

ODREDJIVANJE PARAMETARA ŠIRENJA DIMA IZ
DIMNJAKA EL-TO U ZAGREBU NA OSNOVU SNIMANJA
JEDNOM KAMEROM

Zvonimir KATUŠIN

551.510.42

Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb

POVZETEK

Nedaleko centra Zagreba planira se rekonstrukcija i povećanje kapaciteta termoelektrane-toplane. Da bi se dobili pokazatelji za određivanje optimalne visine novog dimnjaka, izvodjena su mjerenja parametara širenja dima iz postojećeg dimnjaka.

Upotrebljen je metod snimanja sa jednom kamerom. Praktičnost ovog metoda je u tome što je prilikom mjerenja (snimanja) potrebno jedino zabilježiti vrijeme fotografiranja, te istovremeno mjeriti smjer vjetra.

Na osnovu 400 fotografija tijekom 30 diskontinuiranih dana u prvoj polovici 1974. godine, za različite sinoptičke situacije određeni su parametri: dizanje dima iznad izvora, vertikalna debljina dima, debljina dima okomito na smjer širenja, horizontalna udaljenost na kojoj dim dostiže najveće nadvisivanje.

Opisat će se tehnika mjerenja, problemi koji se kod toga javljaju, način izračunavanja, kao i dobiveni rezultati koji kvalitativno slijede poznate tipove širenja dima pri različitim vremenskim situacijama.

* * *

Za određivanje parametara širenja dimne struje dosta se koriste fotografske tehnike sa dvije kamere istovremeno i to se stereografski obradjuje. Medjutim, taj sistem, iako je teorijski točan vrlo se teško primjenjuje pri različitim smjerovima vjetra, jer se vremenski ne stignu mijenjati točke fotografiranja.

Pri mjerenju u Zagrebu korištena je metoda koju je razradio James Halitsky (New York University, New York, 1960).

Točnost mjerenja zavisi od dva stanja: granica dimnog traga mora biti jasno definirana i kutni odnos osi kamere i srednjeg strujanja vjetra mora biti poznat.

Da se zadovolji prvi uvjet treba postići dobar kontrast boje dima i boje neba. Na primjer, za plavu boju neba pogodna je bijela boja dima.

Mnogo ozbiljniji faktor je greška zbog perspektive. Lik će biti geometrijski sličan samo ako su ravnine dimnog traga i filma paralelne.

Metoda je razvijena u vezi sa teorijom korekcije i pretpostavlja da trenutni oblik dimne struje leži u vertikalnoj ravnini, koja prolazi kroz izvor u smjeru srednjeg vjetra. Pretpostavka da je dim u vertikalnoj ravnini pojednostavljuje korekcije i omogućuje montiranje kamere, samo sa odredbom za niveliranje.

Za vrijeme mjerenja potrebno je bilježiti samo broj snimka i trenutak fotografiranja. U istom trenutku se mjeri i srednji smjer vjetra. Znači, potrebna je sinhronizacija: puštanje dima u određenim vremenskim razmacima, istovremeno mjerenje smjera strujanja i fotografiranje.

Dimna struja se pojavljuje u četiri plohe: ravnina stvarne dimne struje, koja je ujedno i ravnina srednjeg vjetra, zamišljena ravnina okomita na os kamere, ravnina filma i ravnina platna za projekciju (slika 1).

Iz odnosa veličina sa slike 1 i veličina korekcija dobivenih mjerenjem, izračunavaju se koordinate dima koje su važne za studiju širenja dimne struje: nadvisivanje dimne struje iznad izvora, udaljenost izvora od točke u dimnoj struji, horizontalna udaljenost od izvora do točke u dimu, debljina dimne struje itd. /1/.

MJERENJA KOD EL-TO U ZAGREBU

Prvi korak u organizaciji mjerenja je bilo određivanje lokacija pogodnih za snimanje. Uglavnom su korištene četiri točke koje su bile određene u polukrugu od 90-270° (Slika 2).

Udaljenost od izvora dima do mjernih mjesta je od 900-1000 m. Neposredno uz sam dimnjak oko 80 m prema jugu bila je točka gdje su izvodjena mjerenja vjetra i prizemna meteorološka mjerenja.

Sa toplanom je dogovoreno da zacrnjuje dim svakih pola sata za vrijeme mjerenja.

Toki-voki aparatima je uspostavljena veza između mjernog mjesta snimanja, mjernog mjesta mjerenja vjetra i strojara u postrojenju EL-TO, te je tako sinhronizirano mjerenje.

Na taj način su dobiveni podaci koji se koriste za određivanje nadvisivanja dimnih plinova: dijapozitivi i smjer vjetra u sloju iznad dimnjaka.

Dijapozitivi su projicirani na platno za projekcije, sa kojeg su uzimani elementi za izračunavanje. Uvrštavanjem tih vrijednosti u formule izračunati su parametri zanimljivi za meteorologe.

REZULTATI MJERENJA

Mjerenja su izvodjena od I do VI mjeseca 1974. godine i to u 30 diskontinuiranih dana u zavisnosti od vremenskih situacija, obično 8-10 sati dnevno, sa smanjenjem svakih pola sata. U većini slučajeva obuhvaćen je period od 8 do 16 sati. Organizirano je i nekoliko noćnih mjerenja i to od 03,00 do 10 sati, gdje je jasno izražen utjecaj inverzije.

Maksimalno nadvisivanje dimne struje bilo je 27. III 1974. u 9,31 h i iznosilo je 320 m, a minimalno 20. V 1974. u 14,02 - 3 m.

Maksimalno srednje dnevno nadvisivanje dimne struje bilo je 13. II 1974. - 176 m, dok je minimalno srednje dnevno nadvisivanje bilo 11. II 1974. godine - 33,6 m.

Srednje nadvisivanje, kad se uzmu u obzir svi slučajevi iznosi 85 metara.

Različite vremenske situacije daju različite oblike dimne struje. Očito je da na visinu nadvisivanja ima jak utjecaj brzina vjetera. Veći utjecaj je kad brzine vjetera na visini dimnjaka prelaze 5 m/sek. To se vidi iz činjenice da je za 43 slučaja, kad je na visini dimnjaka bila brzina vjetera $v \geq 5$ m/sek, srednje nadvisivanje $\Delta H = 40$ m, jedanput manje nego kad su u skupu svi podaci. Odnos promjene visine nadvisivanja i brzine vjetera na visini dimnjaka, u danima sa maksimalnim srednje dnevnim nadvisivanjem (13. II 1974. godine $\Delta H = 176$ m) i minimalnim srednje dnevnim nadvisivanjem (11. II 1974. godine $\Delta H = 34$ m) prikazan je na slici 3.

Zanimljivo je promatrati srednje nadvisivanje dimne struje u toku mjeseca, što je prikazano u tablici 1.

Tablica 1 - Srednje mjesečno, maksimalno i minimalno nadvisivanje dimne struje u toku mjeseca

| Mjesec | I | II | III | IV | V |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| ΔH | 112 | 87 | 77 | 71 | 78 |
| $\Delta H \text{ max}$ | 256 | 248 | 320 | 190 | 209 |
| $\Delta H \text{ min}$ | 34 | 6 | 11 | 5 | 3 |

ΔH = srednje mjesečno nadvisivanje dimne struje
 $\Delta H \text{ max}$ = maksimalno nadvisivanje dimne struje u toku mjeseca
 $\Delta H \text{ min}$ = minimalno nadvisivanje dimne struje u toku mjeseca

Srednje nadvisivanje dimne struje u toku zimskog dijela godine je više (I i II mjesec $\Delta H = 99,5$ m) nego u proljeće (III, IV i V mjesec $\Delta H = 75$ m). To se može objasniti većim brojem mirnijih situacija te većom razlikom temperature okoliša i dimnih plinova.

Iz navedenih pokazatelja i iskustava stečenih prilikom mjerenja vidi se da je visinu nadvisivanja dimnih plinova i difuziju potrebno promatrati odijeljeno, jer najstabilnijim situacijama i najstabilnijoj sezoni ne pripada najmanje nadvisivanje dimnih plinova, iako je točno, da zbog načina difuzije baš u takvim situacijama postoji najveća zagađenost.

OBLIK DIMNE STRUJE I PRIPADNO NADVISIVANJE ΔH

Oblik dimne struje i njegova povezanost sa vremenskom situacijom i nivoom zagađenosti je već proučavan. Došlo se do određenih tipiziranih oblika dimne struje, koji približno određuju i visinu nadvisivanja. Slika 4 pokazuje sedam standardnih oblika dimne struje za odgovarajuća stanja temperaturne stratifikacije.

Iz fotografija širenja dimne struje nad EL-TO je vidljivo da se uz manje modifikacije može svakom snimku pridružiti određeni tipizirani oblik, a usporedbom oblika dimne struje i temperaturnih stratifikacija dobijenih iz radio sondažnog mjerenja na Meteorološko-aerološkom opservatoriju Zagreb-Maksimir, pokazalo se, da odgovarajućim oblicima širenja dima, uglavnom odgovaraju i stratifikacije navedene na slici 4.

Za svaki oblik dima izračunato je srednje nadvisivanje.

Tablica 2 - Srednje nadvisivanje dimnih plinova različitih oblika EL-TO Zagreb I-VI mjesec 1974. godine

| Oblik dimne struje | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------------------|----|----|----|-----|-----|---|-----|
| Broj slučajeva | 36 | 72 | 91 | 16 | 18 | 0 | 16 |
| Srednje nadvisivanje | 75 | 74 | 70 | 146 | 104 | 0 | 123 |

Tablica 2 pokazuje da se dim za vrijeme mjerenja najčešće širio u obliku 3 (neutralno stanje atmosfere) i obliku 2 (nestabilno stanje atmosfere).

Kod neutralne (3) i nestabilnih (1 i 2) situacija, nadvisivanje je niže nego kod stabilne situacije i pri postojanju inverzije, što potvrđuje zaključke dobivene na osnovu srednje mjesečnih nadvisivanja dimne struje.

Treba napomenuti da su mjerena maksimalna nadvisivanja sredine dimnog traga i da se kod stabilnih situacija, nakon dostignutog maksimuma, visina dimne struje brzo smanjuje, pogotovo kod oblika 7, kad se već nakon 5-6 minuta čestice izbačene iz dimnjaka talože na zemljinu površinu nedaleko izvora. Očito je da u takvim situacijama veliku ulogu imaju tehnološki parametri dimnjaka, od kojih bitno zavisi visina nadvisivanja.

Slika se nešto izmijeni kad se uvede prag brzine vjetera, nakon kojeg temperaturna stratifikacija ima malu ulogu. Obično se uzima prag $v = 5$ m/sek /2/.

Tablica 3 - Srednje nadvisivanje dimnih plinova različitih oblika pri brzini vjetra na visini dimnjaka $v \leq 5$ m/sek, EL-TO Zagreb, I-VI mjesec 1974. godine

| Oblik dimne struje | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------------------|----|----|----|-----|-----|---|-----|
| Broj slučajeva | 33 | 63 | 60 | 16 | 8 | 0 | 16 |
| Srednje nadvisivanje | 74 | 77 | 88 | 145 | 104 | 0 | 123 |

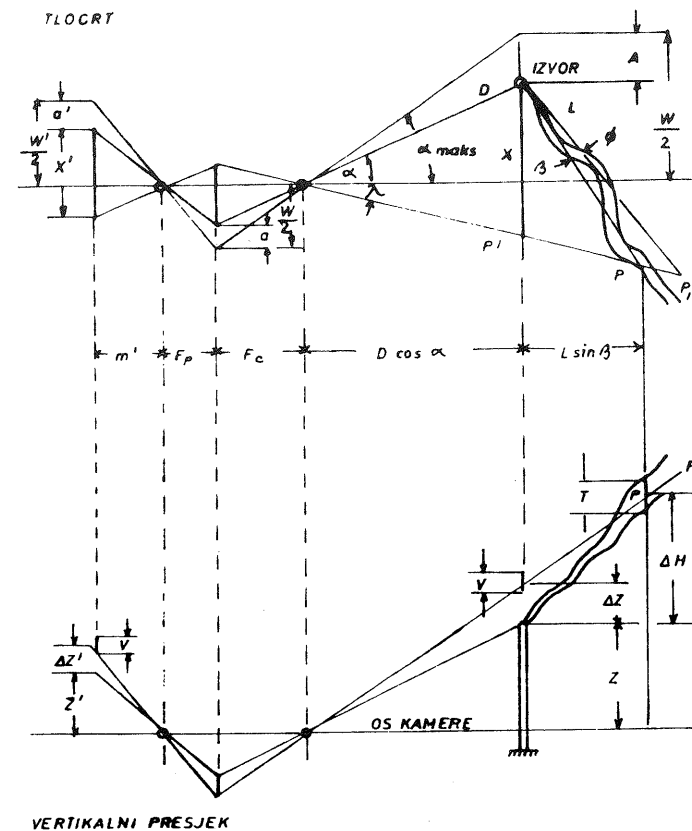
Srednje nadvisivanje dimne struje u neutralnoj stratifikaciji se povećalo, jer je eliminiran utjecaj vjetrova sa brzinama $v \geq 5$ m/sek.

Ova činjenica potvrđuje da je pri računanju nadvisivanja potrebno razlikovati nadvisivanja do i preko određenog praga brzine vjetra na visini dimnjaka, jer poslije toga praga, postoji drugačiji odnos utjecaja temperaturne stratifikacije i utjecaja brzine vjetra, tj. utjecaj vjetra ima znatno veću ulogu.

Ovakva mjerenja su korisna pri planiranju izgradnje novih objekata i zaključci dobiveni na osnovu njih mogu koristiti pri daljoj razradi teorije o širenju dimne struje iz točkastog izvora.

LITERATURA

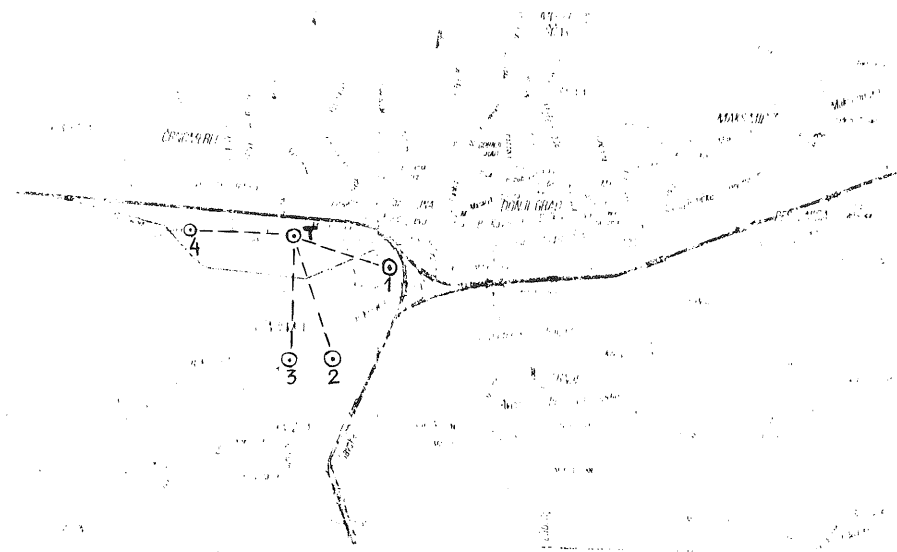
- /1/ Halitsky J., Int. J. and Water Poll. Pergamen Press 1961. vol. 4, Nos. 3/4 pp. 185-198, Single camera measurement of smoke plumes.
- /2/ J.P. Detrie, La pollution atmospherique, Paris 1969.
- /3/ A.H. Hrgian, Fizika atmosfere, Lenjingrad 1969.
- /4/ A.C. Stern, Air Pollution, London 1968.



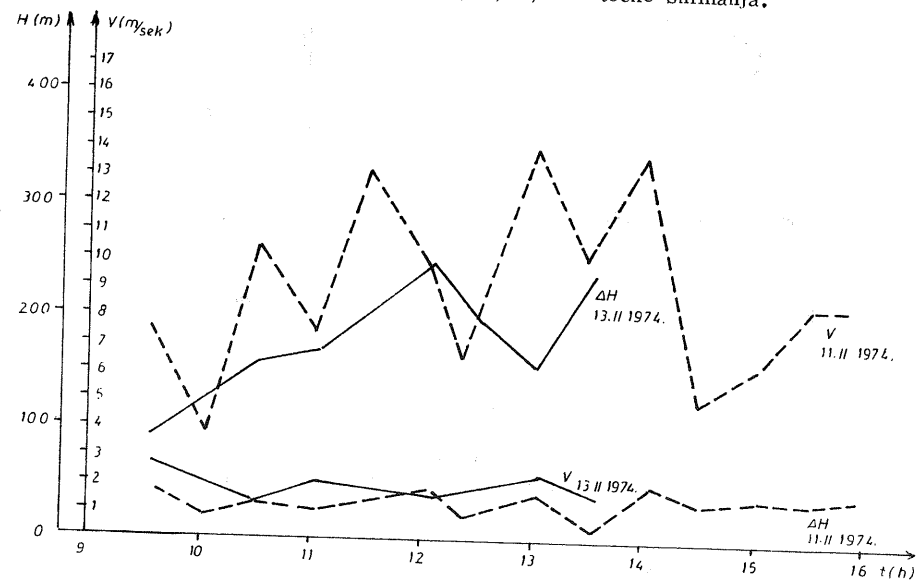
Slika 1 - Geometrija dimnih plinova, filma i platna za projekciju

Legenda

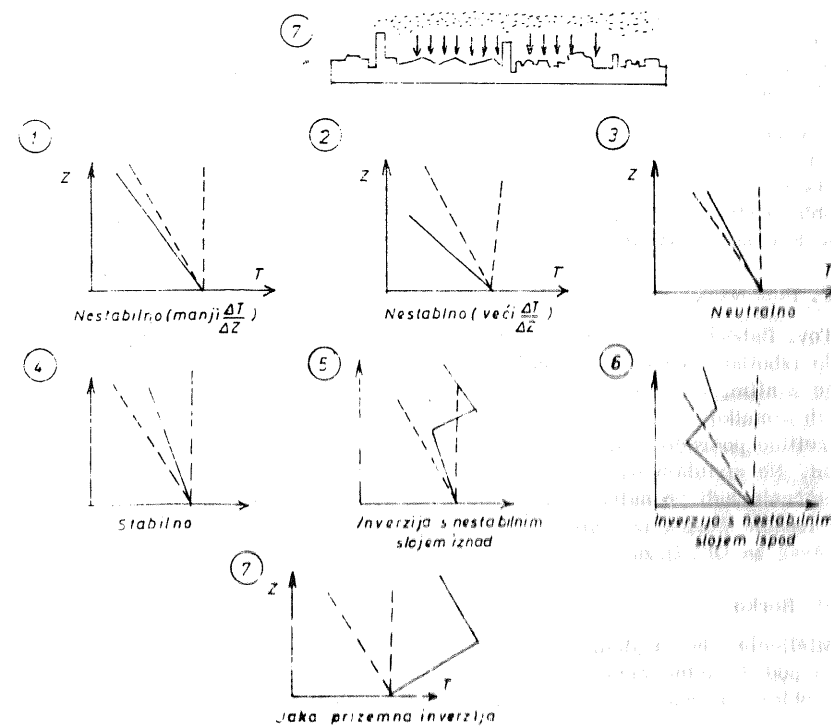
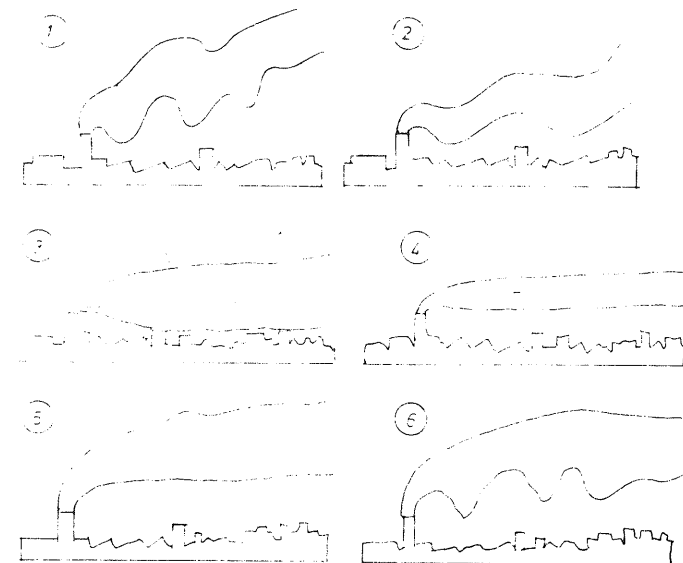
- D - horizontalna udaljenost od kamere do izvora perjanice
- F_e - fokusna dužina kamere
- F_p - fokusna dužina projektora
- m' - horizontalna udaljenost od projektora do projektog platna
- a, a', A - horizontalna udaljenost granice slike do izvora dima
- v, v', V, T - vertikalna debljina perjanice
- w, w', W - širina snimka
- x, x', X, L - horizontalna udaljenost od izvora do točke u dimu
- $\Delta Z, \Delta Z', \Delta H$ - dizanje perjanice iznad izvora
- Z - horizontalni kut između osi kamere i linije kamere
- λ - točka u dimu



Slika 2 - Plan izvora dima i lokacija sa kojih se fotografiralo
T - dimnjak EL-TO; 1, 2, 3, 4 - točke snimanja.



Slika 3 - Promjena visine nadvisivanja dimne struje i brzine vjeta na visini dimnjaka za dane sa minimalnim i maksimalnim srednje dnevnim nadvisivanjem dimne struje



Slika 4 - Standardni oblici dimnih plinova i odgovarajuće stratifikacije atmosfere