

NUMERICAL SIMULATION OF SPREADING CO₂ AND SO₂ EMITTED FROM STACK KOSTOLAC B ABOVE THE MUSEUM VIMINACIJUM

Kozić Mirko, VTI, Belgrade, Serbia

Puharić Mirjana, Institut Kirilo Savić, Belgrade, Serbia

Ristić Slavica, Institut Goša d.o.o., Belgrade, Serbia

Suzana Polić Radovanović, Centralni institut za konzervaciju, Belgrade, Serbia

ABSTRACT

Air pollution in recent times become important, so that the need for protection from air pollution, ensuring the quality of life in rural areas and industrial centers, and the preservation of the ecological potential of the natural environment, it becomes one of the imperatives of development. The major sources of atmospheric pollution are combustion of fossil fuels in industry and power generation, as well as in internal combustion engines.

Scientific approach to solving this problem uses different experimental, theoretical and numerical methods. This paper presents the results of simulations of pollution emitted from the stack Kostolac B, CFD method above Viminacijum museums. This archaeological site was selected because of its excellence. Used the software package Fluent for flow simulation. Wind direction was chosen to wind rose, which was obtained from the Meteorological Department. Application of CFD numerical simulation method is intended to demonstrate the advantages of the method presented in solving the acute problems of environmental pollution in the fastest, most efficient and most economical way, whether pollution comes from point sources, diffuse and mobile sources.

Keywords: simulation, CFD methods, pollution,

NUMERIČKA SIMULACIJA ŠIRENJA CO₂ I SO₂ EMITOVANIH IZ DIMNJAKA TERMoeLEKTRANE KOSTOLAC B IZNAD MUZEJA VIMINACIJUM

Zagađenje vazduha u novije vreme poprima značajne razmere, tako da potreba zaštite vazduha od zagađenja, obezbeđenje kvaliteta života u naseljima i industrijskim centrima i očuvanje ekološkog potencijala prirodne sredine, postaje jedan od imperativa razvoja. Najveći izvori zagađenja atmosfere su sagorevanje fosilnih goriva u industriji i u proizvodnji električne energije, kao i u motorima sa unutrašnjim sagorevanjem.

Naučni pristup rešavanja ovog problema koristi različite eksperimentalne, teoretske i numeričke metode. U ovom radu predstavljeni su rezultati simulacije širenja zagađenja emitovanih iz dimnjaka termoelektrane Kostolac B, CFD metodom, iznad muzeja Viminacijum. Ovo arheološko nalazište je izabrano zbog svoje izuzetnosti. Za simulaciju strujanja korišćen je softverski paket Fluent. Smer vetra je izabran prema ruži vetrova, koja je dobijena od meteorološke službe. Primena CFD metoda numeričke simulacije strujanja ima za cilj da demonstrira prednosti koje ove metode daju u rešavanju akutnih problema zagađenja životne sredine na najbrži, najefikasniji i najekonomičniji način, bilo da zagađenje potiče iz tačkastih, difuznih ili pokretnih izvora.

Ključne reči: simulacija, CFD metoda, zagađenje,

1. UVOD

Čist vazduh je osnova za zdravlje i život ljudi i čitavog ekosistema. Vazduh je smeša gasova koja se sastoji od približno 4/5 azota, 1/5 kiseonika i vrlo malih količina plemenitih gasova, ugljen dioksida, vodonika, ozona, vodene pare i raznih nečistoća. Problem nastaje kada se ovaj odnos poremeti. Glavni zagađivači vazduha su sumporni spojevi nastali sagorevanjem fosilnih goriva, ugljenmonoksid (CO), azotni oksidi (NO_x), ugljikovodonici, mikročestice čađi, a specifični olovo, kadmijum, mangan, arsen, nikel, hrom, cink i drugi teški metali i organski spojevi.

Jedan od važnijih veštačkih izvora zagađenja je industrija, koja prema fizičkim i prostornim karakteristikama, spada u tačkasti izvor zagađenja. Primarne emisije SO₂ u industriji potiču iz procesa sagorevanja fosilnih goriva iz motornih vozila i postrojenja za proizvodnju energije, gde posebno mesto zauzimaju termoelektre. Za industrijske centre su karakteristične sezonske promene koncentracije SO₂, a najviše vrednosti se javljaju tokom zimskih meseci. Oksidna jedinjenja sumpora su na vodećoj poziciji među zagađivačima vazduha i imaju veoma štetne efekte na biološke sisteme, pa se koncentracija SO₂ u vazduhu uzima kao referentni parametar za procenu kvaliteta, odnosno stepena zagađenosti vazduha. Osnovni naučni dokazi pokazuju da ugljen dioksid CO₂ igra značajnu ulogu kada je u pitanju efekat staklene bašte. Zbog pojasa ugljen-dioksida i drugih otrovnih gasova u atmosferi infracrveni zraci ne mogu da se probiju u kosmos, već ostaju pod slojem gasova i Zemlja ih ponovo apsorbuje što rezultuje efektom zagrevanja atmosfere. Za značajne količine ugljen dioksida i drugih gasova koji izazivaju efekat staklenika, odgovorni su upravo antropogeni izvori.

Upravo iz ovih razloga, CFD metodom je simulirano širenje gasovitih polutanata iz termoelektre Kostolac B, a praćena je masena koncentracija sumpor dioksida i ugljen dioksida. Istraživanja vezana za zagađenje vazduha iz termoelektre Kostolac B sprovedena su na arheološkom nalazištu Viminacijum. Ostaci ovog rimskog grada i vojnog logora predstavljaju dragulj kulturne baštine naše zemlje. U Viminacijumu se izuzetno bogatstvo krije već u površinskom, oraničnom sloju. Jedan od značajnih objekata je muzej Viminacijum, veoma atraktivan za posetioce, u čijim depoima je smešteno više od 40.000 vrednih eksponata pronađenih na lokalitetu. Imajući u vidu izuzetnost ovog arheološkog nalazišta, sprovedena su istraživanja, koja obuhvataju uticaj zagađenja iz termoelektre Kostolac B. Odbor za nacionalne starine je vršio procenu sadržaja koji mogu da oštete osetljive artefakte, više od prirodnog raspadanja. Nivo tih sadržaja je znatno niži nego propisane granične vrednosti za zdravlje [13,14].

Industrijsko zagađenje, pored negativnog uticaja na kulturnu baštinu, izaziva i zagađenje agrosistema, koje postaje veoma ozbiljan problem. Termoelektre i proizvodnja cementa, takođe zagađuju obradive površine u njihovoj blizini i snažni su izvori prašine i pepela. Industrija kontaminira zemljište neposredno toksičnim supstancama i posredno taloženjem polutanata iz vazduha, jer aerozagađenje pre ili kasnije pada na zemljište, gde dolazi do hemijskih reakcija koje menjaju sastav zemljišta i negativno utiču na njegovu plodnost.

Jednako značajan izvor zagađenja životne sredine, pored industrije je i saobraćaj, kako u gradovima tako i na velikim saobraćajnicama. Vozila koja koriste dizel gorivo proizvode veoma fine suspendovane čestice, koje su izuzetno opasne za ljudsko zdravlje. Zbog toga je neophodno u izradi inicijalnih studija putnih koridora napraviti studiju izvodljivosti zajedno sa pripadajućom procenom uticaja na životnu sredinu. Puteve treba graditi tako da mogu zadovoljiti strožije zahteve za bezbednost i zaštitu životne sredine [13].

U tabeli 1. dat je procenat štetnih gasova po vrstama saobraćaja. Očigledno je da drumski saobraćaj ima najveći udeo emisije štetnih sastojaka u atmosferu. Većina zagađujućih supstanci, ne ostaje dugo u atmosferi, već se u neizmenjenom ili izmenjenom obliku vraća na površinu zemlje. Gasovi i čestice se spuštaju pod delovanjem sile gravitacije, difuzijom i turbulentnim transportom. Deo njih apsorbuje vegetacija, ali se najvećim delom vraćaju na zemljinu površinu.

Tabela 1: Procenat štetnih gasova po vrstama saobraćaja [12]

Udeo emisije po saobraćajnim granama (%)	Štetni sastojak					
	Ugljen monoksid (CO)	Azotni oksid (NOx)	Ugljen vodonik (CH)	Ugljen dioksid (CO ₂)	Sumpor dioksid (SO ₂)	Čvrste čestice
Železnički saobraćaj	1	4	1	4	10	5
Drumski saobraćaj	98	90,5	95	80	74	85
Vazdušni saobraćaj	0,3	0,5	1	11	2	3
Vodeni saobraćaj	0,7	5	3	5	14	7

Teški metali se pretežno zadržavaju u površinskom sloju zemljišta, koji je izuzetno značajan za produktivnost ekosistema. Stepenn toksičnosti teških metala u zemljištu zavisi od više faktora: kiselosti, količine i svojstava organskih materija u pogledu kapaciteta sposobnosti metala da stupi u interakcije sa glinom i drugim neorganskim materijama. U uslovima zagađenja zemljišta teškim metalima, menjaju se bitni parametri za rast, gustinu populacije, efikasnost metabolizma, što rezultuje zastojima bioloških transformacija. Imajući u vidu ove činjenice, ovoj problematici treba posvetiti posebnu pažnju, naročito kada su u pitanju nove saobraćajnice i njihov uticaj na agro i ekosisteme. Takođe, na osnovu informacija o kulturnoj imovini Zavoda za zaštitu spomenika kulture, treba vršiti trasiranje kako bi se zaobišla zakonom zaštićena područja i kulturni spomenici i da se uticaji na životnu sredinu i socijalni poremećaji svedu na minimum. U toku izrade pojedinih faza projekta saobraćajnica, potrebno je evidentirati koji lokaliteti zahtevaju dalja istraživanja, kako bi se utvrdilo da li su ugroženi projektom [15].

Simulacija strujanja CFD metodom je lako primenljiva i na istraživanja vezana za zagađenja štetnim jedinjenjima, kao što su olovo, benzen, suspendovane čestice i benzopiren, koje su značajno povišene usled emisija iz saobraćaja.

2. PRIMENA CFD METODA

Zagađenje, pre svega zavisi od jačine izvora zagađenja, a njegovo širenje, razblaživanje i taloženje polutanata na okolinu zavisi od visine zagađivača (visina dimnjaka), brzine padanja čestica, turbulencije i razmene vazdušnih masa, pravca i brzine vetra, oblika zemljišta i okolnih objekata. Osnovni parametar koji utiče na zagađenje atmosfere je vetar, njegova brzina, pravac i vertikalni odnosno horizontalni gradijent temperature.

U ovom radu prikazan je primer primene CFD metoda na određivanje raspodele koncentracije štetnih materija u bližem i daljem okruženju termoelektrane Kostolac B, pod uticajem dejstva vetrova. Za određivanje putanja i promene koncentracija gasovitih štetnih materija u vazduhu od njihovog izvora i njihovo širenje u okolinu, korišćen je softver ANSYS-FLUENT, koji uzima u obzir sve bitne detalje geometrije i lokalne uslove okruženja [1]. Simulacija je urađena na osnovu poznatih vrednosti koncentracija štetnih materija na izlasku iz dimnjaka. Dimni gasovi sastavljeni od ugljendioksida, kiseonika, azota, vodene pare i polutanata, ispuštaju se u atmosferu kroz dimnjak. Na osnovu ukupnog zapreminskog protoka vlažnog dimnog gasa i površine poprečnog preseka izlaznog preseka dimnjaka, dobija se brzina dimnih gasova na izlasku iz dimnjaka. Ovaj softver rešava jednačine održanja mase, količine kretanja, energije i masene koncentracije mešavine više gasova, kojima su opisane konvekcija, difuzija i eventualno izvori (mase, energije) usled različitih reakcija, za svaki od gasova čija koncentracija se izračunava u numeričkom domenu.

Na slici 1, data je mapa terena oko termoelektrane Kostolac B. Ovo područje odlikuje se umereno kontinentalnom klimom u kojoj su naglašeni stepsko–kontinentalni klimatski uticaji susednog Banata. Zime su hladnije, a leta toplija. Relativna blizina ulaza u Đerdapsku klisuru utiče da košava, čija brzina ponekad prelazi 90 km/h, ima znatno dejstvo na klimu. Srednja godišnja temperatura je oko 10,9 °C, a srednja godišnja amplituda kolebanja temperature iznosi 21,3 °C. Na području rudarsko-energetskog

bazena dominantan pravac vetra je jug-jugoistok i jugoistok, a zatim vetrovi zapadnog i zapadno-severozapadnog pravca.

Ulazni podaci za numeričku simulaciju, definisani su na osnovu ruže vetrova i merenja njihovih intenziteta, koja je izvršio Hidrometeorološki zavod Srbije u Beogradu u periodu od 2000. do 2009. godine [2]. Zbog položaja dimnjaka termoelektrane i mogući uticaj zagađenja na muzej Viminacijum, za numeričke simulacije je odabran zapadni vetar, brzine 4 m/s, i severozapadni maksimalne brzine 9 m/s i za uslove umereno stabilne atmosfere [2].



Slika 1. Mapa terena oko termoelektrane Kostolac B sa objektima: dimnjak termoelektrane i muzej Viminacijum, pogled odozgo [Google mapa]

Brzina i temperatura dimnih gasova na izlazu, izračunati su na osnovu merenja prikazanih u ref. [3,4,6], i iznose je 19,1 m/s i 443 K. Analizirane su masene koncentracije svih konstituenata, koji se nalaze u sastavu dimnih gasova, ali će u ovom radu biti razmatrane samo masene koncentracije sumpordioksida i ugljendioksida. Putanje i brzina različitih zagađujućih tvari su identični, jedina razlika je vrednost njihovih masenih koncentracija.

3. POSTUPAK NUMERIČKOG MODELIRANJA

Prvi korak u numeričkom modeliranju strujanja obuhvata generisanje geometrije i generisanje mreže. Zatim se definišu parametri potrebni za numeričku simulaciju:

- definisanje modela transporta višekomponentne mešavine;
- definisanje modela turbulencije;
- definisanje graničnih uslova;
- izbor reda tačnosti numeričke diskretizacije;
- inicijalizaciju strujnog polja;
- praćenje konvergencije rešenja;
- postprocesiranje i analizu dobijenih rezultata.

Generisanje geometrije počinje sa izborom domena. Razmatrani domen ima dužinu 6000 m u pravcu istok-zapad i 5000 m u pravcu sever-jug. Visina domena je 1000 m. Geometrija tla je generisana na osnovu rasterske karte i digitalnog modela terena, za područje oko termoelektrane Kostolac B,

površine 30 km² [1]. Visina dimnjaka je 250 m, sa izlaznim prečnikom 9.8 m. Numerička simulacija širenja aerogađenja iz termoelektrane Kostolac B je izvedena na objektu Viminacijum-muzej 60 x 60 x 2 m, slika 1.

3.1 Definisane modele transporta višekomponentne mešavine

Za numeričku simulaciju širenja dimnog gasa i štetnih materija iz dimnjaka termoelektrane, korišćena je opcija kojom se modelira transport višekomponentne mešavine gasovitih elemenata i jedinjenja. S obzirom da se razmatra strujanje i promena koncentracije gasova nakon izlaska iz dimnjaka, problem je pojednostavljen jer nema hemijskih reakcija i njihove interakcije sa turbulencijom.

Veoma je važno da se definišu fizička svojstva mešavine pre nego se definišu svojstva konstitutivnih sastojaka, jer mogu zavistiti od metode koja je korišćena pri definisanju osobina mešavine. Fizičke osobine mešavine koje se definišu su: gustina preko zakona promene stanja ili kao funkcija sastava, viskoznost kao funkcija sastava, specifična toplota i termička provodljivost kao funkcije sastava, koeficijent difuzije mase i Šmitov broj od kojih zavisi difuzioni fluks mase. Za svaku komponentu mešavine moraju se definisati: molarna masa, entalpija formiranja, viskoznost ako je viskoznost mešavine definisana kao funkcija sastava, specifična toplota i termička provodljivost ako su ove osobine mešavine definisane kao funkcije sastava [8].

3.2 Definisane modele turbulencije

Za opisivanje efekata turbulentnih fluktuacija brzine i skalarnih veličina, korišćen je standardni $k-\epsilon$ model, u kome se turbulentna viskoznost određuje preko kinetičke energije i disipacije turbulentnih fluktuacija. Na osnovu ovako izračunate turbulentne viskoznosti izračunavaju se turbulentni naponi, uvodeći pretpostavku Businesska, da je izraz za turbulentne napone sličan onom za napone u laminarnom strujanju, a da umesto dinamičke viskoznosti stoji turbulentna viskoznost. Turbulentni naponi se dalje koriste u jednačinama promene količine kretanja i energije.

3.3 Definisane graničnih uslova

Na ulazu u numerički domen definisana je brzina vetra. Korišćen je logaritamski profil brzine vetra, koji uzima u obzir uticaj graničnog sloja usled prisustva tla. Kod log profila kinetička energija i disipacija turbulencije se menjaju sa visinom. Na izlazu iz dimnjaka, specificiraju se masene koncentracije svih sastojaka višekomponentne mešavine, njena brzina i temperatura.

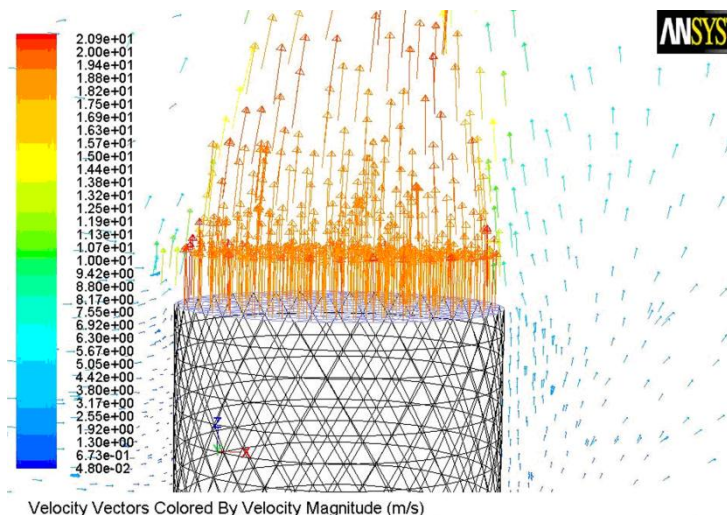
Na izlaznoj granici numeričkog domena definisana je vrednost statičkog pritiska, koji je jednak pritisku okoline. Na ovoj granici definišu se i vrednosti masenih koncentracija sastojaka mešavine za slučaj da se javi povratno strujanje u početnoj fazi numeričke simulacije.

Na čvrstim površinama (zidovima) za globalno strujanje, definišu se brzina i termalni granični uslovi. Za brzinu se standardno uzima da nema klizanja, odnosno da je relativna brzina između zidova i fluidnih delića u kontaktu sa njima, jednaka nuli. U razmatranom modelu sve čvrste površine (tlo, dimnjak i druge građevine) su nepokretne, pa je apsolutna brzina fluidnih delića na njima jednaka nuli. Za sve sastojke mešavine uzima se da je gradijent koncentracije u pravcu normale na čvrstu površinu jednak nuli, odnosno taj uslov znači da je fluks svih sastojaka mešavine kroz čvrstu površinu jednak nuli.

Za termalne granične uslove na čvrstim površinama uzeti su adijabatski uslovi, odnosno da nema razmene toplote između zida i fluida, što je dovoljno tačno za razmatrano strujanje [5,7,9,10,11].

4. REZULTATI NUMERIČKE SIMULACIJE

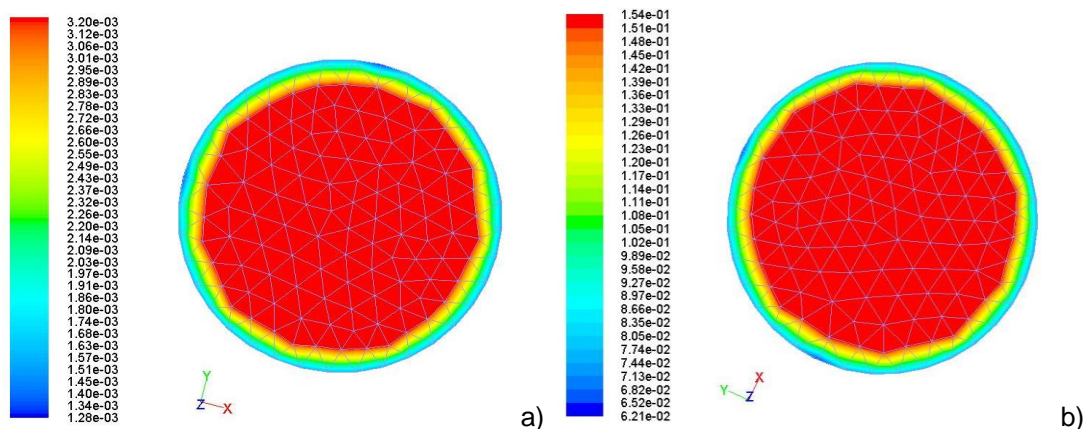
Na slici 2. dati su vektori brzine dimnih gasova na izlazu iz dimnjaka i brzine okolnog vazduha usled dejstva vetra. Zbog velike brzine, dimni gasovi na izlasku iz dimnjaka znatno menjaju lokalno strujanje koje nastaje usled dejstva vetra.



Slika 2. Vektori brzine dimnih gasova na izlazu iz dimnjaka i okolnog vazduha usled dejstva vetra

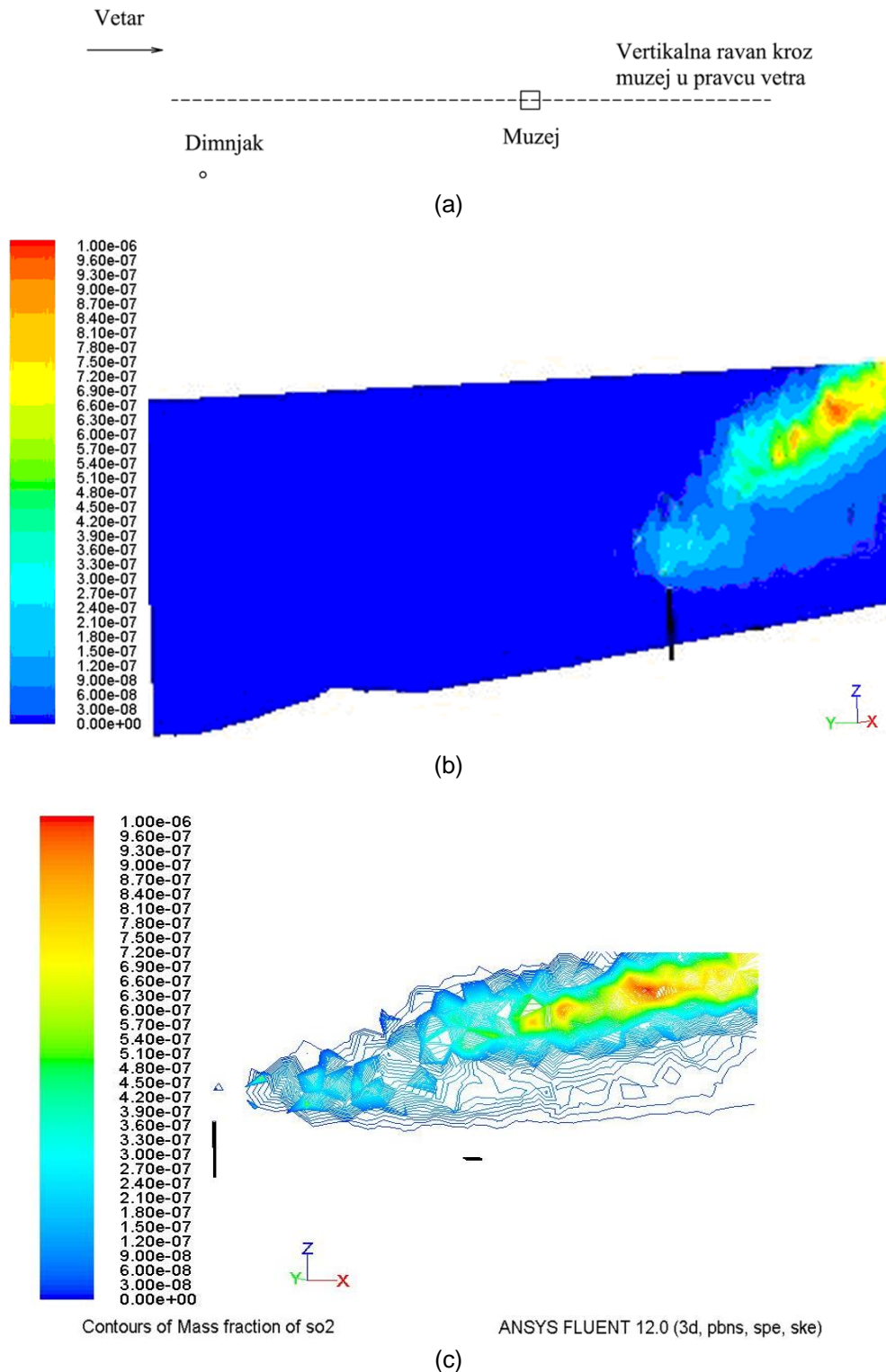
Na slici 3. prikazana je masena koncentracija štetnih gasova SO_2 i CO_2 na samom izlasku iz dimnjaka. Masene koncentracije gasovitih polutanata se zadaju kao granični uslov i predstavljaju srednju vrednost merenih veličina. Na skali levo mogu se očitati njihove vrednosti. Očigledno su vrednosti masenih koncentracija sumpordioksida, na izlazu iz dimnjaka termoelektrane, veće od masene koncentracije ugljendioksida.

Na slici 4. (a, b i c), prikazana je masena koncentracija sumpordioksida, odnosno njegovo širenje u vertikalnoj ravni koja je postavljena kroz Viminacijum – muzej. Prikaz je dat u obliku izoliniija i punog profila. Može se primetiti da je uticaj, pod normalnim atmosferskim uslovima, zanemarljiv. Masene koncentracije i svih ostalih gasovitih polutanata ponašaju na kvalitativno isti način. Jedina razlika je samo u vrednostima masenih koncentracija. Iz tog razloga prikazano je širenje samo sumpordioksida pod delovanjem zapadnog vetra.



Slika 3. Masena koncentracija gasovitih polutanata na samom izlasku iz dimnjaka a) sumpordioksid, b) ugljendioksid

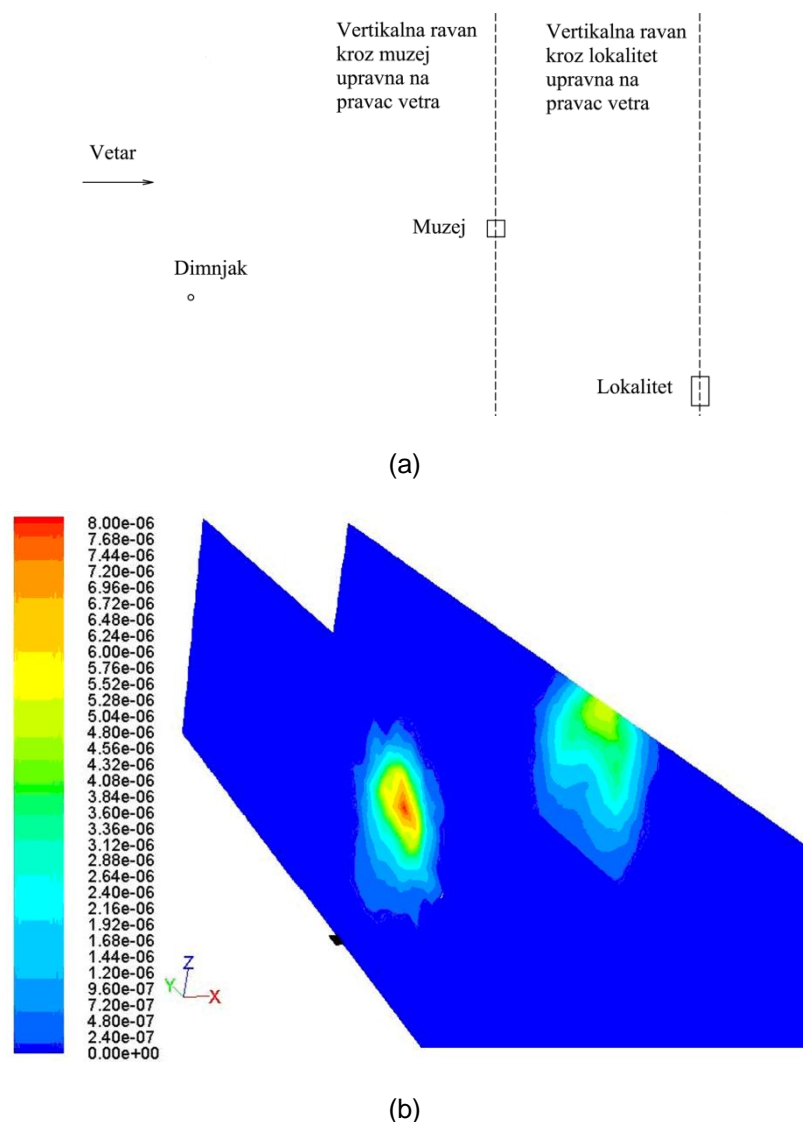
Na slici 5. prikazana je masena koncentracija sumpordioksida istovremeno u dve vertikalne ravni, koje su upravne na pravac strujanja zapadnog vetra. Prednja ravan je postavljena tačno iznad Viminacijum-muzeja, a zadnja na udaljenosti ... m od nje, iznad Viminacijum – arheološkog lokaliteta. Strujna slika širenja polutanata u ravnima upravnim na pravac strujanja zapadnog vetra, pokazuje značajan pad masene koncentracije SO₂ na udaljenosti oko 1000 m.



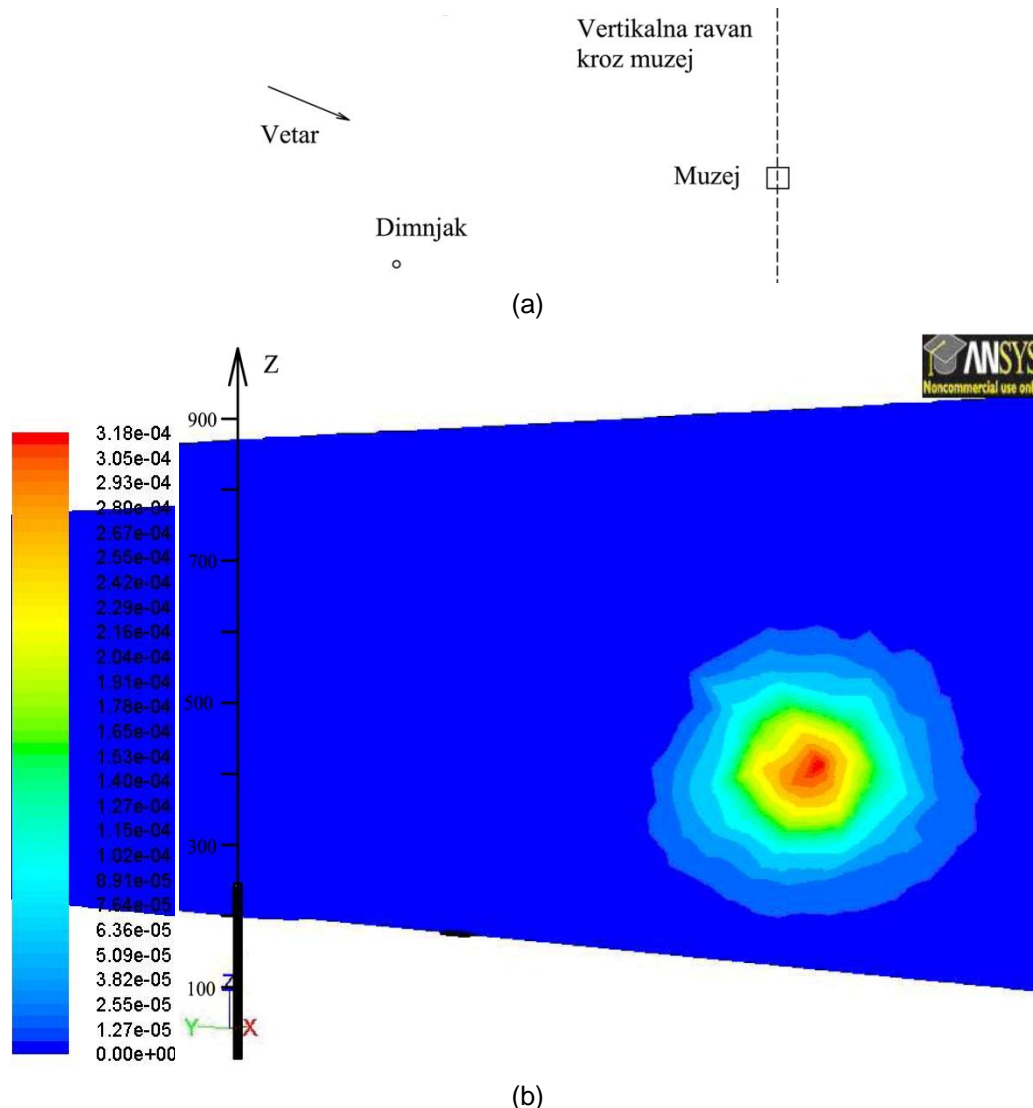
Slika 4. Masena koncentracija sumpordioksida u vertikalnoj ravni koja prolazi kroz Viminacijum – muzej u pravcu strujanja zapadnog vetra

Simulacija širenja zagađenja je rađena i za severo-zapadni vetar, brzine 9 m/s. Na slici 6. je prikazana masena koncentracija CO₂ u vertikalnoj ravni postavljenoj kroz Viminacijum-muzej u pravcu sever-jug. Može se zaključiti da postoji znatna razlika u koncentraciji gasova u odnosu na raspodelu koja je dobijena za zapadni vetar. Razlog za to je znatno veća brzina severozapadnog vetra.

Simulacija širenja zagađenja je rađena i za severo-zapadni vetar, brzine 9 m/s. Na slici 6. je prikazana masena koncentracija CO₂ u vertikalnoj ravni postavljenoj kroz Viminacijum-muzej u pravcu sever-jug. Može se zaključiti da postoji znatna razlika u koncentraciji gasova u odnosu na raspodelu koja je dobijena za zapadni vetar. Razlog za to je znatno veća brzina severozapadnog vetra.



Slika 5. Masena koncentracija sumpordioksida u dve vertikalne ravni upravne na pravac zapadnog vetra na udaljenosti oko 1000 m jedna od druge



Slika 6. Masena koncentracija ugljendioksida u vertikalnoj ravni postavljenoj u pravcu sever- jug, kroz Viminacijum – muzej, pod delovanjem severo-zapadnog vetra

5. ZAKLJUČAK

Numeričke simulacije širenja dimnog gasa sa gasovitim polutantima iz dimnjaka termoelektrane Kostolac B ka Viminacijum muzeju, izvedene su pri normalnim atmosferskim uslovima, za slučajeve zapadnog i severozapadnog vetra, pri čemu su uzete u obzir maksimalne merene brzine vetrova. Masene koncentracije gasovitih polutanata na muzeju su za nekoliko redova veličine manje od onih na izlasku iz dimnjaka, odnosno nemaju uticaja na njegovo zagađenje.

Ne sme se zanemariti činjenica da bi se, pri nepovoljnim atmosferskim uslovima, kao što su jake padavine (kiša, sneg), gusta magla i nizak pritisak, višestruko povećalo moguće zagađenje muzeja Viminacijum gasovitim polutantima. U zimskim mesecima usled niskih temperatura okolnog vazduha, dolazi do bržeg hlađenja dimnih gasova nakon njihovog izlaska iz dimnjaka. Rezultat toga je da oni brže gube silu potiska, tj. brže padaju na tlo. Na širenje dimnih gasova zanemarljiv uticaj ima reljef oko termoelektrane. Ovo je posledica velike visinske razlike između dimnjaka i najviših kota na okolnom reljefu.

Primer praćenja zagađenja iz termoelektrane Kostolac B, pokazuje velike mogućnosti primene numeričkih simulacija korišćenjem CFD metoda na istraživanja zagađenja životne sredine, kako od

industrijskih izvora zagađenja, tako i zagađenja od saobraćaja. Drumski saobraćaj je uzrok više od polovine emisija NOx i 35% emisija isparljivih organskih jedinjenja.

Poseban problem u zagađivanju zemljišta čini emisija velike količine CO₂, sumpor–anhidrida, različitih metala, ugljene kiseline. Industrijski objekti i saobraćajnice u degradaciji zemljišta učestvuju sa oko 25%.

CFD metode simulacije širenja zagađenja su koristan i neophodan alat u planiranju i projektovanju velikih industrijskih postrojenja i velikih saobraćajnica, koje mogu da budu uzrok zagađenja vazduha i degradacije plodnog zemljišta u njihovoj okolini.

Zahvalnost:

Zahvaljujemo se Ministarstvu za prosvetu i nauku Republike Srbije i PD TE - KO Kostolac, za finansijsku podršku u okviru projekta **TR-34028**.

LITERATURA

- [1] Izveštaj, Rasterska karta 1 : 25000, Br. 431 – 3 – 2 i digitalni modela terena – grid, za područje oko termoelektrane Kostolac B (površine 30 km²) u formatu DXF, Vojnogeografski institut VS, Beograd
- [2] Izveštaj, Ruža vetrova za područje Kostolca, period 2000. do 2009. god., Veliko Gradište, Hidrometeorološki zavod Srbije, Beograd
- [3] Izveštaj o merenju emisija br. E-15/09, Rudarski institut-Beograd, Laboratorija za zaštitu sredine, Zemun, 2009.
- [4] Izveštaj o merenju emisija br. E-16/09, Rudarski institut-Beograd, Laboratorija za zaštitu sredine, Zemun, 2009
- [5] M.Kozić, S.Ristić, M.Puharić, B.Katavić, Comparison of Euler-Euler and Euler-Lagrange approach in numerical simulation of multiphase flow in ventilation mill, Third Serbian 28th Yu) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, Vlasina lake, Serbia, 5-8 july 2011.
- [6] D.Stojiljković, A.Jovović, V.Jovanović, N.Manić, Đ.Milovanović, S.Petrović, L.Rubov, M.Gavrić, Z.Žbogar, "Izbor optimalnog tehničkog rešenja postrojenja za odsumporavanje dimnih gasova na TE Kostolac B", Termotehnika br. 2, vol. XXXV, 177-195, 2009.
- [7] Kozić M., Puharić M., Ristić S., Katavić B., Numerička simulacija strujanja u ventilacijskom mlinu i kanalu aerosmeše termoelektrane na lignit Kostolac B, Strojstvo 53, 2, 2011, 83-90
- [8] ANSYS FLUENT 12.0 User's Guide
- [9] Kozic Mirko S., Ristic Slavica S., Puharic Mirjana A., Katavic Boris T., Numerical simulation of multiphase flow in ventilation mill and channel with louvers and centrifugal separator, Thermal Science, Vol. 15, No.3, pp.677-689, 2011,
- [10] M.Kozić, S.Ristić, M.Puharić, B.Katavić, Comparison of Euler-Euler and Euler-Lagrange approach in numerical simulation of multiphase flow in ventilation mill, Third Serbian 28th Yu) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, Vlasina lake, Serbia, 5-8 july 2011.
- [11] Kozić M., Puharić M., Ristić S., Katavić B., Numerička simulacija strujanja u ventilacijskom mlinu i kanalu aerosmeše termoelektrane na lignit Kostolac B, Strojstvo 53, 2, 2011, 83-90
- [12] Bundalo Z., Uticaj kombinovanog kopnenog transporta na zaštitu životne sredine, 4. Nacionalne konferencije o kvalitetu života, 21. 05. 2009., Mašinski fakultet u Kragujevcu
- [13] STRATEŠKO PLANIRANJE U SEKTORU PUTEVA, Deo 3: Preporuka o izradi plana zaštite životne sredine i bezbednosti na putevima, Izdavač JAVNO PREDUZEĆE „PUTEVI SRBIJE“ Beograd, 2009.
- [14] Preserving our heritage, improving our environment, Volume I, 20 years of EU research into cultural heritage, edited by Michel Chapuis Directorate-General for Research 2009. Environment
- [15] Koridor X Idejni projekat autoputa E-80 NIŠ – DIMITROVGRAD, deonica: Prosek – granica Bugarske, IZVEŠTAJ O ZAŠTITI ŽIVOTNE SREDINE, Maj 2009.