

**X Naučno/stručni simpozij sa međunarodnim učešćem
"METALNI I NEMETALNI MATERIJALI" Bugojno, BiH, 24-25.april 2014.**

**MODELIRANJE DISPERZIJE ZAGAĐUJUĆIH MATERIJA
EMITOVANIH IZ CESTOVNOG SAOBRAĆAJA NA PODRUČJU
ZENICE PRIMJENOM SOFTVERSKOG MODELA AERMOD**

**DISPERSION MODELLING POLLUTANTS EMITTED FROM ROAD
TRAFFIC IN THE AREA ZENICA USING SOFTWARE MODEL
AERMOD**

**Mr. sc. Jusuf Borić i Prof. dr. sc. Šefket Goletić
Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici
72000 Zenica, BiH**

Kategorizacija rada: Stručni rad

SAŽETAK

Problem narušenog kvaliteta zraka na području Zenice je primarno posljedica emitovanja štetnih materija iz industrijskih i termoenergetskih postrojenja, lokalnih kotlovnica, a onda i iz cestovnog saobraćaja, što je iniciralo različita istraživanja s ciljem analize i ocjene emisije i njenih uticaja na kvalitet zraka te iznalaženje rješenja za poboljšanje i zaštitu kvaliteta zraka i integralno upravljanje kvalitetom zraka, čime se osiguravaju uvjeti za zaštitu zdravlja stanovništva i održivo upravljanje okolišem.

Istraživanje provedeno u ovom radu je bazirano na modeliranju disperzije zagađujućih materija (CO, NO_x i PM₁₀) emitovanih i cestovnog saobraćaja na urbanom području Zenice primjenom pogodnog softverskog modela Aermod.

Ključne riječi: cestovni saobraćaj, emisija iz cestovnog saobraćaja, modeliranje disperzije polutanata, kvalitet zraka.

ABSTRACT

The problem of deteriorated air quality in the area of Zenica is primarily due to the emission of harmful substances from industrial and thermal power plants, local boilers, and then from road traffic, which has initiated various studies to analyze and evaluation of emissions and their impact on air quality, and finding solutions for improve and protect air quality, and finding solutions for improve and protect air quality and integrated management of air quality, thus ensuring conditions for the protection of public health and sustainable environmental management.

Research conducted in this paper is based on modeling the dispersion of pollutants (CO, NO_x, and PM₁₀) emission from road traffic in the urban area of Zenica use of suitable software model Aermod.

Keywords: road transport, emissions from road transport, dispersion modeling of pollutants, air quality.

1. UVOD

Saobraćajna zagušenost čini gradove manje ugodnim za život i smanjuje prometnu učinkovitost, povećavajući vrijeme putovanja, potrošnju goriva i onečišćenje zraka. Glavni izvor onečišćenja i pogoršavanja kvaliteta zraka u gradskim sredinama, pored zagrijavanja

stanova, jeste cestovni saobraćaj, koji se smatra glavnim izvorom CO, NO_x, nestabilnih organskih jedinjenja (VOC), kao i značajan izvor emisije CO₂ koji doprinosi povećanju efekta staklene bašte (tzv. "Greenhouse" efekta). [1]

Kvalitet zraka u gradskom području ponajviše zavisi od saobraćaja cestovnih vozila koji emitujući štetne materije kroz izduvni sistem direktno utiču na kvalitet topografskog zraka, zdravlje ljudi i ekosisteme, stvarajući višestruke ekološke posljedice, doprinoseći stvaranju fotohemijskog smoga, pojavi kiselih kiša, a uzročnik su i globalnog zagrijavanja. Ispušni plinovi sadrže preko 500 organskih i anorganskih tvari. Njihov sastav ovisi o vrsti i kvalitetu korištenog goriva, stupnju izgaranja i režimu rada motora. Emisija štetnih tvari ovisi prvenstveno o veličini i strukturi prometa, dinamici vožnje (slobodan tok, zastoji), jačini izvora i trajanju emisije, starosti i općem stanju vozila. Zbog toga onečišćavanje zraka produktima sagorjevanja goriva u motornim vozilima u cestovnom saobraćaju u današnje vrijeme postaje najvažniji problem urbanih sredina širom svijeta. [2, 3]

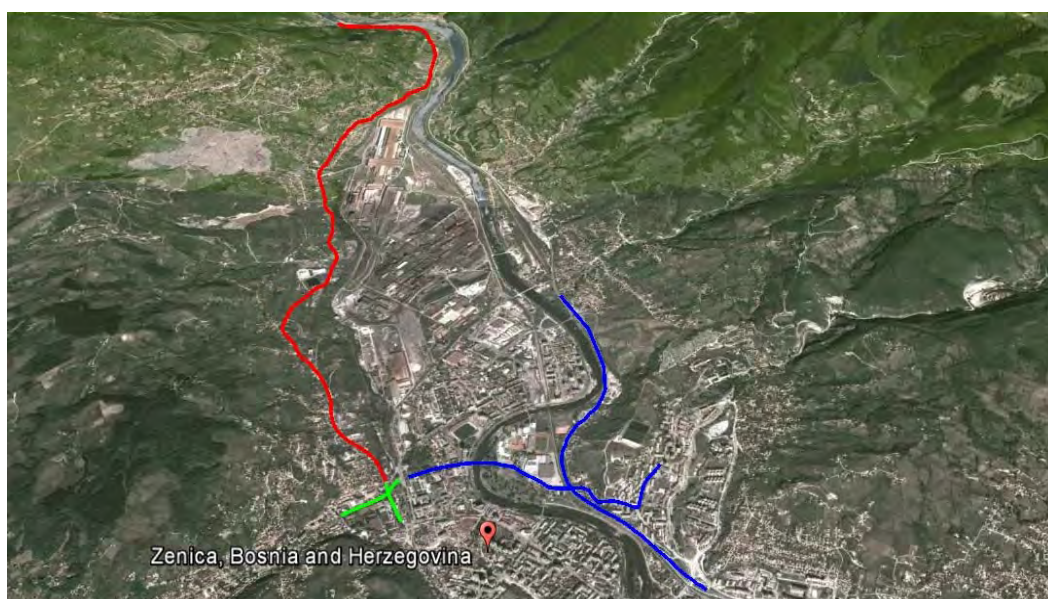
U ovom radu je analiziran uticaj cestovnog saobraćaja, odnosno linijskih izvora na kvalitet zraka u urbanom području Zenice modeliranjem disperzije emitovanih polutanata (CO, NO_x, i PM₁₀) iz cestovnog saobraćaja primjenom softverskog programa Aermოდ.

2. MODELIRANJE DISPERZIJE ZAGAĐUJUĆIH MATERIJA EMITOVANIH IZ CESTOVNOG SAOBRAĆAJA NA PODRUČJU ZENICE PRIMJENOM SOFTVERSKOG PAKETA AERMOD

Modeliranje disperzije polutanata (CO, NO_x, i PM₁₀) emitovanih iz cestovnog saobraćaja primjenom softverskog paketa Aermოდ u urbanom području Zenice vršeno je za tri definisane dionice:

- magistralni put M17 Zenica (južni ulaz u grad, Drveni most) – Zenica (sjeverni ulaz u grad, petlja Blatuša);
- raskrsnica "Univerzitetski kampus" (ul. Fakultetska - ul. S.Radića - ul. ZANOBIH-a - Travnička cesta (R 441));
- dionica od raskrsnice kod pravoslavne crkve do Banloza.

Na slici 1. dat je prikaz dionica saobraćajnica u urbanom području Zenice za koje je izvršeno modeliranje disperzije emitovanih polutanata (CO, NO_x, i PM₁₀) u definisanoj domeni.



Slika 1. Položaj definisanih dionica u urbanom području Zenice (domena za modeliranje).

2.1. Ulazni parametri za modeliranje disperzije plutanata emitovanih iz cestovnog saobraćaja

Za procjenu (modeliranje) disperzije koncentracija polutanata iz linisjkih izvora pomoću softverskog paketa Aermud potrebno je poznavati više ulaznih parametara, koji se mogu svrstati u tri osnovne grupe: podaci o emisiji polutanata, meteorološki podaci, podaci o orografskim karakteristikama (reljefu) istraživanog geoprostora. [4]

Za procjenu rasprostiranja zagađujućih materija emitovanih iz cestovnog saobraćaja softverski alat Aermud mora raspolagati sa podacima o emisiji polutanata, što se za odabrane polutante i dionice saobraćajnica izražava u tonama po godini (t/g), odnosno tonama po kilometru (t/km) ili gramima po kilometru (g/km) vozilo.

Nakon pokretanja softverskog programa Aermud unose se podaci prikazani u tabeli 1, koji se odnose na emisiju duž obuhvaćenih dionica saobraćajnica za odabrane polutante (CO, NO_x i PM₁₀). Podaci o emisiji CO, NO_x i PM₁₀ su uzeti iz Studije "Utjecaj saobraćaja na okoliš na području Zeničko-dobojskog kantona" Fakulteta za saobraćaj i komunikacije u Sarajevu iz 2009. [1]

Tabela 1. Godišnja emisija CO, NO_x i PM₁₀ duž odabranih dionica saobraćajnica u urbanom području grada Zenica.

Saobraćajnica (dionica)	Dionica 1 (M-17: južni ulaz u grad i sjeverni ulaz u grad Zenicu)			Dionica 2			Dionica 3		
	CO	NO _x	PM ₁₀	CO	NO _x	PM ₁₀	CO	NO _x	PM ₁₀
Emisija (t/g)	70,323	45,144	3,564	125,29	80,443	6,358	22,33	14,333	1,463
Emisija po kilometru (t/km)	0,803	0,517	0,044	96,382	61,875	4,895	2,992	1,914	0,198
Emisija (g/km vozilo)	0,407	0,253	0,022	7,161	4,598	0,363	1,243	0,792	0,077

U tabeli 2. su dati podaci o meteorološkim parametrima za područje Zenice dobiveni od Federalnog hidrometeorološkog zavoda Sarajevo. [5]

Tabela 2. Prosječne vrijednosti meteoroloških parametara korištenih za modeliranje disperzije NO_x, CO i PM₁₀.

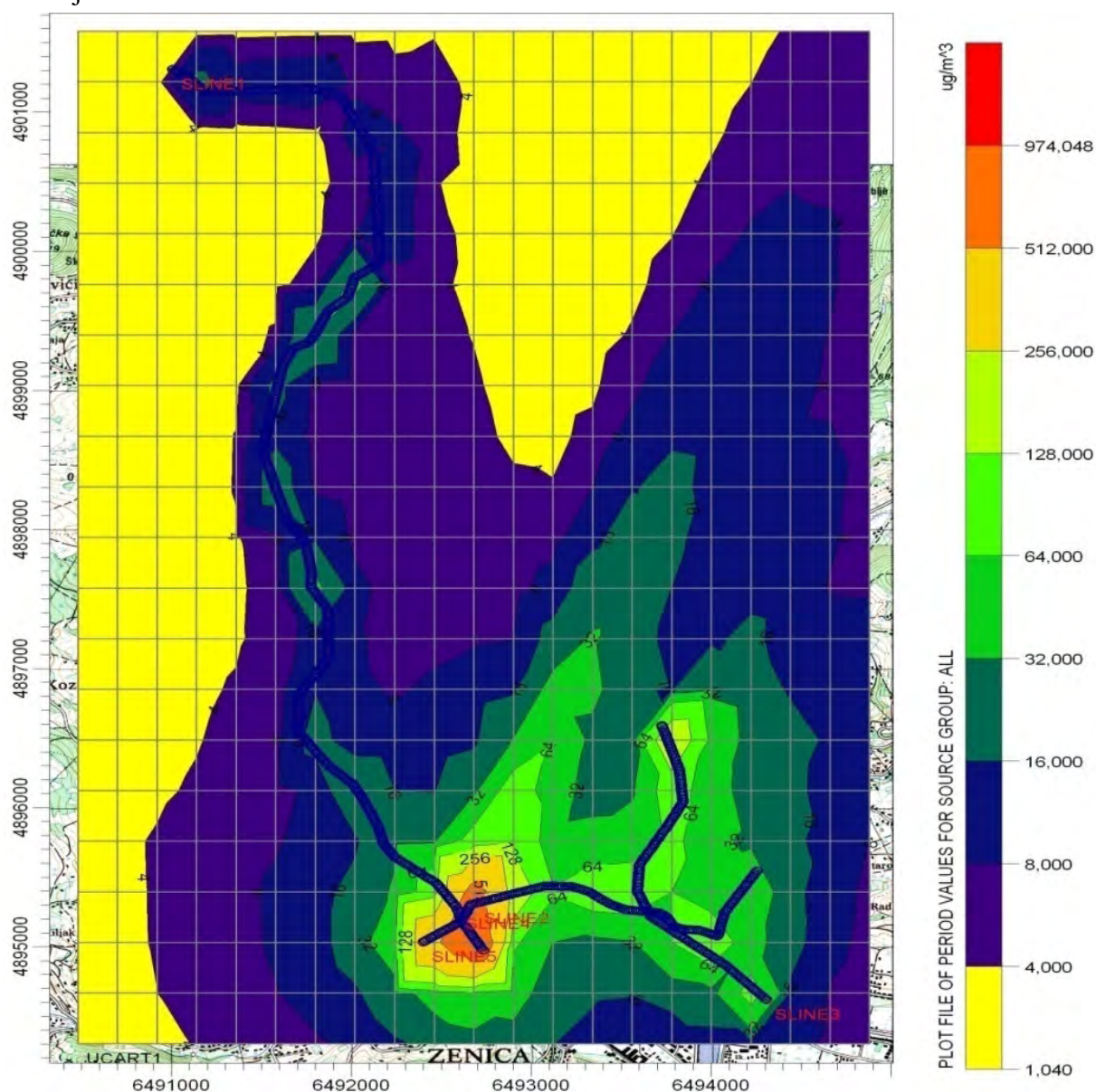
Mjesec 2010.	Oblačnost (°)	Temperatura (°C)	Pritisak (hPa)	Vlažnost (%)	Smjer vjetrova (°)	Brzina vjetrova (m/s)
Januar	7	1	9990	88	19	1,20
Februar	6,28	2,01	9990	86,06	16,05	1,00
Mart	5,41	6,41	9990	76,51	18,65	1,10
April	5,13	11,42	9990	78,27	17,02	1,30
Maj	5,58	15,29	9990	77,32	16,58	1,25
Juni	4,99	18,84	9990	82,08	16,22	1,11
Juli	3,7	21,73	9990	75,66	18,02	1,41
Avgust	3,45	21,65	9990	84,91	18,06	1,55
Septembar	5,31	15,52	9990	83,92	18,8	1,23
Oktobar	5,8	8,96	9990	81,64	18,28	1,02
Novembar	5,32	8,91	9990	81,54	16,67	1,23
Decembar	5,61	1,11	9990	91,95	17,24	1,37

Korištenje modela disperzije za procjenjivanje utjecaja nekog izvora na prizemne koncentracije polutanata zahtjeva odabir domene za modeliranje. Kao domena izvršenog modeliranja disperzije polutanata emitovanih iz cestovnog saobraćaja na odabranim dionicama saobraćajnica uzeta je površina 5x7 km u zeničkoj kotlini.

3. REZULTATI MODELIRANJA DISPERZIJE POLUTANATA PRIMJENOM MODELA AERMOD

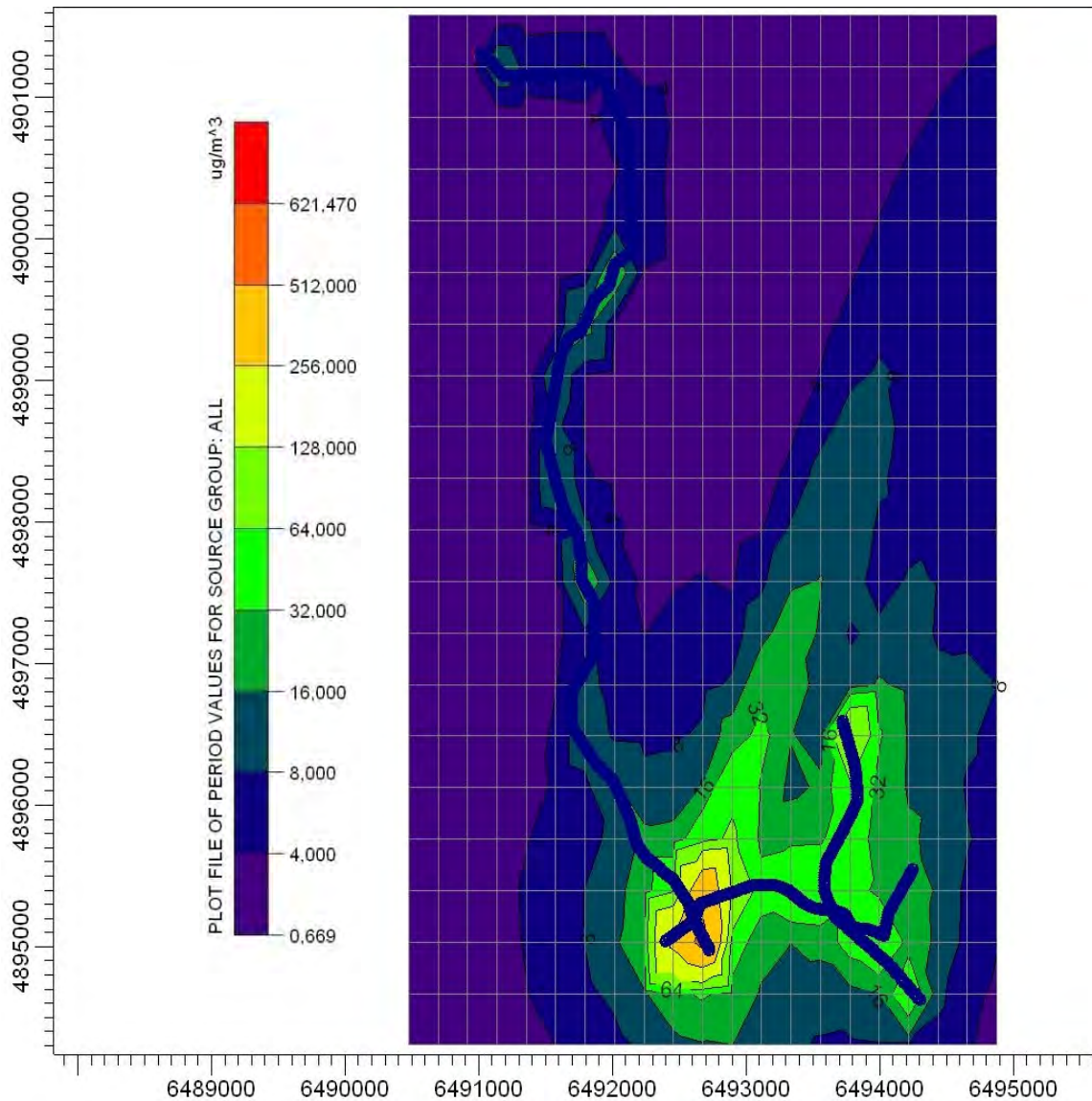
Nakon obrade meteoroloških parametara izvršeno je modeliranje disperzije CO, NO_x i PM₁₀ na osnovu dobivenih vrijednosti emisije korištenjem softverskog modela Aermod. U model su unoseni obrađeni podaci srednjih vrijednosti emisije CO, NO_x, PM₁₀ i meteoroloških parametara za 2010. godinu na osnovu kojih je izvršeno modeliranje srednjih vrijednosti emisije navedenih polutanata. Softverski program Aermod modelira utjecaj analiziranih vrijednosti emisije na prizemne koncentracije navedenih modeliranih polutanata (CO, NO_x i PM₁₀). Aermod daje objašnjenje o stvarnom nivou rezultata i njihov značaja sa aspekta procjene utjecaja saobraćaja na kvaliteta zraka urbanog područja Zenice.

Na slici 2 predstavljene su srednje godišnje vrijednosti imisije CO u obliku izopoluta dobivene modeliranjem pomoću softverskog modela Aermod, a koje potiču od linijskih izvora (cestovnog saobraćaja) na analiziranim dionicama urbanog područja Zenice. Uočava se da su najveća koncentracije CO registrovane na raskrsnici kod Fakulteta za metalurgiju i materijale u Zenici.



Slika 2. Modeliranje disperzije prizemne koncentracije CO iz odabranih linijskih izvora urbanog područja Zenice za srednje godišnje vrijednosti.

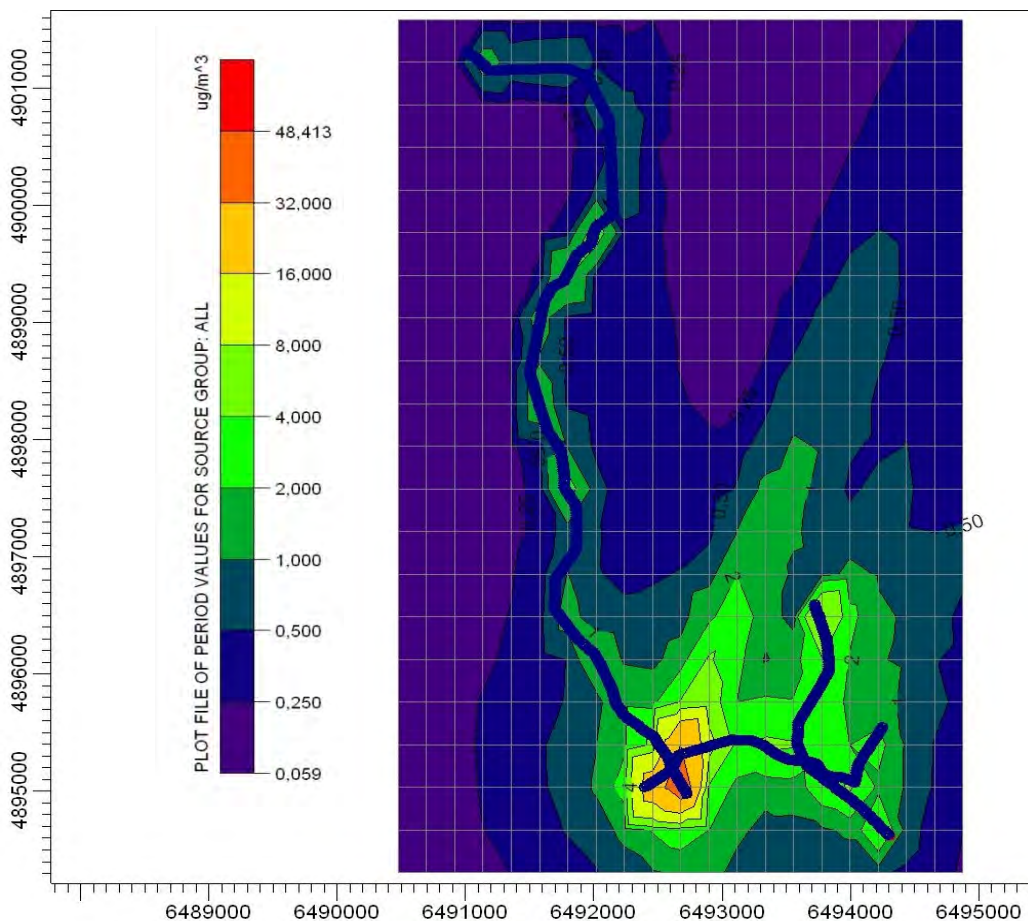
Na slici 3 su predstavljene srednje godišnje vrijednosti imisije NO_x u obliku izopoluta dobivene modeliranjem pomoću softverskog modela Aermod, a koje potiču od linijskih izvora na analiziranim dionicama geourbanog područja Zenice. Uočava se da su najveće koncentracije NO_x ponovo registrovane na raskrsnici kod Fakulteta za metalurgiju i materijale u Zenici.



Slika 3. Modeliranje disperzije prizmene koncentracije NO_x iz odabranih linijskih izvora urbanog područja Zenice za srednje godišnje vrijednosti.

Na slici 4 su predstavljene srednje godišnje vrijednosti imisije čvrstih čestica PM_{10} u obliku izopoluta dobivene modeliranjem pomoću softverskog modela Aermod, a koje potiču od linijskih izvora na analiziranim dionicama geourbanog područja Zenice. Ponovo se uočava da su najveće koncentracije čvrstih čestica PM_{10} registrovane na raskrsnici kod Fakulteta za metalurgiju i materijale u Zenici, a potom duž ostalih ispitivanih dionica saobraćajnica u geourbanom području grada Zenice.

Dobivani rezultati ukazuju da je područje na raskrsnici kod Fakulteta za metalurgiju i materijale najopterećenije emisijama koje potiču iz cestovnog saobraćaja.



Slika 4. Modeliranje uticaja odabranih linijskih izvora urbanog dijela područja Zenice na srednje godišnje vrijednosti prizemnih koncentracija PM_{10} .

4. VALIDACIJA REZULTATA DISPERZIJE CO , NO_x i PM_{10}

Kontinuirano mjerenje kvaliteta zraka u 2010. godini, u kojoj je realizovano ovo istraživanje, vršena je samo automatskom monitoring stanicom na lokalitetu u Tetovu. Rezultati ovih mjerenja su neophodni (i jedini) za validaciju rezultata disperzije CO , NO_x i PM_{10} iz cestovnog saobraćaja (linijskih izvora) dobivenih modeliranjem emisije primjenom softverskog programa Aermod za tri odabrane glavne cestovne dionice radi utvrđivanja njihovog udjela u izmjerenoj imisijskoj vrijednosti, odnosno u ukupnoj koncentraciji navedenih polutanata u zeničkoj kotlini. Rezultati monitoringa kvaliteta zraka automatskom monitoring stanicom na lokalitetu Tetovo, u svrhu validacije proračunatih imisionih vrijednosti pomoću modela Aermod, su uzeti iz Izvještaja o izvršenim mjerenjima i prikazom rezultata mjerenja kvaliteta zraka u Zenici za 2010. godinu. [6]

Kako bi se ocijenio uticaj emisija iz cestovnog saobraćaja na kvalitet zraka, odnosno na imisione vrijednosti pojedinih polutanata, izvršeno je kompariranje vrijednosti koncentracija CO , NO_x i PM_{10} dobivenih modeliranjem pomoću modela Aermod sa rezultatima dobivenih kontinuiranim mjerenjem na lokaciji Tetovo. Prema tome, validacija modeliranih vrijednosti navedenih polutanata je izvršena poređenjem sa izmjerenim vrijednostima koncentracija CO , NO_x i PM_{10} u zraku pomoću automatske monitoring stanicom u Tetovu.

U tabeli 3. dat je pregled prosječnih i maksimalnih modeliranih imisionih vrijednosti koje potiču od cestovnog saobraćaja na tri glavne cestovne dionice urbanog područja Zenice i izmjerenih prosječnih i maksimalnih vrijednosti CO , NO_x i PM_{10} dobivenih kontinuiranim mjerenjem na automatskoj monitoring stanici u Tetovu.

Prosječne modelirane vrijednosti korištene za validaciju prizemnih koncentracija CO, NO_x i PM₁₀ su odabrane za naznačenu pozicije mjernog mjesta. Parametar C_M predstavlja modeliranu vrijednost u µg/m³ dobijenu modeliranjem u Aermod-u, dok C_{izm} (µg/m³) predstavlja prosječnu godišnju vrijednost dobijenu mjerenjem na odabranom mjernom mjestu (Tetovo).

Tabela 3. Pregled modeliranih i izmjerenih vrijednosti CO, NO_x i PM₁₀ u urbanom području Zenice.

Polutant	C _M	C _{izm}	C _{Mmax}	C _{izmMax}
	(µg/m ³)			
Ugljenmonksid (CO)	8	2558	128	3604
Azotni oksidi (NO _x)	4	11,6	32	45,52
Čvrste čestice PM ₁₀	0,5	67,16	8	178,2

U narednoj tabeli su dati procentualni udjeli modeliranih u izmjerenim vrijednostima CO, NO_x i PM₁₀ u ambijentalnom zraku na mjernom mjestu Tetovo za statističke parametre C i C_{max} (srednja i maksimalna godišnja vrijednost koncentracija navedenih polutanata). [7]

Tabela 4. Procentualni udjeli modeliranih u izmjerenim imisijskim vrijednostima polutanata.

Polutant	Udio modelirane u izmjerenoj vrijednosti u zraku (%) - prosjek	Udio modelirane u izmjerenoj vrijednosti u zraku (%) - maksimum
Ugljenmonksid (CO)	0,31	3,55
Azotni oksidi (NO _x)	34,4	70,29
Čvrste čestice PM ₁₀	0,74	4,49

Iz prikazanih rezultata u tabeli 4. jasno se vidi da modelirane vrijednosti koncentracija CO i PM₁₀ nemaju značajan uticaj na formiranje imisionih vrijednosti koncentracija ovih polutanata u zraku zeničke kotline. Izmjerene koncentracije navedena dva polutanta su vjerovatno posljedica emisija iz industrijskih postrojenja. Modelirane vrijednosti koncentracija NO_x značajno utiču na formiranje vrijednosti koncentracija ovog polutanta u zraku zeničke kotline. Posebno visok udio imaju modelirane maksimalne vrijednosti NO_x (70,29 %). To znači da emisije NO_x iz cestovnog saobraćaja imaju dominantan uticaj na imisione vrijednosti koncentracija ovog polutanta u zraku, odnosno na kvalitet zraka u zeničkoj kotlini. Ovo treba imati u vidu u smislu potreba preduzimanja mjera za smanjivanje emisija izduvni plinova (posebno NO_x) iz cestovnog saobraćaja u urbanom području Zenice, koje je vrlo osjetljivo zbog postojanja snažnih industrijskih izvora emisija, nepovoljnih orografskih uvjeta (duboka kotlina) i složenih lokalnih meteoroloških uvjeta.

5. ZAKLJUČAK

Prema rezultatima izvršenog modeliranja disperzije polutanata emitovanih iz cestovnog saobraćaja na odabranim cestovnim dionicama urbanog područja Zenice pomoću softverskog programa Aermod, kao i validacije modeliranih vrijednosti u odnosu na izmjerene vrijednosti može se konstatovati da emisije CO i PM₁₀ iz cestovnog saobraćaja nemaju značajan uticaj na formiranje imisionih vrijednosti koncentracija ovih polutanata u zraku zeničke kotline i nemaju značajan uticaj na kvalitet zraka. Međutim, emisije NO_x iz cestovnog saobraćaja dominantno utiču na formiranje vrijednosti koncentracija ovog polutanta u zraku, odnosno na

kvalitet zraka zeničke kotline. Ovo treba imati u vidu u smislu potreba preduzimanja mjera za smanjivanje emisija izduvnih plinova (posebno NO_x) iz cestovnog saobraćaja u urbanom području Zenice, koje je vrlo osjetljivo zbog postojanja snažnih industrijskih izvora emisija, nepovoljnih orografskih uvjeta (duboka kotlina) i složenih lokalnih meteoroloških uvjeta.

6. LITERATURA

- [1] Lindov O. i sar.: Uticaj saobraćaja na okoliš na području Zeničko-dobojskog kantona, Studija, Fakultet za saobraćaj i komunikacije u Sarajevu, Sarajevo, 2009.
- [2] Sršen M.: Utjecaj cestovnog prometa na okoliš i mjere zaštite, Suvremeni promet, br. 3-4, HZDP, Zagreb, 2002.
- [3] Lindov O.: Transport i okoliš, Fakultet za saobraćaj i komunikacije Univerziteta Sarajevu, Sarajevo, 2009.
- [4] AERMOD: Description of model formulation, US EPA, 2004.
- [5] Godišnji izvještaj za područje Općine Zenica sa meteorološke stanice u Zenici, Federalni hidrometeorološki zavod, dostavljeno na zahtjev autora, februar 2012.
- [6] Goletić Š., Imamović N.: Godišnji izvještaj o izvršenim mjerenjima i prikazom rezultata mjerenja kvaliteta zraka u Zenici za 2010. godinu, Mašinski fakultet u Zenici, Univerzitet u Zenici, 2011.
- [7] Borić J.: Uticaj saobraćaja na kvalitet zraka urbanog područja Zenice, Magistarski rad, Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici, Zenica, 2014.