

Procjena difuzije za vrijeme tišina

Estimation of Diffusion During Calms

NADEŽDA ŠINIK

Sažetak: U radu je opisana metoda određivanja koeficijenata difuzije za vrijeme tišina pomoću P-G krivulja stabilnosti. Njihovim uključivanjem u model tišina od Okamoto i Shiozawe dobija se mogućnost proračuna koncentracija za vrijeme tišina u onim lokalitetima, gdje je pogodna primjena gausovskog modela.

Ključne riječi: Model tišina; P-G krivulje stabilnosti; Gausovski model; Brzina turbulentne difuzije.

Abstract: The paper presents the method for determining diffusion coefficients during a calm by means of P-G stability curves. Its inclusion in the calm model of Okamoto and Shiozawa makes possible a calculation of concentrations during a calm period in those places, where application of the Gaussian model is feasible.

Key words: Calm model; P-G stability curves; Gaussian model; Turbulent diffusion speed.

1. UVOD

S ekološkog stanovišta zaštite atmosfere od onečišćenja posebno je važno proučavanje rasprostiranja otpadnih plinova tokom takvih anomalnih meteoroloških prilika, kada se može očekivati povećanje plinovitih i ostalih primjesa u atmosferi. Među takve meteorološke situacije spadaju tišine, kada anemometri bilježe brzinu vjetra $U = 0 \text{ ms}^{-1}$. Procjenu čestine tišina u nekom lokalitetu otežava nedovoljna osjetljivost instrumenata (donji prag osjetljivosti je $0,3\text{--}0,5 \text{ ms}^{-1}$). Na taj se način u tišine uključuju i prijelazna stanja od veoma slabih vjetrova na tišine, što se u meteorološkoj literaturi često označava kao situacije »tihog vjetra« (»calm wind« — npr. DRAXLER, 1980.). Mjerenja difuzije plinova i njihovih koncentracija tokom takvih situacija (PICKNET, 1981.) pokazuju, da je rasap znatno veći, nego što bi odgovaralo samo difuziji molekularnih dimenzija. To ukazuje da pojave tišina u atmosferi ne predstavljaju »apsolutne tišine«, nego vremenska stanja, u kojima nema prijenosa zračnim strujama, ali postoji određena turbulentna difuzija veoma slabog intenziteta. Eksperimenti Pickneta, provedeni s gustim dimom u atmosferi, pokazali su da se za vrijeme tišina dim širi polagano i relativno pravilno na sve strane od prizemnog izvora emisije u horizontalnoj ravnini i nekoliko puta slabije po vertikali.

U prizemnom sloju atmosfere tišine su dosta česta pojava u krajevima s kontinentalnom klimom, gdje njihova vertikalna dimenzija zna doseći i preko stotinu metara (BERLJAND, 1975, str. 113).

Većina današnjih modela za proračun onečišćenja u okolišu izvora emisije otpadnih plinova i čestica (plinovite primjese) izvedena je uz pretpostavku po-

stojanja vjetra određenog smjera i brzine. Pri tome je brzina vjetra ulazni podatak u nazivniku osnovnih jednadžbi modela gausovskog tipa, zbog čega takvi modeli izračunavaju nerealno velike koncentracije kada $U \rightarrow 0$. U proračunima se odražava i činjenica da takvi modeli zanemaruju difuziju u smjeru gibanja zračne struje.

Postoji više pristupa rješavanju problema određivanja koncentracija plinovitih primjesa za vrijeme tišina. Najjednostavniji je postupak kod proračuna prosječnih koncentracija za dulje vremensko razdoblje. Tu se ukupna čestina pojave tišina podijeli po razredima najslabijih vjetrova u omjerima, u kojima su ti razredi zastupljeni po smjerovima vjetra (SG-S3, Rev. 8, 1979).

U slučaju koncentracija za kraća vremenska razdoblja, proračuni se provode na više načina. DRAXLER (1980) ne računa koncentracije u satima s tišinom, nego vrijednost emisije u takvim satima pridružuje prvom slijedećem satu s brzinom različitom od nule. Na taj način model simulira akumuliranje plinova oko izvora emisije bez uvažavanja bilo kakve difuzije. Kao rezultat, teoretske koncentracije u blizini izvora emisije nerealno su velike, zbog čega autor naglašava da se model ne može primjenjivati za proračun koncentracija u blizini izvora emisije.

BERLJAND (1972) i HURSUDJAN (1979) polaze od diferencijalne jednadžbe difuzije (u polarnim ili u kartezijskim koordinatama) te uz odgovarajuće aproksimacije u vezi s koeficijentima difuzije dobijaju analitička rješenja za veličinu koncentracije na zadanu udaljenost od izvora emisije. Nepraktičnost njihovih jednadžbi je u nepoznavanju numeričkih koeficijenata i u nedefiniranom vremenskom intervalu, za koji jednadžbe vrijede.

Najprihvatljiviji po svojoj jednostavnosti i jasnoći je »model tišina« autora OKAMOTO i SHIOZAWA (1978). Oni polaze od »puff« jednadžbe difuzije gausovskog tipa, izražavaju parametre difuzije σ_x , σ_y i σ_z kao funkcije vremena te integriranjem početne jednadžbe po vremenu persistencije tišina izvode izraz, kojim izračunavaju prizemnu koncentraciju C kao funkciju visine širenja plina, H , udaljenosti od izvora, d , i vremena trajanja tišina, t_p . Model je izveden uz brzinu vjetra $U = 0$, međutim autori navode koeficijente pripadne difuzije α i γ , koji odgovaraju puhanju slabog vjetra. Zato primjena takvog modela u slučajevima tišina, kada instrumenti bilježe $U = 0$, a ipak postoji turbulentna difuzija, uzrokovana neizmjerljivo (ovisno o instrumentu) slabim vjetrom, zahtijeva određivanje pripadnih koeficijenata difuzije (odnosno brzina difuzije).

U našem je radu predložena shema za određivanje brzine difuzije po horizontali (α) i po vertikali (γ) za vrijeme tišina. Ujedno je pokazano, da u razmatranje koncentracija za vrijeme tišina treba uključiti faktor vremena, potrebnog za širenje cijelog oblaka plinovitih primjesa.

2. PARAMETRI TURBULENTNE DIFUZIJE ZA VRIJEME TIŠINE

Cilj je našeg rada postizavanje mogućnosti upotrebe navedenog modela tišina u našim uslovima. Nakon što odredimo odgovarajuće numeričke vrijednosti α i γ taj ćemo model primijeniti za proračun koncentracija plinovitih primjesa. U tu je svrhu ovdje potreban kratak opis modela uz analizu problema, koji se javljaju prilikom njegove primjene.

2.1. Model OKAMOTO i SHIOZAWA

Integralni oblik jednadžbe za proračun prizemnih koncentracija plinovitih primjesa za vrijeme tišina (O. i S., 1978) glasi:

$$C = \frac{2\gamma Q}{(2\pi)^{1.5}(\gamma^2 d^2 + \alpha^2 H^2)} \exp\left(-\frac{\gamma^2 d^2 + \alpha^2 H^2}{2\alpha^2 \gamma^2 t_p^2}\right) \quad (1)$$

gdje je:

C = prizemna koncentracija

Q = intenzitet emisije

H = visina širenja dimne perjanice

t_p = vrijeme persistencije tišina

α = brzina difuzije u horizontalnoj ravnini

γ = brzina difuzije u vertikali

d = udaljenost od izvora emisije.

Očito je iz jednadžbe (1) — ako $t_p \rightarrow \infty$, postiže se stacionarno stanje, u kome je

$$C = \frac{2\gamma Q}{(2\pi)^{1.5}(\gamma^2 d^2 + \alpha^2 H^2)} \quad (2)$$

Početnu jednadžbu, na kojoj se model tišina osniva, izveo je Roberts (SUTTON, 1953) proširenjem

analitičkog rješenja Fickove jednadžbe difuzije za slučajeve točkastog, kontinuiranog izvora, odakle slijedi da model tišina implicira i karakteristike molekularne difuzije.

U jednadžbama (1) i (2) autori prikazuju koeficijente α i γ pomoću izraza

$$\begin{aligned} \sigma_x = \sigma_y &= \alpha t \\ \sigma_z &= \gamma t \end{aligned} \quad (3)$$

gdje su $\sigma_{x,y,z}$ parametri difuzije, koji se upotrebljavaju u gausovskim modelima difuzije. Pretpostavka je u (3), da su ti parametri linearna funkcija vremena trajanja difuzije tokom tišina. Njihove numeričke vrijednosti ($\alpha = 0.4 \text{ ms}^{-1}$, $\gamma = 0.2 \text{ ms}^{-1}$) odabrane su tako da proračuni prizemnih koncentracija C što bolje aproksimiraju stvarne C , mjerene u području Keihin (Japan). Ujedno je navedeno da vrijede za stabilnost »C« i »D« po Turneru što je dosta rijeđak slučaj u našim klimatskim uslovima, gdje je neutralna stabilnost »D« najčešće karakteristična po pojačanom strujanju zraka. Prema tome, navedene vrijednosti α i γ vrijede za određeni lokalitet s određenim klimatskim karakteristikama, zbog čega njihova općenita primjena nije moguća.

2.2. Metoda određivanja α i γ

Intenzitet turbulentne difuzije za vrijeme tišina ovisi o stanju stabilnosti atmosfere. Kod mirnog, stabilnog vremena, kada je rasap općenito slab, eksperimenti Pickneta pokazuju da se oblak plinova može širiti brzinama od nekoliko milimetara do nekoliko stotina milimetara u sekundi. To je veoma veliki diapazon vrijednosti unutar samo jedne (ili dvije) klase stabilnosti i veoma otežava procjenu numeričkih vrijednosti α i γ , koje bi se mogle upotrijebiti u teoretskim proračunima.

Prema tome, ako proračune koncentracija plinovitih primjesa za vrijeme tišina želimo pridružiti općim modelima za određivanje koncentracija u okolišu izvora emisije, moramo početi od činjenice da procjena difuzije tokom tišina mora biti granični slučaj procjene difuzije tokom ostalih vremenskih stanja, kada je $U \neq 0 \text{ ms}^{-1}$.

U modelima difuzije i transporta gausovskog tipa veličina difuzije ocjenjuje se pomoću parametara σ_y i σ_z . Ove su veličine funkcija stabilnosti i udaljenosti od izvora emisije, određuju se eksperimentalnim putem, a prikazuju standardnu devijaciju rasapa oko centralne osi dimne perjanice. Postoji više familija takvih krivulja (GIFFORD, 1976), koje se razlikuju po vremenu trajanja difuzije, zatim po visini izvora emisije te po hrapavosti podloge.

Najraširenija je upotreba Pasquill-Giffordovih (P-G) krivulja stabilnosti, (TURNER 1970, PASQUILL 1974), koje vrijede za niske izvore emisije, malu hrapavost te za vremenski interval od nekoliko minuta (najčešće se uzima 3 minute). Približavanjem izvoru emisije krivulje prikazuju sve slabiji intenzitet difuzije. Tu smo činjenicu iskoristili za procjenu veličina α i γ , dakle brzine turbulentne difuzije za vrijeme tišina, kada je difuzija veoma slaba i plinovite primjese se zadržavaju u neposrednoj blizini izvora emisije, nakon čega koncentracije naglo opadaju.

Ako nakon tišina puhne vjetar slabog intenziteta, koncentracije u najbližem okolišu ne mijenjaju se mnogo (uz pretpostavku kontinuirane emisije), ali se istovremeno plin širi na veće područje. Kao rezultat, na nešto većim udaljenostima koncentracije plinovitih primjesa mogu biti nekoliko puta veće nego za vrijeme tišina (BERLJAND, 1972). Navedene udaljenosti mijenjaju se od slučaja do slučaja te ih je nemoguće generalizirati. Za potrebe pridruživanja modela tišina gausovskom modelu to će biti one udaljenosti, na kojima oba modela daju slične vrijednosti prizemnih koncentracija. Kao pojam »sličan« može se prihvatiti sličnost u okviru faktora »2«, što je u skladu s današnjim stanovištem (HANNA, 1981), da su — s obzirom na nesavršenost današnjih modela — teoretske vrijednosti C zadovoljavajuće, ako su »samo« dva puta veće ili manje od mjerenih C .

Proračuni, provedeni po takvom principu, uz korištenje P-G krivulja stabilnosti, pokazali su da se navedeni odnos između C uz tišine i C uz slab vjetar (za kojeg smo uzeli $U = 1 \text{ ms}^{-1}$) postiže ako se α i γ odrede pomoću σ_y i σ_z na udaljenosti 50 m od izvora emisije. Vrijednosti α i γ određivane su, prema jednadžbi (3) kao

$$\alpha = \frac{\sigma_x}{180} = \frac{\sigma_y}{180} \text{ ms}^{-1}$$

$$\gamma = \frac{\sigma_z}{180} \text{ ms}^{-1} \quad (4)$$

gdje 180 sekundi odgovara vremenu od 3 minute, za koje vrijede P-G krivulje. Za svaku klasu stabilnosti očitane su sa krivulja vrijednosti σ_y i σ_z u metrima na odabranoj udaljenosti ili su određene pomoću jednadžbe krivulja (Mc MULLEN, 1975). Iz njih su dalje, po jednadžbi (4), izračunate vrijednosti α i γ . Zatim su provedeni proračuni prizemnih koncentracija C modelom tišina za različite parove (α , γ) i uz različite stabilnosti, a posebno gausovskim modelom za istu stabilnost i za iste udaljenosti kao i modelom tišina. Pritom je kao reprezentant slabih vjetrova ($U \leq 2,0 \text{ ms}^{-1}$) uzeta vrijednost $U = 1 \text{ ms}^{-1}$.

Takvim proračunima postupno se je došlo do navedene udaljenosti od 50 m, na kojoj su s P-G krivulja određene vrijednosti σ_y i σ_z za sve klase stabilnosti. Pripadni α i γ pridružuju model tišina gausovskom modelu tako da su na udaljenostima oko 50 metara prizemne koncentracije uz tišine i uz vjetar od 1 ms^{-1} slične (u okviru faktora 2). Te su vrijednosti prikazane u tabeli 1.

Tabela 1. Parametri difuzije σ_y i σ_z iz P-G krivulja stabilnosti na 50 m i njihovi vremenski ekvivalenti α i γ
Table 1. Diffusivity parameters σ_y and σ_z from P-G stability curves at 50 m and their time equivalents α and γ

Stabilnost	A	B	C	D	E	F
σ_y , m	14.8	9.7	6.2	4.0	3.2	2.0
α , ms^{-1}	0.082	0.054	0.034	0.022	0.018	0.011
σ_z , m	9.0	5.4	3.9	2.5	1.9	1.2
γ , ms^{-1}	0.050	0.030	0.022	0.014	0.011	0.007

Vrijednost α i γ izračunate su za sve klase stabilnosti. Međutim, u modelima koji koriste originalne

Pasquillove kriterije stabilnosti, tišine se uopće ne bi trebale javiti uz neutralnu stabilnost D, što ne mora vrijediti kod modificiranih kriterija (PASQUILL, 1974).

Valja posebno naglasiti da vrijednosti α i γ iz tabele 1. vrijede jednako u svim udaljenostima od izvora emisije (manjim i većim od 50 metara). Metoda određivanja α i γ iz P-G krivulja stabilnosti bila bi konzistentnija s modelima, koji koriste te krivulje, kada bi je primijenili na svaku udaljenost unutar oblaka. Taj je postupak kompliciraniji, a pored toga, promjenljivost brzine difuzije unutar oblaka plina za vrijeme tišina nije još eksperimentalno ispitana.

U usporedbi s numeričkim podacima Richardsona (PASQUILL, 1974, str. 139) o standardnim devijacijama čestica od njihovog srednjeg položaja za različite dimenzije difuzije, vrijednosti α i γ u tabeli 1. nalaze se na donjoj granici kod turbulentne difuzije, ali su istovremeno oko dva reda veličine veće od analognih vrijednosti kod molekularne difuzije.*

Ovdje dodajemo da su u izvornom modelu tišina (OKAMOTO i SHIOZAWA, 1978) $\alpha = 0,4 \text{ ms}^{-1}$ i $\gamma = 0,2 \text{ ms}^{-1}$, što zapravo daje mjeru difuzije kod slabog vjetra. Vrijednosti α i γ u tabeli 1. bliže su situacijama »tihog vjetra« neizmjerljive brzine, ali ipak takove, da podržavaju turbulentnu difuziju.

2.3. Vrijeme širenja oblaka

U modelu tišina Okamoto i Shiozawa nije uključeno vrijeme koje je potrebno da se oblak plina difuzijom proširi do one udaljenosti na kojoj se proračunava prizemna koncentracija. Zato smo u našem radu razmotrili utjecaj vremena širenja oblaka za vrijeme tišina. Rezultate prikazuju tabela 2, gdje je vrijeme širenja oblaka pridruženo vremenu trajanja tišina, odnosno izračunato je koliko mora trajati tišina (u satima) da bi se oblak plina proširio do neke udaljenosti, d , od izvora. Oblak se širi brzinom α , ms^{-1} .

Tabela 2. Radius d oblaka plinova (metri) u ovisnosti o trajanju tišina, t_p , tokom različitih stanja stabilnosti S
Table 2. Gas cloud radius d (meters) in dependence on the calm duration, t_p , during various stability states S

S	t_p , sati									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	295	590	885	1180	1476	1771	2065	2360	2655	2950
B	194	389	583	778	972	1166	1361	1555	1750	1944
C	122	244	367	490	612	734	857	979	1102	1224
D	79	158	238	317	396	475	554	634	713	792
E	65	130	194	259	324	389	454	518	583	648
F	40	80	119	158	198	238	277	317	356	396

Tabela 2. pokazuje, da je kod najčešćih slučajeva tišina, dakle uz stabilnost F, širenje izbačenih plinova veoma sporo. Na primjer, ukoliko tišina traje 3 sata plinovi se gomilaju u krugu radiusa do 120 m, a dalje koncentracije naglo opadaju do nule.

* Vrijednosti između toga vjerojatno pripadaju prijelaznom stanju od molekularne na turbulentnu difuziju.

Faktor vremena može korisno poslužiti za ocjenu valjanosti vrijednosti α i γ , odnosno odabrane udaljenosti, na kojoj su izračunati.

Većina današnjih modela proračunava satne koncentracije (jer su većina ulaznih podataka satne vrijednosti). Ako njima pridružujemo model tišina, onda kod najsporiye difuzije u horizontali (F stabilnost po Pasquillu) treba odrediti takav α da oblak plina dođe barem približno tokom jednog sata do one udaljenosti za koju je α određen pomoću P-G krivulja. Premda taj uslov nije nužan, mi ga možemo postaviti kao pomoćni uslov pri pridruživanju modela tišina općem modelu proračuna satnih koncentracija. U našem slučaju, vrijednost α (F) = 0,011 ms⁻¹ (tab. 1). Kroz jedan sat oblak plinova stići će do udaljenosti 40 m (tab. 2), dakle blizu granične vrijednosti od 50 metara. (Na 40 m udaljenosti proračun nije moguć, jer P-G krivulje tu više nemaju realnu vrijednost za σ_z).

3. USPOREDBA TEORETSKIH VRIJEDNOSTI PRIZEMNIH KONCENTRACIJA ZA VRIJEME TIŠINA I UZ VJETAR

Proračuni su provedeni za prizemni, točkasti, kontinuirani izvor emisije. Uz pretpostavku, da je emisija Q konstantna, računa se tzv. »faktor razrjeđenja« C/Q . Kao primjer, razmatrane su tišine tokom stabilnosti F u usporedbi s vjetrom brzine 1

ms⁻¹. Koeficijenti difuzije za vrijeme tišina uzeti su iz tablice 1, a vrijednosti σ_y i σ_z u gausovskom modelu uz $U \neq 0$ očitavane su s P-G krivulja (TURNER, 1970).

Uz navedene uslove radimo s jednadžbama:

$$\text{model tišina: } (C/Q)_c = \frac{2}{(2\pi)^{1.5} \gamma d^2} \exp\left(-\frac{d^2}{2\alpha^2 t^2}\right) \quad (5)$$

$$\text{gausovski model: } C/Q = \frac{1}{4 \cdot 1,82 \pi U \sigma_y \sigma_z}$$

U gausovskom modelu povećan je lateralni rasap 4 puta (npr. IAEA, SG-S3, Rev. 8, 1979), što je uobičajena praksa za uvažavanje povećane difuzije uslijed varijabilnosti smjera slabih vjetrova. Ujedno je rasap u horizontali, σ_y , trebalo pomnožiti faktorom 1,82, što označava porast σ_y od 3-minutne vrijednosti do vrijednosti koja odgovara jednom satu (HANNA i dr., 1977).

Rezultate proračuna prikazuje tabela 3.

Tabela 3. ilustrira prostorno-vremenske varijacije koncentracija (odnosno faktora razrjeđenja) tokom stabilne atmosfere, kao i promjenu prostorne raspodjele C/Q kada zapuše vjetar. Radi usporedbe, dodan je i podatak uz nešto jači vjetar, koji osjetno smanjuje koncentracije.

Podaci uz $U = 0$ i $U \neq 0$ međusobno su usporedivi, čime je potvrđena mogućnost pridruživanja modela tišina gausovskom modelu transporta i difuzije.

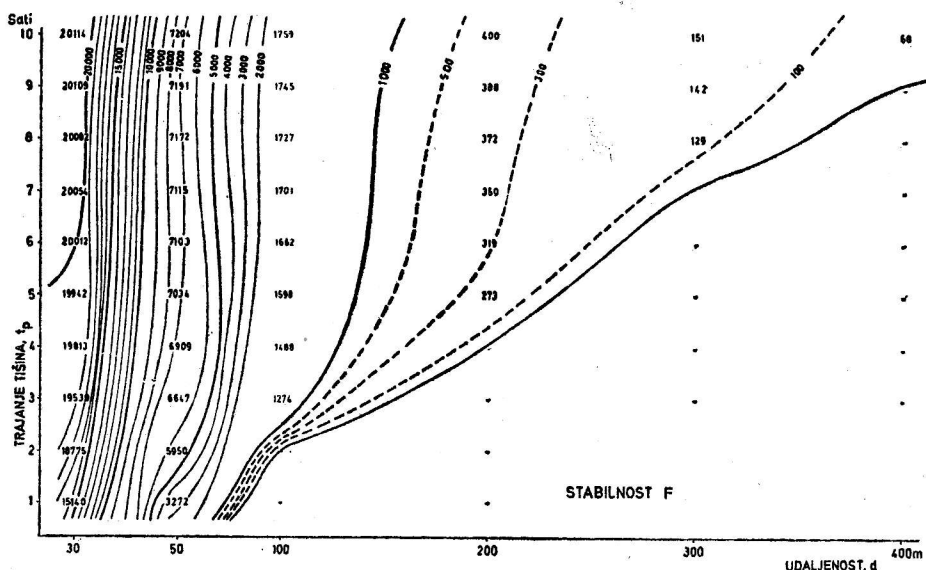
Tabela 3. Prizemni faktori razrjeđenja za vrijeme tišina, $(C/Q)_c \times 10^{-6}$ i uz vjetar brzine $U = 1,0 \text{ ms}^{-1}$, $C/Q \times 10^{-6}$, sm^{-3} — stabilnost F

Table 3. Ground level dilution factors during calms and with a wind speed $U = 1,0 \text{ ms}^{-1}$ — stability F

Trajanje tišina, sati	Udaljenost, m					
	30	50	100	200	300	400
	$(C/Q)_c$					
1	15140,0	3272,4	—	—	—	—
2	18775,4	5949,9	—	—	—	—
3	19538,9	6646,5	1274,0	—	—	—
4	19813,4	6909,1	1487,5	—	—	—
5	19941,8	7034,1	1598,1	272,5	—	—
6	20011,9	7102,9	1661,6	318,5	—	—
7	20054,2	7144,8	1701,1	349,9	—	—
8	20081,8	7172,1	1727,3	371,7	128,8	—
9	20108,5	7190,8	1745,4	387,7	141,5	—
10	20144,2	7204,3	1758,5	399,5	151,4	68,1
	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z
	0,23	0,34	2,0	1,2	4,0	2,4
					7,6	4,0
					11,0	5,6
					14,3	7,0
C/Q :						
$U = 1 \text{ ms}^{-1}$	(18227,5)		4556,9	1439,0	710,2	437,0
$U = 3 \text{ ms}^{-1}$	6075,8		1519,0	480,0	236,7	145,7

Napomena:

1. Vrijednost σ_z na 30 m prema krivuljama Mc Mullena (1975) nerealna je i pokazuje, da P-G klasifikacija ne uvažava rasap po vertikali na tako maloj udaljenosti od izvora.
2. S obzirom da vjetar, makar i veoma slab i promjenljivog smjera, smanjuje efekt gomilanja plinova, vrijednost C/Q na 50 m uz $U = 1,0 \text{ ms}^{-1}$ smatramo nerealno velikom (zbog računskog efekta, navedenog pod 1.) te je zato stavljena u zagradi.



Sl. 1. Prostorno-vremenska raspodjela faktora razrjeđenja $(C/Q)_c \times 10^{-6}, \text{sm}^{-3}$ za vrijeme tišina

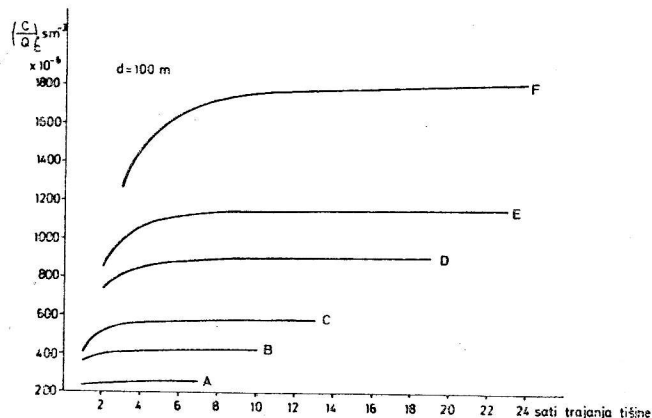
Fig. 1. Spatial and time distribution of dilution factors, $(C/Q)_c \times 10^{-6} \text{sm}^{-3}$, during calms

Zorniju predodžbu »modeliranja« polja prizemnih koncentracija za vrijeme tišina daje sl. 1.

Sušтина je opisanog modeliranja u tome, da za vrijeme tišina i uz slab vjetar prizemne koncentracije u blizini izvora emisije budu slične veličine. Pritom, model tišina uspijeva prikazati gomilanje polutanata u uskom arealu uz smanjenje udaljenjem od izvora, koje je to intenzivnije, što je trajanje tišine kraće.

4. STACIONARNO STANJE

Poznavanje koeficijenata difuzije u raznim klasama stabilnosti omogućilo je, da se ispita približavanje stacionarnom stanju, tokom kojeg — prema modelu tišina — prizemne koncentracije postaju kvazikonstantne uz kontinuiranu, konstantnu emisiju. Prema navodima OKAMOTO i SHIOZAWA (1978) tokom malo labilne i neutralne stabilnosti takvo se stanje postiže za približno 2 sata.



Sl. 2. Vremenska promjena faktora razrjeđenja C/Q

Fig. 2. Dilution factor $(C/Q)_c$ time variation

Na slici 2. prikazano je približavanje stacionarnom stanju za svaku stabilnost posebno. Očito je, da vrijeme približavanja raste sa stabilnošću atmosfere, što drugim riječima ilustrira činjenicu da je stabilna atmosfera opasno vremensko stanje za gomilanje znatnih količina plinovitih primjesa.

Uz naše vrijednosti α i γ , kvazistacionarno stanje postiže se kroz nekoliko sati (2—3 sata), osim kod F stabilnosti, gdje taj proces traje dulje (oko 5 sati).

Proračuni na sl. 2 izvedeni su za udaljenost $d = 100$ m od izvora emisije. Početak krivulja na slici ima pomak od 1 sat za A, B i C stabilnost, 2 sata za D i E, a 3 sata za F stabilnost, jer je toliko vremena (u našem modelu) potrebno da izbačeni plinovi stignu do udaljenosti od 100 metara. Na manjim udaljenostima pomak se smanjuje, a na većim povećava.

5. ZAKLJUČAK

Predložena metoda omogućava određivanje brzine disipacije plinovitih primjesa za vrijeme tišina. Logično, nju bi trebalo provjeriti (i modificirati) na osnovi mjerenja koncentracija za vrijeme tišina. Takvim bi putem posebno trebalo provjeriti pretpostavljenu linearnu ovisnost parametara difuzije $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ o vremenu kao i prostornu konstantnost koeficijenata α i γ .

Određivanje veličina α i γ iz krivulja σ_y i σ_z prilagođava model tišina Okamoto i Shiozawa praktičnoj primjeni u kombinaciji s gausovskim modelom, koji koristi iste krivulje. U praktičnoj primjeni posebno je korisno prostorno ograničavanje područja onečišćenog zraka za vrijeme tišina, uključivanjem faktora vremena u razmatranje.

Vrijednosti brzine difuzije α i γ imaju više tehničko (»modelarsko«) značenje, nego fizikalnu opravdanost, što vrijedi i za familije krivulja parametara stabilnosti, iz kojih su izvedene.

6. LITERATURA

- BERLJAND, M. E. (1972): Atmospheric Diffusion in Calm-wind Conditions, WMO Tech. Note No. 121: Dispersion and Forecasting of Air Pollution, str. 72—74
- BERLJAND, M. E. (1975): Sovremenyje problemy atmosfernoj difuzii i zagraznenija atmosfery, Gidrometeorizdat, Leningrad
- DRAXLER, R. R. (1979): An Improved Gaussian Model for Long-Term Average Air Concentration Estimates, *Atm. Environment*, Vol. 14, str. 597—601
- GIFFORD, F. A. (1976): Turbulent Diffusion — Typing Schemes: A Review, *Nuclear Safety* Vol. 17, No. 1, str. 68—86
- HANNA, S. R., G. A. BRIGGS, J. DEARDORFF, B. A. EGAN, F. A. GIFFORD i F. PASQUILL (1977): AMS Workshop on Stability Clasification Schemes and Sigma Curves — Summary of Recommendations, *Bulletin AMS*, Vol. 58, No. 12, str. 1305—1309.
- HANNA, S. R. (1981): Application in Air Pollution Modelling, A Short Course on Atmospheric Turbulence and Air Pollution Modelling, 21—25 September 1981, Haag, Nizozemska
- HURSUDJAN, L. G. (1979): O rassejanii tjazelyh prime-sej pri štile, *Trudy GGO*, vyp. 436, str. 30—36
- IAEA, SG-S3, Rev. 8 (1979), str. 38—39
- McMULLEN, R. W. (1975): The Change of Concentration Standard Deviations with Distance, *JAPCA*, oct.
- OKAMOTO, S. i K. SHIOZAWA (1978): Validation of an Air Pollution Model For the Keihin Area, *Atm. Environment*, Vol. 12, str. 2139—2149
- PASQUILL, F. (1974): Atmospheric Diffusion, London, publ. John Wiley and Sons
- PICKNET, R. G. (1981): Dispersion of Dense Gas Puffs Released in the Atmosphere at Ground Level, *Atm. Environment*, Vol. 15, str. 509—525
- SUTTON, O. G. (1953): *Micrometeorology*, Mc Graw-Hill Book Company, Inc, London
- TURNER, B. (1970): *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates*, EPA, Research Triangle Park

SUMMARY

The introductory section of the work gives an information on the progress made in the field of study

of pollutants diffusion and calculations of their concentrations during calms.

The following section is a description of the calm model of Okamoto and Shiozawa (1978) using equations (1), (2) and (3). The problem of the over-all applicability of this model is in the inadequately defined coefficients α and γ (equation 3), which characterize the diffusion speeds during a calm. In paragraph 2.2, the method for determining α and γ is described using P-G stability curves. Concentration calculations by means of the calm model and the Gaussian model are compared at various small distances from the emission point source. It became obvious that α and γ from the equation (4), determined using σ_y and σ_z at a distance of 50 meters on P-G curves, can represent the speed of turbulent diffusion during calms (or »calm winds«). Table 1 displays the results. Calm wind situations can come about through various stabilities, when the spreading of pollutants has a different horizontal and vertical intensity. Along with the established diffusion speed of α and γ one can calculate for each stability the size of the gas cloud after continued calm duration for n hours (Table 2).

A comparison of ground level dilution factors during a calm and with light winds (Table 3) indicates the essence of our model, which has been executed so that in the vicinity of the emission point source the ground level concentrations during a calm and with light winds should be of »similar« amounts. The basic difference is in the magnitude of pollutants spread during a calm or a light wind. The gathering of pollutants around a point source in dependence on the calm persistence and on the distance from a source, is shown in Fig. 1. The approaching of the concentration to a stationary state has also been examined, when its quasi-constancy is achieved at given distances from the source (example — distance $d = 100$ m, Fig. 2).

The quantities α and γ have more a »modelling« than a physical meaning.