevzela tudi pomemben del dnevnih migracij med večjimi mesti v Sloveniji. S tem imamo v mislih predvsem hitre, goste in cenovno konkurenčne povezave Ljubljane s Kranjem, Jesenicami, Škofjo Loko, Kamnikom, Celjem, Zagorjem, Mariborom, Velenjem, Novim mestom, Mursko Soboto in Kočevjem. Dnevne migracije iz Ljubljane v ta mesta ali iz njih se bodo v prihodnosti gotovo še povečevale, cestna infrastruktura glavnega mesta pa zaradi prostorskih omejitev ne bo sposobna prevzeti tega povečanja, kot že zdaj ne zmore prevzeti sedanjih obremenitev. Ne smemo pa zanemariti niti povezav med drugimi večjimi kraji. Ko govorimo o prometni obremenjenosti Ljubljane, se moramo vprašati po izvoru večine migracij. Cilj bi moral biti, da bi ljudje, ki se vozijo v Ljubljano iz drugih mest ali iz nekoliko bolj oddaljenega podeželja, svoja vozila pustili čim bližje svojemu domu, ne pa na pragu Ljubljane. V potniških centrih, na primer v Domžalah, Kamniku, Ivančni Gorici in še marsikje drugje, bi moral javni promet prevzeti dnevne migracije proti prestolnici. V tem primeru bi bil najbolj učinkovit tirni promet.

Gradnja dodatnih pasov na ljubljanskem obroču in izgradnja šentviškega predora kratkoročno pomenita sprostitev prometa, ki z Gorenjske prihaja v Ljubljano in obratno, ne pa tudi bistven padec onesnaževanja, saj bo onesnaževanja kratkoročno manj le zaradi manjšega števila zastojev. Dolgoročno pa bo predor pritegnil še več tranzitnega prometa, večje obremenitve in slabše stanje okolja. Še slabše so razmere na štajerskem

kraku avtoceste, ki je star le nekaj let in se že zdaj duši pod zastoji ob jutranji konici in le malo manj ob popoldanski. Ker cestni promet narašča, bo ta krak v nekaj letih verjetno pogosto povsem zasičen, nemotena komunikacija med Ljubljansko kotlino in Štajersko pa bo mogoča le po stari cesti.

Pri osveščanju bi se morali v promociji trajnostnega prometa povezati z zdravstvenimi službami, ki znajo ustrezno ovrednotiti škodljive vplive onesnaženega zraka na ljudi. Bolj kot globalni učinki onesnaževanja okolja, ki so sicer zelo pomembni, a posameznika največkrat ne prepričajo, so pri promociji trajnostnega načina prevoza pomembni učinki, ki jih ima onesnažen zrak na zdravje vseh ljudi v mestu. Le malo ljudi ve, da v Evropi vsako leto umre več ljudi zaradi prometnega onesnaževanja kot zaradi prometnih nesreč.

7.1 KATEGORIZACIJA PROSTORA OB CESTAH GLEDE NA KAKOVOST ZRAKA KOT POSLEDICA PROMETNIH EMISIJ

Na podlagi meritev in tipov prostora smo določili razrede onesnaženosti z dušikovim dioksidom, da bi določili stopnjo povprečne onesnaženosti s tem onesnažilom. Za cestni koridor in odprt prostor ob cestah velja, da je to petmetrski pas ob cestah. Določili smo razrede onesnaženosti, in sicer:

- majhna onesnaženost: do $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- zmerna onesnaženost: $20\text{--}40 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- velika onesnaženost: $40\text{--}60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in
- zelo velika onesnaženost: nad $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Upoštevali smo ciljno vrednost, oziroma letno mejno koncentracijo za varovanje zdravja ljudi, brez sprejemljivega preseganja. Taka bo začela veljati leta 2010, zato bo kategorizacija uporabna tudi po tem letu, ko se mejna koncentracija naj ne bi več spreminjala iz leta v leto.

Preglednica 28: Razredi onesnaženosti zraka z dušikovim dioksidom zaradi prometnega onesnaževanja.

Stopnja onesnaženosti zraka zaradi vpliva prometnega onesnaževanja	Koncentracija NO ₂ (µg/m ³)
majhna onesnaženost	do 20
zmerna onesnaženost	20–40
velika onesnaženost	40–60
zelo velika onesnaženost	nad 60

Nato pa smo za tipe prostora določili stopnjo povprečne onesnaženosti zraka z dušikovim dioksidom glede na prometno obremenitev in meritve.

Preglednica 29: Stopnja onesnaženosti v odvisnosti od prometnih obremenitev v petmetrskem pasu ob cesti za tipa cestni koridor in odprt prostor ob cestah, kjer smo opravljali meritve. Za ozadje in urbano ozadje velja le v splošnem oziroma je glede na nedoločljivost oddaljenosti prostora od ceste stopnja onesnaženosti majhna ali nedoločljiva.

	Prometna obremenjenost			
	majhna (3000– 10 000 vozil)	zmerna (10 000– 25 000 vozil)	velika (25 000– 40 000 vozil)	zelo velika (nad 40 000 vozil)
CESTNI KORIDOR	velika do	zelo velika	zelo velika	zelo velika
	zelo velika			
ODPRT PROSTOR OB CESTI	majhna do	zmerna do	velika do	zelo velika
	zmerna	velika	zelo velika	
URBANO OZADJE	majhna	nedoločljiva	nedoločljiva	nedoločljiva
OZADJE	majhna	majhna	majhna	majhna

V cestnem koridorju se že majhen dnevni promet, na primer pod 10 000 vozil, lahko odraža kot zelo velika, v najboljšem primeru pa velika onesnaženost z dušikovim dioksidom. K temu pripomore tudi počasna vožnja s pogostimi ustavljanji v mestni vožnji. Večje obremenjenosti pa vodijo v zelo veliko onesnaženost. Torej je edina rešitev za take koridorje ukinitve motornega prometa. Da omejitev prometa ne pomaga, nam dokazuje primer Poljanske ceste v Ljubljani, kjer je promet omejen, pa smo tam vseeno namerili najvišje koncentracije. Rešitev za take ceste bi bila vozila javnega prometa na električni pogon.

Za ceste zunaj koridorjev postane onesnaženost problematična pri cestah, po katerih dnevno vozi več kot 10 000 vozil, ko pa dnevni promet preseže 25 000 vozil, se koncentracije v petmetrskem pasu ob cestah že dvignejo nad dopustno raven. To je problem pri vpadnicah in drugih cestah, kjer sta neposredno ob cestišču urejena pločnik in kolesarska steza. Sicer pa v večini naselij v Sloveniji ceste svoje okolice ne onesnažujejo tako močno, da bi povprečne dnevne koncentracije dušikovega dioksida pomenile grožnjo zdravju. V krajših odsekih dneva, ko so prometne konice, pa izpostavljenost lahko postane velika, saj moramo upoštevati, da povprečne koncentracije upoštevajo tudi nočni čas, ko je prometa bistveno manj.

V urbanem ozadju vpliva enega vira ne moremo neposredno določiti, dejstvo pa je, da v mestih promet prispeva največji delež k izpustom dušikovih oksidov. Je pa zelo odvisno od lokacije, saj se onesnaženost v urbanem ozadju razlikuje med posameznimi lokacijami.

Zagotovo najmanj onesnažena območja z dušikovim dioksidom najdemo daleč stran od mest in drugih večjih naselij ter od večjih cest ali drugih pomembnejših virov. Tam še lahko brez skrbi zadihamo s polnimi pljuči in pri tem ne tvegamo večje izpostavljenosti dušikovemu dioksidu.

8 VIRI IN LITERATURA

Arhiv DRSC, podatki o prometnih obremenitvah, ki jih je posredoval A. Švigelj.

Arhiv MOL, zbirka podatkov o prometnih obremenitvah cest MOL, ki jih je posredoval M. Bajt.

Ayers, G. P., Keywood, M. D., Gillett, R., Manins, P. C., Malfroy, H., Bradsley T., 1998. Validation of passive diffusion samplers for SO₂ and NO₂. Atmospheric Environment 32, str. 3587–3592.

Čemas, D., 2004. Preliminarno poročilo projektov AIRPECO in PEOPLE. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, str. 8, URL: <http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/AIRPECOinPEOPLEporocilo.pdf>.

Bajt, M., 2006. Mobilnost v Ljubljani – izzivi in priložnosti. V: Cestni promet in okolje v mestu Ljubljana, CIPRA Slovenija, Ljubljana, str. 26–36.

Bush, T., Smith, S., Stevenson, K., Moorcroft, S., 2001. Validation of nitrogen dioxide diffusion tube methodology in the UK. Atmospheric Environment, 34, str. 289–296.

Cox, M. R., 2003. The use of passive sampling to monitor forest exposure to O₃, NO₂ and SO₂: a review and some case studies. Environmental pollution 126, 2003, str. 301–311.

Evaluation of Air Quality in Ljubljana (poročilo o projektu AIRPECO and PEOPLE). JRC, ARSO, IVZ: Air Quality, Human Exposure and Health Impact Assessment of Air Pollution in Slovenia, 2005, EUR 21649 EN.

Gilbert, N. L., Woodhouse, S., Stieb, D., Brook, R., 2003. Ambient nitrogen dioxide and distance from a major highway. The Science of the Total Environment 312, 2003, str. 43–46.

Jernej, S., 2000: Analiza klime mesta Ljubljana: z dodatkom aplikacij za uporabo klimatskih izhodišč pri načrtovanju rabe prostora. Gradec, Inštitut za geografijo Karl-Franzens Univerze, 252 strani.

Lej ga, tramvaj, 2002. Zavod za urbanizem MOL, Ljubljana, 8 strani.

Ljubljana, glavno mesto. 2006. Oddelek za informatiko – Služba za mestno statistiko in analize, Ljubljana, str. 11.

Loose, A., Jazbinšek - Seršen, N., Piltaver, A, 2006. Onesnaženje zraka v Ljubljani. V: Cestni promet in okolje v mestu Ljubljana, CIPRA Slovenija, Ljubljana, str. 42–51.

Možina, F., 2005. Mirujoči promet v Ljubljani. V: Trajnostna prometna politika v Sloveniji, CIPRA Slovenija, str. 53–64.

Ogrin, D., Čemas, D., Ogrin, M., Planinšek, A., 2006. Prometno onesnaževanje ozračja v Ljubljani znotraj avtocestnega obročja. Končno poročilo raziskovalnega projekta. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete, Ljubljana, 73 strani.

Ogrin, M., 2007. Proučevanje širjenja prometnega onesnaževanja v pokrajini z metodo difuzivnih vzorčevalnikov. Doktorska disertacija. Oddelek za geografijo FF, Ljubljana, 199 strani.

Otorepec, P. 2008. Posvet Ali še lahko zadihamo s polnimi pljuči. Ljubljana, september 2008.

Palmes, E. D., Gunnison, A. F., Di Mattio, J., Tomaczyk, C., 1976. Personal sampler for nitrogen dioxide. American Industrial Hygiene Association Journal 37, str. 570–577.

Planinšek, A. 2006. Onesnaženost zraka zaradi prometa v Ljubljani – trendi in potrebni ukrepi za izboljšanje stanja. V: Cestni promet in okolje v mestu Ljubljana, CIPRA Slovenija, Ljubljana, str. 51–64.

Špes, M., Lampič, B., Smrekar, A., 2000. Izstopajoči okoljski problemi v Ljubljani. V: Geografija Ljubljane, Oddelek za geografijo FF, Ljubljana, str. 51–82.

Plut, D., 2007. Ljubljana iz izzivi sonaravnega razvoja. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete v Ljubljani, Ljubljana, 183 strani.

Petkovšek, Z., Vrhovec, T., 2000. Zrak in onesnaženost 1. Meteorologija. Visoka šola za zdravstvo, 87 strani.

Pichler Milanović, N., 2005. Ljubljana: From »Beloved« City of the Nation to Central European »Capital«. Transformation of Cities in Central and Eastern Europe: Towards Globalisation, United Nations University Press, str. 318–363.

Prispevek k pripravi lokalne Agende 21 mesta Ljubljane in doseganja ciljev Heidelberške deklaracije županov. 1997. Ljubljana: Holding mesta Ljubljane.

Projekt SILAQ – Meritve PM10 in PM2,5 delcev, Agencije Republike Slovenije za okolje, Poročilo o projektu. 2008. URL: http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20pu_blikacije/silaq.pdf (citirano 6. 8. 2008).

Program varstva okolja za Mestno občino Ljubljana – delovna verzija. 2005. Oikos, Domžale, 128 strani.

Prometne obremenitve 2004. Direkcija Republike Slovenije za ceste (podatki o obremenitvah prometa na državnih cestah v Sloveniji). URL: http://www.dc.gov.si/fileadmin/dc.gov.si/pageuploads/pdf_datoteke/Prometne_obremenitve_2004_preglednica.PDF (citirano 6. 6. 2007).

Prometne obremenitve 2005. Direkcija Republike Slovenije za ceste (podatki o obremenitvah prometa na državnih cestah v Sloveniji). URL: http://www.dc.gov.si/fileadmin/dc.gov.si/pageuploads/Stetje_prometa/Prometne_obremenitve_2005.PDF (citirano 6. 6. 2007).

Prostorski plan MOL – zasnova prostorskega razvoja (gradivo za razpravo). 2001. MOL – Oddelek za urbanizem, Ljubljana, 116 strani.

Statistični letopis Ljubljane, 2005. MOL – Center za informatiko, Služba za mestno statistiko in analiza, Ljubljana, 272 strani.

Strategija trajnostnega razvoja mesta Ljubljana – predlog strategije, 2001. Oddelek za urbanizem in okolje MOL, Ljubljana, 92 strani.

Uradni list RS, št. 18/2003.

Uredba o ozonu v zunanjem zraku. (UL RS 8/2003) URL: <http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=20038&stevilka=283> citirano 4. 11. 2008)

Uredba o žveplovm dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku (UL RS 52/2002, priloga 1 in priloga 2). URL: http://www.uradni-list.si/_pdf/2002/Ur/u2002052.pdf (citirano 22. 5. 2007).

Vinjarnoorl, D. V., Ling, Ch. S., 1981. Personal monitoring method for nitrogen dioxide and sulphur dioxide with solid sorbent sampling and ion chromatographic determination. Analytical Chemistry 53, str. 1689–1691.

9 SEZNAM PREGLEDNIC

Preglednica 1: Promet na nekaterih večjih cestah v Ljubljani.	11
Preglednica 2: Delež osebnih vozil in vseh vrst tovornjakov ter avtobusov na nekaterih cestah v Ljubljani.	12
Preglednica 3: Mejne vrednosti za delce.	17
Preglednica 4: Sprejemljivo preseganje za delce.	17
Preglednica 5: Povprečne koncentracije delcev v Ljubljani za Bežigradom.	18
Preglednica 6: Število dni, ko so bile presežene mejne vrednosti delcev PM ₁₀ na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad.	18
Preglednica 7: Koncentracije delcev med 17. marcem in 1. aprilom 2003 ter med 20. majem in 1. julijem 2003.	19
Preglednica 8: Mejne vrednosti za ozon.	21
Preglednica 9: Število dni s preseženo ciljno vrednostjo za ozon (120 µg/m ³).	22
Preglednica 10: Vrednosti AOT ₄₀ za ozon.	22
Preglednica 11: Povprečne koncentracije ozona v Ljubljani med 25. avgustom in 14. septembrom 2005.	24
Preglednica 12: Mejna vrednost in sprejemljivo preseganje za benzen.	26
Preglednica 13: Zgornji in spodnji ocenjevalni prag za benzen.	26
Preglednica 14: Koncentracije benzena med 28. februarjem in 14. marcem 2006.	28
Preglednica 15: Korekcijski faktorji pri merilnih kampanjah.	34
Preglednica 16: Relativna pogostnost vetra (v %) na postajah Bežigrad in Figovec v Ljubljani med poletno kampanjo od 25. avgusta do 14. septembra 2005.	40
Preglednica 17: Povprečna hitrost vetra (v m/s) na postajah Bežigrad in Figovec v Ljubljani med poletno kampanjo od 25. avgusta do 14. septembra 2005.	41
Preglednica 18: Relativna pogostnost vetra (v %) med zimsko kampanjo za dušikov dioksid na postajah Figovec in Bežigrad od 24. januarja do 7. februarja 2006.	43
Preglednica 19: Povprečna hitrost vetra med zimsko kampanjo za dušikov dioksid na postajah Figovec in Bežigrad od 24. januarja do 7. februarja 2006.	44
Preglednica 20: Zakonodaja v RS določa naslednje mejne vrednosti in sprejemljivo preseganje za dušikove okside:	51
Preglednica 21: Ocenjevalni prag za koncentracijo dušikovega dioksida.	52

Preglednica 22: Vrednosti merilnih parov v cestnem koridorju poleti (od 25. avgusta do 14. septembra 2005) in pozimi (od 24. januarja do 7. februarja 2006) ter njihove razlike.	53
Preglednica 23: Ocena letne onesnaženosti v cestnem koridorju v obdobju poletje 2005 – poletje 2006.	54
Preglednica 24: Primerjava koncentracij dušikovega dioksida na merilnih parih ob cestah zunaj cestnega koridorja med poletno kampanjo (od 25. avgusta do 14. septembra 2005) in zimsko kampanjo (od 24. januarja do 7. februarja 2006).	57
Preglednica 25: Ocena letne onesnaženosti ob cestah zunaj cestnega koridorja za obdobje poletje 2005 – poletje 2006.	58
Preglednica 26: Primerjava koncentracij dušikovega dioksida na merilnih mestih urbanega ozadja med poletno kampanjo (od 25. avgusta do 14. septembra 2005) in zimsko merilno kampanjo (od 24. januarja do 7. februarja 2006).	59
Preglednica 27: Ocena letne onesnaženosti v urbanem ozadju za obdobje poletje 2005 – poletje 2006.	60
Preglednica 28: Razredi onesnaženosti zraka z dušikovim dioksidom zaradi prometnega onesnaževanja.	78
Preglednica 29: Stopnja onesnaženosti v odvisnosti od prometnih obremenitev v petmetrskem pasu ob cesti za tipa cestni koridor in odprt prostor ob cestah, kjer smo opravljali meritve.	78

10 SEZNAM SLIK

Slika 1: Število dni s preseženo ciljno vrednostjo za ozon ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$).	22
Slika 2: Koncentracije ozona v Ljubljani 16. julija 2003.	23
Slika 3: Povprečne koncentracije ozona v Ljubljani med 25. avgustom in 14. septembrom 2005.	25
Slika 4: Koncentracije benzena, ki so jim bile izpostavljene različne skupine ljudi glede na način mobilnosti in glede na kadilce in nekadilce.	27
Slika 5: Koncentracije dušikovega dioksida v Ljubljani; preračun na letno raven s pomočjo samodejnih meritev.	29
Slika 6: Palmesov difuzivni vzorčevalnik.	32
Slika 7: Palmesovi difuzivni vzorčevalniki pripeti na ograji ob avtocesti.	33
Slika 8: Kvadrasti zaklon pripet na stebru žičnate ograje ob avtocesti.	35
Slika 9: Ovalni zaklon na semaforju Slovenske ceste.	36
Slika 10: Temperaturne razmere v Ljubljani med poletno kampanjo od 25. avgusta do 14. septembra 2005.	37
Slika 11: Padavine v Ljubljani med poletno kampanjo od 25. avgusta do 14. septembra 2005.	38
Slika 12: Relativna pogostnost vetra (v %) na postajah Bežigrad in Figovec v Ljubljani med poletno kampanjo od 25. avgusta do 14. septembra 2005.	39
Slika 13: Povprečna hitrost vetra (v m/s) na postajah Bežigrad in Figovec v Ljubljani med poletno kampanjo od 25. avgusta do 14. septembra 2005.	40
Slika 14: Povprečne dnevne temperature v Ljubljani med zimsko kampanjo od 24. januarja do 7. februarja 2006.	42
Slika 15: Relativna pogostnost vetra (v %) na postajah Bežigrad in Figovec v Ljubljani med zimsko kampanjo za dušikov dioksid od 24. januarja do 7. februarja 2006.	42
Slika 16: Povprečna hitrost vetra (v m/s) med zimsko kampanjo za dušikov dioksid na postajah Figovec in Bežigrad od 24. januarja do 7. februarja 2006.	44
Slika 17: Merilna mesta, kjer so potekale meritve vsaj enega onesnažila.	46
Slika 18: Cestni koridor na Slovenski cesti.	48
Slika 19: Ob Tržaški cesti pri Dolgem mostu je pozidava dovolj razredčena in oddaljena od ceste, da ne prihaja do posebnega učinka cestnega koridorja.	49

Slika 20: Merilno mesto urbanega ozadja na Rutarjevi ulici na Viču.	50
Slika 21: Povprečne koncentracije dušikovega dioksida v cestnem koridorju Slovenske ceste.	55
Slika 22: Meritve so pokazale, da je cestni koridor na začetku Poljanske ceste kljub delni omejitvi prometa močno onesnažen z dušikovim dioksidom, saj je od vseh merilnih mest v raziskavi dosegel najvišje povprečne koncentracije.	56
Slika 23: Merilno mesto pred predorom pod Ljubljanskim gradom smo uvrstili med navadna merilna mesta, čeprav je mesto specifično, saj predor predstavlja povečan vir onesnažil.	58
Slika 24: Koncentracije dušikovega dioksida v Ljubljani.	60, 61
Slika 25: Onesnaženost zraka z dušikovim dioksidom ob zahodni obvoznici med 3. in 8. majem 2004.	62
Slika 26: Potek koncentracij dušikovega dioksida v povprečnem prečnem profilu Šmartno.	63
Slika 27: Povprečna onesnaženost zraka z dušikovim dioksidom ob avtocesti Ljubljana–Podtabor v Šmartnem pod Šmarno goro kot posledica prometa.	64
Slika 28: Povprečna onesnaženost zraka z dušikovim dioksidom ob cesti Ljubljana–Kranj kot posledica prometa.	65
Slika 29: Povprečna onesnaženost zraka z dušikovim dioksidom v Blagovici, ob stari cesti Ljubljana–Celje.	66
Slika 30: Povprečna onesnaženost zraka z dušikovim dioksidom v Podmilju, ob stari cesti Ljubljana–Celje.	67
Slika 31: Potek koncentracij dušikovega dioksida v povprečnem profilu Cankarjeva – Čopova.	68
Slika 32: Onesnaženost zraka z dušikovim dioksidom na Cankarjevi in Čopovi ulici med 25. avgustom in 14. septembrom 2005.	70
Slika 33: Onesnaženost zraka z dušikovim dioksidom na Cankarjevi in Čopovi ulici med 24. januarjem in 7. februarjem 2006.	70

STVARNO KAZALO

Alpe	15
AOT40	20, 22, 23
cestni promet	7, 9, 19, 77
ciljna vrednost za varovanje zdravja ljudi	21
ciljna vrednost za varstvo rastlin	21
cvetni prah	17
delci	15, 16, 17, 18, 19, 20
difuzija	15, 31
difuzivni vzorčevalnik	23, 31, 32, 33, 45
disperzija	49
dizelski motor	15
dolina Črnega grabna	65, 66, 67
enotna vozovnica	13
Fickov zakon difuzije	31
fotokemični smog	20, 23, 25
javni promet	47, 75, 76
jezero hladnega zraka	15
kolesarska steza	13, 76, 79
kolesarski pas na vozišču	13
ksilen	26
laminaren tok	34
megleni dan	16
mestna obvoznica	10
mestni smog	49
mestni toplotni otok	38, 41, 42, 76
meteorski prah	17
molekularna difuzija	15
morska sol	17
OMS MOL	16, 26, 28
ozon pri tleh	20, 21
ozonska luknja	20
Palmesov difuzivni vzorčevalnik	31, 32, 33
povprečni letni dnevni promet	11, 47, 69
prah	15, 17, 19
predhodniki ozona	25
projekt AIRPECO	23, 29
projekt PEOPLE	71
projekt SILAQ	17, 19
radiacijski tip vremena	15
rumeni pas	13, 74
spodnji ocenjevalni prag	18, 26, 52
toplarna	7, 11, 12, 16
toplotni obrat	15, 35, 44
trajnostni prometni načrt	75
tri-etanol amin	31, 34
troposferski ozon	20, 21
turbulentna difuzija	15
vulkanski pepel	17
zemeljski plin	74
zgornji ocenjevalni prag	18, 26, 52

O avtorju

Matej Ogrin, rojen leta 1975, je leta 2002 diplomiral na Oddelku za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Podiplomski študij je končal leta 2007 z doktorsko disertacijo Proučevanje prometnega onesnaževanja ozračja z metodo difuzivnih vzorčevalnikov. Zaposlen je na Oddelku za geografijo kot asistent s področja fizične geografije, pokrajinske ekologije in geografije prometa. Znanja in prakse okoljevarstvenih vsebin je dopolnjeval z delom v mednarodni organizaciji CIPRA, ki se ukvarja z varstvom in trajnostnim razvojem alpskega sveta ter z okoljskim osveščanjem in trajnostno prometno politiko.

Poudarki iz recenzije

Dr. Matej Ogrin je znotraj geografskega koncepta in konteksta prikazal hierarhično strukturiran metodološki pristop za sistematično znanstveno in strokovno spoznavanje stopnje odvisnosti in časovnega ter prostorskega poteka koncentracij dušikovega dioksida, ki ga povzročajo prometni tokovi. Knjiga prinaša nova spoznanja o tistih prostorskih razmerjih, ki so pomembna za členitev in kategorizacijo prostora ob cestah z vidika prometnih emisij, in so zato ena temeljnih strokovnih izhodišč za oblikovanje kratkoročnih in dolgoročnih ukrepov za izboljšanje stanja na področju prometnega onesnaževanja ozračja.

dr. Andrej Černe

GeograFF

Monografije iz serije GeograFF predstavljajo izvirne raziskovalne dosežke in rezultate znanstvenega ter strokovnega dela sodelavcev Oddelka za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Namenjene so strokovni javnosti, študentom, učiteljem geografije in vsem, ki jih zanimajo poglobljene razlage aktualnih prostorskih procesov, problemov in izzivov.