

# Numerička simulacija strujanja u ventilacijskom mlinu i kanalu aerosmjese termoelektrane na lignit *Kostolac B*

Mirko KOZIĆ<sup>1)</sup>, Mirjana PUHARIĆ<sup>2)</sup>,  
Slavica RISTIĆ<sup>2)</sup> i Boris KATAVIĆ<sup>2)</sup>

1) Vojnotehnički institut Ministarstvo odbrane  
Republike Srbije (Military Technical  
Institute Republic of Serbia - Ministry of  
Defence), Ratka Resanovića 1,  
11030 Beograd, Republic of Serbia

2) Institut GOŠA,  
Milana Rakića 35, 11000 Beograd,  
Republic of Serbia

miramo@neobee.net

## Ključne riječi

Kanal aerosmjese  
Numeričke metode  
Simulacija višefaznog strujanja  
Ventilacijski mlin

## Keywords

Duct of air mixture  
Numerical methods  
Simulation multiphases flow  
Ventilation mill

Received (primljeno): 2010-09-21

Accepted (prihvaćeno): 2011-01-31

## 1. Uvod

Ventilacijski mlin je jedno od osnovnih postrojenja u termoenergetskom sustavu, koji svojim radom znatno utječe na razinu energetske učinkovitosti termoelektrana. Efikasnost rada ventilacijskog mlina, kao i proces habanja vitalnih dijelova postrojenja je u direktnoj vezi sa karakterom višefaznog strujanja u ventilacijskom mlinu, u kojem sudjeluju recirkulacijski plinovi, ugljena prašina, pijesak i ostale tvari [1-3]. Posljedice su smanjenje proizvodnog kapaciteta i ventilacijskog djelovanja mlina u odnosu na projiciranu vrijednost, kao i česti zastoji zbog zamjene dijelova, što značajno utječe na produktivnost, ekonomičnost i energetska učinkovitost.

Multidisciplinarna istraživanja strujanja ventilacijskog mlina i kanala aerosmjese obuhvaćaju različite teorijske, numeričke, empirijske i eksperimentalne metode ispitivanja strujanja [4-24]. Specifični uvjeti mjerenja vrlo često prouzrokuju otkaz mjerne opreme, pa se sve

Izvornoznanstveni članak

U radu su izloženi rezultati numeričke simulacije višefaznog strujanja u ventilacijskom mlinu i kanalima aerosmjese termoelektrane *Kostolac B*. Ovo strujanje razrijeđene mješavine plina i čvrstih djelića ugljenog praha i pijeska, modelirano je pomoću softvera ANSYS FLUENT 12, sa modelom mješavine u pristupu Ojler-Ojler. Proces simulacije obuhvaća modeliranje geometrije, generiranje mreže i praćenje putanja djelića mješavine. Izvršeno je poređenje dobivenih numeričkih rezultata s rezultatima mjerenja za raspodjelu plinske mješavine i brzinu aerosmjese na ulasku u plamenike.

## Numerical Flow Simulation in Ventilation Mill-duct System of Lignite Power Plant *Kostolac B*

Original scientific paper

This paper presents the results of numerical simulations of multiphase flow in ventilation mill-ducts system of the power plant *Kostolac B*. This flow of diluted gas and solid piece of coal and sand mixture, was modeled using software ANSYS FLUENT 12, with a mixture model in the Euler-Euler approach. Process simulation involves geometry modeling, mesh generation and tracking trajectory of mixture pieces. A comparison of numerical and measurement results for the distribution and the speed of the mixture, at the entrance to the burner, was made.

više uvode beskontaktno metode mjerenja, ili mjerenja na modelima ventilacijskih mlinova u laboratorijskim uvjetima. Numerička simulacija strujanja je najekonomičnija, najbrža i vrlo pouzdana metoda sagledavanja kompleksne problematike višefaznog strujanja i njegove optimizacije.

U dostupnoj literaturi mogu se naći primjeri numeričkih simulacija višefaznih strujanja u sustavima različite strukture od makro do nano dimenzija. Ove metode se primjenjuju za simulaciju strujanja kako u postrojenjima za mljevenje ugljena, cementa, ruda i keramike, tako i u kanalima aerosmjese i plamenicima [6-8].

Mora se imati u vidu da je numerička simulacija jedinstven proces, s obzirom na različite uvjete eksploatacije i tehnologije koje se primjenjuju u različitim postrojenjima. Međutim, i pored toga mogu se izvesti i opći zaključci koji se odnose na značaj numeričke simulacije.

**Oznake /Symbols**

$R$	- ostatak na situ, % - rest in sieve	$W_{ulaz}$	- sadržaj vlage na ulazu, % - moisture content at the entrance
$\dot{V}_{sr}$	- ventilacijsko djelovanje mlina, m <sup>3</sup> /s - ventilation effect of the mill	$\dot{m}_{ugljen}$	- količina ugljena na ulazu u mlin, kg/s - amount of coal at the entrance to the mill
$\dot{m}_{sr}$	- količina ugljena u kojoj su sadržani pijesak i vlaga, kg/s - amount of coal which contained sand and moisture	$\dot{m}_{ugljeni\ prah}$	- maseni protok ugljenog praha na ulazu, kg/s - mass flow rate of coal dust at the entrance
$w_p$	- sadržaj vlage u ugljenom prahu, % - moisture content in coal dust		

Značaj ovog istraživanja treba promatrati u kontekstu značaja stanja i funkcioniranja termoelektrana i uopće energetike. Globalna energetska kriza zahtijeva sveobuhvatan, učinkovit, brz i multidisciplinarn pristup rješavanju problema u ovom području. Svaki, i najmanji doprinos povećanju energetske efikasnosti termoenergetskih postrojenja, uštedi energije i očuvanju okoliša pretstavlja značajan rezultat.

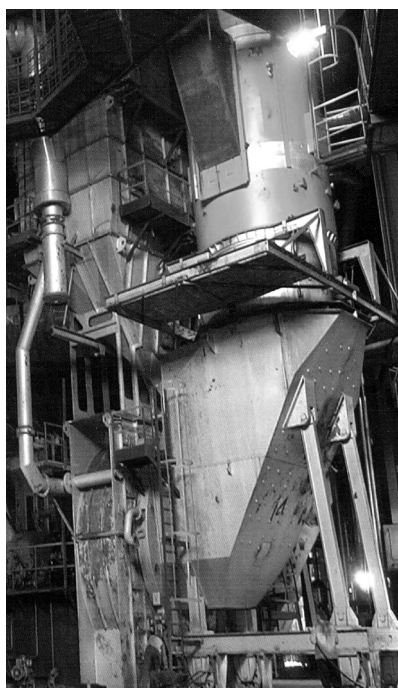
U ovom radu prikazani su rezultati numeričke simulacije višefaznog strujanja u ventilacijskom mlinu i kanalu aerosmješe termoelektrane *Kostolac B* [1, 9]. Dobiveni rezultati su uspoređeni sa eksperimentalnim mjerenjima [2, 24].

## 2. Ventilacijski mlin i kanal aerosmješe

U Termoelektrani *Kostolac B*, ugljeni prah se priprema u mlinskom postrojenju, koje se sastoji od sustava mlinova i pratećih sustava i elemenata. Sustav mlinova obuhvaća 8 ventilacijskih mlinova tipa EVT N 270.45 sa nominalnim kapacitetom od 76 t / h ugljena. Svaki mlin je direktno povezan s plamenikom koji se sastoji od četiri razine i to dva glavna donja - koji rade kao plamenici osnovne mješavine ugljenog praha i dva gornja plamenika, odnosno, plamenici za otparak. Fotografija ovog postrojenja je data na slici 1.

Projektirana raspodjela ugljenog praha je u odnosu 70 % na glavne, a 30 posto na plamenike za otparke, a plinske mješavine 50:50 %. U dosadašnjoj eksploataciji izvršene su određene rekonstrukcije ovog sustava sa ciljem povećanja ventilacijskog djelovanja i kapaciteta mlina, optimizacije raspodjele plinske mješavine i procesa sagorijevanja.

Ovim rekonstrukcijama ostvarena je raspodjela ugljenog praha na glavne i plamenike za otparke u odnosu 70:30, a raspodjela plinske mješavine u odnosu 60:40. Kvaliteta mljevenja neznatno se popravila, tako da je ostatak na situ R90 iznosio 65-70 %, a na situ R1000 ispod 10 % [1]. Pogonska ispitivanja, nakon rekonstrukcija termoblokova obavljenih 2003. god., su pokazala da raspodjela ugljenog praha u odnosu 70:30 % nije optimalna i da se izgaranje nepravilno odvija.



**Slika 1.**  
Ventilacijski mlin termoelektrane *Kostolac B*  
**Figure 1.**  
Ventilation mill-duct system in the power plant *Kostolac B*

Projektirani sustav mlinova i nakon rekonstrukcije nije osigurao pravilno izgaranje u kotlu, pa se ponovo razmatra mogućnost dodatnih rekonstrukcija.

Prateći suvremene trendove u ovom području, numerička simulacija multifaznih strujanja se nametnula kao prvi korak u sagledavanju mogućnosti rekonstrukcije mlina, revitalizacije radnih dijelova izloženih habanju i optimizaciji procesa izgaranja.

## 3. Numeričke metode

Numeričke metode su danas osnovni alat u inženjerskim analizama i simulacijama. U svijetu se koriste u svim granama nauke i tehnike za simulaciju strujanja u oblasti mehanike fluida, aerodinamike, hidrodinamike, termotehnike, izgaranja, višefaznih strujanja, u farmaciji, kemijskoj industriji, termoenergetici, sportu itd. U svijetu postoji veoma široka lepeza softvera za numeričku simulaciju. Njegova primjena predstavlja veoma značajnu alternativu laboratorijskim ispitivanjima, a posebno

je aktualna kada su neophodna složena ispitivanja na kompleksnim postrojenjima termoelektrana [8-23].

Softver ANSYS FLUENT bazira se na metodi konačnih zapremina. U ovom softveru postoje dva prilaza za numerički proračun višefaznih strujanja. Prvi je poznat kao Ojler-Lagranž, a drugi kao Ojler-Ojler pristup. Kod prvog se noseća (primarna) faza smatra neprekidnom sredinom, čije se strujanje određuje rješavanjem vremenski usrednjenih Navije-Stoksovih jednadžbi, dok se ponašanje raspršene (sekundarne) faze, dobiva prateći veliki broj čestica te faze kroz izračunato strujno polje nosećeg fluida. Putanje čestica se izračunavaju u zadanim intervalima tijekom proračuna strujanja primarne faze. Raspršena i noseća faza mogu razmjenjivati masu, količinu gibanja i energiju. Osnovna pretpostavka u ovom modelu je da volumni udio raspršene sekundarne faze bude ispod 10 posto, iako masa raspršene faze može biti čak i veća od mase primarne faze.

U pristupu Ojler-Ojler, različite faze matematički su modelirane kao neprekidne sredine koje se međusobno dopunjavaju, pošto obujam jedne faze ne može sadržavati drugu fazu. Pretpostavlja se da su ovi volumni udjeli faze neprekidne funkcije prostora i vremena i da je njihov zbroj jednak jedinici. Na svaku od faza primjenjuje se sustav jednadžbi sa sličnom strukturom. Ovi sustavi jednadžbi se zatvaraju konstitutivnim relacijama koje se dobivaju empirijski, a u slučaju granularnih strujanja primjenom kinetičke teorije. U pristupu Ojler-Ojler postoje tri modela višefaznih strujanja: model obujma fluida (VOF), model mješavine i Ojlerov model.

Model mješavine je uprošćeni multifazni model, koji se može koristiti za strujanja u kojima se faze kreću različitim brzinama, ali se pretpostavlja postojanje lokalne ravnoteže na malim dužinskim skalama. Također, sprezanje između faza treba biti jako. U ovom modelu rješavaju se jednadžbe kontinuiteta, promjene količine gibanja i energije za mješavinu, jednadžbe zapreminske koncentracije za sve sekundarne faze i algebarske jednadžbe za relativne brzine. Model omogućava granularne sekundarne faze i izračunava sve osobine ovih faza. Model mješavine predstavlja dobru zamjenu za pun Ojlerov višefazni model u nekim slučajevima, kao što je široka raspodjela veličine čestica čvrste faze, ili kada su zakoni interakcije između faza nepoznati. Ovakav model mada jednostavniji, može u tim slučajevima da daje relevantnija rješenja, pri čemu se rješava manji broj varijabli, odnosno potrebni su manji računalni resursi.

#### 4. Numerička simulacija strujanja u ventilacijskom mlinu i kanalu aerosmjese

U ovom će radu biti prikazani rezultati numeričke simulacije dobiveni primjenom modela mješavine u Ojler-Ojler pristupu. Model mješavine omogućava da

se faze međusobno nadopunjuju, odn. volumetrijske koncentracije u kontrolnoj zapremini (elementu zapreminske mreže) mogu imati bilo koju vrijednost između 0 i 1, ovisno od dijela volumena koji zauzimaju pojedine faze. Ovaj model omogućava da se faze kreću različitim brzinama, koristeći koncept brzina klizanja, a u slučaju istih brzina faza, model se svodi na homogeno multifazno strujanje.

Postupak numeričkog modeliranja višefaznog strujanja u ventilacijskom mlinu i kanalima do ulaska u plamenike, sastoji se od dva dijela. Prvi dio se obavlja u posebnom softverskom paketu namijenjenom za pripremu geometrije u formi koja je potrebna softveru za numeričku simulaciju, a koji sadrži generiranje geometrije i mreže.

Drugi dio odnosi se na solver u kome se vrši izbor modela i definiranje različitih parametara, a koji se sastoji od sljedećih koraka: definiranje općeg modela strujanja, definiranje multifaznog modela, faza i njihovih interakcija, definiranje viskoznog modela i modela turbulencije, definiranje graničnih uvjeta, izbor reda točnosti numeričkih diskretizacija, inicijalizacija strujnog polja, praćenje konvergencije rješenja, postprocesiranje i analiza dobivenih rezultata.

Geometrijski model je vjeran originalnoj konstrukciji [9,24], osim najsitnijih detalja koji su izostavljeni, jer bi mreža u takvom modelu imala prevelik broj elemenata. Na sljedećim slikama prikazan je model geometrije sa pojedinim detaljima.

Za potrebe simulacije, prvo je generirana nestrukturirana mreža sastavljena od tetraedara, a numerička simulacija je rađena s mrežom od 2.996.772 zapreminska elementa, i 706444 površinskih elementa.

Ulazni podaci za numeričku simulaciju višefaznog strujanja u mlinu sa žaluzinama, definirani su na temelju prethodnih mjerenja i iznose:

- Ventilacijsko djelovanje mlina:  $\dot{V}_{sr} = 82,93 \text{ m}^3/\text{s}$  ;
- Količina uglja u kojoj su sadržani pijesak i vlaga:  $\dot{m}_{sr} = 16,72 \text{ kg/s}$  ;
- Sadržaj vlage u ugljenom prahu:  $W_p = 5,68 \%$
- Sadržaj vlage na ulazu:  $W_{ulaz} = 5,68 \%$ .
- Količina uglja na ulazu u mlin:  $\dot{m}_{ugalj} = 7,28 \text{ kg/s}$  ;
- Maseni protok ugljenog praha na ulazu:  $\dot{m}_{ug.prah} = 5,92 \text{ kg/s}$  ;
- Zapreminske koncentracije ugljena, pijeska i vode na ulazu u mlin:  $5.91 \cdot 10^{-5}$ ,  $1.93 \cdot 10^{-5}$  i  $6.99 \cdot 10^{-5}$  ;
- Zapreminska koncentracija recirkulacionih plinova: 0,99985.

Zapreminska koncentracija sekundarnih faza, ugljenog praha i pijeska, ukazuje na multifazno strujanje

vrlo razrijeđene mješavine. Vлага u uglju vrlo brzo ishlapi i zajedno sa recirkulacijskim plinovima daje smjesu idealnih plinova, koji predstavljaju primarnu ili noseću fazu.

Sekundarne faze su ugljeni prah, pijesak i vlaga. Ugljeni prah se razmatra kao monodisperzna granularna sekundarna faza, s česticama promjera 150  $\mu\text{m}$ . Pijesak također razmatra kao granularna sekundarna faza, čije su sve čestice istog promjera 300  $\mu\text{m}$ .

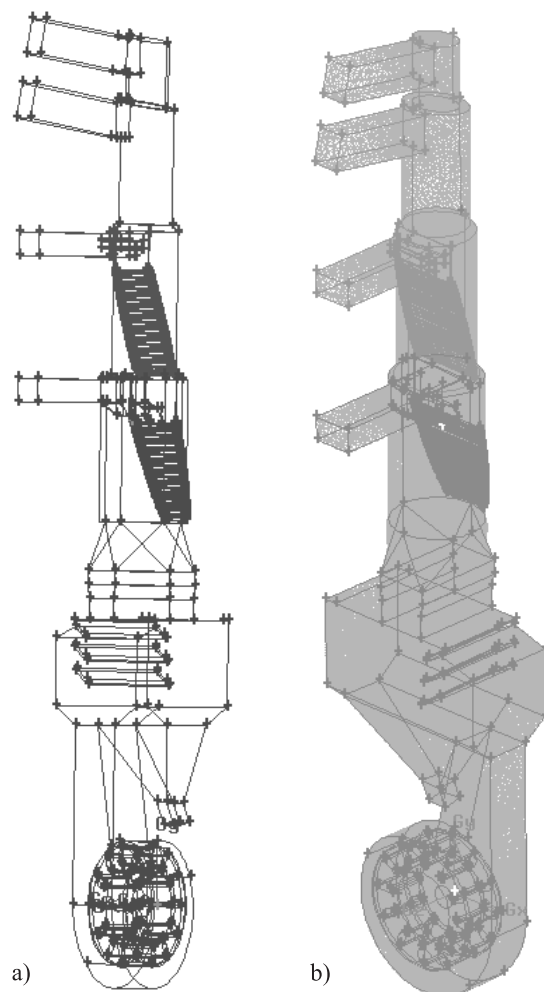
Interakcija između pojedinih faza obuhvaća otpor, koeficijent povrata za sudare čestica, silu uzgona i silu od pridruženih masa (zanemarena kao vrlo mala u odnosu na silu otpora). S obzirom na izraženu turbulenciju u razmatranom strujanju, izabran je k- $\epsilon$  turbulentni model mješavine.

Definiranje graničnih uvjeta je veoma bitno, pa su na temelju provedenih analiza izabrani sljedeći uvjeti. Relativna brzina fluidnih djelića i čvrste površine jednaka je nuli. S obzirom na vrlo male gubitke topline kroz zidove kanala aerosmjese, na njima su definirani adijabatski uvjeti. Na ulazu je definiran maseni protok plinova, ugljenog praha i pijeska, a na svim izlazima vrijednost statičkog tlaka. Radno kolo mlina rotira sa 495 o/min, a njegova rotacija obuhvaćena je opcijom koja omogućava više pokretnih i nepokretnih koordinatnih sustava (MRF), pri čemu se svaki od pokretnih dijelova vezuje za poseban koordinatni sustav. Izabrana je shema prvog reda točnosti numeričke diskretizacije, zbog stabilnosti proračuna.

Prilikom analize rezultata treba imati u vidu da numerička simulacija ima određena ograničenja. Prvi tip ograničenja vezan je za softver, odnosno za složenost fizičkih modela za koje se mogu dobiti relevantni rezultati. To se prije svega odnosi na modele turbulencije, modele višefaznog strujanja i modele izgaranja. U stvarnom postrojenju dolazi do mljevenja uglja u ventilacijskom mlinu i strujanja aerosmjese do plamenika. Međutim, softver ANSYS FLUENT 12 koji je korišten za numeričku simulaciju, pripada oblasti numeričke dinamike fluida (CFD), i ne obuhvaća proces mljevenja. Zato je u numeričkom modelu uzeto da kroz ulaz ventilacijskog mlina pored mješavine plinova i pijeska istovremeno ulazi i već samljeveni ugljen, a zatim se egzaktno simuliraju strujanje aerosmjese u mlinu i sustavu kanala do plamenika.

Drugi tip ograničenja je vrlo složena geometrija koja obuhvaća radno kolo mlina, kućište mlina, veliki broj

gusto postavljenih žaluzina, kao i složena geometrija skretača aerosmjese ka plamenicima.



**Slika 2.** Geometrijski model (a) i zapreminska mreža (b) u ventilacijskom mlinu i kanalima do ulaza u plamenike

**Figure 2.** Geometrical model (a) and volume net (b) of ventilation mill-duct system to the entrance of the burner

## 5. Rezultati numeričke simulacije i diskusija

Rezultati numeričke simulacije strujanja u ventilacijskom mlinu i kanalu aerosmjese prikazani su na slikama i tabelarno. U Tablici 1 date su izračunate i mjerene vrijednosti raspodjele plinske mješavine na glavne plamenike i otparke [16-17].

**Tablica 1.** Raspodjela plinske mješavine, %

**Table 1.** Distribution of gas mixture, %

Pozicija u sustavu / Position in the system	Mjerenje / Measurement [1]	Numerička simulacija/ Numerical simulation
Glavni plamenici / Main burners	52 %	55 %
Otparci/ Secondary burners	48 %	45 %



Vrijednosti mjerenih i izračunatih vrijednosti srednje brzine po presjeku za gasnu smjesu na glavnim plamenicima i otparcima, dane su u Tablici 2.

Slaganje brzina za donji plamenik i gornji otparak je veoma dobro, dok numerička simulacija za gornji plamenik daje 21,1 % manju brzinu, a za donji otparak 29,5 % veću brzinu u odnosu na mjerenje. Na slikama od 3 do 6, prikazani su vektori brzine mješavine i putanje fluidnih djelića u mlinu i kanalima aerosmjese.

Na slici 3 i 4 očigledna je nehomogenost apsolutne brzine mješavine koja varira od maksimalno 137 m/s u ventilacijskom mlinu oko udarnih tijela, do minimalno 5,49 m/s u dijelovima mlina (konusnog dijela diska radnog kola), separatora i kanala aerosmjese.

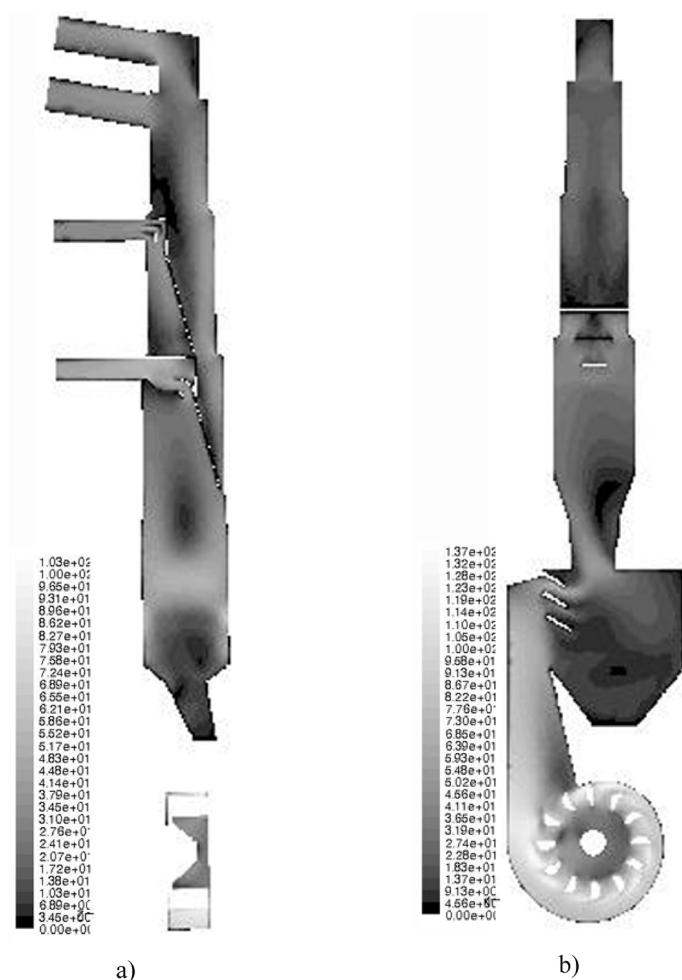
Na slikama 5a i 5b prikazani su vektori apsolutne brzine aerosmjese, kod usmjerivača za donji plamenik i u horizontalnoj cijevi koja vodi ka donjem plameniku. Dobijen je širok interval brzina aerosmjese od 10 do 70 m/s, odnosno 40 do 75 m/s. Očigledno je da dio aerosmjese ulazi u usmjerivač, a dio udara u njega i skreće, a zatim odlazi vertikalno naviše. Taj dio aerosmjese zatim prolazi kroz dva otvora iznad usmjerivača i odlazi prema gornjem plameniku. Ovaj način strujanja je bitan za vraćanje krupnijih čestica ugljena na mljevenje do zahtijevane granulacije.

Na slici 6a prikazane su putanje fluidnih djelića mješavine od mlina do plamenika, a na slici 6b prikazana je strujne slike u ventilacijskom mlinu i u kanalu aerosmjese (6c).

Tablica 2. Srednje brzine plinske mješavine, m/s

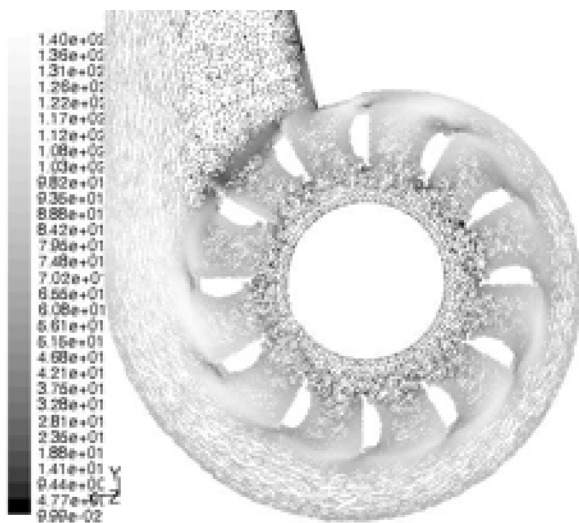
Table 2. Mean velocity of gas mixture, m/s

	Mjerenje / Measurement [2]	Numerička simulacija/ Numerical simulation
Donji plamenik / bottom main burner	30,3	30,7
Gornji plamenik / Top main burner	27,0	21,3
Donji otparak / Bottom secondary burner	17,3	22,4
Gornji otparak / Top secondary burner	22,8	22,0

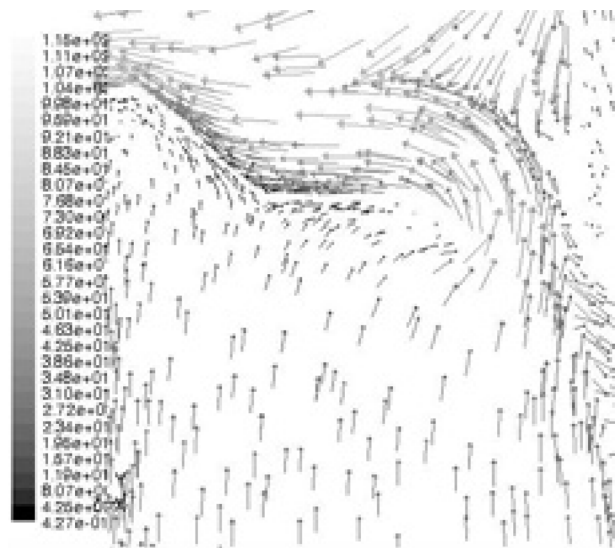


Slika 3. Polje apsolutne brzine mješavine u vertikalnoj ravni koja prolazi kroz osi vrtnje (a) i okomito na osi vrtnje (b)

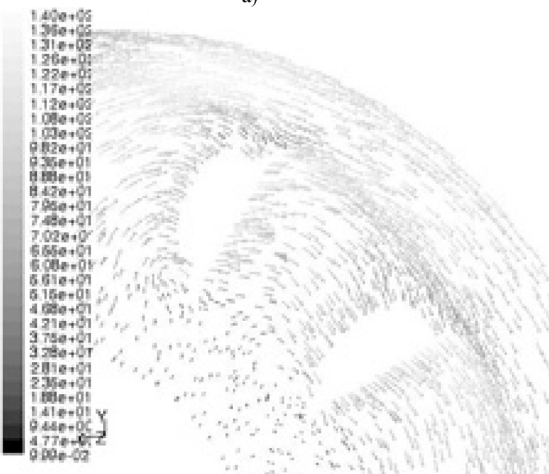
Figure 3. Absolute velocity of mixture in a vertical plane passing through the axis of rotation (a), and normal to the axis of rotation (b)



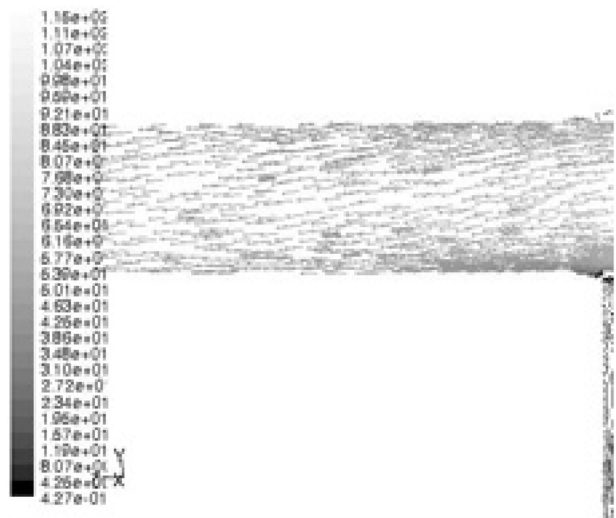
a)



a)



b)



b)

**Slika 4.** Vektori apsolutne brzine mješavine u mlinu (a) i detalj oko udarnih ploča (b)

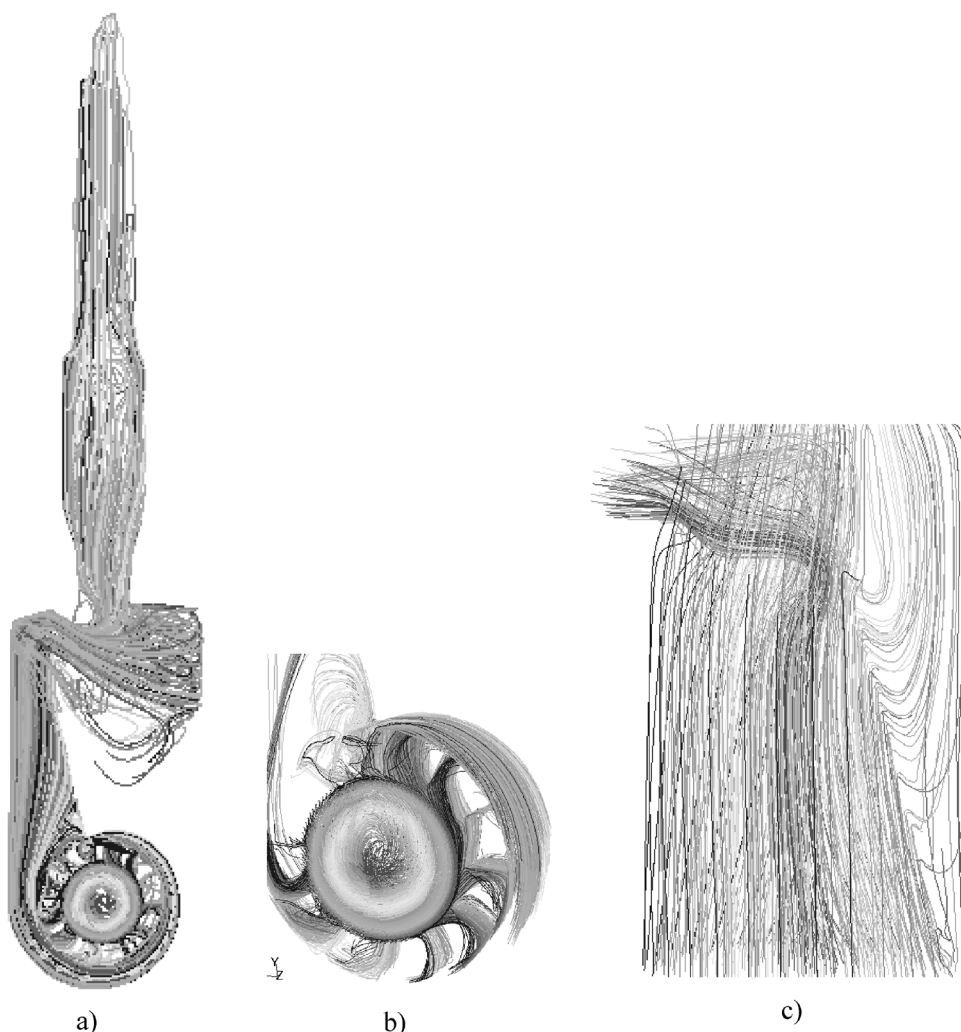
**Figure 4.** Absolute velocity vectors of the mixture in the mill(a) and details about the impact plate (b)

## 6. Zaključak

U radu su prikazani rezultati koji se odnose na polje apsolutnih brzina mješavine u mlinu u vertikalnoj ravnini, koja prolazi kroz os obrtanja i u vertikalnoj ravni okomitoj na os vrtnje, vektori brzine mješavine kod ulaza u mlin, u mlinu oko udarnih ploča, kao u kanalu aerosmjese. Dobiveni podaci predstavljaju ulazne parametre za proračun procesa izgaranja u plamenicima.

Analiza rezultata numeričke simulacije multifaznog strujanja i usporedba s relevantnim rezultatima mjerenja parametara faza navedenog sustava, ukazuju na sljedeće:

- Numerička simulacija strujanja u ventilacijskom mlinu i kanalu aerosmjese daje realnu sliku strujanja;
- Prisutno je dobro slaganje između vrijednosti rezultata mjerenja i vrijednosti dobivenih numeričkom simulacijom, koje se odnose na raspodjelu plinske mješavine na glavne plamenike i otparke;
- Vrijednosti mjerenih i izračunatih vrijednosti srednje brzine po presjeku za gasnu smjesu na glavnim



**Slika 6.** Putanje fluidnih djelića mješavine u pojedinim dijelovima od mlina do plamenika, cijeli kanal (a), mlin (b), donje žaluzine (c)

**Figure 6.** Mixture paths in some parts of the mill-duct system to the burners, the whole duct (a), mill (b), bottom blinds (c)

plamenicima i otparcima, ukazuju na dobro slaganje za donji plamenik i gornji otparak;

- U dijelu sustava koji se odnosi na izlaz iz mlina, odnosno na ulaz u kanal aerosmjese, zatim kod zaklopki, kao i u dijelu vertikalne cijevi iza zaklopki, javlja se intenzivno turbulentno strujanje;
- U dijelu kanala aerosmjese kod usmjerivača za donji plamenik i u horizontalnoj cijevi koja vodi prema donjem plameniku dobiven je širok interval brzina aerosmjese od 10 do 70 m/s, odnosno 40 do 75m/s;
- Brzine aerosmjese kod usmjerivača za gornji plamenik i u horizontalnoj cijevi koja vodi prema gornjem plameniku su u intervalu od 5 do 65m/s, odnosno od 10 do 40m/s. Pored toga, kod usmjerivača javlja se izrazito turbulentno strujanje;
- Brzine aerosmjese u dijelu koji vodi prema otparcima su u širokom intervalu od 4 do 50 m/s, s karakterističnim velikim padom brzine i prisutnim vrtložnim strujanjem.

Rezultati, dobiveni numeričkom simulacijom strujanja u ventilacijskom mlinu EVT N 270.45 u Termolektrani

*Kostolac B*, jasno pokazuju da CFD metode daju sve detalje strujne slike u jednom složenom postrojenju. Izbor modela i početnih uvjeta simulacije izvršen je na odgovarajući način, što potvrđuju eksperimentalna mjerenja provedena na istom postrojenju u kanalu aerosmjese i izlazu ka plamenicima.

### Zahvalnost

Ovaj rad je rezultat istraživanja provedenih u okviru projekta TR-34028 - "Istraživanje i optimizacija tehnoloških i funkcionalnih performansi ventilacijskog mlina termoelektrane Kostolac B", koji je financijski podržan od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, PD TE – KO Kostolac i Messer Tehnogas.

### REFERENCES

- [1] PERKOVIĆ, B.; MAZURKIJEVIĆ, A.; TARASEK, V.; STEVIĆ, Lj.: *Reconstruction, and realization of the projected modernization of power block B2 in the TE Costal*, Termotehnika, 2004, 1, XXX: 57-81.

- [2] Thermo investigation and analysis of boiler plant blocks B1 and B2 in Costal TE, PD TENT Ltd. Production-technical sector, 2007, 2008 (internal study).
- [3] GULIČ, M.: *Calculation of fan mill*, Beograd, 1982.
- [4] KUAN, B.T.; YANG W.; SOLNORDAL, C.: *CFD simulation and experiemental validation of delute particulate turbulent flows in 90° duct bend*, Third International conference on CFD in the minarals and process industries CSIRO, Melbourne, Australia, 2003; 10/12 dec.Proceedings, 531-536.
- [5] KUAN, B.T.: *CFD simulation of dilute gas-solid two-phase flows with different solid size distributions in a curved 90° duct bend*, 2005, ANZIAM J. C744-C763.
- [6] TUCAKOVIC, D.; ZIVANOVIC, T.; STEVANOVIC, V.; BELOSEVIC, S.; GALIC R.: *A computer code for the prediction of mill gases and hot air distribution between burners' sections at the utility boiler*, Applied Thermal Engineering, 2008; 28: 2178–2186.
- [7] BELOSEVIC, S.; SIJERCIC, M.; TUCAKOVIC, D.; CRNOMARKOVIC, N.: *A numerical study of a utility boiler tangentially-fired furnace under different operating conditions*, Fuel, 2008; 87: 3331–3338.
- [8] BHASTER. C.: *Numerical simulation of turbulent flow in complex geometries used in power plants*, Advances in Engineering software, 2002; 33: 71-83.
- [9] KOZIC, M.; RISTIC, S.; KATAVIC, B.; PUHARIC, M.: *Numerička simulacija strujanja u ventilacionom mlinu termoelektrane Drmno-Kostolac- konfiguracija sa žaluzinama*, Institut Goša, Beograd, 2009.
- [10] SCHILLER, L.; NAUMANN, Z.; VER.DEUTCH., Z.: *Ing.*,77-318, 1935.
- [11] GIDASPOW, D.; BEZBURUAH, R.; DING, J.: *Hydrodynamics of Circulating Fluidized Beds, Kinetic Theory Approach*, Proceedings of the 7th Engineering Foundation Conference on Fluidization, 1992;75-82.
- [12] SYAMLAL, M.; ROGERS, W.; O'BRIEN, T.J.: *MFIX Documentation: Volume I, Theory Guide*, National Technical Information Service, Springfield, VA,1993.
- [13] DREW, D.A.; LAHEY, R.T.: *In Particulate Two-Phase Flow*, 509-566, Butterworth-Heinemann, Boston, 1993.
- [14] BAKER, B.J.; WAINWRIGHT, T.E.: *Studies in Molecular Dynamics II: Behaviour of a Small Number of Elastic Spheres*, J.Chem.Phys., 33-439, 1990.
- [15] CHAPMAN, S.; COWLING, T.G.: *The Mathematical Theory of Non-Uniform Gases*, Cambridge University Press, Cambridge, England, 3rd edition, 1990.
- [16] DING, J.; GIDASPOW, D.: *A Bubbling Fluidization Model Using Kinetic Theory of Granular Flow*, AICHE J., 1990; 36: 523-538.
- [17] MORSI, S.A.; ALEXANDER, A.J.: *An Investigation of Particle Trajectories in Two-Phase Flow System*, J. Fluid Mech., September 26, 1972, Proceedings..1972; 55: 193-208.
- [18] SYAMLAL, M.; O'BRIEN, T.J.: *Computer Simulation of Bubbles in a Fluidized Bed*, AICHE Symp. Series., 1989; 85: 22-31.
- [19] WEN, C.Y.; YU, Y.H.: *Mechanics of Fluidization*, Chem.Eng.Prog.Symp. Series, 62, 100-111, 1966.
- [20] RANZ, W.E.; MARSHALL Jr., W.R.: *Evaporation from Drops, Part I*, Chem.Eng.Prog, 1952; 48: 141-146.
- [21] CSANADY, G.T.: *Turbulent Diffusion of Heavy Particles in the Atmosphere*, J.Atmos. Science, 1963; 20: 201-208.
- [22] SIMONIN, C.; VIOLLET, P.L.: *Predictions of an Oxygen Droplet Pulverization in a Compressible Subsonic Coflowing Hydrogen Flow*, Numerical Methods for Multiphase Flows, FED91, 1990; 65-82.
- [23] Menuel, Fluent ANSYS, 2008.
- [24] KOZIC, M.; RISTIC, S.; KATAVIC, B.; PUHARIC, M.: *Numerical simulation of multiphase flow in ventilation mill of lignite power plant*, (in print).