

**POLJA METEOROLOŠKIH SPREMENLJIVK ZA POTREBE DOLOČANJA
DISPERZIJE V ZRAKU NA SREDNJIH RAZDALJAH**

**FIELDS OF METEOROLOGICAL VARIABLES FOR USE IN STUDIES
OF MEDIUM-SCALE DISPERSION IN AIR**

Jože RAKOVEC in Zdravko PETKOVŠEK
Katedra za meteorologijo
VTOZD Fizika, FNT
Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani

551.510.42

SUMMARY

Tall stacks of power plants and factories have been erected as a quite effective protection of their neighbourhood, but as their emissions are rather large, they can cause rather high values of pollutants at greater distances. In research on the so-called long-range transport information about air motion and other relevant characteristics on the global and synoptic scale are used. This transport is important for the pollution background, which on a short time-scale is usually not very important, but has greater relevance to the chronic effects of air pollution.

On the other hand, exists some medium-scale transport in which shorter-term effects can also be important, e. g. effects on the harvest of annual crops, on the rapid erosion of some materials etc. We believe that in these examples the space-scale of importance is some hundreds of kilometers. On this scale general patterns are very much influenced by the orography, which channels the flow and modifies the temperature and other conditions.

The aim of the present work is to demonstrate a method for constructing in mesoscale the three-dimensional fields of velocity, temperature, humidity and insolation, as well as how to estimate the stability classes, using standard meteorological informations, which are rather scarce at upper levels.

When these variables are known, they represent the meteorological basis for estimation of trajectories or steamlines (for dispersion a model has to be applied, but this is not the aim of our work here).

The main feature of the present study is not to use mean values of variables over certain time periods, e. g. months, but rather to search for typical flows over the region in question; in our case this is central Yugoslavia. From an earlier investigation by Dobrilović (1978) we have found that there exist three main types of flow over Balkans, i. e. cold advection from the NW, warm advection from the SW and again advection of cold air from the E. These types cover 73 % of all cases, the rest being cases of weak gradients and weak flows from all directions.

The horizontal interpolation on three levels (surface, 850 and 700 mb) uses a simple bilinear polynomial approximation. The effect of orography is included when performing vertical interpolation of the wind in a logarithmic form between these levels, giving the results similar to the Ekman profile with temperature advection. Other variables are interpolated in a similar way, insolation of course only at the ground level. Only in the case of the cold flow from the E, the northeastern part of the region is treated separately, as in this case the Košava wind dominates in the lower part of the troposphere.

POVZETEK

Podana je metoda določanja polj vetra, temperature, vlažnosti in osončenja, ter ocene razredov stabilnosti za potrebe proučevanja razširjanja onesnaženja na srednjih razdaljah. Izbran je bil način s sorazmerno preprosto interpolacijo med radiosondnimi podatki in podatki pri tleh; precej pozornosti pa je bilo posvečene pomembnim tipom gibanja zraka, saj se je pokazalo, da se gibanja, ki jih predstavljajo npr. mesečna ali sezonska poprečja, skoraj nikoli ne pojavljajo. Po Dobroviću (1978) povzemamo, da so pri nas značilni tipi hladne advekcije od NW, tople od SW in hladne od E. Ti trije tipi predstavljajo 73 % primerov, v drugih pa so vetrovi šibki in iz raznih smeri.

UVOD

Pričujoče delo predstavlja način, kako določiti meteorološke osnove za ugotavljanje disperzije onesnaženja v zraku na srednjih razdaljah. Načina računanja disperzije se tu le bežno dotikamo, in bomo samo ocenili razrede stabilnosti, ki utegnejo priti v poštev pri določanju disperzije, sicer pa je delo posvečeno predvsem čim primernejšemu določanju polj meteoroloških spremenljivk. Gre torej za določanje vrednosti vetra, temperature, vlažnosti in osončenja v pravilni mreži točk ob pomembnih tipih gibanja zraka prek nekega prostora: v našem primeru prikazujemo območje osrednje Jugoslavije, ki utegne biti pod vplivom močnih virov onesnaženja zraka v severovzhodni Bosni.

Za določanje tokovnic se na prvi pogled ponujajo poprečne mesečne ali sezonske karte na standardnih ploskvah pritiska, npr. take, kakršne so izdelali na Freien Univ. Berlin (Scherhag et al. 1969). Te kažejo, da je poprečni veter pri nas zahodnik, s tem, da je v različnih obdobjih leta bolj ali manj izražena južna ali severna komponenta.

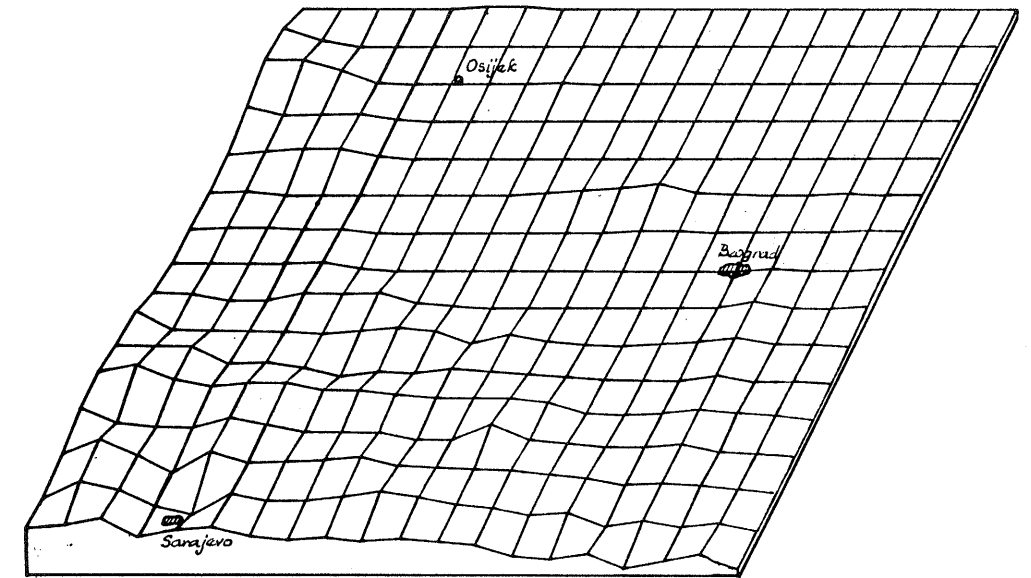
Toda če поблиže pogledamo smeri vetra ob določenih vremenskih situacijah, ugotovimo, da zahodnika nad Jugoslavijo v resnici skoraj ni. Ta smer namreč sledi iz vektorskega poprečevanja drugih prevladujočih smeri vetra (Penzar 1977, Dobrović 1978). Izbira dominantnega zahodnika bi torej pri izračunu razporeditve primesi v zraku dala povsem napačne rezultate.

Odtod se vidi, da je za potrebe določanja disperzije onesnaženja v zraku na srednjih razdaljah potrebno obdelati polja odločujočih meteoroloških spremenljivk po posameznih prevladujočih tipih gibanja zraka nad določenim področjem.

Naše območje razdelimo na mrežo točk; mi smo izbrali kvadratno mrežo 15 km × 15 km, položeno na geografsko karto v Lambertovi konformni konusni projekciji. Tako sicer nimamo ne geografskih koordinat niti ekvidistantnih, vendar so pri potrebni natančnosti odmiki od obeh zanemarljivo majhni.

Pri izbiri vertikalne razdelitve območja bi bila najustreznejša taka vertikalna koordinata, pri kateri bi advekcija primesi v zraku potekala po ploskvah konstantne vrednosti te koordinate. Ustrezne bi bile izentropske ploskve, vendar v začetku, ko je tok primesi iz virov še topel, ta tok prebija izentropne ploskve, pa tudi kasneje ne sledi tem ploskvam če je le dim dovolj temen ali take kemijske sestave, da ni v sevalnem ravnovesju z okolico. Zato smo izbrali preprostejšo vertikalno koordinato, in sicer zeta koordinato: $\zeta = (z-H)/(Z-H)$, pri čemer je H nadmorska višina tal, Z nadmorska višina vrhne ploskve v modelu (pri nas je Z = 3200 m), z pa nadmorska višina računske točke. Tudi ta koordinata sledi terenu in dokaj dobro predstavlja ploskve, po katerih se advektirajo primesi v zraku. Pri tleh izberemo gostejšo vertikalno razporeditev točk, saj so tudi gradienti meteoroloških spremenljivk blizu tal večji kot v višjih plasteh spodnje troposfere.

Relief, nad katerim določamo polja meteoroloških spremenljivk v tu prikazanem primeru, je predstavljen na sliki 1.



Slika 1 Prikaz terena, nad katerim določamo polja meteoroloških spremenljivk.

Fig. 1 Presentation of the terrain over which fields of meteorological variables are to be determined.

VETER

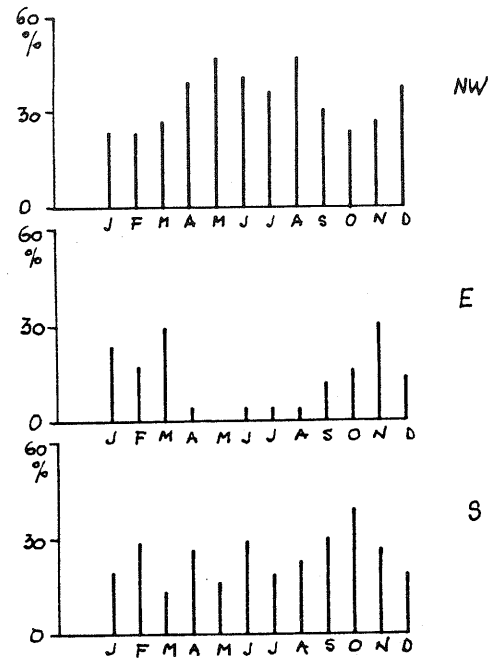
Iz študije Dobrovića (1978) sledi, da je v spodnji troposferi nad Jugoslavijo v triletnem obdobju 1955–57 prevladovalo v letnem poprečju naslednje gibanje zraka:

dotok hladnega zraka iz NW kvadranta	120 dni
dotok hladnega zraka iz E kvadranta	45 dni
dotok hladnega zraka iz SW kvadranta	6 dni

dotok toplega zraka iz S kvadranta
brezvetrje ali šibki vetrovi iz raznih smeri

101 dni
93 dni.

Odtod sledi, da so glavni trije tipi gibanja zraka pri nas od NW, E in S smeri, medtem ko v drugih primerih piha lahko kakršenkoli šibek veter; posebej pozimi ga spremljajo inverzije po kotlinah ali plitve inverzije pri tleh nad ravninami, pogosto tudi subsidenčne inverzije na višini okrog 1500 m. Histogrami pogostnosti izbranih tipov gibanja zraka (slika 2) kažejo, da je najverjetnejši NW tok poleti in decembra, vzhodniki se pojavljajo le pozimi, južni vetrovi pa so skoraj enako verjetni v vseh mesecih leta; nekoliko pogostejši so le v oktobru.



Slika 2 Pogostnost posameznih tipov gibanja zraka nad obravnavanim področjem (po Dobriloviću, 1978).

Fig. 2 Frequency of occurrence of the types of air flow over the terrain under consideration (after Dobrilović, 1978).

Za horizontalno interpolacijo izberemo preprosto bilinearno interpolacijo, pri kateri je vrednost poljubne količine $h(x, y)$ podana z enačbo

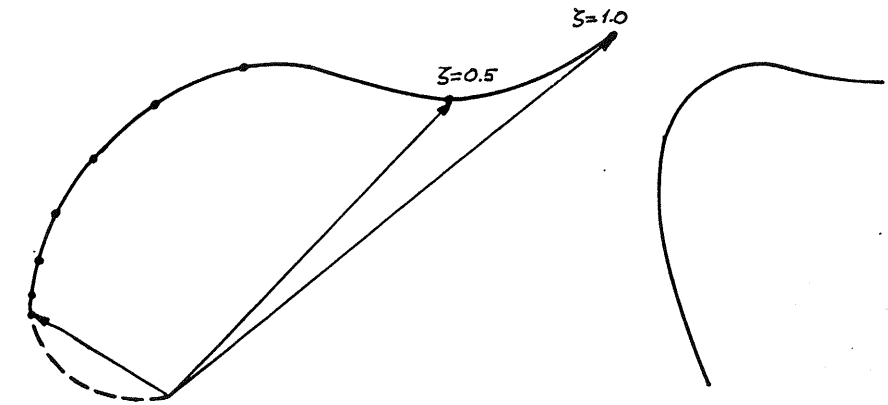
$$h(x, y) = a + bx + cy + dxy,$$

pri čemer izračunamo koeficiente a, b, c in d iz najmanj štirih podatkov na določenem območju. Mi smo jih določili tako, da smo določili vrednost komponent vetra v vogalih našega območja, na treh višinah v obravnavani plasti: blizu tal ($\zeta = 0.0039$), v sredini ($\zeta = 0.5$) in na vrhu obravnavane plasti ($\zeta = 1.0$), in to za tok zraka od NW in od S. V primeru dotoka hladnega zraka z vzhoda, pa metoda ni preprosto uporabna. Takrat je namreč v severovzhodni Jugoslaviji pogost pojav Košave, ki pa ne piha prek vsega obravnavanega območja. V tem primeru uporabimo metodo bilinearne interpolacije pri tleh posebej na severovzhodni četrtini izbranega območja, posebej pa na preostalem delu območja, potem pa polji smiselno sestavimo.

Oglejmo si še metodo vertikalne interpolacije. Znano je (npr. Haugen ed. 1977), da samo za-

radi vpliva trenja veter po višini spreminja smer, in sicer v desno od smeri vetra pri tleh, približno po Ekmanovi spirali, tja do višine okrog 1000 do 2000 nad tlemi. Če je zraven še advekcija hladnejšega zraka, ta dodatno povzroča spremembo smeri z višino v levo, medtem ko topla advekcija povzroča pojačano spreminjanje smeri v desno. Naši primeri so prav te vrste: hladna advekcija je navadno od NW in od E, ter topla advekcija z južnimi vetrovi.

Uporabimo torej metodo, po kateri logaritmično prilagajamo posebej komponento vetra v smeri vetra na višini (pri nas pri $\zeta = 0.5$) k temu vetru na višini, in posebej velikost hitrosti vetra, prav tako logaritmično, od vrednosti pri tleh do vrednosti na isti višini. Ob tem zajamemo značilnosti tako trenja kot tudi advekcije toplega ali hladnega zraka (sliki 3 in 4). Za primer hladne advekcije od vzhoda, ko piha nad severovzhodnim delom našega območja v plasti pri tleh Košava, je potrebna posebna obravnava na tem območju v spodnji polovici, medtem ko v zgornji polovici uporabimo kar linearno interpolacijo med $\zeta = 0.5$ in $\zeta = 1.0$, tako kot v vseh drugih primerih (slika 5). Predvsem sliki 3 in 4 kažeta lepo ujemanje na naš način določenih profilov s teoretičnimi profili vetra v planetarni mejni plasti. Poudariti moramo še, da je za vsako računsko točko v horizontalni mreži predpostavljena lokalna horizontalna homogenost: veter se v vsaki točki drugače prilagaja (zaradi drugačne višine reliefa) drugačni vrednosti vetra na višini (zaradi bilinearne interpolacije na višini $\zeta = 0.5$).



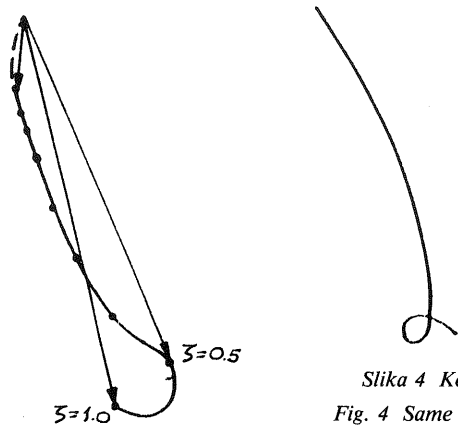
Slika 3 Hodograf vertikalno interpoliranega vetra nad severozahodnim vogalom področja pri topli južni advekciji. Za primerjavo je podana modificirana Ekmanova spirala (po Estoqueu, 1973) ob topli advekciji — črta brez puščic.

Fig. 3 Hodograph of vertically interpolated wind over the northwestern corner of the region in the case of warm advection from the south. Modified Ekman spiral due to warm advection (after Estoque, 1973) is given for comparison — line without arrows.

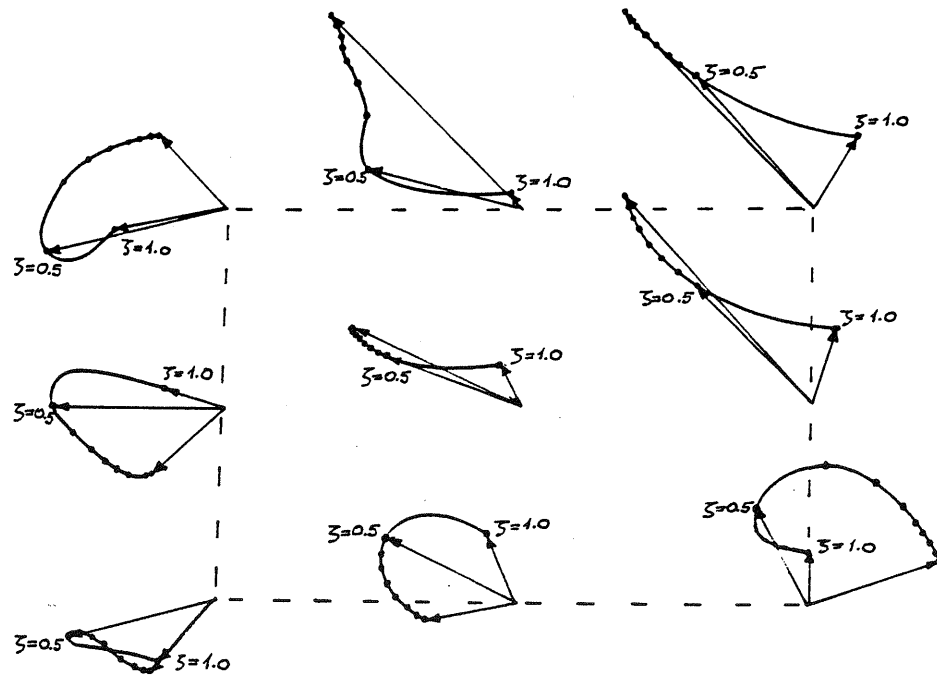
TEMPERATURA

V Atlasu klime SFRJ so dane poprečne temperature pri tleh za januar, april, julij in oktober, ter za celo leto. Menimo, da za te namene spet ni uporabna interpolacija iz 700 in 850 mb ploskve navzdol do temperatur pri tleh, saj so v njih spet zabrisane značilnosti posameznih tipičnih vremenskih situacij nad Jugoslavijo.

Menimo, da je smiselneje, če za polje temperature predpišemo horizontalno homogenost v posameznem tipu gibanja zraka. Poudarjamo, da je podatek o temperaturi okolišnjega zraka pomemben pri našem problemu predvsem za določanje efektivne višine izpusta primesi v



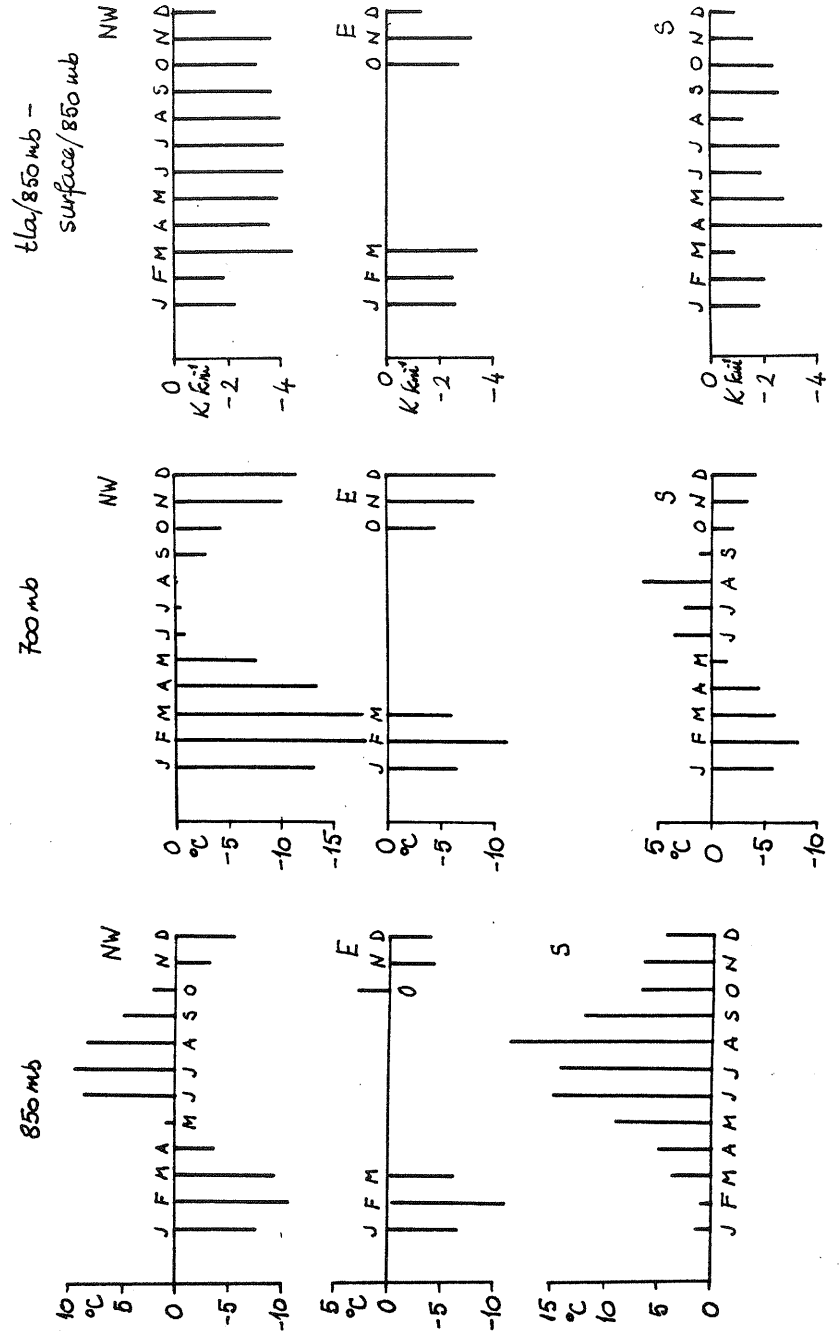
Slika 4 Kot slika 3, le za hladno advekcijo od severozahoda.
Fig. 4 Same as Fig. 3, but for cold advection from the Northwest.



Slika 5 Hodografi vetra nad področjem po vertikalni in horizontalni interpolaciji za primer hladne advekcije od vzhoda. Severovzhodni del področja je pod vplivom Košave.
Fig. 5 Hodographs of the wind over the region after vertical and horizontal interpolation for a case of cold advection from the East. The Northeastern part of the region is influenced by the Košava wind.

Slika 6 Temperatura na 850 in 700 mb po mesecih ob posameznih tipih gibanja zraka nad področjem. Na desnem delu slike so podani vertikalni gradienti temperature, s katerimi ekstrapoliramo temperaturo od 850 mb proti tlom (po Dobriloviču, 1978).

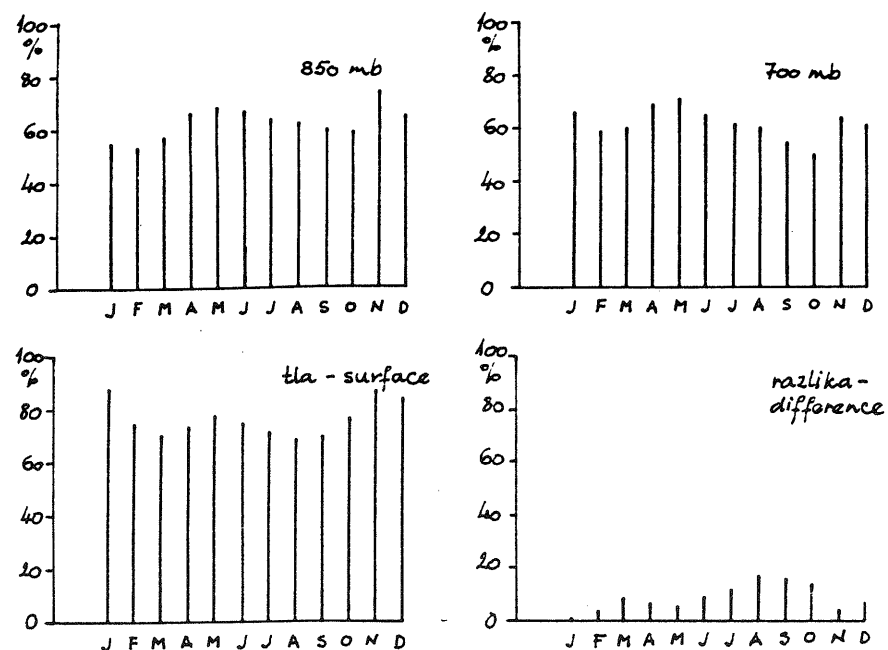
Fig. 6 Temperature at 850 and 700 mb according to the month for different types of air flow over the region. In the right part of the figure the vertical temperature gradients are given for extrapolation of temperature from 850 mb to ground level (after Dobrilović, 1978).



zrak, zato so krajevne razlike v temperaturi (ki so sicer ob močnejših vetrovih majhne — in take vetrove ravno obravnavamo) za tako uporabo zanemarljive. Seveda pa so pomembne razlike v vertikalni smeri. Dobimo jih spet iz študije Dobrilovića (1978), z ustreznimi utežmi za podatke Splita, Zagreba in Beograda. Izbrane vrednosti temperature na različnih višinah in vertikalnega gradienta so podane na sliki 6 in so uporabne za določanje stabilnosti in prek nje difuzivnosti.

VLAŽNOST

Ta količina vpliva na pretvorbe primesi v zraku (npr. SO_2 v H_2SO_3 in v H_2SO_4). Določamo jo z rezultati Dobrilovića (1978) in v skladu s splošnim zmanjševanjem relativne vlažnosti pri tleh proti vzhodu obravnavanega območja (Atlas klime SFRJ). Menimo, da poprečnim vrednostim relativne vlažnosti (slika 7) ustreza približno stanje ob gibanju zraka od severozahoda, ob dotoku zraka od juga pa je potrebno vrednosti relativne vlažnosti povečati za okrog 10 %, medtem ko ob dotoku sorazmerno suhega zraka od vzhoda vrednosti iz slike 7 zmanjšamo za 10 %. Tako določene vrednosti postavimo na zahodnem robu obravnavanega območja, na vzhodnem robu pa predpišemo nižje vrednosti relativne vlage za toliko, kot nam za posamezne mesece to narekuje slika 7, na kateri je podan letni hod razlik v relativni vlažnosti med zahodnim in vzhodnim robom obravnavanega območja. V polju potem določamo vrednosti v mreži točk z bilinearno interpolacijo.



Slika 7 Relativna vlažnost zraka po mesecih nad zahodnim robom področja ob hladni advekciji od severozahoda. Nad desnim robom obravnavanega področja so vrednosti relativne vlažnosti manjše za razliko, prikazano v desnem spodnjem delu slike (po Dobriloviću, 1978).

Fig. 7 Relative humidity according to the month over the Western part of the region in the case of cold advection from Northwest. Over the eastern boundary of the considered region the values are smaller by a difference shown in the lower right part of the figure (after Dobrilović, 1978).

OSONČENJE

Tudi ta meteorološka spremenljivka, ki vsebuje tako podatke o trajanju sončnega obsevanja, kot o energiji, vpliva na pretvorbe primesi v zraku, uporabljajo pa jo tudi pri oceni razredov stabilnosti. Iz kart v Atlasu klime SFRJ je razviden splošen trend zmanjševanja trajanja sončnega obsevanja od severovzhoda proti jugozahodu in na splošno vzamemo, da je na jugozahodnem vogalu obravnavanega območja trajanje za 10 % manjše kot na severovzhodnem.

Letni hod trajanja je približno linearen od najnižje vrednosti decembra (0.20 na severovzhodnem vogalu) do največje avgusta (0.65 prav tam). Zmanjševanje sicer ni tako linearno kot naraščanje, vendar zaradi preprostosti spet predpišemo kar linearen trend (po Vujičić-Gamser in Gamser, 1970). Seveda pa tu še ni zajet vpliv različnih tipov gibanja zraka, čeprav je delno že prisoten zaradi različnih frekvenc pojavljanja posameznih tipov tokov v posameznih obdobjih leta. Zato, podobno kot smo to naredili že pri vlažnosti, vrednosti trajanja obsevanja iz letnega hoda privzamemo za NW tip; ob dotoku vlažnega zraka od S, ko je pogosto tudi povsem oblačno, vrednosti povečamo za eno tretjino; ob gibanju zraka od E, pa zmanjšamo za eno tretjino.

Dotok energije k tlom povežemo s trajanjem po statistični zvezi Ärgströmovega tipa, ki velja za mesečna poprečna dnevni vsoti energije, ki vpade na horizontalno površino:

$$R_g = R_0 (0.27 + 0.48 Tr),$$

kjer je Tr relativno trajanje sončnega obsevanja, R_0 pa ekstraterestrična dnevna energija (Gamser, 1976). Za konkretne dneve je tako izračunana energija slabše ocenjena kot v poprečju.

RAZREDNI STABILNOSTI

Za morebitno uporabo Gaussovega modela razširjanja onesnaženja v zraku, ki pa v razgibanem reliefu ni najbolj primeren, lahko še ocenimo razrede stabilnosti, npr. po Pasquillu (cit. Ludwig, 1974), ki predpostavlja, da so standardne deviacije po vertikalni in transverzalni smeri odvisne od oddaljenosti od vira x :

$$\sigma_z = F_1 x^{F_2}, \quad \sigma_y = G_1 x^{G_2}; \quad x_* = \frac{x}{1 \text{ m}}$$

pri čemer pa so vrednosti parametrov različne od tipa do tipa gibanja zraka. Ocenjujemo, da bi bile primerne naslednje vrednosti:

	za vse x		$1 \text{ km} < x < 10 \text{ km}$		$1 \text{ km} < x < 10 \text{ km}$	
	F_1	F_2	G_1	G_2	G_1	G_2
gibanje od E	0.21	0.88	0.13	0.89	0.13	0.88
gibanje od NW	0.15	0.88	0.14	0.77	0.34	0.63
gibanje od S in ob šibkih vetrovih	0.12	0.87	0.15	0.70	0.33	0.58

Te vrednosti bi torej lahko uporabili (ob poznanem prevladujočem vetru, ki smo ga navedli v začetku) pri računanju disperzije po Gaussovem modelu.

SKLEP

Prikazan način sorazmerno preprostega določanja meteoroloških spremenljivk, ki so pomembne za izračunavanje razširjanja primesi v zraku, v mreži točk, sloni na oceni, da prevladujejo trije pomembnejši tipi gibanja zraka prek Jugoslavije, v drugih primerih pa so vetrovi šibki in iz raznih smeri. Iz vrednosti hitrosti vetra, temperature, vlažnosti, trajanja in energije sončnega obsevanja v polju nad obravnavanim območjem, je že možna sorazmerno dobra ocena za transport morebitnih primesi na srednje razdalje. Zahteva po večji natančnosti pa bi pomenila obenem zahtevo po uporabi tridimenzionalnega mezometeorološkega modela, ki bi našteje spremenljivke podrobneje opisoval.

LITERATURA

- Atlas klime SFRJ, Zvezni hidrometeorološki zavod, Beograd
Dobrilović, B., 1978: Strujanje, temperatura i vlažnost u donjoj troposferi iznad Jugoslavije. ZHMZ, Beograd, 166 str.
Estoque, M. A., 1973: Numerical Modeling of the Planetary Boundary Layer. Workshop on Micro-meteorology. AMS, Boston, 217—270.
Gamser, F., 1970: Prilog metodici obrade globalnog zračenja. VIII sav. klimat. Jugoslavije, Zlatibor 23.—25. jun. 1970, ZHMZ, Beograd (1972), 129—142.
Ludwig, C., 1974: Der Gegenwärtige Stand der Forschung auf dem Gebiet der Immissionbelastung von Industrialisierten Städten. Inst. Theor. Meteorol. Freien Univ. Berlin, 79 pp.
Penzar, B., 1977: Tlak zraka. Vjetar. ZHMZ, Beograd, 119 str.
Scherhag, R. et al., 1969: Klimatologische Karten der Nordhemisphäre. Meteorol. Abhandlungen B. 100, H. 1, Inst. Theor. Meteorol. Freien Univ. Berlin, D. Reimer, Berlin, 223 pp.
Vujičić-Gamser, K. i F. Gamser, 1970: Prilog metodici odredjivanja relativnog trajanja sijanja sunca. VIII sav. klimat. Jugoslavije, Zlatibor 23.—25. jun. 1970, ZHMZ, Beograd (1972), 193—236.