

NEKE KARAKTERISTIKE GRANIČNOG SLOJA RJEČNIH DOLINA ZA VRIJEME SLABOG STACIONARNOG STRUJANJA

Some boundary layer characteristics related to low wind conditions in the river valley

EDITA LONČAR

Republički hidrometeorološki zavod, Zagreb

Primljeno 14. travnja 1989, u konačnom obliku 28. lipnja 1989.

Sažetak: U specifičnim meteorološkim uvjetima, kada se u rječnoj dolini formira podignuta inverzija iznad jezera hladnog zraka, prizemno onečišćenje donjeg sloja ovisi o disperziji dimnih perjanica samo onih izvora čija je efektivna visina H_e manja od visine donje baze podignute inverzije.

Za takve je uvjete izveden teoretski izraz za proračun promjena prizemnih koncentracija u ovisnosti o promjenama visine donje baze podignute inverzije.

Izraz je testiran za jednu tipičnu situaciju »trapped plumes«. Rezultati testa potvrdili su mogućnost primjene teoretskog izraza ako su ispunjene pretpostavke o stacionarnosti strujanja i stabilnosti kao i o konstantnosti emisije.

Ključne riječi: podignuta inverzija, visina donje baze podignute inverzije, »trapped plumes«, promjene prizemnih koncentracija, rječna dolina

Abstract: In the specific meteorological conditions when an elevated temperature inversion above the cool pool has been formed, the near ground concentrations depend on emission sources with the effective height (H_e) less than the inversion base height (h).

An equation has been derived to describe the concentration functional dependence upon the inversion base variations during such circumstances.

The equation is tested for a case study of the trapped plumes. The result are in agreement in cases of a stationary air flow and the emission as well.

Key words: Elevated inversion, The lower inversion base's height, Trapped plumes, The ground concentration variation, The river valley.

1. UVOD

Intenzitet i veličina turbulentne razmjene zraka, koja ovisi o međusobnim kombinacijama stabilnosti, vjetrova i visine sloja miješanja definira disperzijske karakteristike atmosfere. Mogućnosti kombinacija navedenih parametara koji svakog trenutka djeluju na raspršivanje primjesa u atmosferi su neiscrpne. Zbog toga i vrijednosti i oblici polja bilo koje primjese znatno variraju u prostoru i vremenu čak i u slučaju konstantne emisije.

Rječne doline, od najstarijih vremena pružajući optimalne uvjete za život i rad čovjeka, središta su ljudskog obitavanja i djelatnosti. Glavnina naselja i industrije locirani su najčešće jedni do drugih pa na relativno malom prostoru postoje izvori različite visine, tehnoloških karakteristika i veličine emisije. Sve te činjenice u specifičnim meteorološkim prilikama pridonose vrlo velikoj zagađenosti zraka.

Naime, slučajevi slabe disperzije, koji općenito odgo-

varaju kompleksnoj strukturi graničnog sloja u orografski razvijenom terenu, još su složeniji. U uvjetima slabog makrostrujanja, kada utjecaji lokaliteta dolaze maksimalno do izražaja u rječnim dolinama stvaraju se prizemne i/ili podignute inverzije sa jezerom hladnog zraka na dnu doline i specifičnom lokalnom cirkulacijom vjetrova uz i niz obronke planina, te otjecanjem zraka duž osi doline. Dimenzije i trajanje ove komplicirane strukture graničnog sloja ovise o procesima makro i mezo-skale. Ovi posljednji implicite uključuju i topografske karakteristike terena.

Jedan primjer takve strukture graničnog sloja i njene posljedice na prizemno onečišćenje zraka prikazani su u ovom radu.

Anticiklonalna situacija hladnog dijela godine generirala je i podržavala kroz nekoliko dana u rječnoj dolini orijentirano od juga prema sjeveru vrlo stabilan sistem hladnog zraka na dnu doline, a toplog u inverzionom sloju iznad.

Analiza podataka redovitih klimatoloških mjerenja i podataka dobivenih mjerenjem tetra-sondom i pilot-baloni-

ma (svaki ili svaki drugi sat) pokazala je stacionarnost strujanja i stabilnosti od dna doline do njenog vrha. Jedino se visina donje baze podignute inverzije mijenjala. Njene varijacije iz dana u dan, iako nisu bile velike, pokazalo se da su značajne za promjene polja prizemnih koncentracija.

Istovremene koncentracije sumpornog dioksida (24-satni uzorci) mijenjale su se u skladu sa promjenama visine donje baze podignute inverzije.

U vezi s time, za takve »specifične« meteorološke uvjete u kojima se u donjem neinverziranom sloju šire plinovi samo onih izvora čija je efektivna visina dimne perjanice niža od visine donje baze podignute inverzije (trapped plumes), izveden je teoretski izraz promjene prizemnih koncentracija u ovisnosti o promjenama visine donje baze podignute inverzije. Isti vrijedi ako su ispunjene ove pretpostavke:

- stacionarnost stabilnosti i strujanja
- konstantnost emisije.

Provjerom proračunatih promjena prizemnih koncentracija sa mjerenima uočeno je bolje poklapanje u slučaju porasta prizemnih koncentracija (zbog spuštavanja donje baze podignute inverzije) nego li u situacijama njihovog pada (posljedica podizanja donje baze podignute inverzije). Naime, povećanjem visine podignute inverzije u donji se sloj uključuju emisija grupe izvora, koja je prije bila ograničena samo na gornji – inverzioni sloj (dakle izolirana od donjeg neinverziranog sloja) pa pretpostavka o konstantnosti emisije nije zadovoljena. Zbog toga proračunato smanjenje prizemnih koncentracija znatnije odstupa od mjerenjem određenih iznosa.

Iako su »specifični« meteorološki uvjeti u kojima je širenje dimne perjanice poznato pod nazivom »trapped plumes« (u zimskim mjesecima godine) česti, ipak je zadovoljavajuća stacionarnost te pojave znatno rjeđe realizirana.

Za slične meteorološke uvjete, kada se intenzitet turbulencije u sloju između tla i podignute inverzije sa vremenom smanjuje, Bouman i Schmidt (1961) izveli su izraz za proračun porasta prizemnih koncentracija iz jednadžbe difuzije za površinske izvore. Verifikacijom njihovih teoretskih formula (Bouman and Schmidt 1961; Polster 1973) za slučajeve kontinuiranog spuštavanja podignute inverzije i odgovarajućeg porasta prizemnih koncentracija pokazano je da su proračunate prizemne koncentracije prema izrazima Boumana i Schmidta dobro prilagođene mjerenjem dobivenim vrijednostima. Za praktičnu primjenu njihovih jednadžbi potrebno je poznavati vertikalni koeficijent difuzije, dakle parametar koji nam najčešće nije na raspolaganju.

2. PRORAČUN PROMJENA PRIZEMNIH KONCENTRACIJA

Podignute inverzije nastale supsidencijom u anticiklonama ili advekcijom toplog zraka u visini zadržavaju se u zimskim mjesecima nad istim područjem i po nekoliko dana. Takva je struktura graničnog sloja u rječnim dolinama i kotlinama vrlo postojana zbog čega se strujanje i stabilnost zraka vremenski vrlo malo mijenjaju.

Ako se u rječnoj dolini nalaze izvori različitih efektivnih visina, u gornjem inverzionom sloju vertikalna disperzija

dimne perjanice je mala, a u sloju ispod ograničena je prema gore donjom bazom podignute inverzije. Na taj način na onečišćenje zraka donjeg sloja utječu primarno izvori efektivne visine He manje od visine donje baze podignute inverzije ($He < h$), a širenje dimne perjanice u takvim uvjetima poznato je pod nazivom »trapped plumes« (zatočen, uhvaćen). Pri tom iznosi i raspodjela prizemnih koncentracija ovise o međusobnom odnosu vertikalne difuzije σ_z , visine donje baze podignute inverzije h i efektivne visine dimne perjanice He . Visina donje baze podignute inverzije h je parametar višestrukog značenja, jer dijeli dva sloja bitno različite disperzije i istovremeno definira vertikalnu dimenziju turbulentne razmjene u sloju ispod podignute inverzije (visina sloja miješanja).

Dakle, kada gornji rub dimne perjanice (definiran kao onaj njen dio u kojem koncentracija iznosi 10% od koncentracije na osi) dopre do prepreke, započinje gomilanje polutanata, koje se teoretski modelira kao mnogostruka refleksija između donje baze podignute inverzije i podloge (Turner 1970; Beychok 1970) uz odgovarajući porast prizemnih koncentracija.

Refleksija dimne perjanice uključuje se u gausovski model dopunskim članovima pri čemu broj refleksija raste od 1 do ∞ . Budući da dopunski članovi pokazuju brzu konvergenciju porastom broja m , taj broj nije veći od 5 (Vidič, 1981, 1982).

Za ovaj slučaj »trapped plumes« gausovska jednadžba za proračun prizemnih koncentracija ($z = 0$) ispod osi dimne perjanice ($y = 0$) glasi:

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

Udaljenost x_h na kojoj gornji rub dimne perjanice prvi puta stigne do donje granice podignute inverzije i na njoj se reflektira, definira je uvjetom (Beychok, 1979):

$$\begin{aligned} He + 2.15 \sigma_z &= h \text{ odnosno} \\ He/h + 2.15 \sigma_z/h &= 1 \\ He/h &= 1 - 2.15 \sigma_z/h \end{aligned} \quad (2)$$

Ta udaljenost (x_h) ovisi o omjeru He/h . Porast omjera He/h prati pad kvocijenta σ_z/h i obratno za isti h . To znači da refleksija na donjoj granici podignute inverzije za izvore sa većom efektivnom visinom He nastupa bliže samoj lokaciji izvora nego li za one sa nižom He .

Što se tiče doprinosa prizemnom onečišćenju zraka, veći je onaj od nižih, nego li od viših izvora za isti σ_z/h .

Međutim bez obzira na visinu izvora, onečišćenje zraka se povećava kada vrijednost omjera σ_z/h raste. To se događa spuštanjem podignute inverzije (smanjenjem h) ili porastom koeficijenta vertikalne difuzije (σ_z) do kojeg dolazi udaljavanjem od izvora ili labiliziranjem sloja ispod inverzije. Za sve kombinacije $\sigma_z/h < 1.2$ povećanje prizemnih koncentracija ovisi još i o omjeru He/h .

Na udaljenosti x_h na kojoj je σ_z nešto veće od h , a prema Baychoku kada je $\sigma_z/h = 1.2$ nastupa II faza u razvoju »trapped plumes« sa jednolikom difuzijom po vertikali od tla pa do donje granice podignute inverzije. Dakle

za $\sigma_z = 1.2$ h i odgovarajućom vrijednošću eksponencijalnih članova od 3.01 (Beychok, 1979) jednadžba (1) se reducira u izraz:

$$C/Q = \frac{1}{u\sigma_y h \sqrt{2\pi}} \quad (3)$$

Vrijednosti relativnih prizemnih koncentracija nakon udaljenosti x_h ne ovise više o efektivnoj visini dimne perjanice H_e , nego isključivo o meteorološkim parametrima (brzini vjetra, stabilnosti i visini donje granice podignute inverzije).

Za doline širine W (koja je reda veličine $2\sigma_y$) prema Hanna (1982) izraz (3) se dalje pojednostavljuje:

$$C/Q = \frac{2}{W\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{uh} \quad (4)$$

Dakle, u dolinama širine W kada je ispunjen uvjet $\sigma_z/h = 1.2$, relativne koncentracije C/Q ne padaju više eksponencijalno s udaljenošću od izvora, nego ovise samo o brzini vjetra u i visini donje baze podignute inverzije h (visini sloja miješanja).

Kao što je već ranije istaknuto, za pripadnu strukturu graničnog sloja tipična je mala promjenljivost brzine vjetra u , pa se ista može smatrati konstantnom. U slučaju i konstantne emisije Q promjene prizemnih koncentracija ovise samo o promjenama visine donje baze podignute inverzije. Uz gornje pretpostavke:

$$u = \text{const. } Q = \text{const. } \frac{2Q}{uW\sqrt{2\pi}} A = \text{const. slijedi da je}$$

$$C = A \cdot \frac{1}{h}$$

Logaritmiranjem i deriviranjem tog izraza dobije se jednadžba

$$C = \frac{A}{h}$$

$$\ln C = \ln A - \ln h$$

$$\frac{d}{dh} (\ln C) = -\frac{1}{h}$$

$$\frac{dC}{dh} \cdot \frac{1}{C} = -\frac{1}{h}$$

$$dC = -C/h \cdot dh \text{ ili } dC = -C \frac{dh}{h} \quad (5)$$

što znači da su promjene prizemnih koncentracija (dC) na udaljenosti većoj od x_h u slučaju »trapped plumes« upravo proporcionalne sa promjenama visine podignute inverzije, ali suprotnog predznaka ($-dh$). Omjer C/h odnosi se na vrijednosti prizemnih koncentracija i visine podignute inverzije (sloja miješanja) iz istog intervala vremena koje je prethodilo promjenama dh .

Postavlja se još pitanje praktične primjene izraza (4) i (5) koje je u uskoj vezi s udaljenošću od izvora nakon koje vertikalna disperzija »trapped plumes« postaje uniformna. Što je vertikalna difuzija σ_z veća (labilan, neutralan sloj, urbane sredine, kompleksna orografija) i podignuta inverzija niža (manja visina sloja miješanja h), uvjet $\sigma_z/h = 1.2$ ispunjen je bliže izvoru.

3. KARAKTERISTIKE GRANIČNOG SLOJA I PROMJENE PRIZEMNIH KONCENTRACIJA U SITUACIJI OD 11. DO 15. 12. 1980.

U dolini rijeke Bosne u urbano-industrijskom području grada Zenice (slika 1), a u meteorološkim uvjetima nepovoljnim sa aspekta difuzije i transporta obavljena su specijalna mjerenja u sedam različitih perioda.

Analizom dobivenih podataka konstatirano je da struktura graničnog sloja u (stacionarnoj) anticiklonalnoj situaciji od 11. do 15. 12. 1980. odgovara uvjetima »trapped plumes«.

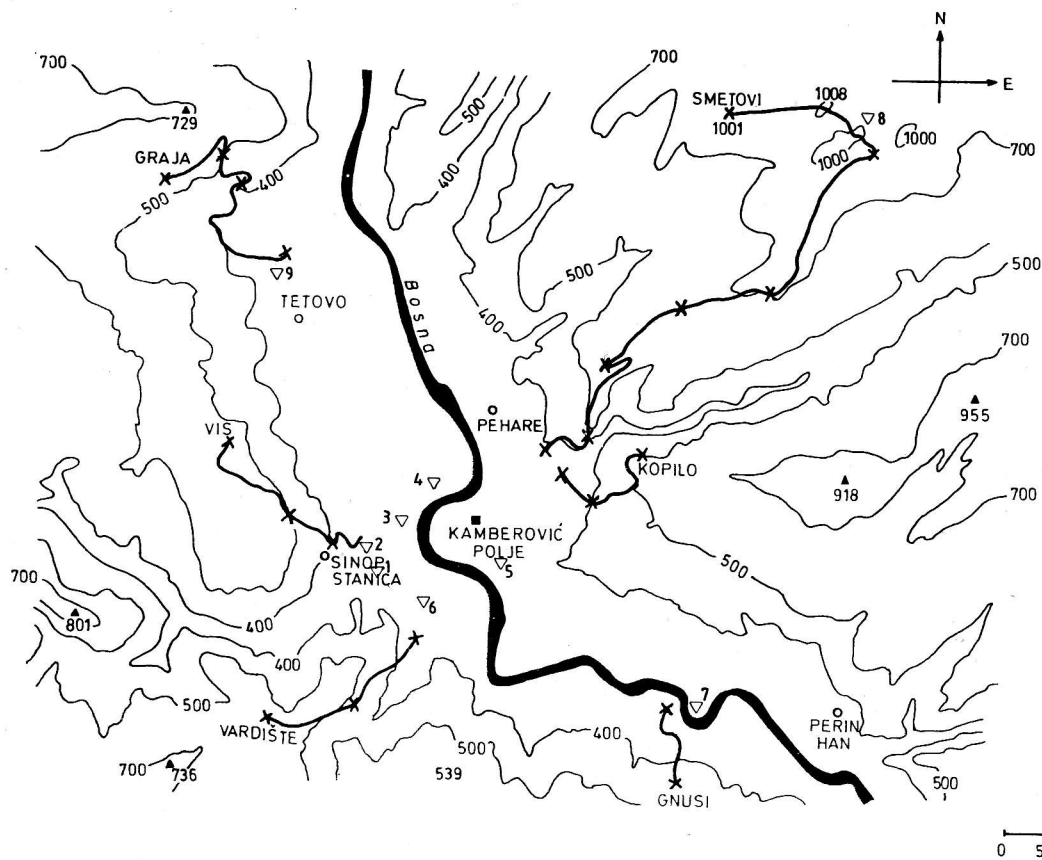
Prostrano područje visokog tlaka pri tlu i u visini nalazilo se iznad južne Evrope, sa centrom koji se premještao od jugozapada (SW) prema istoku (E). Na tom putu dne 12. 12. 1980. centar anticiklone zadržao se nad područjem Balkanskog poluotoka, točnije centralne Bosne što je potenciralo supsidenciju, a podržavalo slabo makro strujanje i nad dolinom rijeke Bosne. Slabljenje anticiklone koje je bilo praćeno advekcijom toplijeg zraka u visini (u makroskali) sve do 14. 12. 1980. nije bitno utjecalo na strukturu graničnog sloja promatranog područja rječne doline.

Naime, mjerenja vezanom sondom u centru doline (KAMBEROVIĆ POLJE), te pilot-balonska mjerenja na tri lokacije (TETOVO, PEHARE i PERIN HAN) pokazuju da je na svim lokacijama zrak strujao duž doline prema sjeveru od dna pa do njenog vrha, bez obzira na promjene smjera vjetra u makro-skali (slika 2). I dodatna specijalna analiza vjetra (slika 3) u centru doline kao i na obronku njene lijeve obale (slika 4) pokazuje stacionarnost smjera vjetra u najdonjem sloju debljine 150 m. Iako je u tom sloju vertikalno smicanje brzine vjetra najveće, ipak srednja brzina vjetra nije bila veća od 2.1 m/sek (tab. 1). Osim toga slabi vjetrovi puhali su i na drugim nivoima doline (brzina vjetra od tla pa do vrha doline bila je < 4 m/sek). Izvjesna promjenljivost vjetra postojala je samo u sloju 150 do 300 m iznad tla (slika 3) koji je koindicirao sa donjim dijelom podignute inverzije (slika 5).

Slabo strujanje izvan i unutar doline, supsidencija i zatim advekcija toplog zraka u visini stvorili su uvjete za zadržavanje hladnog zraka u dolini čija se temperatura i vlaga niti tijekom dana niti iz dana u dan nisu bitno mijenjale (slika 4). U najdonjem sloju debljine oko 150 m temperatura je padala s visinom za iznos kojemu je najčešće odgovarala neutralna stabilnost (tab. 1). Iznad tog sloja pa sve do vrha doline porast temperature definirao je podignutu inverziju u kojoj se stabilnost sa visinom povećavala (slika 5). Jezero hladnog zraka na dnu doline i debeo sloj toplog iznad, sa stabilnošću koja je prema vrhu doline rasla, čine stabilan sistem velike postojanosti (slika 5). Naravno da u takvim uvjetima niti oscilacije donje baze podignute inverzije nisu mogle biti velike (tab. 1).

Srednja visina podignute inverzije određena je za onaj 24-satni interval vremena [od 07 sati n -tog dana do 07 sati ($n+1$) dana] u kojem su postojali 24-satni uzorci prizemnih koncentracija SO_2 . Isti su mjereni na dvije lokacije u urbanom centru (točke 2 i 3 na slici 1) i jednoj oko 3.5 km sjeverozapadnije niz vjetar i to na periferiji industrijskog bazena (točka 9 na slici 1).

Budući da su u ovoj urbano-industrijskoj zoni izvori različite visine, činjenica je da je u onečišćenju donjeg sloja od 11. do 13. 12. 1980. (07 sati) učestvovao manji broj izvora zbog manje visine donje baze podignute in-



LEGENDA :

- ▽ STANICE ZA MJERENJE KONC. SO₂
- 1 INSTITUT „H. BRKIĆ“
- 2 HM - STANICA
- 3 POLIKLINIKA
- 4 ŽELJEZNIČKA STANICA
- 5 CRKVICE
- 6 MZ CENTAR
- 7 LUKOVO POLJE
- 8 SMETOVI
- 9 TETOVO
- RS MJERENJE
- PB MJERENJE
- ✕ PROFILNA MJERENJA

Sl. 1. Područje grada ZENICE u dolini rijeke Bosne sa lokacijama mjerenja.

Fig. 1. The region of the town ZENICA in the Bosna river valley with the measurement locations.

Tab. 1. Meteorološki parametri i prizemne koncentracije SO₂ u uvjetima »trapped plumes« 11. – 14. 12. 1980.Table 1. The meteorological parameters and the ground-level SO₂ concentrations in the conditions of »trapped plumes«, on 11–14 December 1980.

dan	ū (m/sek)	h̄ (m)	Stab.	C ₁ ΔC ₁ C ₁ '			C ₂ ΔC ₂ C ₂ '			C ₃ ΔC ₃ C ₃ '			$\sum_{i=1}^3 \bar{C}_i$	ΔC̄ _i	C̄ _i
				HM-STANICA			POLIKLINIKA			TETOVO					
11–12	2.0	172	D/E	1074			899			817			930		
12–13	2.1	146	D/E	1292	193	1267	1001	162	1061	1383	147	964	1225	167	1097
13–14	2.1	282	D/E	918	-620	672	925	-480	520	913	-664	674	919	-588	637

ū Srednja brzina vjetrova u sloju ispod podignute inverzije (u 24 sata od 07 – 07)

h̄ Srednja visina (debljina) sloja ispod podignute inverzije (u 24 sata).

Stab. Stabilnost sloja ispod podignute inverzije (u 24 sata).

C Mjerene prizemne koncentracije SO₂ (24-satni uzorak).

ΔC Proračunate promjene (24-satne) prizemnih koncentracija SO₂.

C' Proračunate prizemne koncentracije SO₂ (C + ΔC).

ū – the mean diurnal wind speed in the sublayer of the elevated inversion (computed from tethered balloon data)

h̄ – The mean diurnal elevated inversion base height AGL

Stab – prevailing stability below the elevated inversion

C – measured near-ground SO₂ concentrations (μg/m³), 24-hours samples

ΔC – computed daily changes of the SO₂ near-ground concentrations (μg/m³)

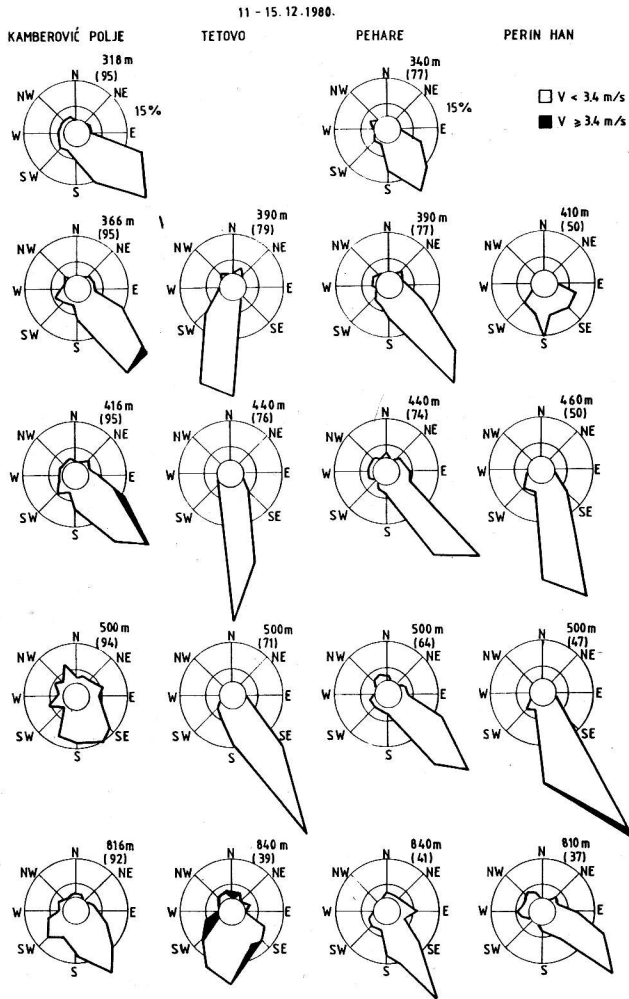
C' – C + ΔC'

verzije (h 172 m i 146 m) nego li posljednjeg dana (13 – 14 .12.), kada se je donja baza inverzije podigla na h=282 m.

Povećanjem vertikalne dimenzije sloja ispod inverzije u prosjeku na 282 m obuhvaćena je emisija nekih od visokih izvora metalurškog kombinata čija se dimna perjanica prijašnja dva dana nalazila u višem inverzionom sloju, pa je ukupna emisija od 13 – 14. bila veća od one od 11. do 13. 12. 1980. [u jutro (07h)]. Prema tome, pretpostavka o konstantnosti emisije nije više bila zadovoljena.

Proračun promjena prizemnih koncentracija prema teoretskom izrazu za »trapped plumes« u fazi kada visina donje baze podignute inverzije h diktira vertikalnu difuziju (jednadžba 5) u skladu je sa faktorom $\frac{h_{n+1} - h_n}{h_n}$, a

odstupanja između proračunatih i mjerenjima određenih promjena manja su pri spuštanju inverzije ($h_{n+1} < h_n$) nego li pri njenom dizanju ($h_{n+1} > h_n$). U konkretnom primjeru zbog porasta emisije posljednjeg dana mjerenjima definirani pad prizemnih koncentracija bio je manji od proračunatog (tab. 1).



Sl. 2. Ruže vjetra od 11. do 15. 12. 1980. na različitim visinama prema mjerenjima tetra-sondom i pilot balonima. Brojevi u zagradama označavaju broj mjerenja na pojedinim lokacijama i odgovarajućem nivou.

Fig. 2. Wind roses from 11 to 15 December 1980 on the different altitudes according to the tethersonde and pilot - balloon soundings.

Usporedba između proračunatih i mjerenjima dobivenih promjena prizemnih koncentracija učinjena je za svaku lokaciju posebno i za prostorni srednjak svih triju stanica (tab. 1).

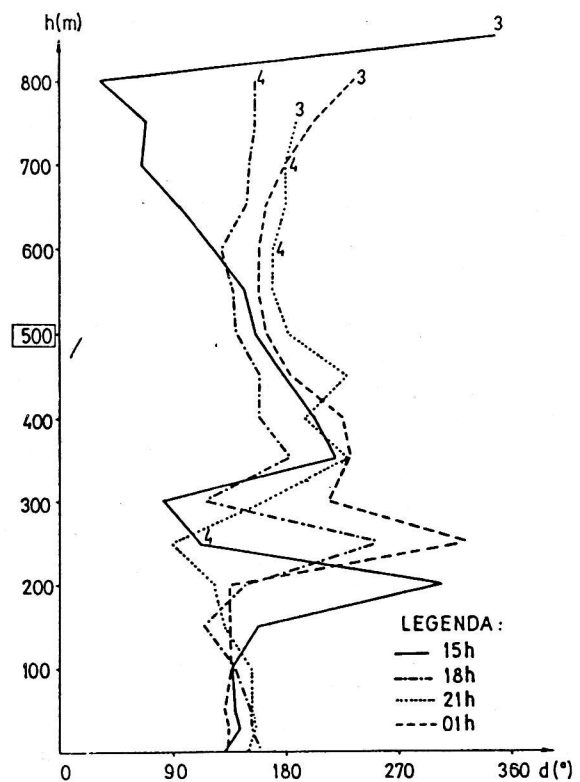
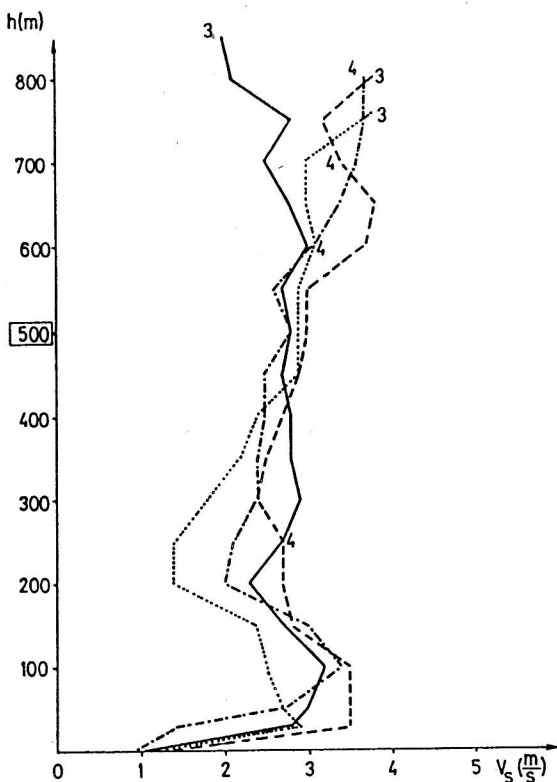
Rezultati upućuju na to da treba voditi računa još o nekim faktorima kao što su položaj stanica u odnosu na izvore emisije i prevladavajući smjer strujanja.

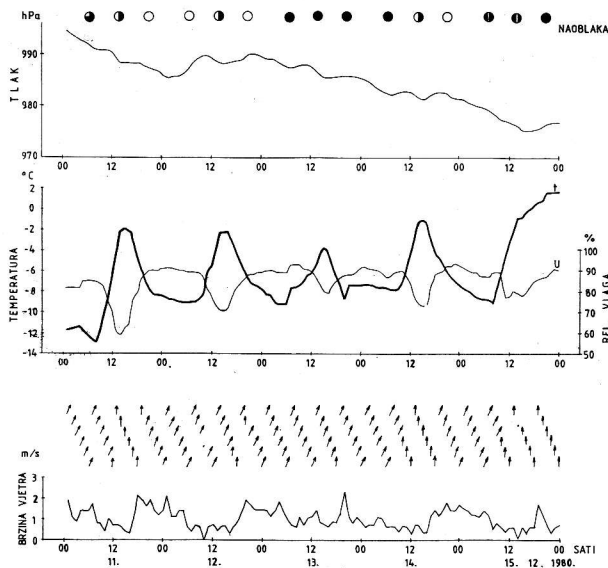
Stanice u centru (slika 1) bile su pod opterećenjem emisije uglavnom urbane sredine, dok je stanica na NW rubu industrijske zone bila pod utjecajem emisije urbane i industrijske zone obzirom na strujanje iz južnog kvadranta.

Temperaturne prilike i vjetar koji su od 11. do 13. 12. 1980. doista bili stacionarni (slika 4) nisu zahtijevali promjene grijanja pa prema tome niti promjene emisije u

Sl. 3. Profili skalarnih srednjaka brzine vjetra (v_s) i profili smjera srednjeg vektora vjetra (d). Stratifikacija atmosfere: neutralna - od tla do 150 m visine, a iznad stabilna (u pojedinim terminima). 11. - 15. 12. 1980.

Fig. 3 The profiles, of scalar wind speed (v_s), of direction, of the mean vector wind at some terms. Then air stability: neutral between ground and 150 m, and stable above. on 11-15 December 1980.





Sl. 4. Dnevni hodovi tlaka, temperature, vlage, naoblake i vjetra na meteorološkoj stanici ZENICA od 11. – 15. 12. 1980.

Fig. 4 The diurnal cycle of pressure, temperature, relative humidity and wind on the meteorological station ZENICA, on 11–15 December.

gradskom dijelu Zenice, pa vrijedi pretpostavka da je emisija urbane sredine bila konstantna. U vezi s time razumljivo je da je poklapanje između proračunatih i mjerenjem određenih vrijednosti bolje na stanicama koje su više pod utjecajem emisije urbanih izvora nego li pod djelovanjem industrijskih (tabela 1).

I na kraju treba istaknuti važnu činjenicu da je procjena promjena prizemnih koncentracija u uvjetima »trapped plumes« primjenom izraza (5) moguća i bez poznavanja emisije, koja često nije dostupna.

4. ZAKLJUČAK

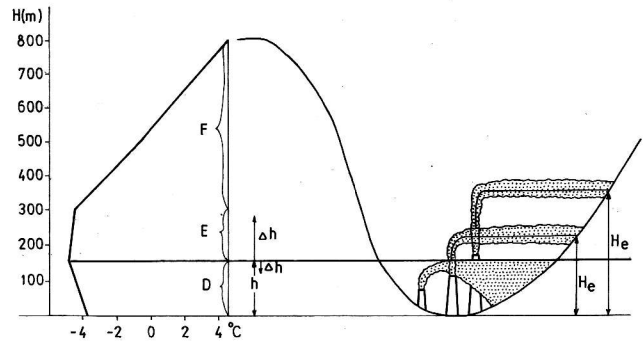
U anticiklonama hladnog dijela godine zbog supsidencije i/ili adakcije toplog zraka u visini često se iznad sloja hladnog zraka varijabilne debljine stvara podignuta inverzija. Održavanje ovog izrazito stabilnog sistema ovisi o topografskim karakteristikama terena. Poznato je da se u riječnim dolinama i kotlinama takav sistem zadržava po više dana.

Karakteristike difuzije i transporta u sloju inverzije razlikuju se od onih u sloju ispod. Stacionarnost meteoroloških parametara karakteristična je za takav sistem.

Disperzija dimne perjanice u sloju ispod inverzije pod nazivom »trapped plumes« odvija se u dvije faze. U prvoj dolazi do refleksije na donjoj granici podignute inverzije, a u drugoj kada vertikalna difuzija σ_z postigne graničnu vrijednost 1.2 h ($\sigma_z = 1.2$ h prema Baychok-u) nastupaju novi uvjeti jednolikog miješanja po vertikali definiranog samo sa visinom donje baze podignute inverzije h (odnosno sloja miješanja).

Izraz za proračun prizemnih koncentracija u ovoj fazi »trapped plumes« funkcija je primarno visine sloja miješanja.

U riječnim dolinama širine W ($2\sigma_y = W$) te u slučaju stacionarnosti strujanja, stabilnosti i emisije izveden je



Sl. 5. Vertikalni presjek jezera hladnog zraka sa temperaturnom inverzijom i odgovarajućom disperzijom dimnih perjanica različitih efektivnih visina (u rječnoj dolini).

Fig. 5. A cross section of a cool pool with a temperature inversion and consequent dispersion of different plumes.

izraz za promjenu prizemnih koncentracija u ovisnosti o promjenama visine donje baze podignute inverzije (5). Spuštanje podignute inverzije praćeno je porastom prizemnih koncentracija, a njeno dizanje padom.

Rezultati proračuna ovise o ispunjenju pretpostavki o stacionarnosti spomenutih meteoroloških parametara i konstantnosti emisije u vremenu za koji se proračun obavlja.

Što je vremenski interval kraći, to je veća vjerojatnost za ispunjenje navedenih pretpostavki.

Za definiranje strukture graničnog sloja kao i za verifikaciju teoretskog izraza bili su na raspolaganju meteorološki podaci (među ostalima i o visini podignute inverzije h) dobiveni mjerenjima vezanom sondom u razmaku od 1 do 2 sata. Međutim za prizemne koncentracije postojali su samo dnevni uzorci. Za potrebe usporedbe meteorološki podaci prilagođeni su 24-satnim uzorcima [07 n-tog do 07 (n+1) dana] prizemnih koncentracija SO_2 .

Rezultati su potvrdili mogućnost primjene teoretskog izraza u uvjetima »trapped plumes« poznavajući meteorološke parametre i imisiju, a bez poznavanja tehnoloških parametara (emisije i efektivne visine dimne perjanice).

ZAHVALA

Teoretske osnove ovog rada rađene su u okviru projekta »Istraživanje i zaštita okoline kopnenog dijela SR Hrvatske« a analiza prikazanog primjera »trapped plumes« bazirala se na meteorološkim podacima i podacima kvalitete zraka Centra za meteorološka istraživanja i Metalurškog instituta »Hasan Brkić« iz Zenice.

Posebno se zahvaljujem dr. Nadeždi Šinik na korisnim sugestijama u izradi rada i kolegicama mr Alici Bajić i Lidiji Cvitan dipl. inž. što su mi dale na raspolaganje vrijedne grafičke priloge za analizu tipične situacije »trapped plumes« koja je prikazana u ovom radu.

LITERATURA

- Beychok M. R. 1979: Fundamentals of Stack Gas Dispersion. Irvine, California, 165.
 Bouman D. J., Schmidt F. H. 1961: On the Growth of Ground Concentrations of Atmospheric Pollution in Cities During Stable Atmospheric Conditions. Beiträge zur Physik der Atmosphäre, Bd. 33, 215–224.

- Hanna R. S., Briggs G. A., Hosker R. P. 1982: Handbook on Atmospheric Diffusion. Technical Information Center U. S. Department of Energy, 81–86.
- Lončar E. 1978: Meteorološki parametri i trend porasta onečišćenja zraka. Zbornik referata sa V simpozijuma »Planiranje zaštite vazduha gradova od zagađivanja saobraćajem, urbanim i industrijskim zagađivačima, Beograd 26. 27. oktobra 1978 Društvo za čistoću vazduha Srbije, 167–173.
- Polster G. 1973: Analyse austauscharmer Wetterlagen und Smoglagen. Proceeding on the Third International Clean-Air Congress, Düsseldorf, 75–78.
- Vidič S. 1981: Lokalne razdiobe meteoroloških parametara u ispitivanju osjetljivosti modela difuzije gausovskog tipa. Rasprave 16, RHMZ – SRH, 55–63.
- Vidič, S., Šinik, N. 1982: Modificirani gausovski model dugotrajne disperzije. CAD/CAM Simpozijum Stubičke Toplice 22 – 23. XI, ETF, 515–519.

SUMMARY

In the planetary boundary layer (PBL) of the river valley region many meteorological peculiarities can be found. The most important of these are formations of elevated inversions above the cool pools which may last all day long and can persist in the valley for several days, particularly in winter time causing stagnation periods. The accompanied phenomena are light winds, low temperatures, high relative humidity, abundance of fog and an increase in air pollution.

When the centerline of a plume with effective height- H_e is inside the cool pool the plume vertical diffusion is prevented by the bottom of the inversion and the plume is usually named »trapped«. Its dispersion has two phases. The first implies the concept of multiple reflections between the lower boundary of the elevated inversion and the ground barrier below. In the second phase the vertical mixing becomes uniform and approaches the value $1.2h$. Beychok (1979) gives an equation for the near ground concentration in this phase being a function of the inversion base height (h) amongst some other parameters (equation 3).

When $2\sigma_y$ is approximately equal the river valley width W ($2\sigma_y = W$) and the air flow and emissions are stationary (equation 4,) and a new equation can be derived to describe the changes of the groundlevel concentrations as a function of the elevated inversion height h , alone (equation 5,). The wind, air stability and mixing height (height of elevated inversion base) measurements were performed in Zenica from 11 – 15 December 1980 with a tethered balloon and pilot-balloon soundings, which helped to test the new expression (5). The results appeared to be satisfactory.