

PRORAČUN TRAJEKTORIJA PETERSSENOM METODOM

Trajectory calculation by means of Petterssen's method

ZVJEZDANA KLAIĆ

Kranjčevićeva 37, 41000 Zagreb, Hrvatska

LIDIJA CVITAN

Državni hidrometeorološki zavod
Grič 3, 41000 Zagreb, Hrvatska

Primljeno 30. srpnja 1993, u konačnom obliku 27. listopada 1993.

Sažetak - Opisan je proračun trajektorija Petterssenovom metodom. Trajektorije se računaju do 120 sati unatrag uz vremenski korak od 3 sata. Vektor vjetra u točki interpolacije određen je modificiranom $1/R^2$ metodom, tako da pridijeljena težina izmjerene vjetrove ovisi o kutu koji vjetar zatvara s dužinom koja spaja mjerno mjesto s točkom interpolacije. Izrađeni kompjutorski program omogućava proračun trajektorija za proizvoljne receptore na izobarnoj plohi ili u vertikalnom sloju za koji postoje podaci o vjetru. Do sada je program primijenjen na Puntijarku za razdoblje 1.11.1991-30.4.1992. Izračunate su po 182 trajektorije na 925 hPa plohi i u sloju od tla do 850 hPa plohe. U primjeni programa na realne podatke problemi su se javljali zbog manjkavih radiosondajnih podataka.

Ključne riječi: Trajektorija, Petterssenova metoda.

Abstract - The Petterssen's method of trajectory calculation is described. Trajectories were followed 120 h backward with a 3 h time step. The wind vector in the interpolation point was determined using a $1/R^2$ aligned technique, where the weighting factor depends on the angle between wind direction and a line from the interpolation point to the measurement station. This designed computer programme is applicable to any isobaric level or vertical layer, depending on the input wind data. The number and position of receptors are optional. Until now, the programme has been applied to calculation of 925 hPa surface trajectories and trajectories based on vertically averaged wind over the layer between the ground and 850 hPa level, arriving at Puntijarka during the 6-months period. Limitations in the programme application to real wind data arise because of incomplete input radiosonde data.

Key word index: Trajectory, Petterssen's method.

UVOD

Cilj ovog rada bio je izbor odgovarajuće metode i izrada kompjutorskog programa za proračun trajektorija reprezentativnih za modeliranje daljinskog transporta sumpora. Trajektorija opisuje gibanje česti zraka u atmosferskom polju a određuje se integracijom jednadžbe:

$$\frac{dr}{dt} = v(x, y, z, t) \quad (1)$$

gdje je r položaj česti u trenutku t , a v je vjetar u točki r i trenutku t . Izbor polja vjetra ovisi o svrsi računanja

trajektorija te o raspoloživosti ulaznih podataka. Stoga su u do sada primjenjivanim proračunima korišteni različiti pristupi.

ApSimon i sur. (1985) u modelu daljinskog transporta radioizotopa računaju na početku svakog 3-satnog vremenskog koraka srednji vjetar u sloju duž kojeg se polutant vertikalno proteže. Pri tome pretpostavljaju dvoslojni model profila vjetra. U sloju miješanja primjenjuju potencijalni zakon. Iznad sloja miješanja pretpostavljaju geostrofički vjetar. Ulazne podatke metodom polinomskog prilagođavanja prevode u mrežu čiji su koraci $\Delta\Phi = 0.5^\circ$ i $\Delta\lambda = 1^\circ$, gdje su Φ i λ zemljopisna širina i dužina. Autori ističu da zbog primijenjenih

jednostavnih kvazigeostrofičkih aproksimacija točnost trajektorija zadovoljava samo ako se model statistički primijeni na velik broj slučajeva.

U OECD modelu (OECD, 1979), koji je primijenjen na daljinski transport sumpora, trajektorije se računaju Petterssenovom metodom (Petterssen, 1956) do 48 sati unatrag uz vremenski korak $\Delta t = -2$ h. Polja vjetra određuju se iz radiosondažnih podataka (u 0000, 0600, 1200 i 1800 UTC) za 850 hPa izobarnu plohu. Komponente vjetra u i v u pojedinoj točki mreže $127 \times 127 \text{ km}^2$ određuju se u terminu mjerenja objektivnom analizom na način koji je opisala Atkins (1974). Između termina mjerenja komponente vjetra linearno se interpoliraju.

Starija varijanta EMEP modela (Eliassen i sur., 1982), kojom se proračunava daljinski transport 40 različitih polutanata, koristi se istim algoritmom kao i OECD model, ali se trajektorije prate do 96 sati unatrag, a u i v komponente vjetra određuju se u mreži $150 \times 150 \text{ km}^2$. U područjima gdje su podaci rijetki (npr. nad morem) upotrebljava se kvazigeostrofički vjetar određen rutinskim prognostičkim modelom Norveškog meteorološkog instituta. U novije vrijeme umjesto mjerenog vjetra na 850 hPa uzima se prognostički vjetar na 925 hPa izobarnoj plohi (Iversen i sur., 1991; Simpson, 1992).

Ellenton i sur. (1985) u modelu daljinskog transporta sumpora računaju horizontalne trajektorije iz modificiranog prizemnog geostrofičkog vjetra koristeći tako prednost bolje prostorne i vremenske rezolucije ulaznih podataka. Geostrofički vjetar određuju iz prizemnog polja tlaka metodom koju su razvili Sykes i Hatton (1976), a koja se temelji na polinomskom prilagođavanju. Geostrofički vjetar dalje modificiraju uvažavajući djelovanje trenja, kako bi odredili vjetar koji aproksimira srednji vjetar u sloju miješanja. Trajektorije računaju do 48 sati unaprijed uz vremenski korak $\Delta t = 6$ h.

U mezoskalnom modelu transporta sumpora Dahe (1991) računa trajektorije iz vertikalno osrednjenog vjetra duž sloja čija je visina jednaka maksimalnoj dnevnoj visini sloja miješanja. U nedostatku podataka o vertikalnom profilu vjetra, a zbog složene topografije, autor pretpostavlja da je profil vjetra polinom trećeg stupnja. Polje srednjeg vjetra određuje $1/R^2$ metodom. Srednji vjetar između dva termina mjerenja određuje linearnom interpolacijom. Trajektorije računa do 120 sati unatrag uz vremenski korak od 15 min.

U analizi utjecaja Alpa na blokiranje zračne struje Chen i Smith (1987) računaju horizontalne trajektorije iz prizemnog polja tlaka uz zadani početni položaj i početnu brzinu česti. Polje tlaka u sinoptičkim terminima objektivno analiziraju u mreži koraka 50 km primjenom Gaussove sheme za težinu (Cressman, 1959). Između dva termina tlak linearno interpoliraju. Za početnu brzinu pretpostavljaju da je jednaka geostrofičkoj. Numerička shema ovog modela stabilna je za dovoljno mali vremenski korak (~ 10 min). Prednost ovog pristupa je gusta prostorna i vremenska rezolucija ulaznih podataka. Međutim točnost trajektorija ovisi o

točnosti mjenog tlaka. Stoga autori na osnovi Bernoullijeve jednadžbe i tipičnih pogrešaka mjerenja zaključuju da je trajektorija sasvim nepouzdana od trenutka u kojem joj horizontalna brzina padne na vrijednost manju od 5 ms^{-1} .

Za razliku od prethodno opisanih metoda proračuna dvodimenzionalnih trajektorija, Rolph i Draxler (1990) u analizi osjetljivosti trajektorija na prostornu i vremensku rezoluciju ulaznih podataka računaju trodimenzionalne 96-satne trajektorije u graničnom sloju. Međutim treba istaknuti da oni trajektorije računaju iz prognostičkih polja, a ne iz stvarno izmjerenih meteoroloških podataka. Umjesto vertikalne koordinate koriste se tlakom. Kao ulazne podatke Rolph i Draxler primjenjuju rezultate NGM (Nested Grid Model) modela koji su poznati svaka dva sata u mreži koraka 90 km, a zbog racionalnijeg korištenja kompjuterske memorije pretpostavljaju da su meteorološka polja tijekom dva uzastopna sata konstantna. Vrijednost meteoroloških varijabli u točki položaja česti određuju bilinearnom interpolacijom. Autori računaju trajektorije varirajući prostorni korak ulaznih podataka u rasponu od 90 do 360 km, a vremenski u rasponu od 2 do 12 sati pretpostavljajući da su trajektorije izračunate uz najgušću rezoluciju (90 km, 2 h) "stvarne". Rezultati pokazuju da trajektorije s rezolucijom najbližijom rezoluciji stvarnih radiosondažnih podataka u SAD (360 km, 12 h) u prosjeku imaju nakon 96 sati pogrešku od 730 km duž horizontale i 50 hPa duž vertikale. Najveće poboljšanje točnosti trajektorija postiglo bi se ako bi se vremenska rezolucija radiosondaža povećala na 6 sati.

U ovom radu je prikazana Petterssenova metoda proračuna trajektorija koja je primijenjena da bi se poboljšao jednostavni jednoslojni model daljinskog transporta sumpora (Klaić, 1990). U tom modelu lagrangeovog tipa orijentiranom prema receptoru, trajektorije se računaju na isti način kao i u OECD modelu, ali se umjesto do 48 h prate samo do 30 h unazad. Da bi se trajektorije izračunale na osnovi pretpostavki realnijih za daljinski transport sumpora, umjesto vjetra na 850 hPa plohi, koja se često nalazi iznad ili pri vrhu sloja u kojem se sumpor vertikalno proteže, odabrana su dva reprezentativnija vjetra. U prvom slučaju trajektorije su određene iz vjetra na 925 hPa plohi, koja se u prosjeku nalazi negdje oko sredine sloja u kojem se sumpor u atmosferi proteže. U drugom slučaju odabran je srednji vjetar u sloju od tla do 850 hPa plohe, čime su smanjene pogreške modela nastale zbog zanemarivanja vertikalnog smicanja. Taj drugi pristup zahtijeva više ulaznih podataka od prvog, ali je fizikalno opravdaniji (Ghim i Seinfeld, 1988). Budući da sumpor u atmosferi boravi i do pet dana, trajektorije su praćene do 120 h unazad.

ULAZNI PODACI

Raspomagalo se rutinskim radiosondažama (0000 UTC i 1200 UTC) za razdoblje od 1. studenog 1991. do 30. travnja 1992. godine unutar područja ograni-

čenog meridijanima 30°W i 45°E i paralelama 30°N i 75°N. Na tom području se nalazi oko 120 radiosondažnih postaja, ali je broj raspoloživih izvještaja u pojedinim terminima često manji od njihovog ukupnog broja (Tab.1). Za 23 od ukupno 364 radiosondažna termina uopće nije bilo podataka ni sa jedne postaje, dok su u dosta termina podaci bili manjkavi (npr. za 12 termina je broj radiosondažnih izvještaja bio ≤ 10). Maksimalni broj raspoloživih radiosondaža u jednom terminu bio je 121, a pojavio se samo jedanput.

Za potrebe ovog rada korišteni su podaci koji se odnose na sloj od tla do 850 hPa plohe. Grube pogreške u polju vjetra eliminirane su izbacivanjem iz analize svih brzina većih od 50 ms^{-1} . Za radiosondaže u kojima nije bilo podataka o vjetru na 925 hPa, a postojali su podaci na plohama iznad i ispod te plohe, vjetar na njoj je određen linearnom interpolacijom svake komponente zasebno iz spomenute dvije najbliže plohe. Ako pri tom nije bila poznata ni visina 925 hPa plohe (z_{925} (m)), ona je određena iz:

$$z_{925} = z_l + (RT_M / g) \ln(p_l / 925) \quad (2)$$

gdje su z_l i p_l visina i tlak na najbližoj plohi ispod 925 hPa plohe. T_M je srednja temperatura sloja, $T_M = (T_1 + T_2) / 2$, gdje su T_1 i T_2 apsolutne temperature izmjerene na dvjema najbližim plohama ispod i iznad 925 hPa plohe. $R = 287 \text{ JK}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ je plinska konstanta a $g = 9.80616 \text{ ms}^{-2}$ je akceleracija sile teže.

Tablica 1. Broj raspoloživih radiosondaža u pojedinom terminu u području ograničenom meridijanima 30°W i 45°E te paralelama 30°N i 75°N u razdoblju 1. studeni 1991-30. travanj 1992.

Table 1. The number of available radiosonde reports in one observation term in the area between meridians 30°W and 45°E and parallels 30°N and 75°N for the 1 November 1991-30 April 1992 period.

broj radiosondaža u jednom terminu	broj termina
0	23
1 - 10	12
11 - 20	6
21 - 30	4
31 - 40	3
41 - 50	4
51 - 60	6
61 - 70	7
71 - 80	14
81 - 90	20
91 - 100	66
101 - 110	151
111 - 120	47
>120	1

Srednji vjetar u sloju od tla do 850 hPa plohe određen je za svaku komponentu pojedinačno iz slijedećih izraza (Ghim i Seinfeld, 1988):

$$\bar{u} = (1/H) \sum_{i=1}^n u_i \Delta z_i \quad (3)$$

$$\bar{v} = (1/H) \sum_{i=1}^n v_i \Delta z_i$$

gdje je H visina 850 hPa plohe, u_i i v_i su komponente vjetra na visini z_i , n je broj registriranih nivoa u sloju od tla do 850 hPa, a Δz_i debljina sloja u kojem se pretpostavlja da je brzina u_i , v_i konstantna po vertikali, $\Delta z_i = z_i - z_{i-1}$.

Svi podaci potrebni za proračun trajektorija pohranjeni su u bazu korištenjem programskog paketa dBASE IV, pomoću kojeg je pisan i program za proračun trajektorija. Zapis za svaku pojedinu radiosondažu sastojao se od datuma i vremena radiosondaže, zemljopisne širine i dužine, vjetra na 925 hPa te srednjeg vjetra u sloju od tla do 850 hPa. Veličina baze za promatrano razdoblje je oko 3 Mb.

PRORAČUN TRAJEKTORIJA

Princip Petterssenove metode korištene u proračunu (OECD, 1979) je sljedeći: ako se čest zrak u trenutku t nalazi u točki \mathbf{r} , zbog postojećeg vjetra $\mathbf{v}(\mathbf{r}, t)$ čest će se u toku vremenskog intervala Δt pomaknuti u točku $\mathbf{r} + \Delta \mathbf{r}$. Budući da se vektor vjetra neprestano mijenja, pomak $\Delta \mathbf{r}$ se razlikuje od $\mathbf{v}(\mathbf{r}, t) \Delta t$, ali se ta vrijednost može uzeti kao prva procjena za $\Delta \mathbf{r}$:

$$\Delta \mathbf{r}_0 = \mathbf{v}(\mathbf{r}, t) \Delta t \quad (4)$$

Druga procjena $\Delta \mathbf{r}$ je:

$$\Delta \mathbf{r}_1 = 0.5 [\Delta \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}(\mathbf{r} + \Delta \mathbf{r}_0, t + \Delta t) \Delta t] \quad (5)$$

Postupak se dalje nastavlja tako da je i -ta procjena:

$$\Delta \mathbf{r}_i = 0.5 [\Delta \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}(\mathbf{r} + \Delta \mathbf{r}_{i-1}, t + \Delta t) \Delta t] \quad (6)$$

$\Delta \mathbf{r}$ se procjenjuje sve dok ne bude ispunjen uvjet:

$$\Delta \mathbf{r}_i - \Delta \mathbf{r}_{i-1} < \varepsilon \Delta \mathbf{r}_{i-1} \quad (7)$$

gdje je ε vrlo mali pozitivni broj (u modelu se uzima vrijednost 0.03). Ako je uvjet 7 ispunjen ili je $i=8$, pretpostavlja se da je $\Delta \mathbf{r} = \Delta \mathbf{r}_i$. Korišten je vremenski interval $\Delta t = 3 \text{ h}$ a broj koraka u iteraciji $i \leq 8$.

Za razliku od OECD i EMEP trajektorija, čiji proračun zahtijeva prethodnu pripremu ulaznih podataka (određivanje polja vjetra u svim točkama ekvidistantne mreže koja pokriva Europu), ovdje je vjetar određen objektivnom analizom tijekom samog proračuna trajektorije samo u onim točkama u kojima je to nužno za

izračunavanje Δr . To znači da je trebalo odrediti $v(r, t), v(r + \Delta r_0, t + \Delta t), \dots, v(r + \Delta r_{i-1}, t + \Delta t)$. Na taj način bitno je smanjena količina ulaznih podataka, odnosno potrebno je manje prostora na hard disku. Nad promatranim područjem u jednom terminu ima najviše oko 120 radiosondaža, dok npr. u EMEP modelu, koji pokriva slično područje, treba poznavati vektor vjetra u oko 1400 točaka mreže. Međutim, treba istaknuti da EMEP model predviđa vrlo velik broj receptora (više od 700) raspoređenih nad cijelom Europom, tako da je malo ulaznih podataka neiskorišteno pri proračunu, dok će se ovaj model primijeniti na 30-ak receptora u Hrvatskoj i susjednim zemljama.

Za termine radiosondažnih mjerenja korištena je modificirana $1/R^2$ metoda objektivne analize vjetra (Kahl i Samson, 1986) koja pretpostavlja da težina mjenjenog vjetra W ovisi o kutu ϑ koji vjetar zatvara s dužinom R koja spaja mjerno mjesto s točkom interpolacije:

$$W = (1 - 0.5 \sin \vartheta) / R^2 \quad (8)$$

Težina je određena za svaku komponentu vjetra (u, v) zasebno, a u obzir su uzete stanice u radijusu od

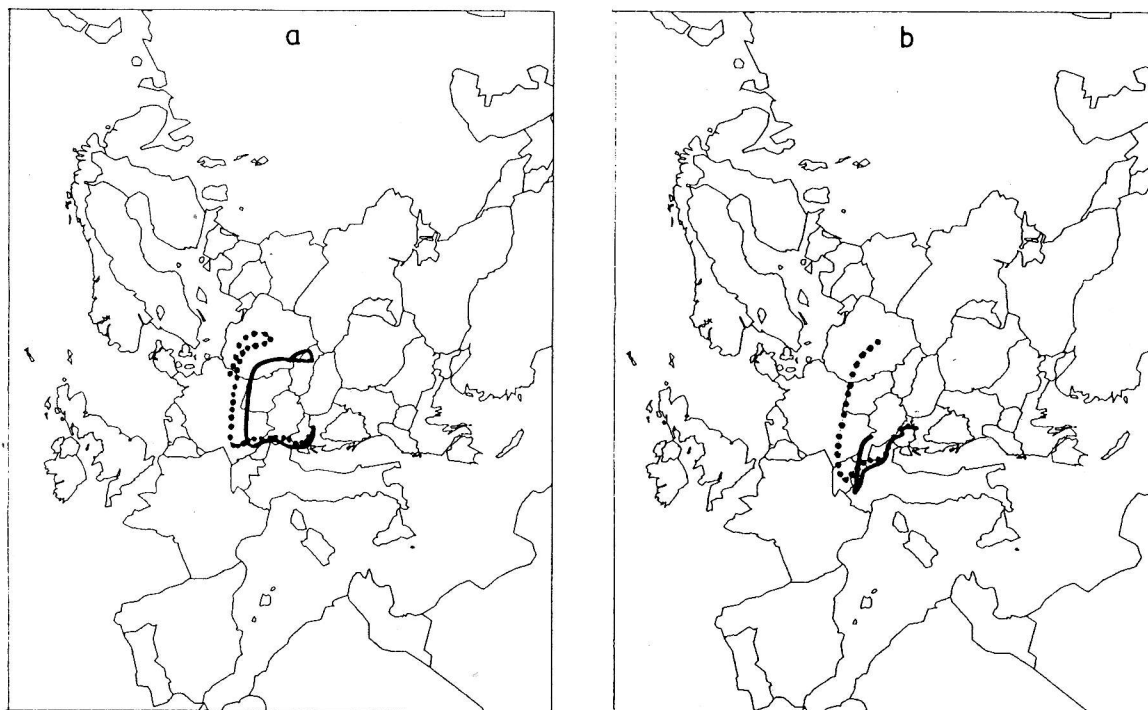
350 km oko točke interpolacije. Da bi se odredio vektor vjetra izvan termina radiosondaže, pretpostavljeno je da se komponente vjetra u točki interpolacije mijenjaju linearno unutar 12-satnog intervala ograničenog dvjema uzastopnim radiosondažama. Ako nije bilo podataka za neku točku interpolacije unutar promatranog radijusa, ili su nedostajali podaci za cijelu Europu u promatranom terminu, tada su, ako je to bilo moguće, nadopunjeni vrijednostima dobivenim linearnom interpolacijom iz vrijednosti u $t+24$ h i $t-24$ h. Ako niti podaci nisu postojali, proračun promatrane trajektorije se prekida.

Nakon što je iterativno određen, pomak česti zraka Δr transformiran je pomoću:

$$\Delta \lambda = 180 \Delta x / \Pi R_z \cos \Phi \quad (9)$$

$$\Delta \Phi = 180 \Delta y / \Pi R_z$$

gdje je $R_z = 6371$ km radijus Zemlje, Φ i λ su zemljopisna širina i dužina, a Δx i Δy su komponente vektora Δr . Na taj način svaka točka trajektorije prikazana je pomoću zemljopisne širine i dužine.

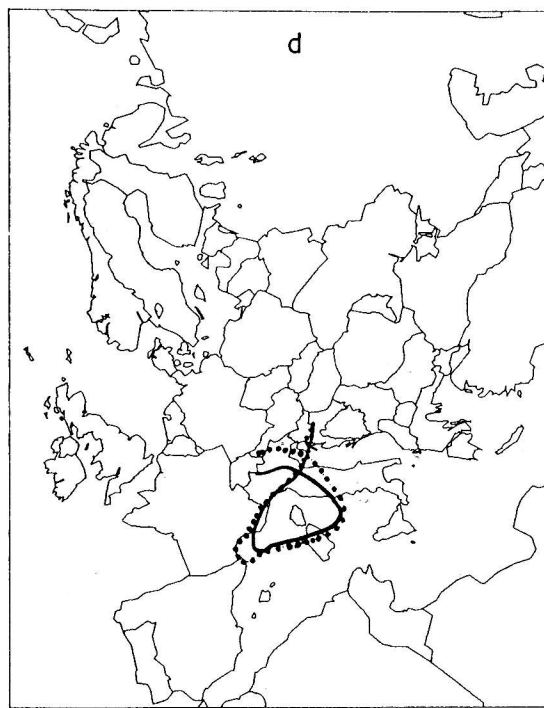
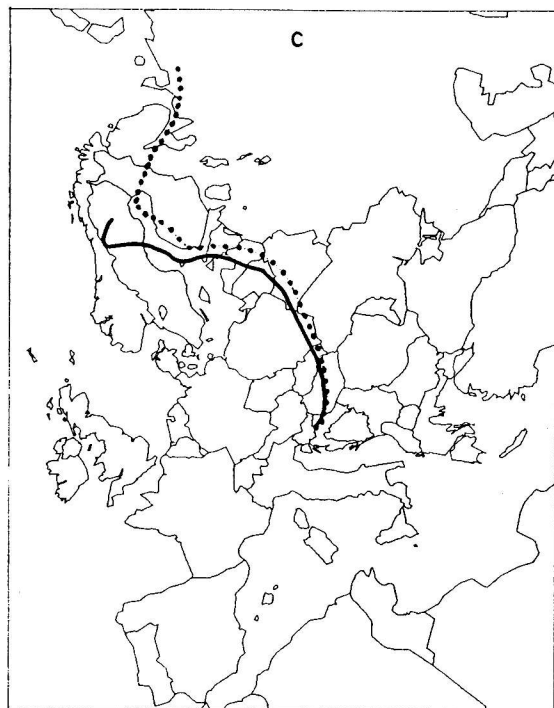


Slika 1. Petodnevne trajektorije unazad, koje dolaze u Puntijarku u 0000 UTC (puna crta - 925 hPa vjetar; točkasta crta - srednji vjetar u sloju od tla do 850 hPa):

a) 2. studeni 1991. b) 23. studeni 1991.

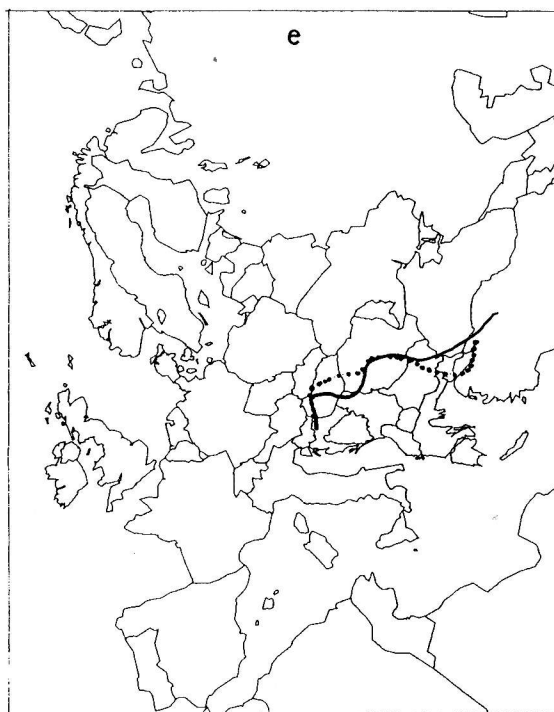
Figure 1. Five days backward trajectories arriving at Puntijarka at 0000 UTC (full line - 925 hPa wind; dot line - vertically averaged wind within the layer between the ground and 850 hPa)

a) 2 November 1991 b) 23 November 1991



Slika 1. Nastavak, c) 26.ožujak 1992. d) 10.travanj 1992.

Figure 1. Continued, c) 26 March 1992 d) 10 April 1992



Slika 1. Nastavak, e) 29.travanj 1992.

Figure 1. Continued, e) 29 April 1992

Prema opisanom algoritmu računaju se putanje česti zraka koje u zadane receptore dolaze svakih 12 sati (u 0000 i 1200 UTC), a prate se tijekom 120 sati unatrag. Izrađeni kompjuterski program je koncipiran tako da osim postojeće baze radiosondažnih podataka treba zadati koordinate receptora (zemljopisnu širinu i dužinu), razdoblje proračuna, te tip trajektorija (925 hPa ili srednji vjetar). Izbor i broj receptora je proizvoljan. Jedino treba voditi računa o tome da se povećavanjem broja receptora povećava trajanje proračuna. Treba naglasiti da se program može koristiti i za proračun trajektorija na bilo kojem drugom nivou, u drugom sloju ili nad drugim područjem, pod uvjetom da se u bazi ulaznih podataka nalaze odgovarajući podaci o vjetru.

REZULTATI I DISKUSIJA

Program je za sad upotrebljen za proračun trajektorija na 925 hPa plohi i trajektorija na osnovi srednjeg vjetra u sloju od tla do 850 hPa, koje u promatranom razdoblju dolaze u Puntijarku u 0000 UTC. Na Slici 1. su prikazana oba tipa trajektorija za pet proizvoljno odabranih termina iz promatranog perioda. Oba tipa su često sličnog oblika (osobito u vremenima bliskim vremenu dolaska u receptor). To je i logično budući da se 925hPa

ploha nerijetko nalazi negdje oko sredine sloja od tla do 850 hPa (tipična nadmorska visina 925 hPa plohe oko 700 m, a 850 hPa plohe oko 1500 m), pa je vektor vjetra na 925 hPa plohi često sličan vektoru srednjeg vjetra u sloju od tla do 850 hPa plohe. Naime, u vremenima bliskim vremenu dolaska u receptor su superponirane razlike između ta dva vjetra još male.

U većini slučajeva zbog nedostatka podataka nije bilo moguće pratiti trajektorije svih 120 sati unatrag, već se proračun prekidaio mnogo ranije. Nadalje, trajektorije su zbog istog razloga ponekad nepouzdanae. (Kad čest dođe nad područje u kojem su podaci rijetki, može se dogoditi da u proračun vjetra uđe podatak sa samo jedne i to udaljene stanice.) U probnim proračunima radijus utjecaja je povećan sa 350 km, koje predlažu Kahl i Samson, na 500 km. Time je "trajanje" trajektorija bitno povećano (broj petodnevnih je udvostručen), ali ostaje pitanje kako se to odražava na njihovu pouzdanost. Stoga bi u daljnjem radu možda bilo prihvatljivije za područja nad kojima nema ili ima vrlo malo podataka koristiti neke od postojećih aproksimacija, nego povećavati radijus utjecaja.

ZAKLJUČAK

Izrađeni kompjuterski program omogućava proračun trajektorija Petterssenovom metodom do 120 sati unatrag za onaj izobarni nivo ili vertikalni sloj za koji su podaci o vjetru pohranjeni u bazu ulaznih podataka. Broj i položaj receptora je proizvoljan. U praktičnoj primjeni problemi se javljaju onda kada čest zraka dođe nad područje u kojem su radiosondažni podaci rijetki (trajektorija može postati nepouzdana) ili ih uopće nema (proračun trajektorije se prekida). Stoga bi za potrebe modela daljinskog transporta sumpora program trebalo nadopuniti tako da nepostojeće podatke o vjetru nadomjesti nekom od zadovoljavajućih aproksimacija.

925 hPa trajektorije i trajektorije iz vjetra vertikalno osrednjenog u sloju od tla do 850 hPa koje su izračunate za Puntijarku za polugodišnje razdoblje, često su bile vrlo slične, posebice u vremenima bliskim vremenu dolaska u receptor, što se može objasniti položajem 925 hPa plohe u blizini sredine vertikalnog sloja ograničenog tlom i 850 hPa plohom.

LITERATURA

- ApSimon H.M., Goddard A.J.H. and Wrigley J. (1985) Long-range atmospheric dispersion of radioisotopes - I. The MESOS model. *Atmos. Environ.* **19**, 99-111.
- Atkins M.J. (1974) The objective analysis of relative humidity. *Tellus* **26**, 663-671.
- Chen W.D. and Smith R.B. (1987) Blocking and deflection of air flow by the Alps. *Mon. Wea. Rev.* **115**, 2578-2597.
- Cressman G.P. (1959) An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.* **87**, 367-374.
- Dahe J. (1991) A Lagrangian backward trajectory model and its application to the study of acid rain in the Emei mountainous district. *Atmos. Environ.* **25B**, 59-65.
- Eliassen A., Hov \emptyset ., Isaksen I.S.A., Saltbones J. and Stordal F. (1982) A Lagrangian long-range transport model with atmospheric boundary layer chemistry. *J. Appl. Meteorol.* **21**, 1645-1661.
- Ellenton G., Ley B. and Misra P.K. (1985) A trajectory puff model of sulfur transport for eastern North America. *Atmos. Environ.* **19**, 727-737.
- Ghim Y.S. and Seinfeld J.H. (1988) Trajectory models and the deformation of air parcels. *Atmos. Environ.* **22**, 25-29.
- Iversen T., Halvorsen N.E., Mylona S. and Sandnes H. (1991) Calculated budgets for airborne acidifying components in Europe. *EMEP MSC-W report 1/91*.
- Kahl J.D. and Samson P.J. (1986) Uncertainty in trajectory calculations due to low resolution meteorological data. *J. Climate Appl. Meteor.* **25**, 1816-1831.
- Klaić Z. (1990) A Lagrangian one-layer model of long-range transport of SO₂. *Atmos. Environ.* **24A**, 1861-1867.
- OECD, 1979: The OECD programme on long-range transport of air pollutants. Measurements and findings. *OECD*, Paris, **2** ed.
- Petterssen S. (1956) Weather analysis and forecasting. *McGraw-Hill*, 503 str.
- Rolph G.D. and Draxler R.R. (1990) Sensitivity of three-dimensional trajectories to the spatial and temporal densities of the wind field. *J. Appl. Meteor.* **29**, 1043-1054.
- Simpson D. (1992) Long-period modelling of photochemical oxidants in Europe. Model calculations for July 1985. *Atmos. Environ.* **26A**, 1609-1634.
- Sykes R.I. and Hatton L. (1976) Computation of horizontal trajectories based on the surface geostrophic wind. *Atmos. Environ.* **10**, 925-934.