

Aerozagađenje prilikom eksploatacije autoputa Gradiška – Banja Luka

Nebojša Knežević^a, Danijela Knežević^b

^a Institut za građevinarstvo "IG" d.o.o., Kralja Petra I Karađorđevića 92-98., 78000 Banja Luka

^b Univerzitet Singidunum, Beograd, Srbija

PODACI O RADU

DOI: 10.31075/PIS.69.01.03

Originalni naučni rad

Primljen: 17.01.2023.

Prihvaćen: 21.02.2023.

Korespondent autor: e-mail

knezneso@gmail.com

Кljučне речи:

Aerozagađenje

Autoput

Kvalitet vazduha

Monitoring

REZIME

Aerozagađenje predstavlja koncentraciju štetnih materija preko tolerantne granice (maksimalno dozvoljene koncentracije – MDK), međutim, ova će koncentracija ovisiti ne samo o intenzitetu izvora zagađivanja, nego i od lokalnih uslova u pogledu zračnih strujanja, padavina, konfiguracije terena itd. Djelovanje aerozagađenja na stanovništvo može biti direktno i indirektno. Aerozagađenje direktno oštećuje i pogoršava zdravlje ljudi, dok se njegovo indirektno djelovanje ispoljava putem štetnog uticaja na domaće životinje, vegetaciju, materijalna i kulturna dobra. Saobraćaj je glavni zagađivač vazduha azotnim oksidom. Takođe, utvrđeno je da saobraćaj značajno učestvuje u zagađenju vazduha i česticama prašine PM₁₀, sumpordioksidom SO₂, kao i ugljenmonoksidom CO. U ovom radu su prikazani rezultati mjerenja aerozagađenja koji su osnova za dalju ocjenu kvaliteta vazduha kada je u pitanju eksploatacija autoputa Gradiška – Banja Luka.

1. Uvod

Dionica magistralnog puta M16 od Gradiške do Banjaluke, saobraćajno najopterećenija dionica u Republici Srpskoj, predstavlja dio evropskog puta E661 i pripada koridoru sjever-jug koji prolazi kroz Banjaluku. Put M16 prolazi od granice Hrvatske u Gradišci, kroz Novu Topolu, Laktaše i Klašnice do Banjaluke, a zatim prema Mrkonjić Gradu, Jajcu i južno ka Livnu i Splitu u Hrvatskoj, i tako povezuje Banjaluku sa Hrvatskom granicom na sjeveru, kao i Pan-evropskim koridorom X, i sa granicom Hrvatske na jugu i Jadranskim morem [10,11].

Zagađenje vazduha se može očekivati usljed emisije izduvnih gasova vozila, prije svega ugljenmonoksida (CO), azotnih oksida (NO_x), sumpordioksida (SO₂), ugljovodonika (C_xH_y), olova (Pb) i čestica čađi i prašine. Može se očekivati prekoračenje propisanih graničnih vrijednosti, koje se odnose na srednje godišnje koncentracije, za rastojanja koja nisu veća od 30 m od ivice kolovoza. Ovo je posljedica prvenstveno saobraćajnog opterećenja i slobodnih koridora bez ivične izgradnje [1,2]. Zbog toga je bilo neophodno obaviti određena ispitivanja kvaliteta vazduha na području predmetne dionice. Ti podaci će obezbijediti realnu sliku kvaliteta vazduha u toku rada autoputa [3,4].

Praksa koja se dugo zadržala u analizama aerozagađenja, da se kao jedini predstavnik aerozagađivača uzima ugljenmonoksid (CO) danas je prevaziđena. Smatra se naime vrlo bitnim da se u ove analize pored ugljenmonoksida uključe i oksidi azota, oksidi sumpora, ugljovodonici, olovo i čestice čađi. Porast broja vozila sa dizel-motorima naročito je povećao značaj azotovih oksida što je potencirano i prelaskom na bezolovni benzin. Istraživanja su takođe pokazala da su oksidi azota, s obzirom na dozvoljene vrijednosti, često bliže granici ili iznad nje nego što je to slučaj sa ugljenmonoksidom [5,6,7].

2. Uticaji mjerodavnih aerozagađivača

Svaka analiza vezana za negativno dejstvo aerozagađivača u principu mora obuhvatiti širok obim dosadašnjih saznanja vezanih za ovu problematiku, iz jednostavnog razloga što su još uvijek prisutni u velikoj mjeri neusaglašeni stavovi o karakteru negativnih uticaja, i što se samo tako može steći pouzdan utisak o još uvijek otvorenim pitanjima iz ovog domena [8,9]. U tom smislu danas se mogu sistematizovati saznanja koja opisuju karakter ovih uticaja prvenstveno s obzirom na ljude, životinje, biljke i materijale. Imajući u vidu karakter puta koji je predmet ovog istraživanja kao i karakter prostornih cjelina u njegovoj uticajnoj zoni smatralo se za potrebno da se uticaji pojedinih aerozagađivača detaljnije definišu [12,13].

U kontekstu navedenih činjenica potrebno je predhodno istaći da danas postoji sasvim mali broj istraživanja koja integralno razmatraju negativna uzajamna dejstva pojedinih aerogađivača. Postojeća iskustva pokazuju da u principu dolazi do sabiranja ovih uticaja ali da su jednako mogući i pojačani uticaji (sinergizam) kao i da je prisutna neutralizacija pojedinih uticaja [14,15].

2.1. Ugljenmonoksid

Osnovna manifestacija uticaja ugljenmonoksida na ljude prvenstveno se odražava kroz njegovo vezivanje sa hemoglobinom čime se istiskuje kiseonik i otežava njegov transport kroz organizam. Negativna dejstva ugljenmonoksida koja se ispoljavaju i pri relativno niskim koncentracijama posljedica su prije svega 240 puta većeg afiniteta prema hemoglobinu nego što je ima kiseonik. Posljedica toga su obično smetnje u ravnoteži, očne smetnje, slabljenje koncentracije, teškoće pri disanju ili glavobolje. Opšti zaključak u vezi sa ovom pojavom je već prihvaćena činjenica da se koncentracija CO u hemoglobinu od 2% može smatrati beznačajnom dok koncentracije veće od 2.5% predstavljaju kritičnu vrijednost. Dejstvo ugljenmonoksida na biljke može se smatrati beznačajnim [16,17]. Ova činjenica se može smatrati relevantnom i sa stanovišta dejstva na građevinske materijale. Sve iznesene činjenice pokazuju da je problematika ugljenmonoksida prvenstveno izražena u domenu dejstva na ljude i sa tog stanovišta je i ima smisla razmatrati u sklopu ukupnih negativnih uticaja [18,19].

2.2. Oksidi azota

Dejstvo azotmonoksida na čovjeka slično je dejstvu ugljenmonoksida, dolazi naime do istiskivanja kiseonika iz krvi čime je ugroženo snabdevanje tkiva. Velika koncentracija azotmonoksida u krvi izaziva smrt. Činjenica je međutim da su koncentracije azotmonoksida koje se pojavljuju u atmosferi jedva škodljive ali je njihov značaj kao aerogađivača bitan prvenstveno zbog stvaranja azotdioksida (NO₂) koji je toksičniji i naročito štetan za disajne organe [20,21]. Iz navedenih konstatacija izvode se i granične vrijednosti koje se zakonski propisuju. Dejstvo azotnih oksida na biljke ispoljava se prvenstveno kroz uticaje azotdioksida. Njegovo štetno dejstvo ogleda se prvenstveno kroz voštani izgled lišća, nekrozu i prevremeno opadanje. S obzirom na ove uticaje u svijetu se danas smatra da su sve vrste biljaka zaštićene od uticaja oksida azota za dugotrajne koncentracije od 0.03 mg/m³ [22,23].

2.3. Ugljovodonici

Proces sagorevanja u automobilskom motoru rezultira pojavu mnogobrojnih ugljovodonika. Konkretno analize njihovih uticaja vezuju se prvenstveno za pet grupa (parafini, nafteni, olefini i alkini, aromati, oksidirani

ugljovodonici). Onu što daje obeležje njihovom negativnom uticaju svakako je činjenica da se policikličnim aromatičnim ugljovodoncima pripisuje kancerogeno dejstvo. Danas je već dokazana veza između prisustva ugljovodonika u vazduhu i pojave kancerogenih oboljenja pluća. Dejstvo ugljovodonika na biljke je dosta kompleksno i ogleda se u velikom broju smetnji [24]. Visoke koncentracije prouzrokuju nekrozu cvetova i listova a niže opadanje lišća i teškoće pri cvetanju. Veoma osjetljive biljke reaguju i pri vrlo niskim koncentracijama ugljovodonika. Uticaj ugljovodonika na građevinske materijale pouzdano nije dokazan [25,26].

2.4. Sumpordioksid

Vežano za problematiku sumpordioksida kao aerogađivača potrebno je naglasiti da se saobraćaj samo u manjoj mjeri javlja kao uzročnik ove pojave. S obzirom na uticaje sumpordioksida na čovjeka potrebno je istaći da on sjedinjen sa finim prašinom ima izraženo štetno dejstvo na sluzokožu (oči) i disajne puteve. Uticaj sumpordioksida na biljni svijet je značajno izražen i ogleda se prvenstveno u razgrađivanju hlorofila i odumiranju pojedinih tkiva. S obzirom na sumpordioksid posebno su se pokazale osjetljivim vrste zimzelenih šuma koje trpe štete već kod koncentracija od 0.05 mg/m³. Od svih aerogađivača sumpordioksid ima najizraženije dejstvo na građevinske objekte. Sumpordioksid u zajednici sa vlagom reaguje kao sumporasta kiselina i tako razarajuće deluje na organske materije. Kako se ove reakcije mogu odvijati i pri najmanjim koncentracijama značajno je svakako razmatranje ovih pojava vezano za istorijsku i umjetničku vrijednost pojedinih objekata. Sve štete nastale na ovaj način rastu sa porastom temperature, vlažnošću vazduha i intenziteta svetlosti. Funkcionalne zavisnosti koje bi povezivale ove pojave još uvijek ne postoje pa je u tom smislu i otežano vrednovanje negativnih posljedica [27,28].

2.5. Olovo i njegova jedinjenja

Vežano za problematiku olova i njegovih jedinjenja danas je sasvim izvjesno da sa namirnicama čovjek svakodnevno unosi u organizam znatno veće količine nego što ih dobija preko disajnih organa, dakle iz atmosfere. Trajna izloženost zagađenjima od olova dovodi do hroničnih trovanja koja se prvenstveno manifestuju u vidu gubljenja apetita, stomaćnih tegoba, zamora, vrtoglavice, oštećenja bubrega i nesvjestica. Ostala je međutim još uvijek dilema o prihvatljivim granicama koncentracije olova u atmosferi. Rezultat navedenih činjenica je i "privremeni" karakter maksimalno dozvoljenih koncentracija olova u nekim zemljama. Toksičnost olova u odnosu na vegetaciju je mala. Koncentracije olova u biljkama su u visokoj korelaciji sa sadržajem olova u tlu. Inače prisustvo olova u biljkama smanjuje njihovu sposobnost rasta kao i aktivnost enzima [29,30].

3. Metodologija

Mjerni instrumenti i metode mjerenja koji su korišteni prilikom utvrđivanja kvaliteta vazduha na predmetnoj dionici autoputa, su sljedeći:

Tabela 1. Mjerni instrumenti i metode mjerenja

P 6	Naziv mjerne/ispitne opreme	Proizvođač	Tip	Mjerni opseg	Metoda mjerenja
1	Analizator SO ₂	HORIBA, JAPAN	APSA-370	0-1000 µg/m ³	BAS EN 14212:2013 ultravioletna fluorescencija*
2	Analizator NO/NO ₂ /NO _x	HORIBA, JAPAN	APNA-370	NO: 0- 1200 µg/m ³ (0- 960 ppb) NO ₂ : 0- 500 µg/m ³ (0- 260 ppb)	BAS EN 14211:2013 hemiluminiscencija*
3	Analizator CO	HORIBA, JAPAN	APMA-370	0- 100 mg/m ³	BAS EN 14626:2013 nedisperzivna infracrvena spektroskopija*
4	Analizator O ₃	HORIBA, JAPAN	APOA-370	0- 500 µg/m ³	BAS EN 14625:2013 ultravioletna fotometrija*
5	Gravimetrijski uzorkivač čvrstih čestica TSP, PM ₁₀ i PM _{2.5}	Digitel AG Hegnau, Švajcarska	DPA14	-	BAS EN 12341:2015 standardna gravimetrijska metoda*
6	Elektronička vaga METTLER TOLEDO	Mettler Toledo GmbH, Švajcarska	XPR206 DR/M	0,01mg/0,005 mg-220gr	-

Izvor: (Institut za građevinarstvo „IG“ doo Banja Luka)



Slika 2. Elektronička vaga METTLER TOLEDO
Izvor: (Institut za građevinarstvo „IG“ doo Banja Luka)



Slika 3. Analizatori SO₂, NO/NO₂/NO_x, CO, O₃ HORIBA JAPAN
Izvor: (Institut za građevinarstvo „IG“ doo Banja Luka)



Slika 1. Gravimetrijski uzorkivač čvrstih čestica TSP, PM₁₀ i PM_{2.5}
Izvor: (Institut za građevinarstvo „IG“ doo Banja Luka)

Uredbom o vrijednostima kvaliteta vazduha („Službeni glasnik Republike Srpske“ br. 124/12) utvrđene su granične i tolerantne vrijednosti kvaliteta vazduha u cilju zaštite zdravlja ljudi, vegetacije i prirodnih eko-sistema, kao i maksimalne dozvoljene koncentracije zagađujućih materija u vazduhu u slučaju namjenskih mjerenja [27,28]. Vrijednosti kvaliteta vazduha prema navedenoj uredbi predstavljaju numeričke vrijednosti graničnih vrijednosti nivoa zagađujućeg materija u vazduhu, i to donje i gornje granice ocjenjivanja kvaliteta vazduha, kritičnih nivoa, granica tolerancije i tolerantnih vrijednosti, ciljnih vrijednosti i dugoročnih ciljeva zagađujućih materija u vazduhu, koncentracija opasnih po zdravlje ljudi i koncentracije o kojima se izvještava javnost. Nivo zagađujućih materija vazduha prati se mjerenjem koncentracija za sumpor dioksid, azot dioksid i okside azota, suspendovane čestice (PM₁₀, PM_{2,5}), olovo, benzen, ugljen monoksid, prizemni ozon, arsen, kadmijum, živu, nikl, benzo(a)piren i čađ u vazduhu, instrumentima za automatsko mjerenje i/ili uzimanjem uzoraka analizom.

Granične i tolerantne vrijednosti i granice tolerancije za sumpor dioksid, azot dioksid i ugljen monoksid date su u sljedećoj tabeli:

Tabela 2. Granične, tolerantne vrijednosti i granice tolerancije za zaštitu zdravlja ljudi

Period uzorkovanja	Granična vrijednost	Granica tolerancije	Tolerantna vrijednost
Sumpordioksid			
Jedan sat	350 µg/m ³	150 µg/m ³	500 µg/m ³
Jedan dan	125 µg/m ³	-	125 µg/m ³
Kalendar ska godina	50 µg/m ³	-	50 µg/m ³
Azotdioksid			
Jedan sat	150 µg/m ³	75 µg/m ³	225 µg/m ³
Jedan dan	85 µg/m ³	40 µg/m ³	125 µg/m ³
Kalendar ska godina	40 µg/m ³	20 µg/m ³	60 µg/m ³
Suspendovane čestice PM₁₀			
Jedan dan	50 µg/m ³	25 µg/m ³	75 µg/m ³
Kalendar ska godina	40 µg/m ³	8 µg/m ³	48 µg/m ³
Ugljenmonoksid			
Maksimalna dnevna osmočasovna vrijednost	10 mg/m ³ (1000 µg/m ³)	6 mg/m ³ (6000 µg/m ³)	16 mg/m ³ (16000 µg/m ³)
Jedan dan	5 mg/m ³ (5000 µg/m ³)	5 mg/m ³ (5000 µg/m ³)	10 mg/m ³ (10000 µg/m ³)
Kalendar ska godina	3 mg/m ³ (3000 µg/m ³)	-	3 mg/m ³ (3000 µg/m ³)

Izvor: (Uredba o vrijednostima kvaliteta vazduha („Službeni glasnik Republike Srpske“ br. 124/12).

Tabela 3. Ciljna vrijednost za prizemni ozon

Ciljna vrijednost za prizemni ozon		
Cilj	Period računanja prosječne vrijednosti	Ciljna vrijednost
Zaštita zdravlja ljudi	Maksimalna dnevna osmočasovna srednja vrijednost	120 µg/m ³

Izvor: (Uredba o vrijednostima kvaliteta vazduha („Službeni glasnik Republike Srpske“ br. 124/12).

U zoni i aglomeracijama u kojima je nivo predmetnih zagađujućih materija, ispod graničnih vrijednosti utvrđenih gore datim tabelama, potrebno je da se koncentracije zagađujućih materija zadrže na nivou ispod graničnih vrijednosti. Za zagađujuće materije za koje nije propisana granica tolerancije, kao tolerantna vrijednost uzima se njihova granična vrijednost [27].

Granične i tolerantne vrijednosti osnova su za:

- ocjenjivanje kvaliteta vazduha,
- podjelu zona i aglomeracija u kategoriji na osnovu nivoa zagađenja vazduha i
- upravljanje kvalitetom vazduha.

Granične vrijednosti nivoa zagađujućih materija u vazduhu koje su propisane ovom Uredbom ne smiju se prekoračiti kad se jednom postignu. Koncentracije opasne po zdravlje ljudi za sumpor dioksid, azot dioksid i prizemni ozon u vazduhu, date su u sljedećoj tabeli:

Tabela 4. Koncentracije sumpor dioksida i azot dioksida opasne po zdravlje ljudi

Zagađujuća materija	Koncentracija opasna po zdravlje ljudi
Sumpor dioksid	500 µg/m ³
Azot dioksid	400 µg/m ³

Izvor: (Uredba o vrijednostima kvaliteta vazduha („Službeni glasnik Republike Srpske“ br. 124/12).

Tabela 5. Koncentracije prizemnog ozona opasne po zdravlje ljudi i koncentracije o kojima se izvještava javnost

Svrha	Period usrednjavanja	Granica
Obaveštenje	1 sat	180 µg/m ³
Upozorenje	1sat*	240 µg/m ³

*U zoni ili aglomeraciji utvrđuju se ili predviđaju prekoračenja granice u toku tri uzastopna sata, a u cilju donošenja kratkoročnih akcionih planova radi zaštite zdravlja ljudi ili životne sredine po potrebi.

Izvor: (Uredba o vrijednostima kvaliteta vazduha („Službeni glasnik Republike Srpske“ br. 124/12).

Koncentracije opasne po zdravlje ljudi mjere se tokom tri uzastopna sata na lokacijama reprezentativnim za kvalitet vazduha na području čija površina nije manja od 100 km², ili u zoni ili aglomeracijama, ako je njihova površina manja [27,28].

3.1. Proračun emisija aerozagađivača

Bez obzira na sve iznijete stavove o teškoćama vezanim za kvantifikaciju parametara aerozagađenja kao i nepostojanje standardizovanih procedura može se na sadašnjem stepenu poznavanja ove problematike ipak doći do podataka koji mogu korisno, i sa dovoljnom tačnošću, poslužiti za donošenje zaključaka o negativnim uticajima. Treba međutim naglasiti da nam za kvantifikaciju parametara aerozagađenja kao posljedice putnog saobraćaja danas na raspolaganju ipak stoje postupci različitog nivoa detaljnosti prvenstveno u funkciji od broja faktora koji se u analize uključuju.

U svim situacijama kada analize aerozagađenja treba da posluže kao osnova za procjenu nepovoljnih uticaja, što je sigurno domen ovog rada, onda njihova prezentacija mora biti takva da nedvosmisleno ukazuje na suštinu problema. U tom smislu se kao korisno pokazuje relativiziranje i unifikacija emisija, obično preko srednje godišnje vrijednosti u mg/m³.

Imajući u vidu sve iznesene činjenice koje se odnose na pokazatelje aerозагађења, uticajne факторе, могућности њихове квантификације, конкретне услове из домена студијског истраживања као и ниво анализе дефинисан фазом планске и пројектне документације, прораћун емисија аерозагађивача је извршен на нивоу средњих годишњих вриједности као мјеродавних и вриједности 95-тог перцентила као показатеља очекиваних краткотрајних концентрација.

3.2. Metodologija прораћуна

Прораћун концентрација аерозагађивача за карактеристичне попречне пресеке аутопута извршен је уз помоћ развијеног компјутерског програма чије се основе заснивају на поставкама модела дефинисаног у смјерницама за прораћун загађење ваздуха на путевима (Merkblatt über Luftverunreinigungen an Strassen, MluS-90). Параметри компонената аерозагађивача у виду средњих годишњих вриједности и вриједности 95-тог перцентила одређени су на бази детерминистичке законитости експоненцијалног облика:

$$K_i(s) = K_i^* \times g(s) \times f_{vi} \times f_u, u \text{ [mg/m}^3\text{]}$$

гдје је:

- K^{*}_i - референтна концентрација поједине компоненте (i) при тлу на ивици коловоза,
- g (s) - функција ширења штетних материја,
- f_{vi} - функција којом се узимају у обзир специфични подаци о саобраћају,
- f_u - функција помоћу које се узима у обзир брзина вјетра.

Ова једначина за концентрацију при тлу не примјењује се за азот-диоксид. Издувни гасови моторних возила садрже 97% до 98% азот-монооксида, а само 2% до 3% азот-диоксида. Како са удаљењем од извора загађења долази до претварања NO у NO₂, функција опаданја која важи за инертне штетне материје не може се примјенити на азот - диоксид. Претварање NO у NO₂ уз истовремено разријеђивање штетне материје је сложен процес. Помоћу статистичких поступака регресије које се заснивају на вишегодишњим мјерењима на путевима, са приличном тачношћу се могу утврдити имисије NO₂ помоћу формуле:

$$g_{NO_2}(s) = 1 - 0,088 \times \ln(1 + s)$$

Утицај метеоролошких фактора на концентрације аерозагађивача уводи се у прораћун кроз функцију: f_w = f(u), гдје је (u) брзина вјетра у имисионој таћи.

Резултат прораћуна (следеће тabelle) су средње годишње вриједности и 98-и перцентил за све дефинисане компоненте отпадних гасова. За потребе овог дијела истраживања мјеродавне концентрације су одређене на различитим растојанијима од коловоза са једне и друге стране уважавући на тај начин и утицај метеоролошких фактора.

Пројекције концентрације загађујућих материја у ваздуху, су извршене за случајеве најучесталијег вјетра на посматраном подручју (у овом случају сјеверни ветар), чија јаћина износи 1,8 м/с (метеоролошка станица Бања Лука).

Тabela 6. Prognozirane концентрација загађујућих материја у ваздуху на дionici Градишка – Бања Лука, при брзини вјетра од 1,8 м/с

Концентрација загађујућих материја (mg/m ³)	Удаљењост од коловоза (m)						
	1.0	3.0	5.0	10.0	20.0	50.0	100.0
Угљен моноксид (sr)	0,3542	0,3081	0,2812	0,2409	0,1979	0,1390	0,0936
Угљен моноксид (max)	1,0991	0,9562	0,8726	0,7476	0,6143	0,4314	0,2905
Угљоводон ици (sr)	0,0585	0,0509	0,0465	0,0398	0,0327	0,0230	0,0155
Угљоводон ици (max)	0,1755	0,1527	0,1394	0,1194	0,0981	0,0689	0,0464
Азот моноксид (sr)	0,2785	0,2423	0,2211	0,1895	0,1557	0,1093	0,0736
Азот моноксид (max)	0,8654	0,7529	0,6871	0,5887	0,4837	0,3397	0,2287
Азот диоксид (sr)	0,1597	0,1494	0,1433	0,1342	0,1245	0,1113	0,1010
Азот диоксид (max)	0,4963	0,4641	0,4452	0,4170	0,3869	0,3457	0,3139
Олово (sr)	0,0003 9	0,0003 4	0,0003 1	0,0002 6	0,0002 2	0,0001 5	0,0001 0
Олово (max)	0,0011 7	0,0010 2	0,0009 3	0,0008 0	0,0006 6	0,0004 6	0,0003 1
Сумпор диоксид (sr)	0,0162	0,0141	0,0129	0,0110	0,0091	0,0064	0,0043
Сумпор диоксид (max)	0,0502	0,0436	0,0398	0,0341	0,0280	0,0197	0,0133
Ћађ (sr)	0,0024	0,0021	0,0019	0,0016	0,0013	0,0009	0,0006
Ћађ (max)	0,0073	0,0063	0,0058	0,0050	0,0041	0,0029	0,0019

На основу претходних закључака евидентно је, дакле, да негативни утицаји аерозагађења на људе, животиње и објекте нису од посебног значаја у оквиру анализаног коридора. Са становишта утицаја различитих аерозагађивача на биљни свијет, овај феномен је значајан због карактеристика површина у непосредној близини трасе која пролази кроз ненасељено подручје са очуваном животном средином. Добијене концентрације показују да негативне последице треба очекивати само у непосредној близини аутопута. Иако су студије о саобраћају утврдиле пораст годишњег просјека дневног саобраћаја, сматра се да се емисије oneћишћујућих твари у ваздух неће даље повећавати због:

- Развоја мотора у аутомобилској индустрији (директно убрзгивање горива, turbo-пуњење, аутоматска деактивација непотребних цилиндара, start-stop систем, смањење потрошње горива),
- Развоја третмана издувних плинова (употреба оксидацијских катализатора, редукција гаса селективним катализаторима, употреба филтера за смањење емисије крутих честица),

- Upotrebe hibridnih vozila,
- Upotrebe električnih vozila,
- Poboljšanja kvaliteta goriva.

4. Stepен загађености ваздуха на autoputu Gradiška – Banja Luka

Za ocjenu kvaliteta ваздуха u toku eksploatacije autoputa Gradiška – Banja Luka na lokaciji petlja Berek, petlja Čatrnja i petlja Mahovljani, obavljeno je sedmodnevno mjerenje, imisijskih koncentracija pomoću mobilne stanice opremljene odgovarajućim mjernim analizatorima i uzorkivačem za kvalitet ваздуха.



Slika 4. Satelitski snimak lokacije – petlja Berek
Izvor: (Google Earth)

Koordinate mjerne pozicije – petlja Berek:

- 45° 2'56.60"N
- 17°12'39.21"E



Slika 5. Satelitski snimak lokacije – petlja Čatrnja
Izvor: (Google Earth)

Koordinate mjerne pozicije – petlja Čatrnja:

- 45° 6'39.63"N
- 17°11'33.48"E



Slika 6. Satelitski snimak lokacije – petlja Mahovljani
Izvor: (Google Earth)

Koordinate mjerne pozicije – petlja Mahovljani:

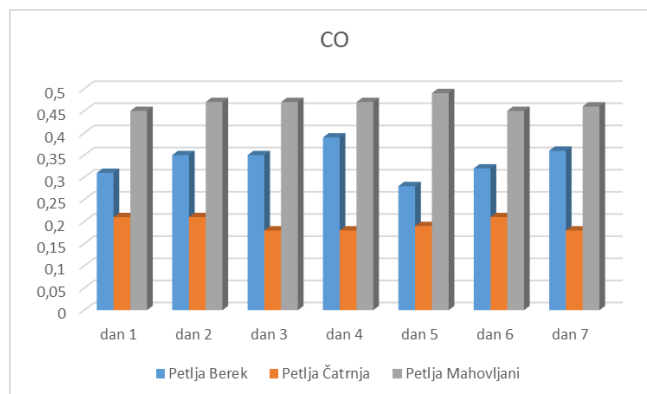
- 44° 55'6.19"N
- 17°71'46.95"E

Mjerenje kvaliteta ваздуха obuhvatilo je sljedeće parametre:

- Ugljenmonoksid SO
- Azotovi oksidi NO, NO₂, NO_x
- Ozon O₃
- Sumpordioksid SO₂
- Suspendovane čestice PM₁₀

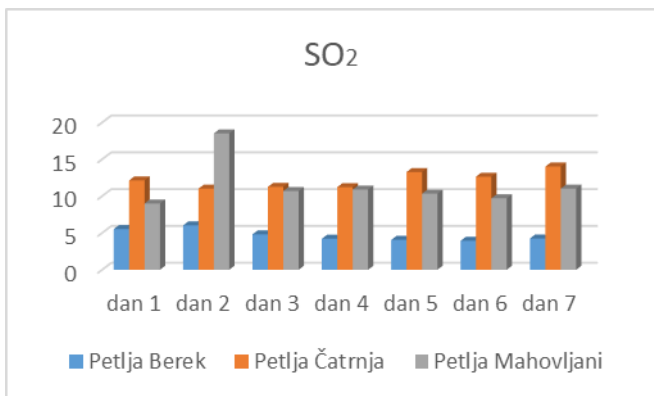
5. Rezultati laboratorijskih ispitivanja

U cilju utvrđivanja sadržaja загађујуćih materija u ваздуху u toku eksploatacije autoputa Gradiška – Banja Luka, na lokaciji petlja Berek, petlja Čatrnja i petlja Mahovljani, izvršeno je sedmodnevno mjerenje imisionih koncentracija ugljenmonoksida (CO), sumpordioksida (SO₂), ozona (O₃), azotnih oksida (NO, NO₂, NO_x) i suspendovanih čestica (PM₁₀). Mjerenje sadržaja navedenih polutanata u ваздуху obavljeno je u mjesecu februaru (petlja Berek), maju (petlja Čatrnja) i junu (petlja Mahovljani) 2022. godine, pomoću pokretne stanice opremljene odgovarajućim analizatorima i uzorkivačem.

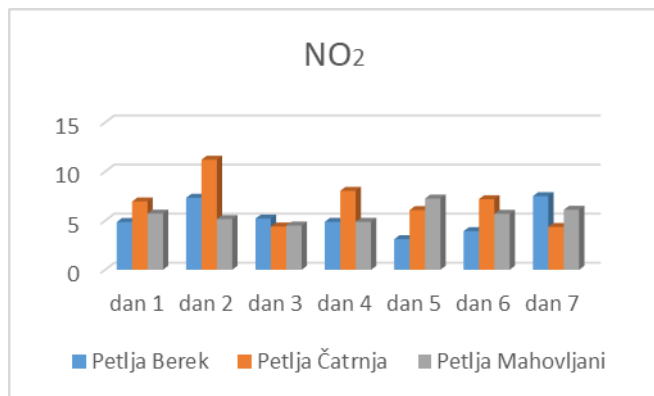


Slika 7. Grafički prikaz dnevnog kretanja srednjih imisijskih koncentracija CO u toku eksploatacije autoputa Gradiška - Banja Luka

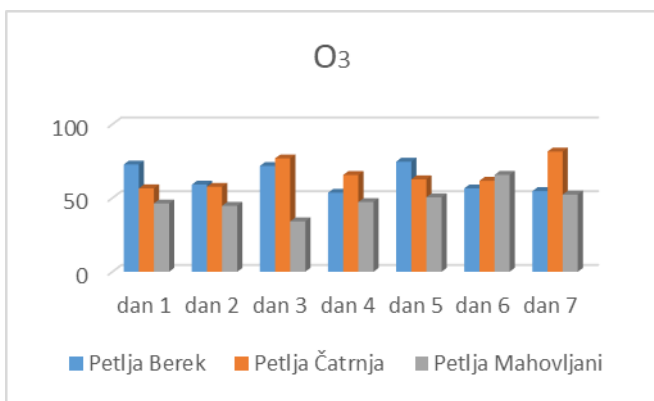
Izvor: (Institut za građevinarstvo „IG“ doo Banja Luka)



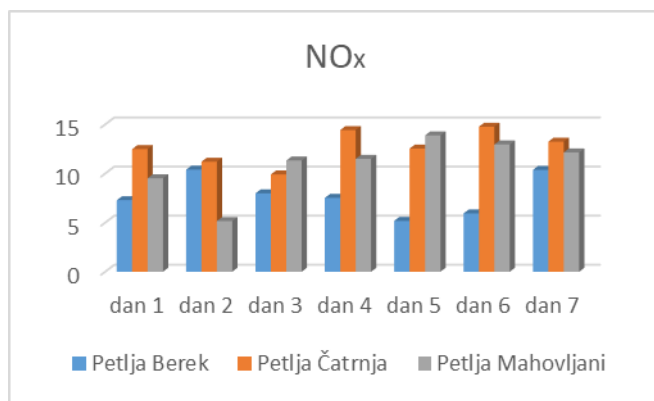
Slika 8. Grafički prikaz dnevnog kretanja srednjih imisijskih koncentracija SO₂ u toku eksploatacije autoputa Gradiška - Banja Luka
Izvor: (Institit za građevinarstvo „IG“ doo Banja Luka)



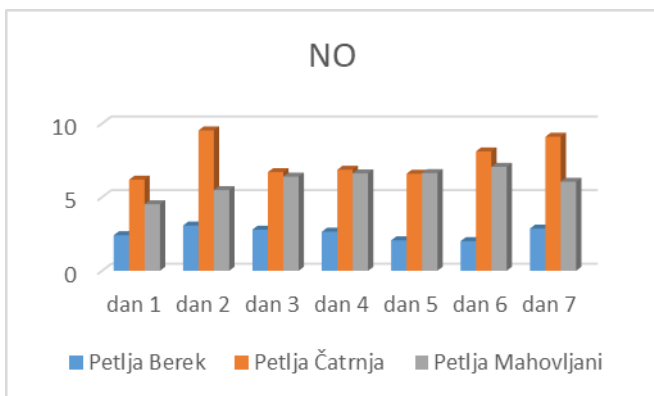
Slika 11. Grafički prikaz dnevnog kretanja srednjih imisijskih koncentracija NO₂ u toku eksploatacije autoputa Gradiška - Banja Luka
Izvor: (Institit za građevinarstvo „IG“ doo Banja Luka)



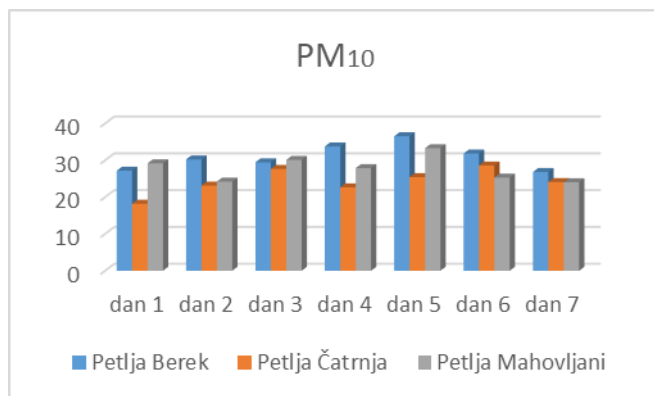
Slika 9. Grafički prikaz dnevnog kretanja srednjih imisijskih koncentracija O₃ u toku eksploatacije autoputa Gradiška - Banja Luka
Izvor: (Institit za građevinarstvo „IG“ doo Banja Luka)



Slika 12. Grafički prikaz dnevnog kretanja srednjih imisijskih koncentracija NO_x u toku eksploatacije autoputa Gradiška - Banja Luka
Izvor: (Institit za građevinarstvo „IG“ doo Banja Luka)



Slika 10. Grafički prikaz dnevnog kretanja srednjih imisijskih koncentracija NO u toku eksploatacije autoputa Gradiška - Banja Luka
Izvor: (Institit za građevinarstvo „IG“ doo Banja Luka)



Slika 13. Grafički prikaz dnevnog kretanja srednjih imisijskih koncentracija PM₁₀ u toku eksploatacije autoputa Gradiška - Banja Luka
Izvor: (Institit za građevinarstvo „IG“ doo Banja Luka)

Iz grafičkih prikaza vidljivo je da dnevna kretanja srednjih imisijskih koncentracija CO, SO₂, O₃, NO, NO₂, NO_x i PM₁₀ u vazduhu u toku mjernog perioda, na sve tri lokacije, u toku eksploatacije autoputa Gradiška - Banja Luka, nisu prelazile propisanu graničnu vrijednost za 24h i u toku jednog dana.

3. Zaključak

Na osnovu izvršenog mjerenja koncentracija zagađujućih materija u vazduhu i dobijenih rezultata na području mjernih mjesta na autoputu Gradiška – Banja Luka na lokaciji petlja Berek, petlja Čatrnja i petlja Mahovljani, može se zaključiti da je kvalitet vazduha zadovoljavajući, odnosno da dobijene vrijednosti ne prekoračuju granične vrijednosti propisane Uredbom o vrijednostima kvaliteta vazduha (Službeni Glasnik Republike Srpske broj: 124/12).

Dosadašnje analize otpadnih gasova koji nastaju kao produkt rada automobilskih motora pokazuju postojanje čak nekoliko stotina štetnih organskih i anorganskih komponenata. Za većinu od njih još uvek nisu poznati dovoljno prihvatljivi zakoni kojima bi se moglo opisati njihovo nastajanje, a svi u istoj mjeri nisu ni štetni s obzirom na životnu sredinu. U tom smislu se danas sve analize vezane za problematiku aerozagađenja temelje na nekoliko pokazatelja za koje se, sa prihvatljivom tačnošću, može doći do numeričkih podataka.

Praksa koja se dugo zadržala u analizama aerozagađenja, da se kao jedini predstavnik aerozagađivača uzima ugljenmonoksid (CO) danas je prevaziđena. Smatra se naime vrlo bitnim da se u ove analize pored ugljenmonoksida uključe i oksidi azota, oksidi sumpora, ugljovodonici, olovo i čestice čađi. Porast broja vozila sa dizel-motoroma naročito je povećao značaj azotovih oksida što je potencirano i prelaskom na bezolovni benzin.

Istraživanja su takođe pokazala da su oksidi azota, s obzirom na dozvoljene vrijednosti, često bliže granici ili iznad nje nego što je to slučaj sa ugljenmonoksidom. Sve iznesene činjenice uslovele su da se kao mjerodavne komponente aerozagađenja, za analize iz okvira ovog studijskog istraživanja, usvoje: ugljenmonoksid (CO), azotmonoksid (NO), azotdioksid (NO₂), sumpordioksid (SO₂), ugljovodonici (C_xH_y), olovo (Pb) i čestice čađi (CC).

Svaka analiza vezana za negativno dejstvo aerozagađivača u principu mora obuhvatiti širok obim dosadašnjih saznanja vezanih za ovu problematiku, iz jednostavnog razloga što su još uvijek prisutni u velikoj mjeri neusaglašeni stavovi o karakteru negativnih uticaja, i što se samo tako može steći pouzdan utisak o još uvijek otvorenim pitanjima iz ovog domena.

U tom smislu danas se mogu sistematizovati saznanja koja opisuju karakter ovih uticaja prvenstveno s obzirom na ljude, životinje, biljke i materijale. Imajući u vidu karakter puta koji je predmet ovog istraživanja kao i karakter prostornih cjelina u njegovoj uticajnoj zoni smatralo se za potrebno da se uticaji pojedinih aerozagađivača detaljnije definišu. U kontekstu navedenih činjenica potrebno je prethodno istaći da danas postoji sasvim mali broj istraživanja koja

integralno razmatraju negativna uzajamna dejstva pojedinih aerozagađivača. Postojeća iskustva pokazuju da u principu dolazi do sabiranja ovih uticaja ali da su jednako mogući i pojačani uticaji (sinergizam) kao i da je prisutna neutralizacija pojedinih uticaja.

Na osnovu svega navedenog, generalni zaključak je sprovođenje monitoringa koncentracije zagađujućih materija, kao osnovna mjera zaštite u toku eksploatacije autoputa. Monitoring bi trebalo provoditi na lokacijama gdje autoput prolazi kroz naselja, na dionicama sa većim nagibom nivelete i PGDS-om, te u blizini tunelskih portala.

Pored monitoringa, potrebno je zasaditi zaštitne zelene pojaseve uz autoput radi sprečavanja širenja zagađenja. Zvučne barijere takođe sprečavaju i širenje zagađujućih materija, a djelotvornost im zavisi o visini. Hortikulturno urediti i zatravniti pojas unutar ograde radi smanjenja uticaja emisija izduvnih gasova.

Air pollution during operation of the Gradiška - Banja Luka highway

Nebojša Knežević^a, Danijela Knežević^b

^a Institut za građevinarstvo "IG" d.o.o., Kralja Petra I Karađorđevića 92-98., 78000 Banja Luka

^b Univerzitet Singidunum, Beograd, Srbija

Abstract: Air pollution represents the concentration of harmful substances over the tolerance limit (maximum permissible concentration - MDK), however, this concentration will depend not only on the intensity of the source of pollution, but also on local conditions in terms of air currents, precipitation, terrain configuration, etc. The effect of air pollution on the population can be direct or indirect. Air pollution directly damages and worsens people's health, while its indirect effect manifests itself through a harmful effect on domestic animals, vegetation, material and cultural assets. Traffic is the main air pollutant with nitrogen oxide. Also, it was determined that traffic significantly contributes to air pollution and dust particles PM10, sulfur dioxide SO₂, as well as carbon monoxide CO. This paper presents the results of air pollution measurements, which are the basis for further assessment of air quality when it comes to the operation of the Gradiška - Banja Luka highway.

Keywords: Air pollution, Highway, Air quality, Monitoring

Literatura

- [1] B.Arsenović: „Hemija i biohemija životne sredine“ Nezavisni univerzitet Banja Luka, 2013.
- [2] Baldauf R.W., E. Thoma, A. Khlystov, V. Isakov, G.E. Bowker, T. Long, R. Snow, 2008b. Impacts of Noise Barriers on Near-Road Air Quality, Atmospheric Environment (in press).
- [3] Baldauf, R.W., W. Crews, R. Snow, and P. Gabele, 2005. Criteria and Air Toxic Emissions from In-Use, Low Emission Vehicles, Journal of the Air & Waste Management Association, 55:1263- 1268.
- [4] Brunekreef, B.; Janssen, N.A.H.; de Hartog, J.; Harssema, H.; Knape, M.; van Vliet, P. Air Pollution from Truck Traffic and Lung Function in Children Living near Motorways; Epidemiol. 1997, 8, 298-303.
- [5] Baldauf, R.W., E. Thoma, M. Hays, R. Shores, J. Kinsey, B. Gullett, S. Kimbrough, V. Isakov, T. Long, R. Snow, A. Khlystov, J. Weinstein, F. Chen, R. Seila, D. Olson, I. Gilmour, S. Cho, N. Watkins, P. Rowley, J. Bang, 2008a. Traffic and Meteorological Impacts on Near Road Air Quality: Summary of Methods and Trends from the Raleigh Near Road Study, J. Air & Waste Manage Assoc. 58:865–878.
- [6] California Environment Protection Agency, Air Resource Board, 2000. Public meeting to consider approval of revisions to the state's on-road motor vehicle emissions inventory. Technical Support Document.
- [7] Đuković J, Bojanić V. Aerozagađeње, Institut zaštite i ekologije, Banja Luka, 2000.
- [8] Gaćeša, D.: „Bezbjedonosni aspekti zaštite životne sredine u RS-rizici i prijetnje, Bezbjednost i zaštita u Republici Srpskoj i Bosni i Hercegovini, stanje i perspektive.
- [9] Ilić, P. (2015): Zagađeње i kontrola kvaliteta vazduha u funkciji zaštite životne sredine. Nezavisni univerzitet, Banja Luka.
- [10] Jokanović I, Knežević N. (2006): Pokazatelji stanja životne sredine u toku rehabilitacije puteva u RS, Međunarodna konferencija „Put i životna sredina“, Institut za puteve a.d Beograd, Tara, jun 2006. pp. 297-302.
- [11] Jokanović I, Knežević N. (2006): Organizacija i izvršenje monitoringa životne sredine tokom radova rehabilitacije puteva u RS, Međunarodna konferencija „Put i životna sredina“, Institut za puteve a.d Beograd, Tara, jun 2006. pp. 291-296.
- [12] Jordan Aleksić, M. Adžemović: skripta Sistem ekološke bezbjednosti.
- [13] Knežević N, Cukur S, Dunović S, Knežević D. (2016): Procjena o uticaju na životnu sredinu prilikom izgradnje i modernizacije regionalnog puta R435, Nevesinje - Berkovići u dužini od 19,14 km, Drugi srpski kongres o putevima, Srpsko društvo za puteve „Via Vita“, Beograd, jun 2016.
- [14] Knežević N, Milunović I, (2022): Air quality measurement on the location of the highway section on corridor Vc, Johovac - FBiH border, Journal of Road and Traffic Engineering, LXVIII, 3/2022, 11-18.
- [15] Kim, J.J., Smorodinsky, S., Lipsett, M., Singer, B.C., Hogdson, A.T., Ostro, B., 2004. Trafficrelated Air Pollution Near Busy Roads: The East Bay Children's Respiratory Health Study. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 170(5), 520-526.
- [16] Lolić, B. (1989): Uticaj onečišćenja atmosfere na funkcionalne promjene pluća i učestalost respiratornih bolesti kod djece-Magistarski rad, Zagreb.
- [17] N.Božić: „Kvalitet vazduha u regionu SI BiH i značaj informisanja o kvalitetu“; Studija o kvalitetu vazduha u SI BiH; Centar za ekologiju i energiju, Tuzla 2009.
- [18] N.Đurić, N.Božić, R.Babić, B.Stojanović, M.Vidaković: „Monitoring ukupnih azotnih oksida u vazduhu grada Bijeljine“; UDC 504.3.054.(497.6 Bijeljina); Tehnički institut Bijeljina; Arhiv za tehničke nauke, G III, NO 3.
- [19] Platt, U. In Air Monitoring by Spectroscopic Techniques; Sigrist, M, Ed.; Wiley: New York, 1994; pp 27-84.
- [20] Pešević, D, Knežević, N. (2018): Uticaj gradilišta dijela autoputa Banja Luka - Doboj na kvalitet životne sredine, 1st Internacional Conference "The Holistic Approach to Environment", Association for Promotion of Holistic Approach to Environment, Sisak, septembar 2018, pp. 590-601
- [21] Radić, R, Knežević, N, Lazić, V, Arsenović, B. (2006): Uticaj lebdećih čestica na kvalitet vazduha u gradu Banjaluci, XX Simpozijum o koroziji i zaštiti materijala, Crnogorsko društvo za zaštitu materijala i životne sredine, Podgorica, decembar 2006. pp. 129-134.
- [22] Roorda-Knape, M., Janssen, N., De Harthog, J., Van Vliet, P., Harssema, H., Brunekreef, B., 1998a. Air pollution from traffic in city districts near major motorways. Atmospheric Environment 32, 1921–1930.
- [23] Roorda-Knape, M., Janssen, N., De Harthog, J., VanVliet, P., Harssema, H., Brunekreef, B., 1998b. Air pollution from traffic in city districts near major motorways. Atmospheric Environment 32, 1921–1930.
- [24] Russwurm, G.M. Compendium Method T0-16 Long-Path Fourier Transform Infrared Monitoring of Atmospheric Gases; EPA/625/R-96/010b; U.S. Environmental Protection Agency; Center for Environmental Research Information, Office of Research and Development: Cincinnati, OH, 1999.
- [25] Reponen, T., Grinshpun, S.A., Trakumas, S., Martuzevicius, D., Wang, Z.M., LeMasters, G., Lockey, J.E., Biswas, P., 2003. Concentration gradient patterns of aerosol particles near interstate highways in the Greater Cincinnati airshed. Journal of Environmental Monitoring 5(4), 557-562.
- [26] Standard Guide for Open-Path Fourier Transform Infrared (OP/FT-IR) Monitoring of Gases and Vapors in Air. 2002 ASTM Standard Designation E 1865-97; American Society for Testing and Materials: West Conshohocken, PA, 2002.
- [27] Uredba o vrijednostima kvaliteta vazduha (Sl. glasnik RS, br. 124/12).
- [28] Zakon o zaštiti vazduha (Sl. glasnik RS broj 124/11 i 46/17).
- [29] Zhu, Y., Hinds, W.C., Kim, S.K., Shen, S., Sioutas, C., 2002. Study of ultrafine particles near a major highway with heavy-duty diesel traffic. Atmospheric Environment 36, 4323-4335.
- [30] Zhu, Y., Hinds, W.C., Kim, S., Sioutas, C., 2002. Concentration and size distribution of ultrafine particles near a major highway. Journal of the Air and Waste Management Association, accepted for publication.