

Lokalne razdiobe meteoroloških parametara u ispitivanju osjetljivosti modela difuzije gausovskog tipa

Local Distribution of Meteorological Parameters Incorporated in an Investigation of the Gaussian Diffusion Model Sensitivity

SONJA VIDIĆ

Sažetak: Za razdoblje od dvije godine izrađene su razdiobe učestalosti razreda brzine vjetra, visine sloja miješanja i kategorija stabilnosti (po Pasquillu), na temelju satnih podataka. Za modalne razrade izrađena je analiza osjetljivosti gausovskog modela difuzije s obzirom na varijacije ulaznih parametara unutar modalnih razreda pripadnih razdioba. Ispitano je u kojoj mjeri se modificiraju rezultati proračuna kada kao input koristimo srednjake modalnih razreda umjesto pojedinačnih, mjernih vrijednosti.

Ključne riječi: Lokalne razdiobe; Modalni razredi; Osjetljivost gausovskog modela difuzije.

Abstract: On the basis of hourly data, over a two-year period, frequency distributions of wind speed, mixing height and the stability category (according to Pasquill) have been worked out. An analysis was accomplished of the Gaussian diffusion model sensitivity to the input parameters variations within the modal classes. It was investigated to what degree the results of calculations are modified when we use as input the mean instead of individual values of modal classes.

Key words: Local distributions; Modal classes; Sensitivity of Gaussian diffusion model.

1. UVOD

Analiza osjetljivosti prvi je korak u postupku utvrđivanja vjerodostojnosti i primjenljivosti matematičkog modela (difuzije). Ona se može provoditi bilo analitičkim bilo numeričkim metodama, pri čemu se prate matematički ili numerički efekti varijacija ulaznih parametara na rezultate proračuna (LEGROS, BERGER, 1978).

Najjednostavnija i najčešće primjenjivana je numerička metoda analize osjetljivosti: variranjem veličine pojedinačnih ulaznih parametara u modelu, uz zadržavanje ostalih parametara konstantnima, ispituju se performance modela. Međutim, povećanje broja ulaznih parametara otežava analizu ovim postupkom.

Drugi način je ispitivanje osjetljivosti analitičkim metodama. Neke od njih, koje se danas koriste, prikazane su u radu McRAEa i TILDENA (1980).

S obzirom da se model difuzije gausovskog tipa danas u praksi najčešće koristi za proračune prizemnih koncentracija, ukratko ćemo opisati rezultate ispitivanja osjetljivosti takovih modela (BOHAC, DER-RICK i SOSEBEE, 1974; TURNER, 1979; BOWNE,

1980; GEORGE, LOWERY, 1980; MAXWELL, MOLDVAN, 1980; CRISTIANSSEN, WANG, PARKER, 1980; VENKATRAM, 1980).

U radovima navedenih autora pokazano je da je gausovski model vrlo osjetljiv na promjene parametra vertikalnog rasapa (σ_z) i efektivne visine perjanice plinovitih primjesa (H). Ispitivanjem odnosa parametara σ_z i H utvrđeno je da se ekstremne vrijednosti prizemnih koncentracija postižu za $\sigma_z = H$. Model je najosjetljiviji za vrijednosti σ_z/H unutar intervala 0,1—0,4. Tada se u D kategoriji stabilnosti (PASQUILL, 1974) na udaljenosti 6 km od izvora emisije i za $H = 500$ m, prizemne koncentracije mogu razlikovati za 20 redova veličine.

Numeričkim ispitivanjem pokazano je da model nije osjetljiv na promjene visine sloja miješanja (h).

Brzina vjetra unutar gausovskog modela djeluje dvojako. Naime, premda smanjenje brzine vjetra uvjetuje slabije razrjeđenje (odnosno, veće prizemne koncentracije u osi dimne perjanice), ono istovremeno pogoduje dizanju perjanice primjesa na veću visinu (odnosno, djeluje u smislu smanjivanja prizemnih koncentracija). Zbog istovremenog djelovanja

kompensirajućih efekata, osjetljivost modela s obzirom na brzinu vjetra je znatno smanjena.

Gausovski model je izrazito osjetljiv na pogreške u ocjeni količine štetnih primjesa koje se izbacuju. Od manje je važnosti utjecaj greške zbog nemogućnosti točnog određivanja parametra lateralnog rasapa (STREICHER, SCHNEIDER, 1981). Međutim, u uvjetima vrlo slabog strujanja (< 2 m/s) upravo pogreške u određivanju σ_y uvjetuju velika odstupanja u iznosu i položaju maksimuma prizemnih koncentracija u usporedbi s mjerenim vrijednostima (VAN DER HOVEN, 1976), tako da se može definirati interval brzine vjetra unutar kojega je model osjetljiv na parametar σ_y .

U ovom radu će biti ispitivana osjetljivost modela difuzije gausovskog tipa numeričkom metodom.

Analiza će biti provedena na temelju razdioba učestalosti ulaznih meteoroloških parametara, razvrstanih po razredima, u danom lokalitetu. Težište je dato na ispitivanje ovisnosti prizemnih koncentracija o širini odabranih razreda, odnosno, na ispitivanje odstupanja vrijednosti izračunatih koncentracija u slučajevima kada kao ulazne podatke ne koristimo pojedinačne vrijednosti parametara unutar svakog razreda, već u proračune ulazimo sa srednjacima odabranih razreda. Pomoću modela difuzije izrađenog u Centru za meteorološka istraživanja RHMZ SRH (ŠINIK, 1981), računat ćemo vrijednosti prizemnih koncentracija za donju i gornju granicu, te srednjak odbranog razreda i ispitati koliko odstupanja od srednjaka unutar jednog razreda modificiraju rezultate proračuna. Pri tome ćemo se ograničiti na ispitivanje navedenog efekta kod modalnih razreda razdiobe učestalosti brzine vjetra, visine sloja miješanja i stabilnosti.

Ova analiza je izrađena na osnovi podataka satnih vrijednosti meteoroloških elemenata mjerenih u Oborovu, za razdoblje 1977—1978. godine.

2. RAZDIOBA ČESTINA BRZINE VJETRA (u), STABILNOSTI (S) I VISINE SLOJA MIJEŠANJA (h) NA PODRUČJU OBOROVA

Karakteristične razdiobe meteoroloških veličina (dnevne, mjesečne, sezonske, godišnje, višegodišnje) opisuju osnovna klimatska svojstva nekog područja i definiraju njegov disperzioni potencijal — sposobnost atmosfere da razrijedi i rasprši suspendirane plinove i čestice. Zbog toga ćemo, na temelju dvogodišnjeg niza satnih podataka u Oborovu, prikazati karakterističnu distribuciju čestina brzine vjetra, stabilnosti atmosfere i visine sloja miješanja, kao i distribuciju čestina brzine vjetra za svaku kategoriju stabilnosti. Naime, pokazano je (PASQUILL, 1974) da su stabilnost atmosfere i brzina vjetra međusobno ovisni, te da je razdioba brzine vjetra po kategorijama stabilnosti različita. Ispitivanje osjetljivosti gausovskog modela difuzije provest ćemo upravo za one razrede brzine vjetra po pojedinim kategorijama stabilnosti i visine sloja miješanja, koji se na području Oborova javljaju s najvećom čestinom.

Na temelju preliminarnih proračuna gausovskim modelom opredijelili smo se za širine razreda brzine vjetra i visine sloja miješanja (tabela 1. i 2.), dok je klasifikacija stabilnosti atmosfere rađena prema metodi Pasquilla (BEYCHOK, 1979), pri čemu je slovi- A, B, \dots, G određena stabilnost od ekstremno labilne (A) do ekstremno stabilne (G).

Razdioba čestine pojedinih razreda brzine vjetra, visine sloja miješanja, te stabilnosti, prikazana je na slici 1. dok je razdioba čestina razreda brzine vjetra po kategorijama stabilnosti dana na slici 2.

Iz slika 1. i 2. slijedi da je na području Oborova najveća čestina kategorije slabih vjetrova (0,3—1,9 m/s). Njihova je čestina najveća čak u četiri kategorije stabilnosti (A, B — labilne i F, G — stabilne).

Tabela 1. Klasifikacija brzine vjetra (u)

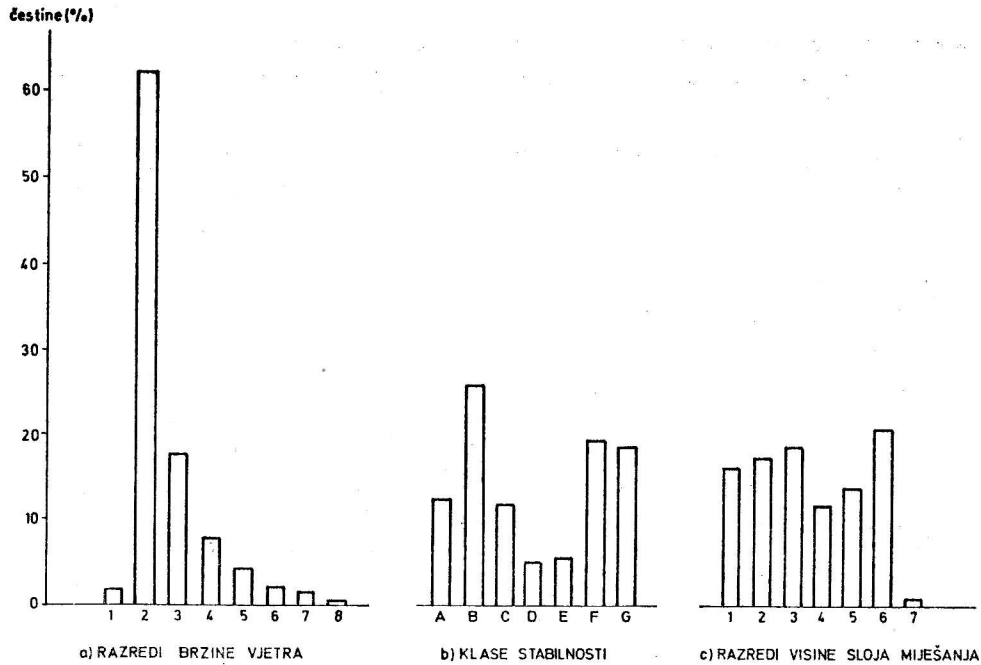
Table 1. Wind speed (u) classification

Razred brzine u	1	2	3	4	5	6	7	8
Interval brzine, m/s	C (tišina)	0,3— 1,9	2,0— 2,9	3,0— 3,9	4,0— 4,9	5,0— 5,9	6,0— 7,9	> 8,0
Sredina razreda brzine, \bar{u} m/s	/	1,0	2,5	3,5	4,5	5,5	7,0	/

Tabela 2. Klasifikacija visine sloja miješanja (h)

Table 2. Mixing height (h) classification

Razred h	1	2	3	4	5	6	7
Interval h , m	100	101— 300	301— 500	501— 700	701— 1000	1001— 1500	> 1500
Sredina razreda h , m	/	200	400	600	850	1250	/



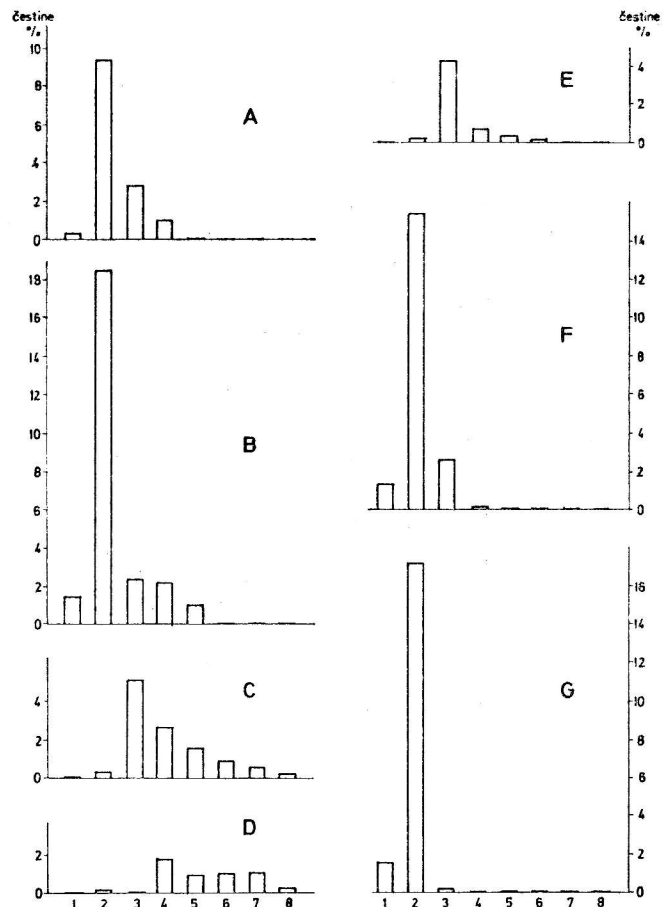
Slika 1. Razdioba čestina (%) a) brzine vjetra, b) kategorija stabilnosti i c) visine sloja miješanja, u Oborovu, 1977 — 1978.

Figure 1. Frequency distribution (%) of a) wind speed, b) stability classes and c) mixing heights, at Oborovo, 1977 — 1978.

U C (malo labilno) i E (malo stabilno) kategoriji stabilnosti najčešći razred brzine je 2,0—2,9 m/s, dok je u neutralnoj (D) kategoriji koja je zastupljena s najmanjom čestinom, najčešći razred 3,0—3,9 m/s. S obzirom na stabilnost atmosfere, karakteristično je da su najčešća labilna stanja (B kategorije) i stabilna stanja (F i G), dok su situacije s neutralnom i malo stabilnom stratifikacijom znatno rjeđe.

Razdioba visine sloja miješanja pokazuje da nema izrazitih odstupanja u prvih šest razreda. Najveća čestina pripada razredu 6 (1001—1500 m), a zatim razredu 3 (301—500 m). Pri tome treba imati u vidu da se visina sloja miješanja po sezonama razlikuje, i da općenito toplijem dijelu pripadaju veće visine, a hladnijem manje. Također, visina sloja miješanja varira ovisno o stabilnosti. Za potrebe ovog rada nije izrađena potpuna statistika visine sloja miješanja po kategorijama stabilnosti najvećim dijelom zbog same metode određivanja satnih vrijednosti h (LONČAR, 1981.). Naime, pretpostavka metode je da je u stabilnim stanjima (E, F i G) visina $h = 0$, odnosno, zanemaren je utjecaj mehaničke turbulencije u prizemnom sloju. Posljedica toga je da imamo veliki broj slučajeva s $h = 0$ što ne odgovara u potpunosti stvarnim uvjetima. Zbog toga, da bi analiza osjetljivosti bila potpunija i da bismo obuhvatili i stabilne situacije, ispitivanje je provedeno tako da je E kategoriji stabilnosti pridružena visina $h = 200$ m, a F i G kategoriji $h = 100$ m. Te su visine uzete prema podacima eksperimentalnih mjerenja (KLUG, 1969.) i autorove klasifikacije visine sloja miješanja po kategorijama stabilnosti. Za F i G kategoriju stabilnosti ispitati ćemo i utjecaj zanemarivanja postojanja visine sloja miješanja na polje koncentracija (to se u modele uvodi uz pretpostavku $h = \infty$).

Pregled modalnih razreda brzine vjetra po kategorijama stabilnosti, te visine sloja miješanja za koje će biti provedena analiza osjetljivosti dan je u Tabeli 3.



Slika 2. — Razdioba brzine vjetra (%) po kategorijama stabilnosti u Oborovu, 1977 — 1978.

Figure 2. Wind speed frequency distribution (%) according to the stability classes at Oborovo, 1977 — 1978.

Tabela 3. Pregled modalnih razreda po kategorijama stabilnosti
Table 3. A review of modal classes according to stability classes

Kategorija stabilnosti	modalni razred					
	brzine vjetra (m/s)			visine sloja miješanja (m)		
	<i>i</i>	Δu_i	\bar{u}_i	<i>j</i>	Δh_j	\bar{h}_j
A	2	0,3—1,9	1,0	3 6	301—500 1001—1500	400 1250
B	2	0,3—1,9	1,0	3 6	301—500 1001—1500	400 1250
C	3	2,0—2,9	2,5	3 6	301—500 1001—1500	400 1250
D	4	3,0—3,9	3,5	3	301—500	400
E	3	2,0—2,9	2,9	2	101—300	200
F	2	0,3—1,9	1,0	1	100	100
G	2	0,3—1,9	1,0	1	100	100

i — razred brzine vjetra prema tabeli 1.
j — razred visine sloja miješanja prema tabeli 2.
u_i — širina razreda brzine vjetra
h_j — širina razreda visine sloja miješanja
 \bar{u}_i, \bar{h}_j — srednjak razreda brzine i visine sloja miješanja

Za vrijednosti prikazane u tabeli 3. provest ćemo ispitivanje osjetljivosti gausovskog modela.

3. ISPITIVANJE OSJETLJIVOSTI MODELA DIFUZIJE GAUSOVSKOG TIPRA

Model difuzije koji ćemo ovdje ispitivati prikazan je jednadžbom (1). Algoritam tog modela detaljno je prikazan u radu ŠINIK (1981).

$$\frac{C}{Q} = \frac{1}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \left\{ \exp \left[-\frac{H^2}{2\sigma_z^2} \right] + \sum_{m=1}^5 \left(\exp \left[-\frac{(H+2mh)^2}{2\sigma_z^2} \right] + \exp \left[-\frac{(H-2mh)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right) \right\} \quad (1)$$

- C/Q* — faktor razrjeđenja, s/m³
Q — količina emitiranih primjesa, kg/s
σ_y, σ_z — parametri lateralnog i vertikalnog rasapa, m
H — efektivna visina izvora emisije, m
h — visina sloja miješanja, m
u — brzina vjetra na visini širenja primjesa *H*, m/s
m = 1, ..., 5 — indeks sumacije

Model difuzije (1) koristi se za procjenu kratkotrajne (1/2-satne, satne, 24-satne) i dugotrajne (mesečne, godišnje, višegodišnje) disperzije. Kada ga koristimo za procjenu dugotrajne disperzije, vrijednosti prizemnih koncentracija dobivene proračunom pomoću jednadžbe (1) treba množiti s pripadnim združenim vjerojatnostima pojavljivanja pojedinih razreda brzine vjetra, visine sloja miješanja i stabilnosti u promatranom razdoblju (KRETSCHMAR,

MERTENS, 1980). Budući da najveće vjerojatnosti pripadaju modalnim razredima promatranih razdoba, opredijelili smo se da u prvom koraku osjetljivost modela ispitamo upravo u modalnim razredima. U tu svrhu ćemo računati koncentracije pomoću (1) za granične i srednje vrijednosti ulaznih parametara, prikazane u tabeli 3., i analizirati njihove odnose.

S obzirom da u ovom radu nećemo ispitivati efekte vezane uz promjenljivost količine primjesa koje se izbacuju u jedinici vremena, kao ni efekte vezane s promjenljivošću efektivne visine perjanice plinovitih primjesa, pretpostavit ćemo da je *Q* = 1 kg/s, a *H* = 70 m, te da su vremenski i prostorno konstantni.

Utjecaj visine sloja miješanja u različitim kategorijama stabilnosti manifestira se na različitim udaljenostima od izvora emisije. Zbog toga nije bilo moguće odrediti jedinstvenu udaljenost za koju bi se vršili proračuni u svim slučajevima, što u izvjesnom smislu otežava analizu rezultata. Uvjet za određivanje udaljenosti (*x*) za pojedinu kategoriju stabilnosti (*S*) dan je izrazom (2):

$$2.15 \sigma_z(x, S) + H = h \quad (2)$$

odnosno, pomoću parametra

$$\sigma_z(x, S) = \frac{h - H}{2.15} \quad (3)$$

za svaku kategoriju stabilnosti određuje se udaljenost na kojoj visina sloja miješanja (*h*) počinje djelovati kao prepreka vertikalnoj disperziji. Od te udaljenosti visina sloja miješanja djeluje kao granica sloja unutar kojeg se odvija prijenos i raspršivanje ukupne količine izbačenih primjesa, zbog čega se i vrijednosti prizemnih koncentracija povećavaju. Što je taj sloj plići, to su prizemne koncentracije veće. Slučaj kada je *h* < *H* u radu nije razmatran (opisan je u radu ŠINIK, 1982.) jer se tada jedan član u izrazu

(1) gubi, a namjera je da se ispita cijeli izraz (1).

U nastavku, razmatrat ćemo utjecaj varijacija brzine vjetra, stabilnosti i visine sloja miješanja (unutar modalnih razreda) na rezultate proračuna.

3.1. Brzina vjetra

Utjecaj varijacija brzine vjetra na rezultate proračuna razmatran je na dva načina. Model (1) najprije je ispitan s obzirom na veličinu varijacije brzine vjetra. To ispitivanje provedeno je za srednjake svih razreda brzine vjetra, modalnu B kategoriju stabilnosti, za srednjak modalnog razreda visine sloja miješanja $h = 1250$ m, te za $h = 400$ m.

Proračuni su pokazali da se u slučajevima kada su varijacije brzine vjetra male (5–10%), njihov efekt prenosi na rezultate u gotovo jednakom postotku (5–9%). Pri tome, varijacije zbog povećanja brzine vjetra od 1 m/s do 8 m/s su manje od 1%. Međutim, s povećanjem varijacija osjetljivost modela naglo se smanjuje. Ukoliko smanjimo ili povećamo brzinu vjetra za 30%, rezultat će se promijeniti (smanjiti, odnosno, povećati) za 23%. Povećamo li varijaciju brzine na 50%, to će odraziti na rezultat s 33%, dok 150%-tna varijacija brzine modificira rezultat samo za 60%.

Dobiveni rezultati ne ovise o udaljenosti od izvora emisije.

Drugi korak bilo je ispitivanje utjecaja varijacija brzine vjetra s obzirom na srednjak modalnog razreda. U tabeli 4. dani su razredi brzine vjetra, srednjaci razreda visine sloja miješanja kao i stabilnosti, kojima pripadaju najveće učestalosti. Prikazani su i omjeri prizemnih koncentracija ($C/u_i : C/\bar{u}$), za vrijednosti brzine vjetra na donjoj i gornjoj granici modalnog razreda s obzirom na srednjak.

Rezultati u tabeli 4. ukazuju da su deformacije numeričkih rezultata najjače u kategoriji najslabijih vjetrova (2), te da osrednjavanje unutar tog razreda brzine rezultira odstupanjem od 233% na donjoj, odnosno, 47% na gornjoj granici (s obzirom na srednjak). Ta deformacija ne ovisi ni o stabilnosti niti o visini sloja miješanja. Također se pokazuje, da se s povećanjem brzine vjetra, uz jednaku širinu razreda (1 m/s), modifikacija rezultata s obzirom na srednjak razreda smanjuje.

Činjenica da je model osjetljiv na male varijacije unutar kategorije brzine vjetrova slabijih od 1 m/s

ukazuje da pogreška na donjoj granici, za $u = 0,3$ m/s (233%) nije rezultat samo efekta osrednjavanja, nego je posljedica oblika gausovskog izraza koji se, za slučajeve kada je bilo koji parametar u nazivniku izraza (1) manji od 1, jako deformira. Tada, vrlo mala odstupanja rezultiraju naglim, nerealnim skokovima i numeričkom nestabilnošću. Budući da model u tim situacijama ne reagira »fizikalno«, nego numeričkim skokom, rezultati proračuna u toj kategoriji brzina su jako nepouzdana. Zbog toga se ne preporučuje upotreba gausovskog modela u slučajevima brzine vjetra $< 1,0$ m/s.

U stabilnoj (F) i ekstremno stabilnoj (G) kategoriji stabilnosti, također je najčešći razred brzine 0,3–1,9 m/s. To su uglavnom noćne, mirne situacije s jako razvijenim inverzijama. VAN DER HOVEN (1976) je eksperimentalnim mjerenjima utvrdio da se stvarne i modelirane koncentracije razlikuju i do 500 puta. Gausovski model daje nerealno velike vrijednosti i ne preporučuje se njegova upotreba bez određenih modifikacija koje imaju fizikalno opravdanje. Ukoliko se primijeni korekcija za male brzine u stabilnim uvjetima, predložena u radu VIDIČ (1981), varijacije zbog osrednjavanja

$$\frac{C(u_1)}{C(\bar{u})} - \frac{C(u_2)}{C(\bar{u})}, (u_1 = 0,3, u_2 = 1,9 \text{ m/s}),$$

su slijedeće:

u F kategoriji stabilnosti 0,97–0,58

u G kategoriji stabilnosti 1,15–0,97

u slučajevima $h = \infty$ i $h = 100$ m.

3.2. Stabilnost atmosfere

Stabilnost atmosfere je parametar kojim je definirana širina perjanice plinovitih primjesa u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini. Klasifikacija stabilnosti za dvogodišnji niz podataka u Oborovu izvedena je metodom F. Pasquilla na temelju satnih podataka o insolaciji, naoblaci i vjetru. Ispitivanje modela difuzije na promjene stabilnosti vršeno je na taj način da se odrede omjeri prizemnih koncentracija za slučaj da pogriješimo u ocjeni stabilnosti za jednu, dvije ili tri kategorije (uz $h = \infty, 100, 200$ i 400 m). Vrijednosti proračuna za udaljenost $x = 3$ km i srednju brzinu vjetra $u = 2$ m/s prikazane su u tabeli 5.

Tabela 4. Omjeri prizemnih koncentracija za granične vrijednosti (u_1 i u_2) te srednjake (\bar{u}) modalnih razreda brzine vjetra, $C(u_1)/C(\bar{u})$ i $C(u_2)/C(\bar{u})$

Table 4. The ratios of ground level concentrations for marginal values (u_1, u_2) to thes for mean values (\bar{u}) of the wind speed model classes, $C(u_1)/C(\bar{u})$ and $C(u_2)/C(\bar{u})$

razred u	\bar{u}	granice intervala $u_1 - u_2$	visina sloja miješanja (stabilnost)	$\frac{C(u_1)}{C(\bar{u})} - \frac{C(u_2)}{C(\bar{u})}$
2	1,0	0,3–1,9	1250 (A, B) 400 (A, B)	3,33 — 0,53
3	2,5	2,0–2,9	1250 (A, B) 400 (A, B)	1,25 — 0,86
4	3,5	3,0–3,9	200 (E) 400 (D)	1,14 — 0,90

Tabela 5. Omjeri prizemnih koncentracija C_i/C_j ($i = 1, \dots, 6, j = 2, \dots, 7$) za varijacije stabilnosti od 1–3 kategorije u slučajevima visine sloja miješanja $h = \infty, 100, 200$ i 400 m, brzina vjetra od 2 m/s, za udaljenost $x = 3$ km

Table 5. The ratios of ground level concentrations C_i/C_j ($i = 1, \dots, 6; j = 2, \dots, 7$) for stability ranges from 1–3 categories with mixing heights of $h = \infty, 100, 200$ and 400 m, wind speed of 2 m/s, at distance of $x = 3$ km.

C_i/C_j	$h = \infty$	$h = 100$	$h = 200$	$h = 400$
C_1/C_2	0,06	0,74	0,14	0,28
C_1/C_3	0,02	0,04	0,10	0,19
C_1/C_4	0,009	0,03	0,08	0,09
C_2/C_3	0,34	0,06	0,68	0,66
C_2/C_4	0,14	0,04	0,53	0,33
C_3/C_4	0,42	0,67	0,78	0,50
C_3/C_5	0,43	0,50	0,99	0,51
C_4/C_5	1,026	0,75	1,28	1,03
C_4/C_6	3,28	0,58	4,07	3,28
C_4/C_7	645	0,76	0,76	605
C_5/C_6	3,19	0,77	3,19	3,19
C_5/C_7	628	1,01	628	628
C_6/C_7	196	1,31	196	196

1-A, 2-B, 3-C, 4-D, 5-E, 6-F, 7-G

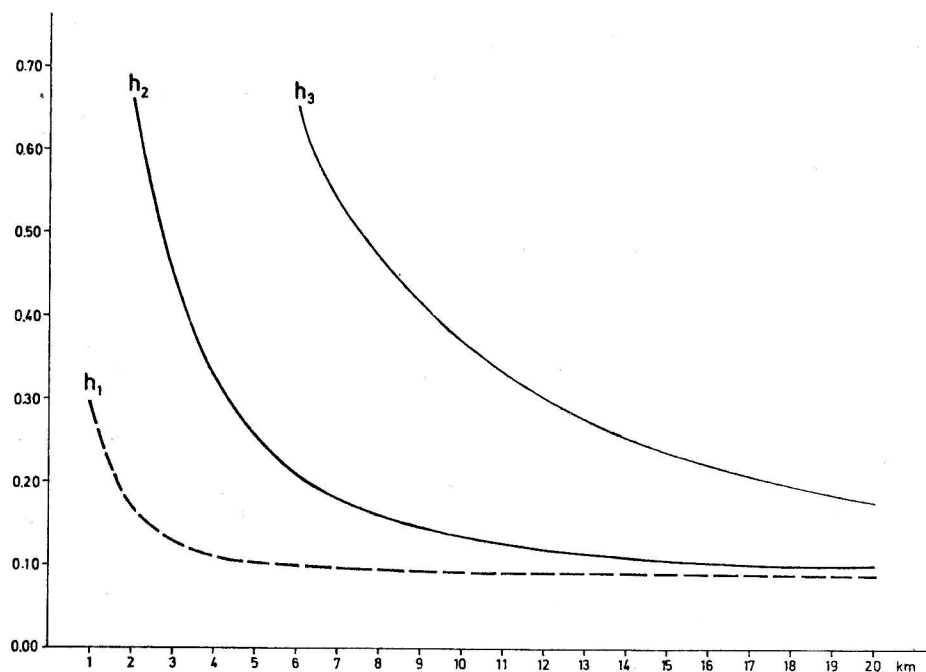
Pokazuje se da varijacije stabilnosti najjače utječu na rezultate za $h = \infty$. Tada, promjena za samo 1 kategoriju uvjetuje odstupanja u koncentracijama i do 4 reda veličine (3% za $\frac{C(F)}{C(E)}$ i 19500% za $\frac{C(F)}{C(G)}$). Vi-

sina sloja miješanja djeluje u smislu kompenzacije, odnosno smanjuje ekstremna odstupanja. Interval maksimalnog i minimalnog odstupanja, uz $h = 100$ m, smanjen je na 26–94%. Budući da u različitim kategorijama stabilnosti perjanica primjesa dolazi do visine h na različitim udaljenostima, to i efekt kompenzacije ovisi o udaljenosti. Općenito, u labilnim situacijama, on će doći do izražaja bliže izvoru emisije nego uz iste uvjete u stabilnim situacijama.

Model je, dakle, izrazito osjetljiv na varijacije stabilnosti, osobito u slučajevima kada ne raspolažemo podacima o visini sloja miješanja. Budući da stabilnost atmosfere određujemo isključivo indirektnim metodama, na temelju srednjih satnih podataka, ocjena satne stabilnosti nije uvijek pouzdana. Ispitivanja stabilnosti obavljena na bazi 10-minutnih srednjaka meteoroloških elemenata, KORACIN (1981), pokazuju da unutar 1 sata stabilnost može varirati za dvije, pa i više kategorija. Iz tabele 5. vidi se da se u tim slučajevima rezultati mogu razlikovati i za 75000%.

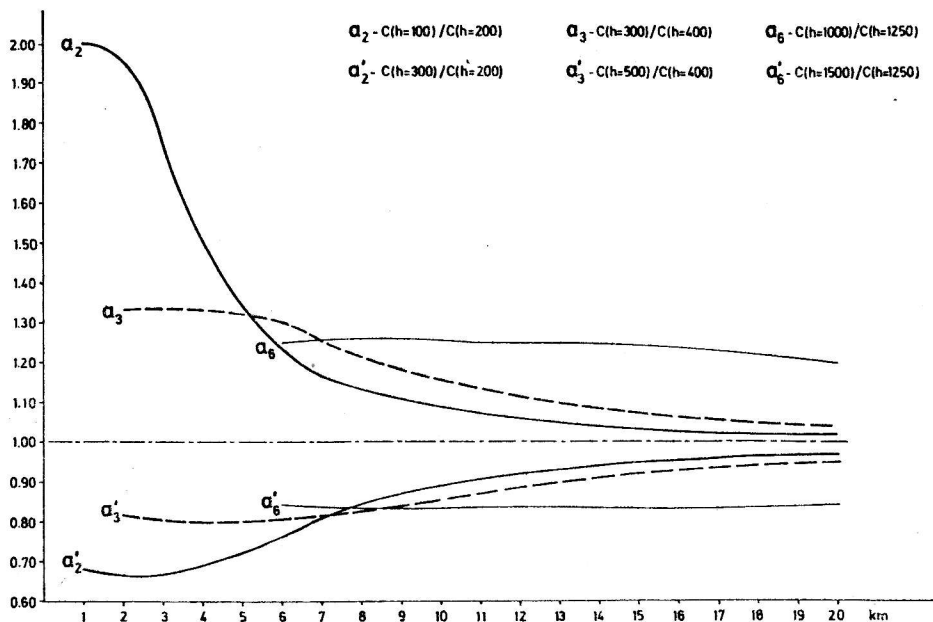
3.3 Visina sloja miješanja

Visina sloja miješanja h , označava debljinu prizemnog sloja u kojem je moguća difuzija po vertikali. Budući da gornja granica tog sloja sprečava daljnju disperziju, analogno donjoj granici, tlu, uvođenje veličine h u gausovski model difuzije povećava vrijednost teoretskih koncentracija nakon one udaljenosti od izvora emisije gdje je zadovoljen uvjet (2). Na



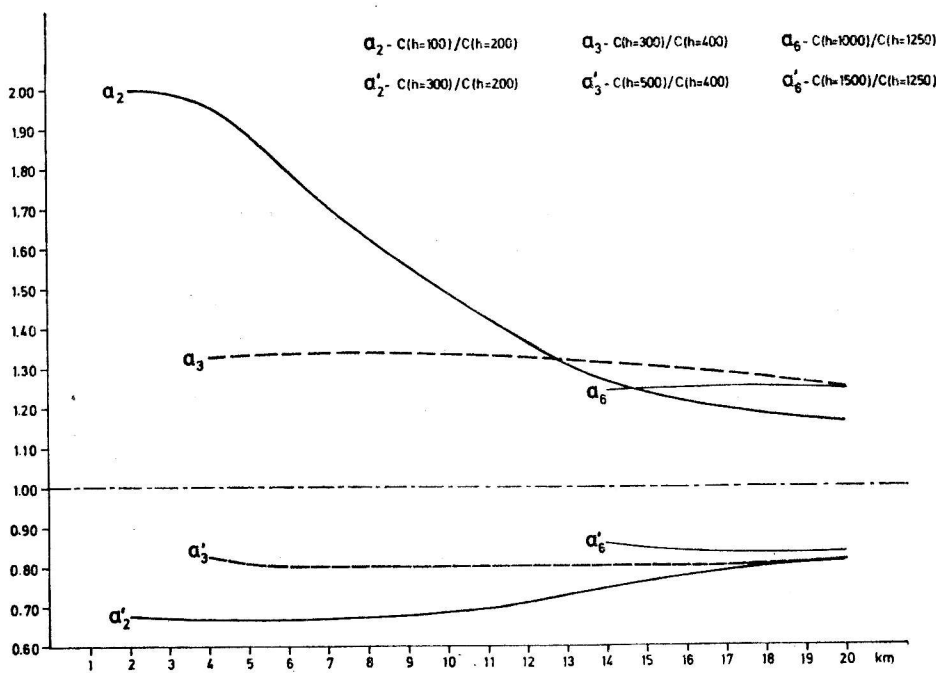
Slika 3. Omjeri prizemnih koncentracija $C(h_0)/C(h_i)$ ($h_0 = \infty, h_1 = 100$ m, $h_2 = 400$ m, $h_3 = 1250$ m) u B kategoriji stabilnosti na udaljenostima 1–20 km od izvora emisije

Figure 3. The ratios of ground level concentrations $C(h_0)/C(h_i)$ ($h_0 = \infty, h_1 = 100$ m, $h_2 = 400$ m, $h_3 = 1250$ m) for the B stability, at distances of 1–20 km from emission point source.



Slika 4. Omjeri prizemnih koncentracija za granične vrijednosti (h_{1i} i h_{2i}) i srednjake (\bar{h}_i) modalnih razreda ($i = 2, 3, 6$) visine sloja miješanja u B kategoriji stabilnosti, na udaljenostima 1–20 km od izvora emisije.

Figure 4. The ratios of ground level concentrations for marginal values (h_{1i} and h_{2i}) to those for mean values (\bar{h}_i) of the mixing height modal classes ($i = 2, 3$ and 6) for the B stability at distances of 1–20 km from emission point source.



Slika 5. Omjeri prizemnih koncentracija za granične vrijednosti (h_{1i} i h_{2i}) i srednjake (\bar{h}_i) modalnih razreda ($i = 2, 3, 6$) visine sloja miješanja u C kategoriji stabilnosti, na udaljenostima 1–20 km od izvora emisije.

Figure 5. The ratios of ground level concentrations for marginal values (h_{1i} and h_{2i}) to those for mean values (\bar{h}_i) of the mixing height modal classes ($i = 2, 3$ and 6) for the C stability at distances of 1–20 km from emission point source.

temelju metode LONČAR (1981) za određivanje satnih vrijednosti visine sloja miješanja, izrađena je razdioba čestina u Oborovu za 1977 i 1978. godinu. S najvećom čestinom zastupljeni su razredi 6. i 3. pa su za te modalne razrede provedena ispitivanja.

Na slici 3. prikazan je omjer prizemnih koncentracija uz $h = \infty$ i $h = 100, 400$ m i 1250 m u B kategoriji stabilnosti.

Utjecaj visine sloja miješanja na koncentracije povećava se s njezinim smanjivanjem, a maksimum

prizemnih koncentracija premješta se bliže izvoru emisije. Osim toga vidi se da nakon određene udaljenosti omjer $\frac{C(h = \infty)}{C(h)}$ postaje kvazikonstantan.

Za male visine h ta se udaljenost postiže znatno bliže izvoru emisije, nego za velike vrijednosti h .

Na slikama 4. i 5. prikazani su omjeri za rubne i srednje vrijednosti h u modalnim razredima za B i C kategoriju stabilnosti.

Objekte pokazuju da je s povećanjem visine sloja miješanja, utjecaj osrednjavanja slabiji. Taj utjecaj slabi i s promjenama od labilnih prema neutralnim stanjima stabilnosti.

U nižim razredima visine sloja miješanja je odstupanje graničnih od srednje vrijednosti čak 3,3 puta veće na donjoj (nižoj) granici razreda, nego na gornjoj (višoj). Udaljavanjem od izvora emisije te se razlike smanjuju.

Model difuzije (1) najosjetljiviji je na male visine sloja miješanja čiji se utjecaj manifestira u blizini od nekoliko kilometara od izvora, da bi zatim naglo oslabio i postao kvazikonstantan s udaljenošću.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu ispitivana je osjetljivost gausovskog modela difuzije na promjene ulaznih parametara unutar onih razreda brzine vjetra, visine sloja miješanja i stabilnosti, kojima tokom promatranog razdoblja (Oborovo, 1977 i 1978.) pripadaju najveće čestine. Opredijelili smo se za ovaj pristup da bismo utvrdili u kojoj mjeri se rezultati proračuna razlikuju kada u model, umjesto s individualnim (satnim) vrijednostima, ulazimo sa srednjakom razreda. Budući da se odstupanja zbog pridruživanja srednjaka određenom skupu (razredu) najjače odražavaju na razredima koji se najčešće pojavljuju (i koji opisuju značajke lokaliteta), ovu analizu proveli smo upravo za te, modalne razrede. Sigurno je da bi, kao slijedeći korak, trebalo izvršiti analizu na potpunom skupu podataka, što bi doprinijelo općenitosti zaključaka.

Rezultati proračuna pokazuju da s obzirom na varijacije brzina vjetra model nije osjetljiv. Međutim, ovaj zaključak ne vrijedi ukoliko analizu provedemo unutar modalnog razreda brzine (0,3—1,9 m/s). Naime, model je izrazito osjetljiv u slučajevima vrlo slabog strujanja (< 1 m/s), kada pogreška zbog osrednjavanja iznosi više od 200%. Zbog toga se u slučaju slabih vjetrova ne preporučuje upotreba gausovskog modela. S povećanjem brzine vjetra, pogreška zbog osrednjavanja za istu širinu razreda je manja i prenosi se na rezultat u jednakom ili manjem procentualnom iznosu. Pri tome, visina sloja miješanja ne doprinosi modifikaciji rezultata.

Visina sloja miješanja djeluje u smislu povećanja vrijednosti prizemnih koncentracija. Povećanje je to jače što je sloj miješanja plići, a rezultat je najjače modificiran u blizini izvora emisije od nekoliko kilometara. Udaljavanjem od izvora emisije doprinos zbog postojanja gornje granice ostaje kvazikonstantan. Što je debljina sloja miješanja veća, utjecaj njegove visine je slabiji i pomiče se prema većim udaljenostima od izvora emisije. Pridruživanjem srednje visine sloja miješanja definiranoj intervalu visina, pokazuje se da su odstupanja na donjoj (nižoj) i gornjoj (višoj) granici intervala s obzirom na srednjak različita. I u slučaju B i u slučaju C kategorije stabilnosti ta su odstupanja znatno veća na donjoj granici intervala (3,3 puta) nego na gornjoj. To ukazuje na to da bi za male visine sloja miješanja, ovis-

no o stabilnosti bilo potrebno smanjiti širine razreda.

Razmatrajući utjecaj variranja kategorija stabilnosti, pokazalo se da je model jako osjetljiv na promjene stabilnosti, osobito u slučaju visine sloja miješanja $h = \infty$. Visina sloja miješanja u modelu djeluje u smislu prigušivanja pogrešaka koje se javljaju u ocjeni stabilnosti.

5. LITERATURA

- BEYCHOK, M. R. 1979: Fundamentals of Stack Gas Dispersion, Irvine, Col.
- BOHAC, R. L., DERRICK, W. R., SOSEBEE, J. B. 1974: Sensitivity of the Gaussian Plume Model, Technical Note, *Atm. Envir.* Vol. 8, pp. 291—293.
- BOWNE, N. E. 1980: Validation and Performance Criteria, Air Quality Models, Conf. Papers of AMS Second Joint Conf. on Applications of Air Pollution Meteorology, March 24—27, 1980, New Orleans, La pp. 614—626.
- CRISTIANSEN, J. H., WANG, H. and PARKER, K. 1980: Development of a Dispersion Model for Ambient Air Quality Evaluation, Conf. Papers of AMS Second Joint Conf. on Applications of Air Pollution Meteorology, March 24—27, 1980, New Orleans, La pp. 627—633.
- GEORGE, L. A. and LOWERY, J. C. 1980: Sensitivity of Single-Source (CRSTER) Model Predictions to Variations in Input Data and Methods of Application, Conf. Papers of AMS Second Joint Conf. on Applications of Air Pollution Meteorology, March 24—27, 1980, New Orleans, La pp. 752—760.
- KLUG, W. 1969: Eine Verfahren zur Bestimmung der Ausbreitungsbedingungen aus synoptischen Beobachtungen. *Staub-Reinhalt. Luft* 29, (1967.) Nr 4. April, 143—147.
- KORAČIN, D. 1981: Utjecaj perioda osrednjavanja meteoroloških parametara na procjenu stabilnosti prizemnog sloja atmosfere, *Rasprave* 16, RHMZ SRH, Zagreb.
- KRETZSCHMAR, J. G. and MERTENS, I. 1980: Influence of the Turbulence Typing Schemes Upon the Yearly Average Ground-Level Concentrations Calculated by Means of a Mean Wind Direction Model, *Atm. Env.* Vol. 14, pp. 947—951.
- LEGROS, CH. and BERGER, A. L. 1978: Sensitivity Analysis of a Gaussian Plume Model, Paper Presented at the WMO Symposium on Boundary Layer Physics Applied to Specific Problems of Air Pollution, Norrköping, 19—23 June 1978, pp. 169—174.
- LONČAR, E. 1981: Metoda određivanja satnih vrijednosti visine sloja miješanja, *Rasprave* 16, RHMZ SRH, Zagreb.
- MAXWELL, D. R. and MOLDOVAN, J. G. 1980: Inadequacies of Meteorological Data Requirements and Associated Model Output for the EPA CRSTER MODEL, Conf. Papers of AMS Second Joint Conf. on Applications of Air Pollution Meteorology, March 24—27, 1980, New Orleans, La pp. 696—702.
- McRAE, R. J., TILDEN, J. W. 1980: A Sensitivity and Uncertainty Analysis of Urban Scale Air Pollution Models, Conf. Paper of AMS Second Joint Conf. on Applications of Air Pollution Meteorology, March 24—27, 1980, New Orleans, La pp. 677—682.
- PASQUILL, F. 1974: Atmospheric Diffusion, Helsted Press, New York, 1974.
- STREICHER, D. and SCHNEIDER, B. 1981: Vlijanje vjetrovih meteoroloških parametara na rasprostranjenost rezultata rascota rasprostranjenja, *Doklad na Naučnom koordinacijskom soveščaniju po temi, Meteorološkička služba GDR, Mart* 1981.
- ŠINIK, N. 1981: Model proračuna prizemnih koncentracija, *Rasprave* 16, RHMZ SRH, Zagreb.
- TURNER, B. 1979: Atmospheric Dispersion Modeling: A Critical Review, *V. S. Environmental Protection Agency, JAPCA, Vol. 29, No 5, pp. 502—519.*

- VAN DER HOVEN, I. 1976: A Survey of Field Measurement of Atmospheric Diffusion Under Low Wind Speed Conditions, Nuclear Safety 17 (2) pp. 223—230.
- VENKATRAM, A. 1981: Modeling of Dispersion from Tall Stacs, Atm. Env. Vol. 15, No 9, pp. 1531—1538.
- VIDIČ, S. 1981: Modifikacija parametra lateralne difuzije u uvjetima slabog strujanja zraka, Rasprave 16, RHMZ SRH, Zagreb.

SUMMARY

The sensitivity of the Gaussian diffusion model is discussed in terms of input parameters variation in connection with their distributions. This research has been applied to the modal classes of frequency distributions of wind speed, mixing heights and stability hourly data (Tables 1 and 2) at Oborovo (1977—78). It reveals the degree of variation of Gaussian model (1) output parameters, when we use, as input, the mean values of the modal classes instead of individual ones.

Calculation results indicate that, aside from wind speed classes of 0,3—1,9 m/s (Table 4), model (1) is

not sensitive to variations in wind speed. Under very low wind speed conditions (< 1 m/s) the use of the modal class mean instead of individual values might lead to calculation errors up to 200 per cent. This error decreases with an increase in wind speed for an equal class width (1 m/s).

Classes of mixing height are shown in Table 2. Ground level concentrations are calculated for lower and upper class boundaries and for means of modal classes. The differences between the ground level concentrations and for a lower class boundary is significantly greater than that for the upper one (fig. 4 and 5) in both the *B* and *C* stability categories. This indicates that it would be desirable to decrease class width in case of low mixing heights.

An analysis of variations in stability class confirms that the diffusion model is distinguishably sensitive to changes in stability, particularly in cases of $h = \infty$. The existence of a mixing layer of a final thickness acts in the sense of decreasing the model sensitivity to stability variations (Table 5), so that errors which might come about through evaluation of stability are suppressed. This effect is more pronounced for smaller mixing depths.