

PRIMJENA MODELA DISPERZIJE POLUTANATA EMITOVANIH IZ TAČKASTOG IZVORA EMISIJE SA VALIDACIJOM REZULTATA PUTEM SISTEMA OKOLINSKOG MONITORINGA

APPLICATION OF A DISPERSION MODEL OF POLLUTANTS EMITTED FROM A POINT SOURCE OF EMISSION WITH VALIDATION OF RESULTS BY USING AN ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM

Samir Selimović¹, Izet Smajević², Šefket Goletić³, Jusuf Duraković⁴

Sažetak: Rad na primjeru Termoelektrane „Kakanj“ obrađuje validaciju matematičkog modela disperzije polutanata emitovanih iz tačkastog izvora emisije. Modeliranje je izvršeno softverskim paketom SELMA^{GIS}, a rezultati su validirani poređenjem sa vrijednostima koncentracija SO_2 izmjerenim na mjernim stanicama okolinskog monitoring sistema. Ustanovljena je visoka korelacija između modeliranih i izmjerenih vrijednosti. Model je moguće koristiti kao efikasan alat za procjenu uticaja tačkastog izvora emisije na kvalitet zraka u konkretnom i sličnim geourbanim područjima. Primjena modela na Termoelektranu „Kakanj“ i njeno okruženje predstavlja doprinos mogućnosti bolje procjene okolinskog opterećenja Termoelektrane „Kakanj“, odnosno dobijanje pouzdanog alata za evaluiranje scenarija njenog razvoja i uticaja na okolinu.

Ključne riječi: model disperzije, termoelektrana, kvalitet zraka, zaštita okoline, sistem okolinskog monitoringa

Abstract: The paper, using the case of the Thermal Power Plant Kakanj, deals with validation of mathematical model of dispersion of pollutants emitted from point source of emissions. Modelling was performed by software package SELMA^{GIS}, while results were validated by comparing modelled values with values of concentrations of SO_2 measured on measuring stations of environmental monitoring system. High correlation between modelled and measured values was discovered. Model could be used as efficient tool for assessment of influence of point source of emission to air quality on concrete and similar geo-urban areas. Application of model to the TPP Kakanj and its surrounding represents contribution to possibility of better estimation of environmental burden of the TPP Kakanj, that is, obtaining a reliable tool for evaluation of scenarios of its development and environmental impact.

Key words: dispersion model, thermal power plant, air quality, environment protection, environment monitoring system

UVOD

Modeli disperzije mogu se na komplementaran način koristiti uz mjerenje kvaliteta zraka, uzimajući u obzir dobre i loše strane ovih dviju tehnika. Informacije dobijene iz modela mogu biti nepouzdanе zbog toga što nemamo dovoljno saznanja o emisijama i/ili atmosferskim procesima. Pouzdanost informacija može biti povećana validacijom modela pomoću mjerenja, ili uz pomoć procjene kvaliteta zraka, kombinovanjem informacija dobijenih iz modeliranja i iz mjerenja. Zapravo, ukoliko će se mapa koncentracije praviti na osnovu mjerenja, rezul-

tati iz modela obezbijedit će osnovne informacije za interpolaciju da bi se popunili nedostaci u informaciji o koncentracijama na tačkama između stanica za mjerenje.

1. MODELIRANJE DISPERZIJE ZAGAĐUJUĆIH MATERIJAMA EMITOVANIH IZ TAČKASTOG IZVORA

1.1. Opis programskog paketa za modeliranje disperzije

Sistem za modeliranje emisije i disperzije SELMA^{GIS} Verzija 9.1 je modularni softverski paket koji radi pod ArcMap™, kao dio geografskog informacionog sistema (GIS) ArcGIS™ ArcView 9.1, kojeg je na tržište isporučila kompanija ESRI. ArcMap™. To je geografski informacioni sistem urađen na bazi operativnog sistema Windows. Njegovo korisničko sučelje radi po principima Windowsa.

¹ J.P. Elektroprivreda BiH, Podružnica TE „Kakanj“ rimas970@gmail.com

² Univerzitet u Sarajevu, Mašinski fakultet u Sarajevu

³ Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet u Zenici

⁴ Univerzitet u Zenici, Fakultet za metalurgiju i materijale
Rad dostavljen: 21.11. 2013.; Rad prihvaćen: 21.04.2014.

Model SELMA^{GIS®}, koji se koristi u Nacionalnom Referentnom Centru (NRC) u BiH, je jedan tip Lagrangian modela ili čestični tip modela.

U principu se veliki broj čestica konceptualno ispušta iz svakog izvora u cilju njihovog emitovanja u atmosferu. Čestice se vjetrom prenose kroz atmosferu i disperziju stohastičkim poljem turbulencije. Svaka će čestica otići na drugu stranu zbog turbulencije, što će dovesti do povećanja nehomogene distribucije prostornog polja koncentracije, što se kasnije može analizirati statističkim alatima [1].

1.2. Stanje atmosfere i meteorološki podaci

Temperaturni profili atmosfere uvjetovani su mnogim utjecajima kao što su grijanje i hlađenje zemljine površine, kretanje zračnih masa, postojanje oblaka i topografskih prepreka. Atmosferska stanja koja se mijenjaju tokom vremena najviše ovise o temperaturi zraka i zemljišta, a moguće ih je definisati s dva neovisna parametra. Prvi je promjena temperature zraka po visini, a drugi je ugao kojim lopatica postavljena u struju zraka oscilira u odnosu na smjer vjetra.

Pouzdanije je mjeriti gradijent temperature u odnosu na visinsku razliku mjernih tačaka. Eksperimentalna metoda kojom se određuje tip atmosfere bazira se na mjerenju gradijenta temperature po visini i prema Pasquillu definirano je 6 tipova atmosferskih stanja počevši od najnestabilnije do stabilne atmosfere, označenih sa A, B, C, D, E i F. Koeficijent disperzije za sedmi tip G, koji karakterizira potpuno stabilnu atmosferu može se dobiti iz koeficijenta grupe F [2].

U slučaju istraživanja provedenog u ovom radu, za odabranu vremensku epizodu (14.10. do 24.10. 2008.), koriste se mjerenja temperature na dvjema lokacijama i to:

- meteorološkoj stanici Kakanj na nadmorskoj visini 392 metra,
- meteorološkoj stanici Turbići na nadmorskoj visini 665 metara.

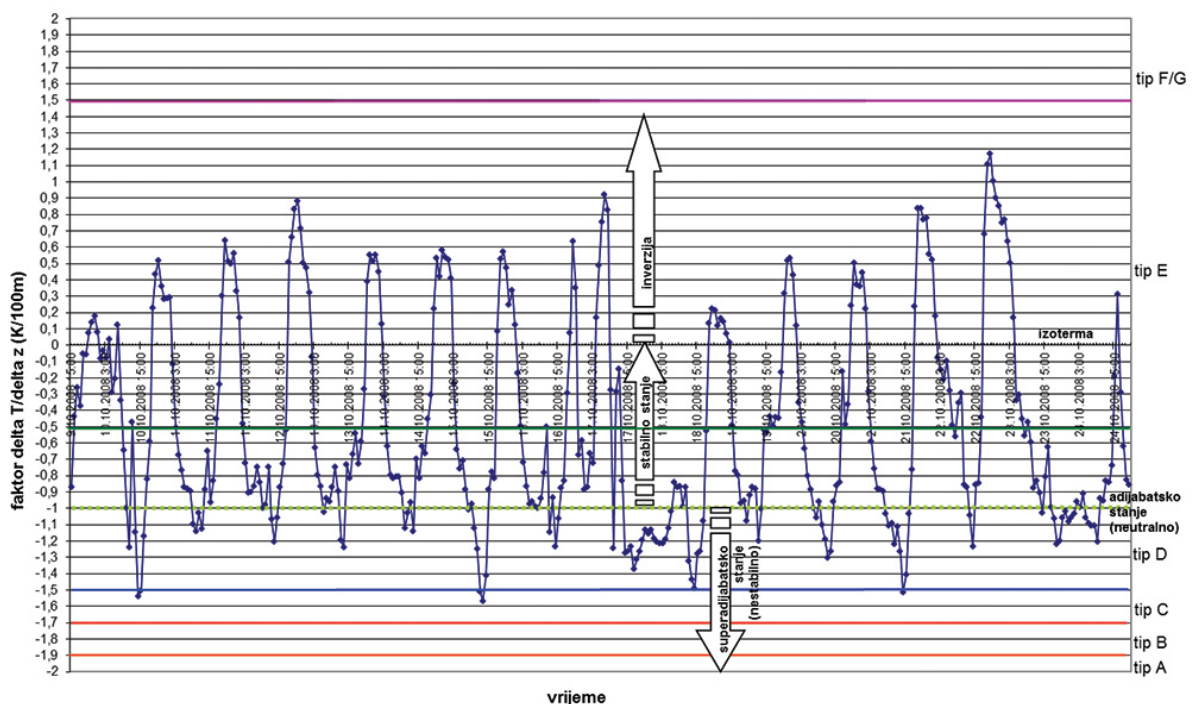
Visinska razlika ovih dviju stanica iznosi 273 metra, a mjerenje temperature uzeto je kao satni prosjek tokom posmatranog perioda.

Iz odnosa temperaturnog gradijenta dobijenog obradom izmjerenih podataka temperature i utvrđene visinske razlike, dolazi se do odnosa na osnovu kojih se određuje tip atmosferskog stanja [3].

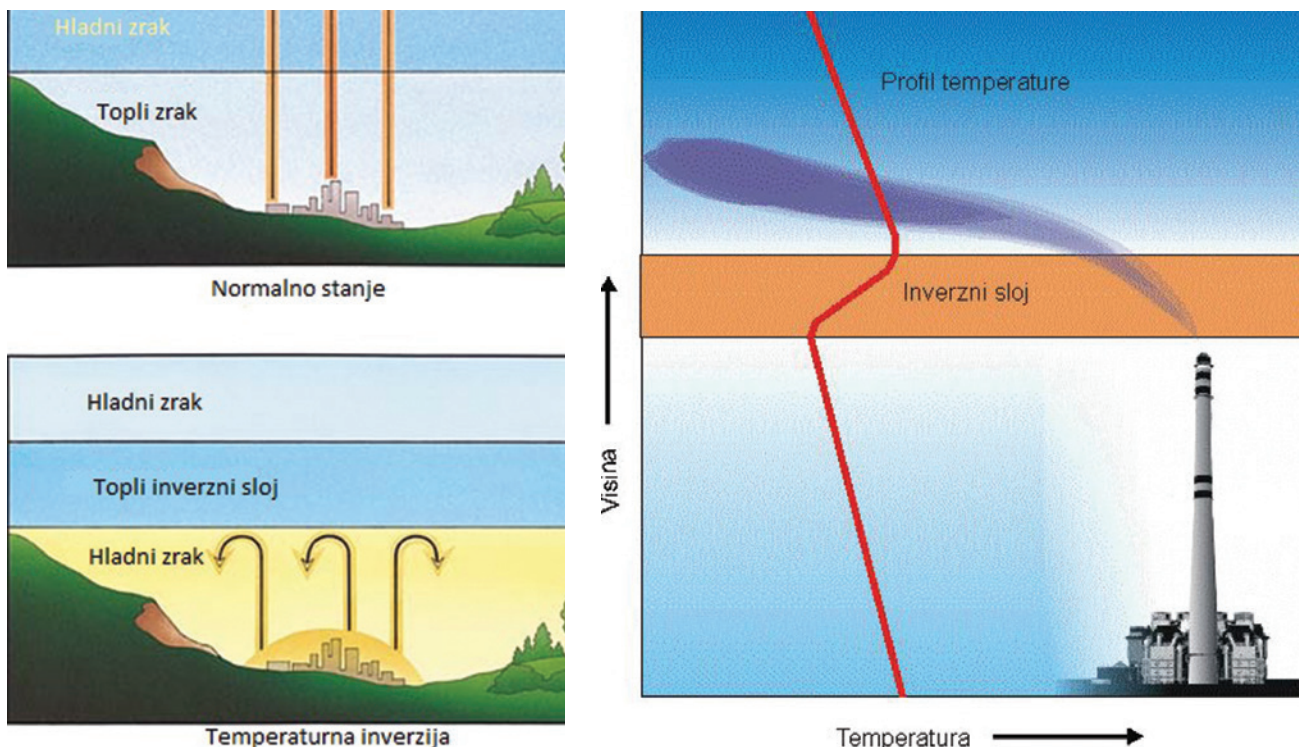
Prema dijagramu na Slici 1 može se konstatovati da se u posmatranom periodu javlja nekoliko tipova atmosferskih stanja i to: tip E – malo stabilno i tip D – neutralno, a samo u manjem broju slučajeva i tip C.

Dominantni tipovi atmosferskog stanja, kako je i vidljivo iz dijagrama, su tip E i D. Stanje koje karakterišu ovi tipovi atmosfere može se opisati kao dominantno stabilno, uz određene vremenske periode kada je ovo stanje prelazilo iz neutralnog (adijabatskog) u nestabilno (superadijabatsko) stanje. Tokom perioda posmatranja atmosferskog stanja sa dijagrama se mogu uočiti i dva specijalna slučaja: *izoterma*, kod koje je temperatura po visini konstantna, te *inverzija*, kod koje temperatura raste sa visinom.

Superadijabatsko stanje može nastati unutar nekoliko stotina metara visine u vedrom danu s laganim vjetrom kada vruća zemljina površina zagrijava atmosferu čija je



Slika 1: Dijagram promjene atmosferskih stanja tokom posmatrane vremenske epizode [5]



Slika 2: Temperaturna inverzija i visina miješanja zračnih masa [5]

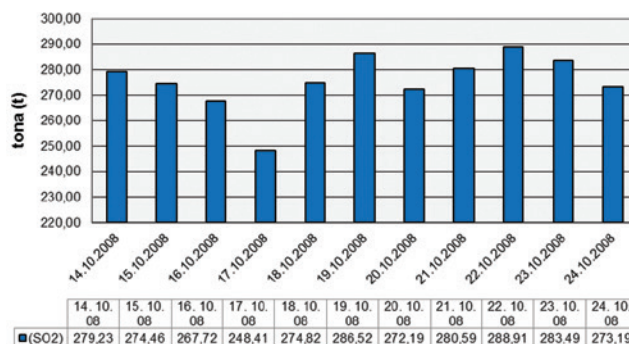
temperatura mnogo niža. Što je veća razlika između temperature površine i atmosferskog zraka, tim je konvektivni proces vertikalnog miješanja veći. Proces *konvekcije* je dnevni proces kod kojeg Sunce zagrijava površinu koja grije zrak u njoj neposrednoj blizini. Taj zrak expandira, postaje lakši i uspinje se uz vertikalne konvektivne kolone zraka. Što je veća površina vertikalne kolone zraka koji se uspinje, tim je proces miješanja intenzivniji [4].

Postoji nekoliko vrsta inverzija na raznim visinama troposfere. Najčešći oblik temperaturne inverzije je inverzija koja nastaje od 25 do 300 m n.m. kada se tokom noći površina zemlje brže hladi nego zrak nad njom. Ovaj tip inverzije se naziva *noćna inverzija*. Najjače inverzije nastaju za vrijeme čistih i dugih zimskih noći. Ovakav oblik inverzije omogućuje zadržavanje tokom noći emitiranog zagađenja zraka u prizemnom sloju, ako se emisija vrši na nižim tačkama ispod inverznog sloja (što je čest slučaj), dok emisija iznad inverznog sloja ima manji uticaj na prizemne koncentracije. Tokom dana sunce zagrijava zemljinu površinu, nakon čega postepeno započinje proces vertikalnog miješanja, uništava se noćna inverzija do podneva i omogućuje vertikalno miješanje zračnih masa, a time i značajnije promjene vrijednosti koncentracija zagađujućih materija. Ako je proces sunčevog zračenja spor (prisutnost naoblake, i sl.) ili je inverzija jaka, tada ona može opstati i duže onemogućavajući vertikalno miješanje zračnih masa (Slika 2) [4],[5].

1.3. Emisija polutanata iz dimnjaka 300 m Termoelektrane „Kakanj“

Posmatranu vremensku epizodu, u toku koje je vršeno modeliranje (14.10. do 24.10.2008.), karakterisao je rad

dva od ukupno tri raspoloživa termoenergetska bloka u TE „Kakanj“ i to blok 7, snage 230 MW i blok 5, snage 110 MW. U tom periodu nije bilo većih oscilacija u pogonskom smislu tj. nije bilo uključenja niti isključenja iz pogona blokova u TE „Kakanj“. Manje oscilacije u radu blokova u pogonu bile su zbog smanjenja i povećanja snage u skladu sa potrebama elektroenergetskog sistema, ali to nije značajnije uticalo na rezultat ove analize. Prema podacima dobijenim putem mjerenja okolinskog monitoring sistema (na bazi polusatnih prosjeka), izvršen je proračun emisije za posmatrani vremenski period i prikazan na Slici 3, kao dnevni prosjek emisije SO_2 [6].

Slika 3: Prosječne dnevne vrijednosti emisije SO_2 iz dimnjaka TE „Kakanj“

1.4. Rezultati modeliranja – prezentacija izlaznih datoteka

Na osnovu podataka koji su prethodno prezentirani, a koji su dobijeni na bazi mjerenja putem okolinskog monitoring sistema, došlo se do potrebnih ulaznih podataka

za proces modeliranja. Za usvojeni vremenski period-epizodu u softver za modeliranje disperzije, Austal2000 (SELMA^{GIS} softverski paket), uneseni su u odgovarajućem formatu podaci o izmjerenim emisijama zagađujućih materija koje se ispušaju u atmosferu putem dimnjaka 300 metara u TE „Kakanj“. Osim ovih podataka uneseni su i meteorološki parametri dobijeni na osnovu izmjerenih vrijednosti na meteostanicama, koji definišu atmosferska stanja. Da bi se meteorološki podaci mogli koristiti u pretprocesiranju programa Austal2000, potrebno ih je unijeti u unaprijed definisanom formatu.

Osim navedenih ulaznih podataka koji su uneseni u softverski paket, sam softver raspolaže nizom vrlo značajnih podataka potrebnih za proces modeliranja.

Ti podaci su uneseni u obliku digitaliziranih karata, a odnose se na reljef terena (nadmorske visine), vrstu ili namjenu zemljišta i druge karakteristike terena.

Rezultati modeliranja disperzije SO₂ prezentirani su u definisanoj mreži receptora unutar posmatranog geourbanog područja i prikazani na Slici 4.

Potrebno je posebno napomenuti da dobijene koncentracije zagađujućih materija nisu ukupne koncentracije, nego samo one koncentracije koje su posljedica emitovanja SO₂ iz dimnjaka TE „Kakanj“. Dakle, predstavljeni rezultat modeliranja disperzije ne sadrži uticaj drugih izvora zagađenja, niti prirodne koncentracije zagađujućih materija u atmosferi.

Prezentirane vrijednosti proračuna koncentracije SO₂, koje su date na Slici 4, prikazuju prostornu raspodjelu unutar

mreže receptora, uzimajući u obzir cjelokupan period definisan odabranom vremenskom epizodom. Na grafičkom prikazu date su i pozicije kontrolnih mjernih tačaka na kojima su smještene mjerne stanice za praćenje parametara kvaliteta zraka i meteoroloških parametara.

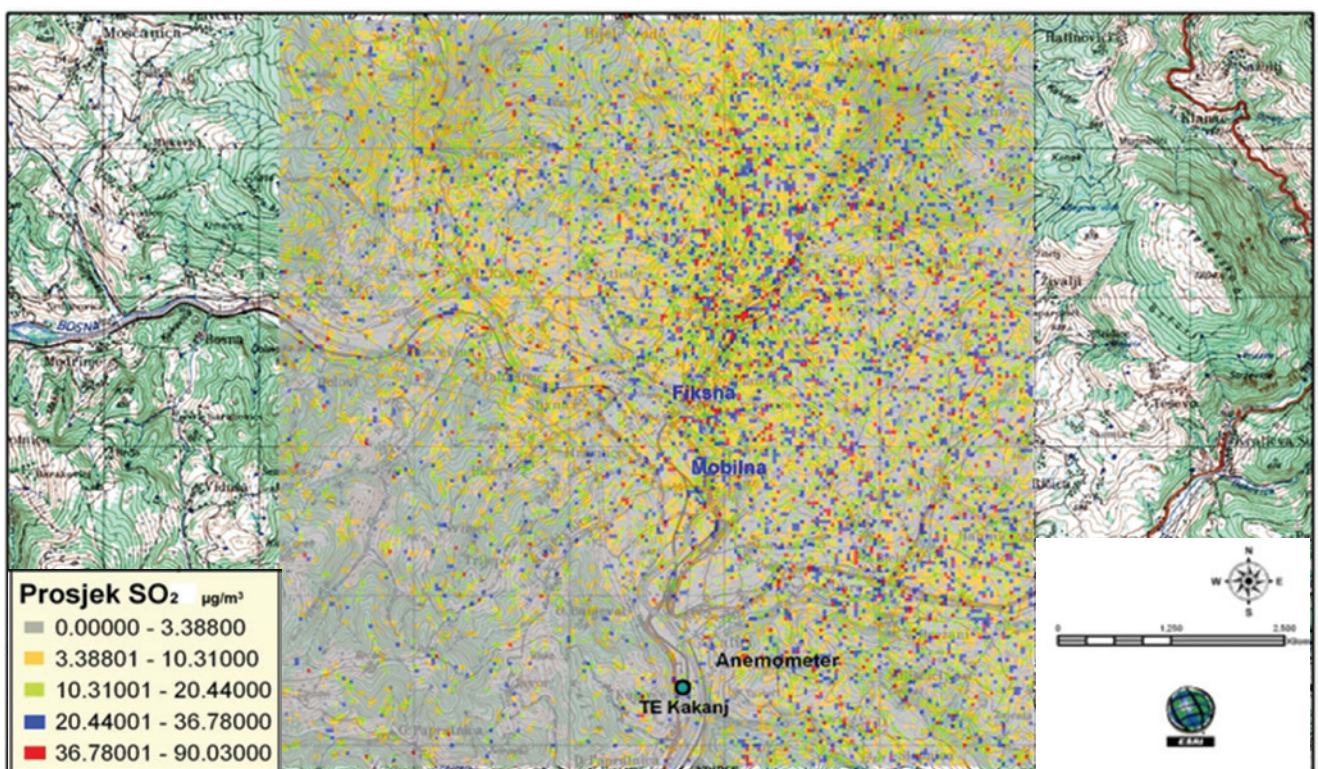
Da bi podaci dobijeni kao rezultat modeliranja bili uporedivi s izmjerenim koncentracijama zagađujućih materija na mjestima kontrolnih tačaka, izvršen je proračun prosječnih dnevnih koncentracija SO₂. Na osnovu ovih podataka moguće je dosta precizno izvršiti komparaciju rezultata modeliranja i mjerenja, te na osnovu analize izvršiti ocjenu primjenjivosti upotrijebljenog modela disperzije.

Validacija modela moguća je ako su ispunjeni određeni uslovi, a to su pouzdana i tačna mjerenja, zatim minimalan uticaj drugih izvora zagađenja, koji bi u značajnijoj mjeri doprinosili povećanju prizemnih koncentracija u zoni neposredne blizine kontrolnih mjernih tačaka na kojima su smještene mjerne stanice za praćenje parametara kvaliteta zraka. Ovi uslovi su tokom posmatrane vremenske epizode bili u najvećoj mjeri postignuti.

1.5. Rezultati mjerenja na kontrolnim mjernim tačkama

Analizom rezultata mjerenja koncentracije SO₂ na dvije različite stanice za mjerenje parametara kvaliteta zraka, koje su međusobno udaljene 1 km, dobijene vrijednosti potvrđuju visok stepen kompatibilnosti.

Posmatranu vremensku epizodu karakterišu učestale promjene ambijentalnih koncentracija s izrazito visokim



Slika 4: Disperzija SO₂ iz dimnjaka TE „Kakanj“ unutar mreže receptora za definisanu vremensku epizodu

vrijednostima koje su registrovane i na jednoj i na drugoj mjerne stanici. Ove promjene javljaju se tokom cjelokupnog vremenskog perioda u gotovo isto vrijeme, odnosno isto doba dana. Uzimajući u obzir da TE „Kakanj“ svojim radom može u značajnoj mjeri uticati na pojavu visokih koncentracija prije svega SO_2 , ali i drugih zagađujućih materija, utvrđeno je da nije bilo značajnih promjena emisije, što je vidljivo i iz dijagrama na Slici 3, na kome je dat pregled emisija zagađujućih materija iz dimnjaka TE „Kakanj“. Dakle pojava velikih promjena ambijentalnih koncentracija SO_2 , nije posljedica značajnijih promjena u radu termoenergetskih postrojenja TE „Kakanj“.

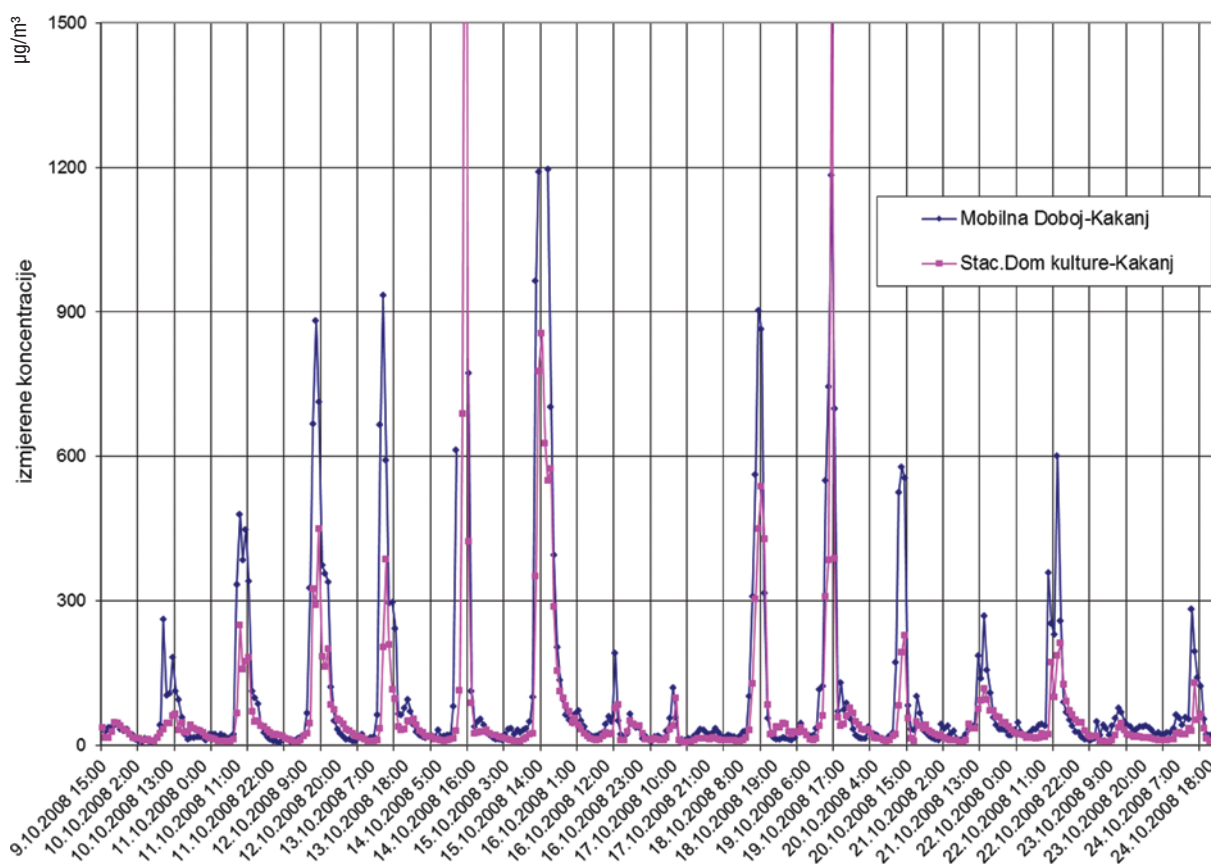
Ova pojava visokih dnevnih koncentracija može se objasniti određenim promjenama atmosferskih stanja, koje je moguće uočiti sa dijagrama na Slici 1, gdje su dominantni tipovi atmosferskog stanja, kako je i vidljivo iz dijagrama, tip E, D i C. Stanje koje karakterišu ovi tipovi atmosfere može se opisati kao dominantno stabilno uz određene vremenske periode kada ovo stanje prelazi iz neutralnog (adijabatskog) u nestabilno (superadijabatsko) stanje. Upravo u periodima kada dolazi do promjene atmosferskog stanja na dijagramu izmjerenih koncentracija SO_2 može se uočiti značajan porast vrijednosti, što upućuje na uzrok ovih pojava (Slika 5).

U ovom konkretnom slučaju pojava visokih koncentracija SO_2 posljedica je temperaturne inverzije (tzv. noćna inverzija), koja nastaje kada nakon hladnih noći u jutranjim

i prijednevnom satima dolazi do zagrijavanja prizemnog sloja atmosfere, hladnijeg u odnosu na više slojeve atmosfere. Za to vrijeme emisija sa visokim koncentracijama SO_2 vrši se iznad inverznog sloja, zbog visine dimnjaka koja iznosi 300 metara, pri čemu treba dodati i nadvišenje do efektivne visine. Kada temperatura prizemnog sloja atmosfere, usljed odbijanja sunčevih zraka od zemljinu površinu postane viša od temperature atmosfere iznad inverznog sloja, u tom trenutku dolazi do uspinjanja prizemnih toplijih zračnih masa i propadanja hladnijih zračnih masa iznad inverznog sloja. Tokom ovog procesa konvektivnog miješanja zračne mase s izrazito visokim koncentracijama zagađujućih materija, gdje dominira simpordioksid, a koje se nalaze iznad inverznog sloja, propadaju u niže prizemne slojeve. Ova pojava je registrovana na obje mjerne stanice, istovremeno u tačno određenom periodu dana.

1.6. Uporedna analiza modeliranih i mjerenih parametara

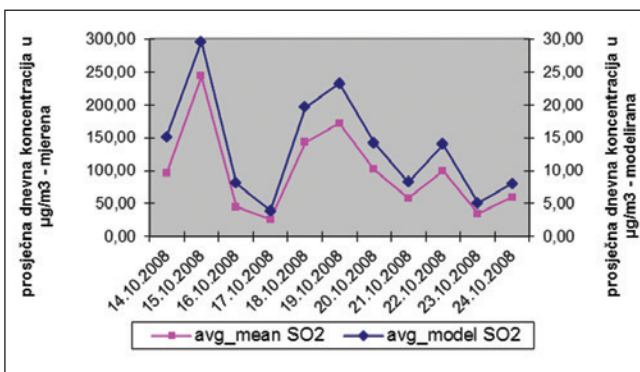
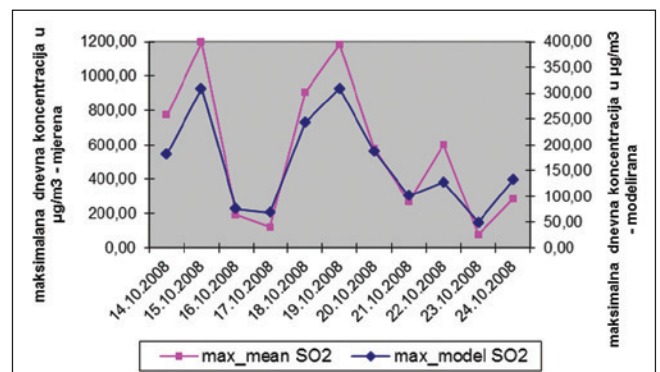
Rezultati matematičkog modeliranja disperzije SO_2 , iz dimnjaka TE „Kakanj“ mogu se uporediti s izmjerenim vrijednostima koncentracije na kontrolnim tačkama, koje su definisane unutar zadane mreže receptora. Pregled tabela i dijagrama sa vrijednostima kompariranih veličina u obliku prosječnih dnevnih koncentracija SO_2 , dat je u Tabeli I i Tabeli II, te Slici 6, Slici 7, Slici 8 i Slici 9.



Slika 5: Dijagram izmjerenih koncentracija SO_2 na kontrolnim tačkama – mjernim stanicama Doboj-Kakanj i Dom kulture Kakanj

Tabela I: Pregled prosječnih i maksimalnih dnevnih koncentracija SO_2 , dobijenih mjerenjem putem mobilne stanice na lokaciji Dobož-Kakanj i modeliranjem

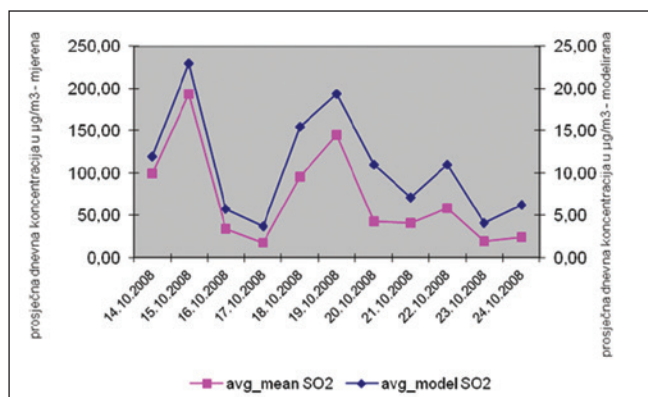
vrijeme	Izmjerene vrijednosti – stanica Dobož (Kakanj) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		Modelirane vrijednosti – Dobož (Kakanj) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
	avg_mean SO_2	max_mean SO_2	avg_model SO_2	max_model SO_2
14.10.2008	95,90	771,70	15,11	182,00
15.10.2008	243,61	1196,00	29,61	309,00
16.10.2008	44,96	190,10	8,11	76,00
17.10.2008	25,60	119,30	3,92	68,00
18.10.2008	143,53	903,40	19,62	243,00
19.10.2008	172,20	1184,00	23,27	309,00
20.10.2008	101,84	577,70	14,24	187,00
21.10.2008	58,58	267,80	8,31	101,00
22.10.2008	99,76	600,10	14,06	127,00
23.10.2008	34,96	76,40	5,07	49,00
24.10.2008	60,08	282,70	8,02	132,00

Slika 6: Dijagram prosječnih dnevnih koncentracija SO_2 dobijenih mjerenjem i modeliranjem na lokaciji Dobož-KakanjSlika 7: Dijagram maksimalnih dnevnih koncentracija SO_2 dobijenih mjerenjem i modeliranjem na lokaciji Dobož-KakanjTabela II: Pregled prosječnih i maksimalnih dnevnih koncentracija SO_2 , dobijenih mjerenjem putem stacionarne stanice na lokaciji Dom kulture-Kakanj i modeliranjem

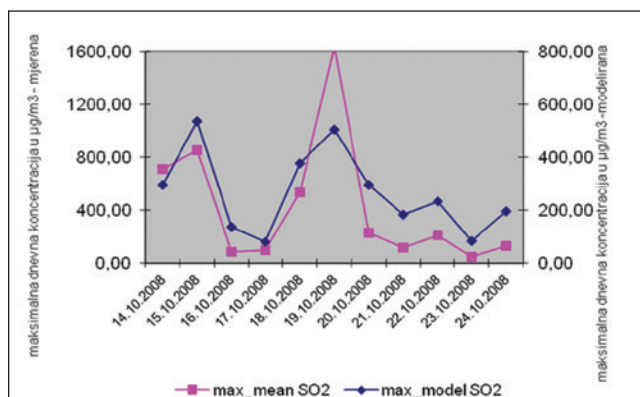
vrijeme	Izmjerene vrijednosti – stanica Dom kulture (Kakanj) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		Modelirane vrijednosti–Dom kulture (Kakanj) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
	avg_mean SO_2	max_mean SO_2	avg_model SO_2	max_model SO_2
14.10.2008	99,41	707,00	11,98	296,00
15.10.2008	193,46	854,60	22,93	537,00
16.10.2008	33,75	84,27	5,76	135,00
17.10.2008	17,32	98,48	3,67	79,00
18.10.2008	95,13	537,50	15,43	376,00
19.10.2008	144,64	1635,45	19,37	504,00
20.10.2008	43,11	228,05	11,01	296,00
21.10.2008	40,90	117,04	7,11	184,00
22.10.2008	58,91	211,35	11,04	234,00
23.10.2008	19,78	47,55	4,11	84,00
24.10.2008	24,61	130,13	6,28	196,00

Na osnovu usporedbe vrijednosti prosječnih dnevnih koncentracija zagađujućih materija, dobijenih putem mjerenja na kontrolnim mjernim tačkama (mjerne stanice) i postupkom modeliranja disperzije iz tačkastog izvora emisije (dimnjak TE „Kakanj“), može se konstatovati da

vrijednosti dobijene modeliranjem čine u prosjeku 14% od vrijednosti dobijenih mjerenjem koncentracije SO_2 na mobilnoj stanici Dobož-Kakanj i 18% na stacionarnoj stanici Dom kulture.



Slika 8: Dijagram prosječnih dnevnih koncentracija SO₂ dobijenih mjerenjem i modeliranjem na lokaciji Dom kulture-Kakanj



Slika 9: Dijagram maksimalnih dnevnih koncentracija SO₂ dobijenih mjerenjem i modeliranjem na lokaciji Dom kulture-Kakanj

Kako je vidljivo, veći je procentualni udio vrijednosti koncentracije SO₂ dobijenih modeliranjem u odnosu na izmjerene vrijednosti na stanici Dom kulture-Kakanj, koja je udaljenija od izvora emisije, nego na stanici Doboj-Kakanj, koja je bliža izvoru emisije.

Ovakva pojava može se objasniti ako se uzme u obzir da je maksimalno očekivana koncentracija zagađujućih materija na udaljenosti 10 do 20 puta efektivna visina dimnjaka od izvora emisije, što zavisi od tipa atmosferskog stanja i vrste zagađujuće materije (plinovi ili čvrste čestice). Ako se za efektivnu visinu dimnjaka uzme njegova visina od 300 metara i doda nadvišenje od cca. 100 metara, onda se veće koncentracije, pa tako i maksimalne, mogu očekivati tek na udaljenosti 4000 do 8000 metara. Upoređujući stvarno stanje sa naprijed iznesenim, može se zaključiti da je stanica Doboj-Kakanj, u odnosu na visinu dimnjaka od 300 metara, relativno blizu izvoru emisije (3000 metara), tako da je uticaj ovog izvora nešto manji u odnosu na stanicu Dom kulture, koja je udaljena 4000 metara.

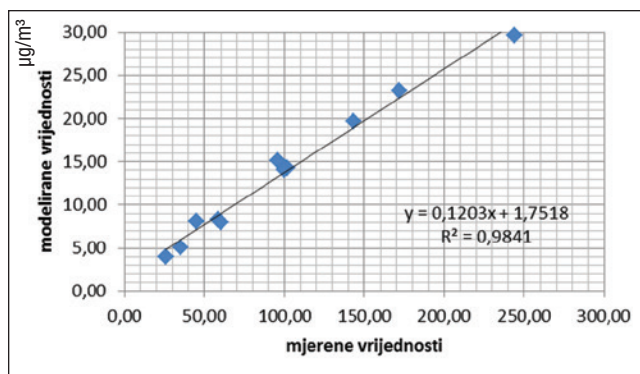
2. VALIDACIJA MODELA DISPERZIJE REGRESIONOM ANALIZOM

Regresija kao statistička metoda veoma je korištena u procjeni zagađenosti zraka kao primarna i ima osobinu boljeg predviđanja srednjih, nego vršnih koncentracija.

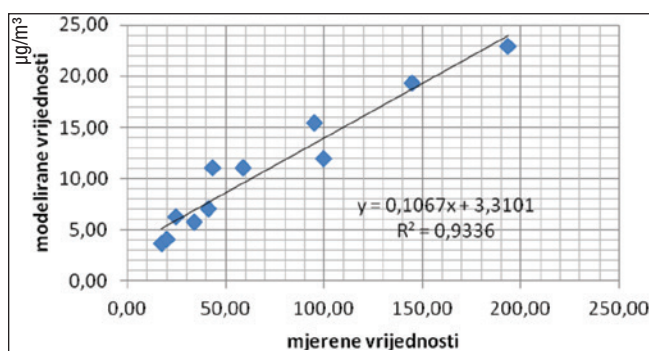
Da bi se utvrdila međusobna zavisnost koncentracija SO₂, dobijenih postupkom modeliranja disperzije u odnosu na koncentracije dobijene putem mjerenja na kontrolnim mjernim tačkama, korišteni su alati statističke analize MS Excel 2007.

Prvi korak je konstruisanje dijagrama rasipanja, koji u pravouglom koordinatnom sistemu sadrže tačke prosječnih ili maksimalnih vrijednosti koncentracija SO₂, dobijenih mjerenjem (x-osa) i modeliranjem disperzije (y-osa). Iz oblika dijagrama rasipanja može se približno procijeniti postoji li uopće veza između dviju varijabli i, ako postoji, kojeg je oblika (pravolinijska ili krivolinijska).

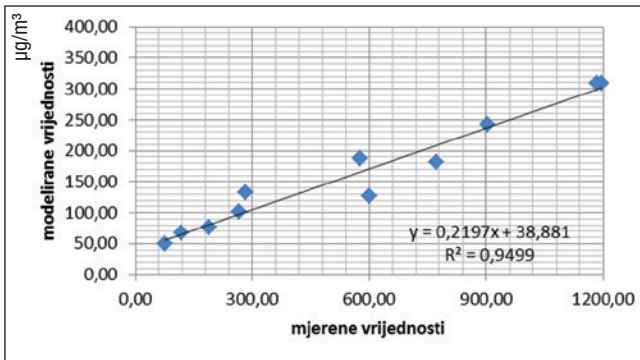
Kako je vidljivo iz dijagrama na Slici 10, Slici 11, Slici 12 i Slici 13, ravnomjerno povećanje vrijednosti jedne veličine uzrokuje približno ravnomjerno povećanje druge veličine. Regresijski model koji najbolje opisuje promatranu vezu ovih dviju veličina jeste *model jednostavne linearne regresije*. Uz pomoć opcije Trendline u MS Excel 2007, dobija se linearna jednačina koja najbolje aproksimira skup tačaka dobiven konstrukcijom dijagrama rasipanja. Osim linearne jednačine istim alatom dobije se i koeficijent determinacije R² [7].



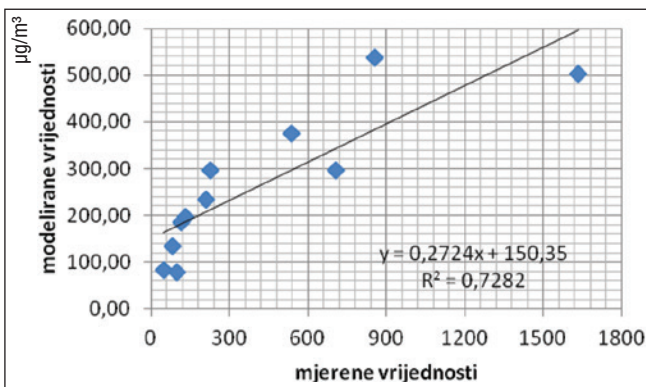
Slika 10: Dijagram rasipanja izmjerenih i modeliranih vrijednosti prosječnih dnevnih koncentracija SO₂ na kontrolnoj mjernoj tački Doboj-Kakanj (mobilna stanica)



Slika 11: Dijagram rasipanja izmjerenih i modeliranih vrijednosti prosječnih dnevnih koncentracija SO₂ na kontrolnoj mjernoj tački Dom kulture-Kakanj (fiksna stanica)



Slika 12: Dijagram rasipanja izmjerenih i modeliranih vrijednosti maksimalnih dnevnih koncentracija SO₂ na kontrolnoj mjernoj tački Doboj-Kakanj (mobilna stanica)



Slika 13: Dijagram rasipanja izmjerenih i modeliranih vrijednosti maksimalnih dnevnih koncentracija SO₂ na kontrolnoj mjernoj tački Dom kulture-Kakanj (fiksna stanica)

Iz prezentiranih dijagrama rasipanja i koeficijenta determinacije moguće je izračunati apsolutnu vrijednost koeficijenta korelacije r (Tabela III).

Tabela III: Vrijednosti koeficijenta korelacije i ocjena jakosti veze za poređene veličine

Poređene varijable (odnos modeliranih i izmjerenih vrijednosti)	Koeficijent korelacije r		Jakost veze
	Mobilna stanica Doboj - Kakanj	Fiksna stanica Dom kulture Kakanj	
SO ₂ _prosjek	0,9920	0,9662	Jaka
SO ₂ _maksimum	0,9746	0,8533	Jaka

Analizirajući vrijednosti koeficijenta r , također se može konstatovati da je veza između prosječnih izmjerenih i modeliranih vrijednosti koncentracije SO₂ izrazito jaka sa visokim koeficijentima korelacije. Ova statistička metoda ima osobinu boljeg predviđanja srednjih vrijednosti nego vršnih koncentracija. S tim u vezi vrijednost koeficijenta korelacije r je nešto manja kada se posmatra poređenje maksimalnih dnevnih koncentracija SO₂ u odnosu na prosječne dnevne koncentracije.

Udio zajedničkih vrijednosti, tj. jačina linearne povezanosti izražava se koeficijentom determinacije R². Koeficijentom determinacije, u ovom slučaju, može se iskazati koliko procentualna vrijednost učešća dobijenih vrijedno-

sti postupkom modeliranja odgovara vrijednostima koje se dobiju mjerenjem, i to u odnosu kojim je izraženo učešće modeliranih vrijednosti koncentracija u odnosu na izmjerene koncentracije.

Na osnovu analize koja je provedena može se konstatovati sljedeće:

- Prosječne dnevne koncentracije SO₂, dobijene postupkom modeliranja u 98,41% slučajeva odgovaraju prosječnom udjelu od 14% u vrijednostima izmjerenih koncentracija na mjernoj stanici Doboj-Kakanj, u toku posmatrane vremenske epizode.
- Prosječne dnevne koncentracije SO₂, dobijene postupkom modeliranja u 93,36% slučajeva odgovaraju prosječnom udjelu od 18% u vrijednostima izmjerenih koncentracija na mjernoj stanici Dom kulture-Kakanj, u toku posmatrane vremenske epizode.

Prema svim pokazateljima do kojih se došlo u ovoj analizi može se reći da je veza između poređenih veličina tj. rezultata dobijenih postupkom modeliranja disperzije zagađujućih materija iz tačkastog izvora emisije i rezultata mjerenja koncentracije SO₂ na kontrolnim mjernim tačkama (mjernim stanicama), *jaka* i da se veza ovih veličina sa visokim procentom može objasniti modelom jednostavne linearne regresije.

3. ZAKLJUČAK

Matematički model disperzije korišten u ovom istraživanju, može se primijeniti kao alat za procjenu uticaja tačkastog izvora emisije na posmatrano geourbano područje. Također, može se konstatovati da je na osnovu koncentracija zagađujućih materija u kontrolnim volumenima mreže receptora, koje se dobiju u procesu modeliranja, moguće sasvim pouzdano procijeniti ukupnu koncentraciju. Ako vrijednosti koncentracije zagađujućih materija dobijene modeliranjem, za koje smo pouzdano utvrdili da su statistički gledano u jakoj vezi s izmjerenim vrijednostima, posmatramo kao udio u ukupnom zagađenju, koje se dobije putem mjerenja, onda se pouzdano može odrediti procentualno učešću nekog izvora zagađenja na okolinu. Time je, postupkom validacije modela SELMA^{GIS}, potvrđeno da se isti pouzdano može koristiti za procjenu kvaliteta zraka usljed uticaja iz tačkastog izvora zagađenja.

LITERATURA

- [1] Instruction manual: Modeling System SELMA^{GIS} Version 9.20; System for Calculating and Representing Air Pollutant Concentrations, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH&Co. KG; Radebeul, 2006.
- [2] D. Feretić, Ž. Tomšić, D. Škanata, N. Čavliina, D. Subašić: *Elektrane i okoliš*, Element, Zagreb, 2000.
- [3] S. Selimović, M. Imamović, I. Smajević: Ekološki monitoring-alat za praćenje kvaliteta tehnološkog procesa i zaštitu okoline, V Bosanskohercegovačko savjetovanje CIGRE (STK 37), Zbornik radova, Neum 2001.

- [4] A. Knežević, i ostali: *Studija o osiguranju kvaliteta zraka na području općine Kakanj*, CETEOR Sarajevo, Sarajevo, 2006.
- [5] S. Selimović: *Primjena modela disperzije polutanata emitovanih iz tačkastog izvora emisije sa validacijom rezultata putem sistema okolinskog monitoringa*, Magistarski rad, Univerzitet u Zenici – Mašinskifakultet, Zenica 2013.
- [6] Izvještaj o zaštiti okoline/okoliša za 2008. godinu, J.P Elektroprivreda BiH d.d. Sarajevo, 2009.
- [7] B. Kovačić: *Poslovna statistika*, Tehničko veleučilište u Zagrebu, 2011.

BIOGRAFIJA

Samir Selimović, magistar tehničkih nauka, uposlenik J.P Elektroprivreda d.d. Sarajevo, Podružnica Termoelektrana „Kakanj“. Stručne radove iz oblasti zaštite okoliša, matematičkog modeliranja disperzije polutanata i upravljanja kvalitetom, objavljivao na skupovima BHKCIGRE, TMT, KVALITET i dr.

Izet Smajević, doktor tehničkih nauka, redovni profesor na Mašinskom fakultetu Univerziteta Sarajevo - Odsjek za

energetiku, procesnu tehniku, KGH i okolinsko inženjerstvo. Autor je više od 150 naučnih i stručnih radova objavljenih u međunarodnim časopisima i zbornicima, kao i nekoliko patenata. Sa dugogodišnjim je domaćim i međunarodnim radnim iskustvom u privredi, od čega naročito u Elektroprivredi BiH.

Šefket Goletić, doktor bioloških nauka - oblast Ekologija i zaštita sredine, vanredni profesor na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Zenici - Odsjek za ekološko inženjerstvo, šef Katedre za ekološko inženjerstvo. Autor je više od 112 naučnih i stručnih radova objavljenih u međunarodnim časopisima i zbornicima, osam knjiga i više od 86 naučnoistraživačkih i razvojnih projekata iz oblasti ekološkog inženjerstva i zaštite okoliša.

Jusuif Duraković, doktor tehničkih nauka, vanredni profesor na Fakultetu za metalurgiju i materijale Univerziteta u Zenici. Naučna oblast Toplotehnika. Izdao je 3 udžbenika i autor je većeg broja naučnih i stručnih radova. Aktivno prisutan na tržištu kroz proizvodnju industrijskih peći.