

SIMULACIJA DISPERZIJE VAZDUŠNIH POLUTANATA SA PRIMJEROM U MATLABU THE SIMULATION OF AIR POLLUTION DISPERSION WITH MATLAB EXAMPLE

Marinela Lazarević, Nikola Lazarević, Radovan Stojanović, *Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet, Crna Gora*
Andrej Škraba, Marjan Senegačnik, *Univerzitet u Mariboru, Fakultet organizacionih nauka u Kranju, Slovenija*

Sadržaj – Modeliranje disperzije vazdušnih polutanata važan je sastavni dio studije uticaja industrijskih postrojenja na okolinu, kao i postupak za kontinuirano procjenjivanje nivoa zagađenosti sa stanovišta uticaja na okolinu i čovjekovo zdravlje. Dim koji se emituje iz industrijskih dimnjaka u atmosferu je klasičan slučaj koji izaziva zagađenje vazduha. Proces rasprostiranja dima presudno zavisi od atmosferske okoline, meteoroloških uslova, emisionih parametara, kao što su atmosferska stratifikacija, inicijalni impuls emisije i temperature, pravac vjetera i brzina, kao i od turbulentnog ponašanja. U radu je prikazan analitički Gaussov model za dijagnozu i prognozu disperzije vazdušnih polutanata iz industrijskih izvora tačkastog tipa. Simulacioni model je implementiran u MATLABu. Uticaj različitih parametara kao što su klase atmosferske stabilnosti i brzina vjetera su uzeti u obzir.

Abstract – Dispersion modeling of air pollutants is an important part of impact studies of industrial plants on the environment, as well as procedures for continuous assessment of pollution levels from the point of impact on the environment and human health. Smoke that is emitted from industrial chimneys into the atmosphere is a classic case of causing air pollution. The process of propagation of smoke definitely depends on the atmospheric environment, meteorological conditions, emission parameters, such as atmospheric stratification, the initial pulse emission and temperature, wind direction and speed, and turbulent behavior. The paper presents an analytical Gaussian model for diagnosis and prognosis of the dispersion of air pollutants from industrial sources. A simulation model is implemented in MATLAB programming. The influence of different parameters such as atmospheric stability class and wind speed are considered.

1. UVOD

Čist vazduh je jedan od osnovnih preduslova razvoja i opstanka života na zemlji. Intenzivna industrijalizacija i ubrzan tehnološki razvoj u svijetu negativno utiču na njegov kvalitet. Zbog prekomjernog transporta polutanata, zagađivanje vazduha danas predstavlja jedan od globalnih svjetskih problema. Dim koji se emituje iz dimnjaka u vazduh je klasičan slučaj koji izaziva zagađenje vazduha. Proces rasprostiranja dima presudno zavisi od atmosferske okoline, meteoroloških uslova, emisionih parametara, kao što su atmosferska stratifikacija, inicijalni impuls emisije i temperature, pravac vjetera i brzina, kao i turbulentnog ponašanja, i drugih faktora. Što je veći broj izvora emisije, rasprostiranje dima i proces disperzije postaje složeniji.

Modeliranje disperzije vazdušnih polutanata važan je sastavni dio studije uticaja industrijskih postrojenja na okolinu, kao i postupak za kontinuirano procjenjivanje nivoa zagađenosti sa stanovišta uticaja na okolinu i čovjekovo zdravlje. Korištenjem podataka iz državnih i lokalnih mjernih stanica za praćenje kvaliteta vazduha moguće je utvrditi nivo zagađenja, ali ne i pravi izvor zagađenja (industrijski dimnjaci, i dr.) koji bi u incidentnim situacijama mogao smanjiti emisiju prelaskom na kvalitetnija goriva ili smanjenjem kapaciteta rada tog izvora [1], [2].

Gaussov model, prikazan u ovom radu, je zbog svoje jednostavnosti najčešće korišten model simulacije disperzije vazdušnih polutanata. Implementiran je u MATLAB-u nizom programskih funkcija proisteklih iz matematičkog modela. Klase atmosferske stabilnosti su uzete iz Pasquill-Guifordovih aproksimacija.

U radu su predstavljeni osnovni simulacioni dijagrami i ilustracija raspodjele u 3D prostoru i po različitim profilima za industrijske zagađivače tačkastog tipa. Razmatra se i problem više zagađivača na različitim lokacijama.

2. MATEMATIČKI MODELI ZA DISPERZIJU VAZDUŠNIH POLUTANATA

Modeli disperzije vazdušnih polutanata su matematički opisi ponašanja zagađivača vazduha u atmosferi. Postoji niz modela disperzije vazdušnih polutanata koji se koriste širom svijeta za rukovanje širokim spektrom uslova modeliranja.

Najčešći modeli disperzije vazduha su za stacionarna stanja, pravolinijski, kao što je Gaussov perjanica model. Ovi modeli izračunavaju koncentraciju zagađivača za svaki sat pod pretpostavkom meteoroloških uslova koji su uniformni za modelovanu oblast. Zbog stabilnog stanja i pravolinijske prirode ovih modela, oni se eksplicitno ne računaju za zakrivljene putanje perjanice i promjenljive uslove vjetera koji se dešavaju u složenim situacijama disperzije.

U cilju tretiranja ove kompleksne situacije disperzije, postoje modeli koji tretiraju emisije kao serije oblaka polutanata (Puffs). Iako ovi modeli zahtijevaju više računarske snage, kao na primjer za praćenje oblaka polutanata koji predstavlja diskretne količine zagađivača tokom vremena, oni imaju prednost jer uključuju meteorološke uslove (vjetrovi, turbulencija, vertikalna temperaturna struktura). Pored toga, mogu da se riješe akumulacija zagađenja prilikom stabilnih uslova, zakrivljena putanja perjanice, i efekti uzročnosti (gdje se prethodni položaj perjanice izračunava određivanjem trenutne pozicije perjanice). Pravolinijski - Gaussov i model zakrivljene putanje- Puff su samo dva primjera tipova. Uz ove vrste

modela, postoji nekoliko varijanti koje su posebno dizajnirane za jedinstvene situacije, kao što su hemijske transformacije i za gasove teže od vazduha. Matematički modeli uključuju jednostavne i sofisticirane modele koji opisuju procese u više detalja. Ovi modeli zahtijevaju više resursa, stručnost podešavanja, pokretanje i tumačenje izlaza.

Postoji širok spektar modela i tipova složenosti koji mogu biti podijeljeni u tri klase: screening, rafinirane i napredne.

Screening modeli su jednostavan i brz način da se procijeni "najgori slučaj" koncentracije koja se može eventualno desiti za datu emisiju. Oni ne zahtijevaju specifične meteorološke podatke za pojedine lokacije, po satu, kao ulaz, već su ugrađeni meteorološki podaci matrica koje predstavljaju spektar različitih kombinacija meteoroloških uslova koji bi se mogli eventualno desiti.

Rafinirani modeli uključuju detaljniji tretman atmosferskih procesa, zahtijevaju više ulaznih podataka, i obezbjeđuju prostor i vrijeme raspodjele koncentracije (ili taloženja). Rafinirani modeli uključuju više realizma (fizike i meteoroloških unosa) u cilju predviđanja koja su specifična za lokaciju i bliži su realnosti (teoriji) od screening modela predviđanja.

Napredni modeli uključuju sveobuhvatne tretmane za meteorologiju, emisiju i hemiju i zahtijevaju značajnu ekspertizu i resurse računara za podešavanja, pokretanje i interpretaciju rezultata.

Osim toga, modeli se dijele s obzirom na dalekosežnost. Tako se za modelovanje regionalne disperzije (domet do 1000 km) koriste Eulerov ili Lagrangeov model, dok se za modelovanje lokalne disperzije (domet 50 -100 km) koristi Gaussov model disperzije.

Za modelovanje lokalne disperzije-do 100 km od izvora - koristi se Gaussov model disperzije. U Gaussovom modelu pretpostavlja se da supstance koje se emituju ne učestvuju u hemijskim reakcijama u atmosferi, da su iz izvora nošene vjetrom pravolinijski, i da se miješaju s okolnim vazduhom i u vertikalnom i u horizontalnom pravcu. Uz te pretpostavke njihove koncentracije slijede normalnu Gaussovu raspodjelu.

3. MATEMATIČKI MODELI ZA DISPERZIJU VAZDUŠNIH POLUTANATA

U razvoju Gaussovog modela polazi se od Fickian-ovih [2] jednačina za turbulentni transfer u atmosferi, proširenih na tri dimenzije (x,y,z), izraz 1. Rješavanjem tih jednačina se dobija koncentracija polutanata kontinuirano emitovanih iz dimnjaka:

$$q(x, y, z) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left[\exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right] \quad (1)$$

gdje je:

q: koncentracija polutanata u atmosferi u tački (x,y,z), (µg/m³),

Q: emisija polutanata, (µg/s),

u(z): brzina vjetra na efektivnoj visini z emisije, (m/s),

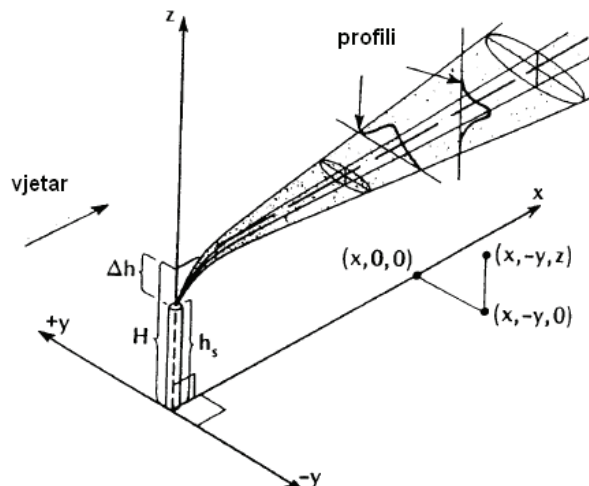
y: poprečna udaljenost od ose dimne perjanice, (m),

H: efektivna visina dimnjaka na udaljenosti x od dimnjaka, (m), $H = h_s + \Delta h$

σ_y : standardna devijacija koncentracije emitovane supstance u horizontalnom smjeru na udaljenosti x od dimnjaka, (m),

σ_z : standardna devijacija u vertikalnom smjeru, (m).

Treba napomenuti da je ovo uprošteni model. U složenijem slučaju se izračunava Δh uzimajući u obzir brzinu dima na izlazu iz dimnjaka, njegov poprečni presek, ubrzanje zemljine teže, temperaturu polutanta neposredno po izlasku i spoljnu temperaturu. Takođe, u jednačini se ne uzima efekat refleksije od površine zemlje u kojem slučaju se dodaje još jedan eksponencijalni član po principu „ogledanja“ [2].



Slika 1 : Izgled zvonastog oblika raspodjele koncentracija u poprečnom presjeku na nekoj nizstrujnoj udaljenosti od izvora (dimnjaka).

4. GAUSSOVI KOEFICIJENTI DISPERZIJE I ATMOSFERSKE KLASSE STABILNOSTI

U Gaussovom modelu disperzija vazdušnih polutanata u horizontalnom i vertikalnom pravcu se dešava jednostavnim širenjem dimne perjanice u smjeru vjetra.

Parametri δ_y i δ_z opisuju horizontalnu i vertikalnu disperziju polutanata na raznim udaljenostima niz vjetar od izvora, kao funkcija različitih atmosferskih uslova stabilnosti. Tako izračunate koeficijente koristimo za izračunavanje koncentracija polutanata pomoću dobijenih funkcija raspodjele. Pasquill je korištenjem eksperimentalnih podataka postavio 6 tipova atmosferskih uslova, počevši od najnestabilnije do stabilne atmosfere, nazvanih A, B, C, D, E i F, tzv. klase stabilnosti. Koeficijente atmosferske disperzije prema Pasquill-Guiford-ovim klasama stabilnosti postavio je Turner (1995) za korištenje u Industrial Source Complex (ISC) modelu disperzije razvijenom kod USEPA-e (1995). U radu je korištena Tabela 1, za Pasquillove kategorije[2].

Pasquill-ove kategorije	$\sigma_y (m)$	$\sigma_z (m)$
Na otvorenom		
A	$0.22x(1 + 0.0001x)^{-0.5}$	$0.20x$
B	$0.16x(1 + 0.0001x)^{-0.5}$	$0.12x$
C	$0.11x(1 + 0.0001x)^{-0.5}$	$0.08x(1 + 0.0002x)^{-0.5}$
D	$0.08x(1 + 0.0001x)^{-0.5}$	$0.06x(1 + 0.00015x)^{-0.5}$
E	$0.06x(1 + 0.0001x)^{-0.5}$	$0.03x(1 + 0.0003x)^{-1}$
F	$0.04x(1 + 0.0001x)^{-0.5}$	$0.016x(1 + 0.0003x)^{-1}$
Urbana sredina		
A-B	$0.32x(1 + 0.0004x)^{-0.5}$	$0.022x(1 + 0.001x)^{0.5}$
C	$0.22x(1 + 0.0004x)^{-0.5}$	$0.20x$
D	$0.16x(1 + 0.0004x)^{-0.5}$	$0.14x(1 + 0.0003x)^{-0.5}$
E-F	$0.11x(1 + 0.0004x)^{-0.5}$	$0.08x(1 + 0.0015x)^{-0.5}$

Tabela 1 : Jednačine za izračunavanje koeficijenta disperzije u zavisnosti od klasa stabilnosti.

Tendencija da se odupre ili poboljša vertikalno kretanje atmosfere i samim tim turbulencija se naziva stabilnost atmosfere. Stabilnost se odnosi na promjene temperature sa visinom i brzinom vjetera. Stabilnost atmosfere izuzetno utiče na intenzitet procesa turbulentnog miješanja u prizemnom sloju. Neutralna atmosfera niti pojačava niti sprečava mehaničku turbulenciju,. Nestabilna atmosfera poboljšava turbulencije, pa je širenje polutanata znatno brže, što dovodi i do brzog pada koncentracije, dok stabilna atmosfera sprečava mehaničku turbulenciju. U stabilnoj atmosferi ovaj proces je slab i svodi se na difuziju stranih materija, odnosno disperziju polutanata. Turbulencija u atmosferi je daleko najvažniji parametar koji utiče na disperziju polutanata. Što je veća nestabilnost atmosfere, veća je disperzija. Klase stabilnosti su definisane za različite meteorološke situacije, koje karakterišu brzina vjetera i sunčevog zračenja tokom dana i pokrivenost oblacima u toku noći. Za određivanje stepena stabilnosti atmosfere koristi se metoda Pasquill-ovih klasa stabilnosti, prikazana u Tabeli 2.

Vjeter brzina na 10 m (m/s)	Dan		Noć		
	Sunčevo zračenje		Negativni bilans zračenja		
	Jako	Umjereno	Blago	Malo oblačno	Pretežno oblačno
< 2	A (s = 1)	A-B	B (s = 2)		
2-3	A-B	B	C (s = 3)	E (s = 5)	F (s = 6)
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D (s = 4)	D	D
>6	C	D	D	D	D

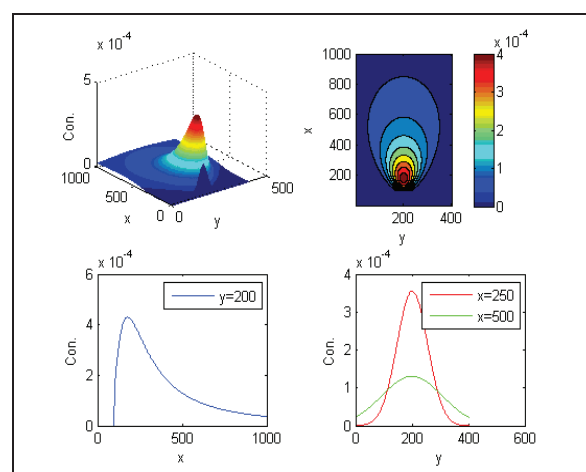
Tabela 2: Pasquill-ove klase stabilnosti (definisane by Turner).

5. MATLAB ANALITIČKO RJEŠENJE

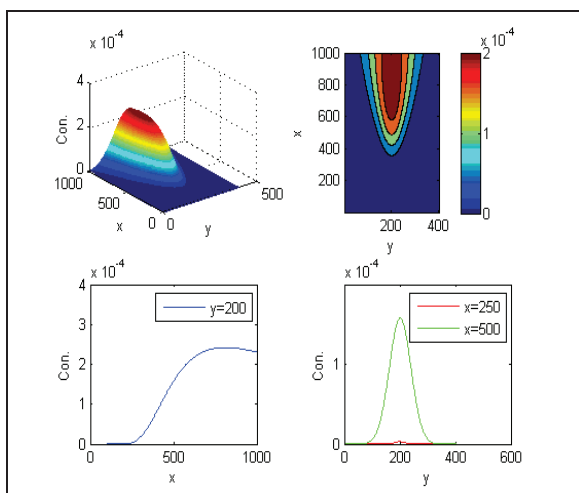
Gaussov model disperzije je simuliran u Matlabu [3]. Za tu svrhu su napravljene posebne funkcije. Razmatran je industrijski dimnjak koji se može nalaziti na lokaciji (x_p, y_p) .

Pretpostavlja se da je površina tla ravna, $z=0$. U programu se zadaju i granice koordinata x i y (x_{max}, y_{max}), kao i ostali parametri, brzina vjetera, visina dimnjaka i emisija polutanata. Na slikama 2. i 3. su prikazani dijagrami raspodjele koncentracije vazdušnih polutanata iz tačkastog izvora na nivou zemlje za različite slučajeve u slučaju jednog dimnjaka, dok slika 4. daje raspodjelu koncentracije za dva izvora na različitim lokacijama („multisourcing“) i pod različitim vremenskim uslovima.

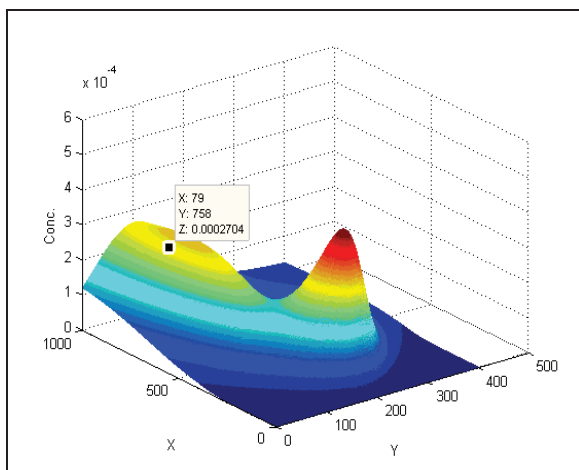
Na slici 5. prikazan je blok dijagram modela.



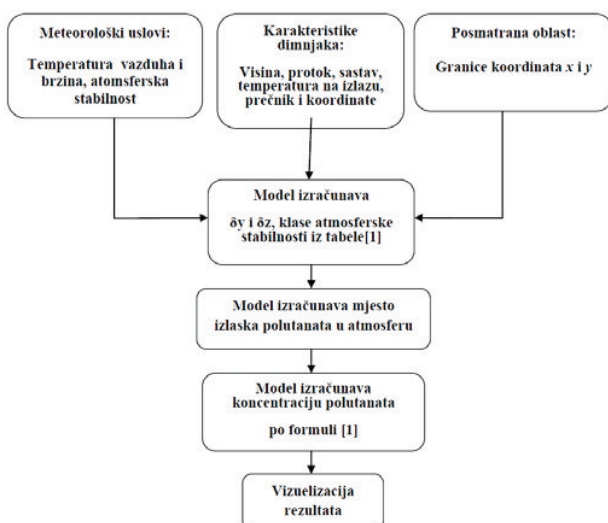
Slika 2: Vremenski uslovi A, $Q=5 \mu\text{g/s}$, $u=1\text{m/s}$, $H=50\text{m}$, $x_p=100\text{m}$, $y_p=200\text{m}$, $x_{max}=1000\text{m}$, $y_{max}=400\text{m}$, 3D prikaz raspodjele koncentracije (gore lijevo), konturni prikaz (gore desno), koncentracija po x osi za $y=200\text{m}$ (dolje lijevo), koncentracija po y osi za $x=250\text{m}$ i 500m (dolje desno).



Slika 3: Vremenski uslovi $D, Q=5 \mu\text{g/s}, u=1\text{m/s}, H=50\text{m}, x_p=10\text{m}, y_p=200\text{m}, x_{\text{max}}=1000\text{m}, y_{\text{max}}=400\text{m}$, 3D prikaz raspodjele koncentracije (gore lijevo), konturni prikaz (gore desno), koncentracija po x osi za $y=200\text{m}$ (dolje lijevo), koncentracija po y osi za $x=250\text{m}$ i 500m (dolje desno)



Slika 4: Raspodjela kon. za slučaj 2 izvora. Superpozicija.



Slika 5: Blok dijagram modela

6. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan i primijenjen složeni računarski model disperzije polutanata iz industrijskih izvora. Kod je napisan u MATLAB-u, a predstavljeni su rezultati simulacije u cilju verifikacije. Matematički model baziran je na Gaussovom modelu za disperziju vazdušnih polutanata iz kontinuiranog tačkastog izvora. Gaussov model se veoma široko koristi za procjenu lokalnog nivoa zagađenja. Nekoliko primjera o efektima meteoroloških parametara na disperziju polutanata, kao što su brzina vjetera, temperatura vazduha, atmosferska stabilnost su ilustrovane pomoću programa. Program se može koristiti kao sredstvo za obuku tokom studije zagađenja vazduha kao i za prikazivanje efekata temperature vazduha, koeficijenta disperzije, izlazne temperature, visine dimnjaka, izlazne brzine, brzine vjetera, i izlazne koncentracije na disperziju polutanata.

LITERATURA

- [1] Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models, EPA-454/B-95-003b, 1992.
- [2] P. Aarne Vesilind, J. Jeffrey Peirce and Ruth F. Weiner. Environmental Engineering. Butterworth Heinemann, 1994.
- [3] Matlab - Modelling, Programming and Simulations- Edited by Emilson Pereira Leite, 2010.
- [4] Guidelines For Air Quality Dispersion Modelling in British Columbia, 2008.
- [5] Stern, A.; Boubel, R.; Turner, D.; Fox, D., „Fundamentals of Air Pollution“, 1984.
- [6] U.S. E.P.A., U.S. Environment Protection Agency. <www.epa.gov>

ZAHVALNOST: Rad je pomognut Bilateralnim projektom između Crne Gore i Slovenije „Razvoj simulacionih modela disperzije štetnih zagadjivača u procesu rešavanja kriznih situacija“.