

PRIMENA HIBRIDNIH RECEPTORSKIH MODELA ZA ISPITIVANJE TRANSPORTA PM_{10} ČESTICA NA PODRUČJE BEOGRADA

Z. Mijić*, M. Tasić, S. Rajšić, A. Stojić
Institut za fiziku, Univerzitet u Beogradu, Srbija

ISSN 2232-755X

UDC 539.12(497.11 Beograd)

DOI: 10.7251/GHTE1207041M

Naučni rad

Ispitivanje uticaja transporta atmosferskih aerosola na njihove koncentracije u urbanoj sredini su od ključnog značaja za razvoj i unapređenje efikasne kontrole kvaliteta vazduha. U periodu od 2003. do 2006. godine u Beogradu su vršena merenja dnevnih masenih koncentracija PM_{10} čestica i sadržaja metala (Pb, Cu, Zn, Al, Mn, Fe, Cr, Ni i V) metodom atomske apsorpcione spektroskopije. Analizirana je njihova međusobna povezanost, trend promena koncentracija, kao i zavisnost od meteoroloških parametara. U cilju određivanja mogućeg regionalnog transporta atmosferskih aerosola na područje Beograda i identifikacije potencijalnih oblasti u kojima se nalaze izvori emisije primenjena su dva hibridna receptorska modela, Funkcija potencijalnih doprinosa izvora emisije i Model trajektorija otežinjenih koncentracijama. Dobijeni rezultati ukazuju na postojanje dominantnog transporta čestica iz zapadnih i jugozapadnih oblasti.

Ključne reči: atmosferski aerosoli, receptorski modeli, PM_{10} , metali, transport

UVOD

Atmosferski aerosoli se u osnovi definišu kao sistemi čvrstih i/ili tečnih čestica suspendovanih u gasnoj sredini, tj. vazduhu, odnosno multifazni sistemi sačinjeni od gasova, tečnih kapi i čvrstih čestica koji učestvuju u različitim fizičko-hemijskim procesima u atmosferi (1). Veliki broj epidemioloških studija je ukazao na štetan uticaj suspendovanih PM (Particle Matter) čestica aerodinamičnog prečnika manjeg od $10 \mu m$ (PM_{10}) koje udisanjem dospevaju duboko u respiratorne organe. S obzirom na to da su u njima često apsorbirani elementi u tragovima, kao što su na primer teški metali i organska jedinjenja (kancerogeni ugljovodoni), ove čestice predstavljaju uzrok mnogih oboljenja (2). Atmosferski aerosoli imaju veoma značajan lokalni, regionalni i globalni uticaj kako na klimatske promene, tako i na zdravlje ljudi. Lokalni uticaj uključuje emisiju izduvni materija iz saobraćaja, kao i industrijskih procesa koji dovode do aerzagadenja i mogućeg nepovoljnog uticaja na životnu sredinu. Regionalni uticaj se ogleda u mogućnosti transporta aerosola iz područja gde je prisutna visoka emisija ka udaljenim, relativno nezagađenim oblastima. Globalni uticaj na celu planetu se ogleda u njihovoj ulozi u heterogenim hemijskim procesima koji se odigravaju u troposferi i stratosferi, kao i uticaju na klimu. Trenutno, najveće nesigurnosti u predviđanju promena globalne klime i kvantifikovanja promene u sastavu atmosfere uzrokovane uticajem čoveka su posledica uticaja aerosola na prostiranje zračenja (3). Bolje poznavanje formiranja, sastava i transformacija aerosola neophodno je za razumevanje navedenih uticaja (4). U ovom radu je, na osnovu višegodišnjih merenja, analiziran uticaj meteoroloških parametara na sadržaj teških metala u PM_{10} , a prikazani su i rezultati ispitivanja mogućeg transporta PM_{10} čestica na područje Beograda.

U slučaju nepostojanja ikakvog saznanja o mogućim izvorima emisije, razvijeni su hibridni modeli koji uključuju analizu trajektorija pristizanja vazduha na mesto receptora i na osnovu toga određuju najverovatniju oblast u kojoj se nalaze pojedine grupe izvora emisije. U cilju prostorne identifikacije izvora emisije na regionalnom nivou i njihovog mogućeg doprinosa koncentracijama PM_{10} u Beogradu, u ovom radu su korišćena dva hibridna modela: Funkcija potencijalnih doprinosa izvora emisije (PSCF - Potential Source Contribution Function) i Model trajektorija otežinjenih koncentracijama (CWT - Concentration Weighted Trajectory) (5). Oba modela podrazumevaju određivanje i analizu trajektorija kretanja vazdušnih masa unazad sa mesta receptora. Ovim modelima su identifikovane ćelije mreže koje predstavljaju potencijalnu oblast izvora na osnovu koje se procenjuje doprinos onih izvora čija emisija se transportuje na mesto receptora.

EKSPERIMENT I METODE RADA

Epizodna uzorkovanja suspendovanih PM_{10} čestica u vazduhu su vršena na dve reprezentativne lokacije u urbanom delu Beograda: terasa iznad ulaza u Veterinarski fakultet i krov zgrade Rektorata Univerziteta u Beogradu (6). Suspendovane čestice su sakupljane na teflonskim i kvarcnim filterima (ϕ 47 mm, veličina pora $2 \mu m$), uzorkivačem male zapremine sa protokom od $5 l min^{-1}$, (MiniVol Portable Air Sampler, Springfield, OR, USA). Dvadesetčetvoročasovne PM_{10} masene koncentracije su određivane gravimetrijskom metodom nakon 48 časova

* Korespondentni autor: Zoran Mijić, Institut za fiziku, Univerzitet u Beogradu, Srbija, e-mail: zoran.mijic@ipb.ac.rs

kondicioniranja u stabilnim uslovima ($T=20^{\circ}$, $RH=50\%$) čiste sobe klase 100. Kvalitet postupka određivanja mase je kontrolisan dodatnim merenjima mase tri kontrolna filtera (7,8). Ekstrakcija metala iz depozita na filteru je vršena sa 15 ml 0,1N HNO_3 u Petrijevoj šolji na ultrazvučnom kupatilu (9).

U ovako pripremljenom uzorku metodom atomske apsorpcione spektroskopije, uz korišćenje Zimanove korekcije, su određivane koncentracije sledećih elemenata: Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Fe, Mn, Al, Zn i V. Za potrebe analize, odgovarajući meteorološki podaci (temperatura, vlažnost, pritisak, brzina vetra, pravac vetra i količina padavina) su preuzeti sa meteorološke stanice Republičkog hidrometeorološkog zavoda u Beogradu.

Za određivanje PSCF neophodno je izračunavanje trajektorija unazad delića vazduha koje se završavaju na mestu receptora, a koje su predstavljene segmentima svojih krajnjih tačaka. Svaka krajnja tačka ima koordinate položaja (geografska dužina i širina) određujući lokaciju delića vazduha u datom trenutku. Za računanje PSCF geografska oblast od interesa preko koje prelaze trajektorije se pokriva mrežom koju čine jednake ćelije čija veličina zavisi od konkretnog problema odnosno upotrebene skale. Time izračunate vrednosti PSCF zavise od lokacije ćelije odnosno njenih koordinata (i,j).

Određivanje PSCF se zasniva na nekoliko pretpostavki. Ako se krajnje tačke trajektorije vazdušnih masa koje pristižu na mesto receptora nalaze u ćeliji čija je adresa (i,j), pretpostavlja se da će se polutanti emitovani u oblasti koju pokriva ta ćelija mreže preneti na mesto receptora. Cilj je da se nađu najverovatnija polja koja će ukazivati na mogući položaj izvora zagađujuće materije koja se registruje na mestu receptora i ima povećanu vrednost koncentracije.

Ako je n_{ij} ukupan broj krajnjih tačaka trajektorija koje padaju u ćeliju (i,j), onda je kumulativna verovatnoća $P[A_{ij}]$ koja određuje potencijalni transport materijala iz ćelije (i,j) na mesto receptora data sa $P[A_{ij}] = n_{ij}/N$, gde je N ukupan broj krajnjih tačaka u svim ćelijama mreže korišćene za željeni region. Od n_{ij} tačaka biće m_{ij} tačaka za koje izmerene vrednosti masenih koncentracija aerosola na mestu receptora premašuju neku zadatu kritičnu vrednost. Uobičajeno je da se za kritičnu vrednost odabere srednja vrednost koncentracija izmerenih u posmatranom periodu što je urađeno i u ovom radu. Verovatnoća da je materijal emitovan iz ćelije (i,j) povezan sa izmerenim visokim koncentracijama na mestu receptora B_{ij} je $P[B_{ij}] = m_{ij}/N$. Uslovna verovatnoća, odnosno Funkcija potencijalnih doprinosa izvora se onda definiše kao

$$PSCF_{ij} = P[B_{ij} | A_{ij}] = \frac{m_{ij}}{n_{ij}} \quad (1)$$

Na osnovu prethodnog, funkcija potencijalnih doprinosa izvora se može interpretirati kao uslovna verovatnoća koja opisuje prostornu raspodelu najverovatnijih geografskih položaja izvora na osnovu analize trajektorija unazad sa mesta receptora. Naravno, ovakva analiza ne procenjuje doprinose svih izvora, nego samo onih čija se emisija transportuje do mesta receptora. Ćelije (i,j) koje su povezane sa visokim vrednostima predstavljaju potencijalnu oblast izvora emisije. Za velike vrednosti n_{ij} izračunate vrednosti su statistički stabilnije, a da bi se smanjio uticaj manjih vrednosti n_{ij} , težinska funkcija $W(n_{ij})$ se koristi za smanjenje efekta malih vrednosti n_{ij} . U ovom radu je korišćena težinska funkcija sa vrednostima

$$W(n_{ij}) = \begin{cases} 1 & n_{ij} \geq 120 \\ 0,85 & 80 \leq n_{ij} < 120 \\ 0,5 & 40 \leq n_{ij} < 80 \\ 0,25 & n_{ij} < 40 \end{cases} \quad (1)$$

U PSCF modelu je moguće da neke ćelije mreže imaju istu vrednost PSCF bez obzira na to što se trajektorije koje prolaze kroz date ćelije povezuju sa znatno većim masenim koncentracijama izmerenim na mestu receptora ili samo neznatno većim od određene kritične vrednosti. Kao posledica toga, dominantan izvor emisije se ne može razlikovati od izvora umerenog intenziteta. U cilju preciznijeg razlikovanja jačine izvora u pojedinim oblastima (ćelijama) razvijen je CWT model (10). U ovom modelu se svakoj ćeliji mreže pridružuje otežinjena koncentracija dobijena osrednjavanjem koncentracija izmerenih na mestu receptora, a koje odgovaraju trajektorijama koje prolaze kroz datu ćeliju prema

$$C_{ij} = \frac{\sum_{l=1}^M C_l \tau_{ijl}}{\sum_{l=1}^M \tau_{ijl}} \quad (2)$$

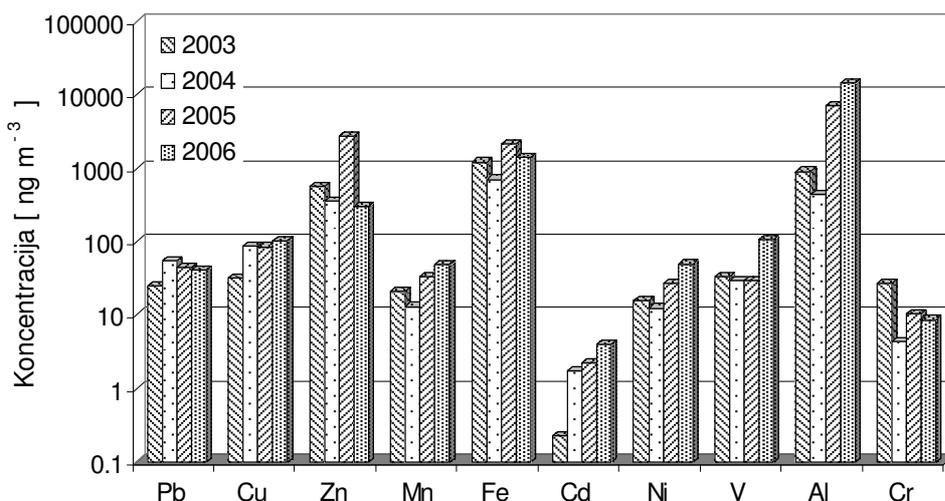
gde su M - ukupan broj trajektorija, C_{ij} - srednja otežinjena koncentracija u ćeliji (i,j), C_l - izmerena koncentracija na mestu receptora koja odgovara trajektoriji l , τ_{ijl} - broj graničnih tačaka trajektorije, povezanih sa koncentracijom C_l a koje se nalaze unutar ćelije mreže (i,j). Ćelije sa pridruženim otežinjenim koncentracijama omogućavaju određivanje relativne značajnosti pojedinih oblasti sa izvorima.

Za računanje trajektorija unazad je korišćen HYSPLIT (HYbrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory), model koji je razvijen u NOAA (National Oceanic and Atmospheric Agency) laboratoriji (Air Resource Laboratory) (11). Metod računanja trajektorija u modelu je hibridni, tj. advekcija i difuzija se računaju u Lagranževom sistemu prateći transport delića vazduha, dok se koncentracija zagađujućih materija računa u fiksiranoj mreži (Ojlerov sistem). Najnovija verzija ovog modela pored računanja prostih trajektorija omogućava i simulacije kompleksne disperzije i depozicije. U novu verziju modela je uključena advekcija, zavisnost od stabilnosti, disperzija, a postoji i mogućnost uključivanja potprograma za hemijske transformacije. Model je izvršavan interaktivno uz pomoć READY (Real-time Environmental Applications and Display sYstem) sistema na serveru NOAA (12). Trajektorije unazad su računane korišćenjem GDAS (Global Data Assimilation Set) podataka sa vremenskim korakom od jednog časa.

U cilju identifikacije prostorne raspodele mogućih izvora emisije, transporta i doprinosa na regionalnom nivou, analiziran je period od tri godine (2004.-2006.) i izračunate su odgovarajuće vrednosti za PSCF i CWT. Pomoću HYSPLIT modela su računane trajektorije unazad za 48 h za svaki dan u navedenom periodu. Početna lokacija je Beograd sa geografskim koordinatama ($44,804^{\circ}$; $20,478^{\circ}$), a početni trenutak je bio 12:00 h UTC svakog dana. Za svaki dan je računato po šest trajektorija unazad za karakteristične visine od 200 m, 350 m, 500 m, 750 m, 1000 m i 1200 m kao startne visine na mestu receptora. Za horizontalno razlaganje mreže uzeto je $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$. Od Gradskog zavoda za javno zdravlje je preuzeta i odgovarajuća baza podataka za taj period koja sadrži izmerene vrednosti 24-h masenih koncentracija PM_{10} .

REZULTATI I DISKUSIJA

Na slici 1 su prikazane srednje koncentracije metala u PM_{10} za svaku godinu u kojoj je vršeno uzorkovanje. Najzastupljeniji metali u PM_{10} su Al, Fe i Zn. Može se primetiti konstantan rast Cd i Cu koncentracija. Trend povećanja koncentracija imaju i Ni, V i Al, dok jedino Cr pokazuje trend smanjenja koncentracija. Uočena je sezonska zavisnost za Ni i V sa povećanim koncentracijama tokom zimskog perioda što se slaže sa prethodnim rezultatima dobijem za ukupnu atmosfersku depoziciju (13).



Slika 1. Srednje godišnje koncentracije elemenata ($ng\ m^{-3}$) u PM_{10}
Figure 1. Annual average concentration of elements ($ng\ m^{-3}$) in PM_{10}

Rezultati analize Pirsonovih koeficijenata linearne korelacije koncentracija metala u PM_{10} i odgovarajućih meteoroloških parametara su prikazani u tabeli 1. Iz tabele se može zaključiti da su najveći koeficijenti korelacije između metala V i Ni, kao elemenata koji su povezani sa izvorima sagorevanja nafte i derivata, zatim između Al i Mn, elemenata koji uglavnom potiču iz zemljišta. Takođe, značajnija korelacija je nađena između Zn i Mn, Fe i Mn čiji je zajednički izvor emisije saobraćaj i industrija čelika. Bakar je najznačajnije korelisan sa Cd što se povezuje sa emisijom iz procesa sagorevanja ili neke lokalne industrije. Masena koncentracija PM_{10} je povezana sa V koji je produkt sagorevanja fosilnih goriva. U zimskom periodu značajnije vrednosti korelacionih koeficijenata nađene su između V i Ni, Pb i Cu, kao i Cd i Cr. Ovo pokazuje da je bakar metal koji je najviše povezan sa izvorom iz saobraćaja u urbanim oblastima. U toku letnjeg perioda značajnije korelacije su nađene između Cu i Ni, Pb i Cr, Zn i Fe, kao i između Mn i Al. Takođe, izvesna korelacija postoji i između Pb i Cu, Cd, Cr i Mn što ukazuje na značajan doprinos antropogenih izvora emisije na nivo koncentracije Pb u PM_{10} .

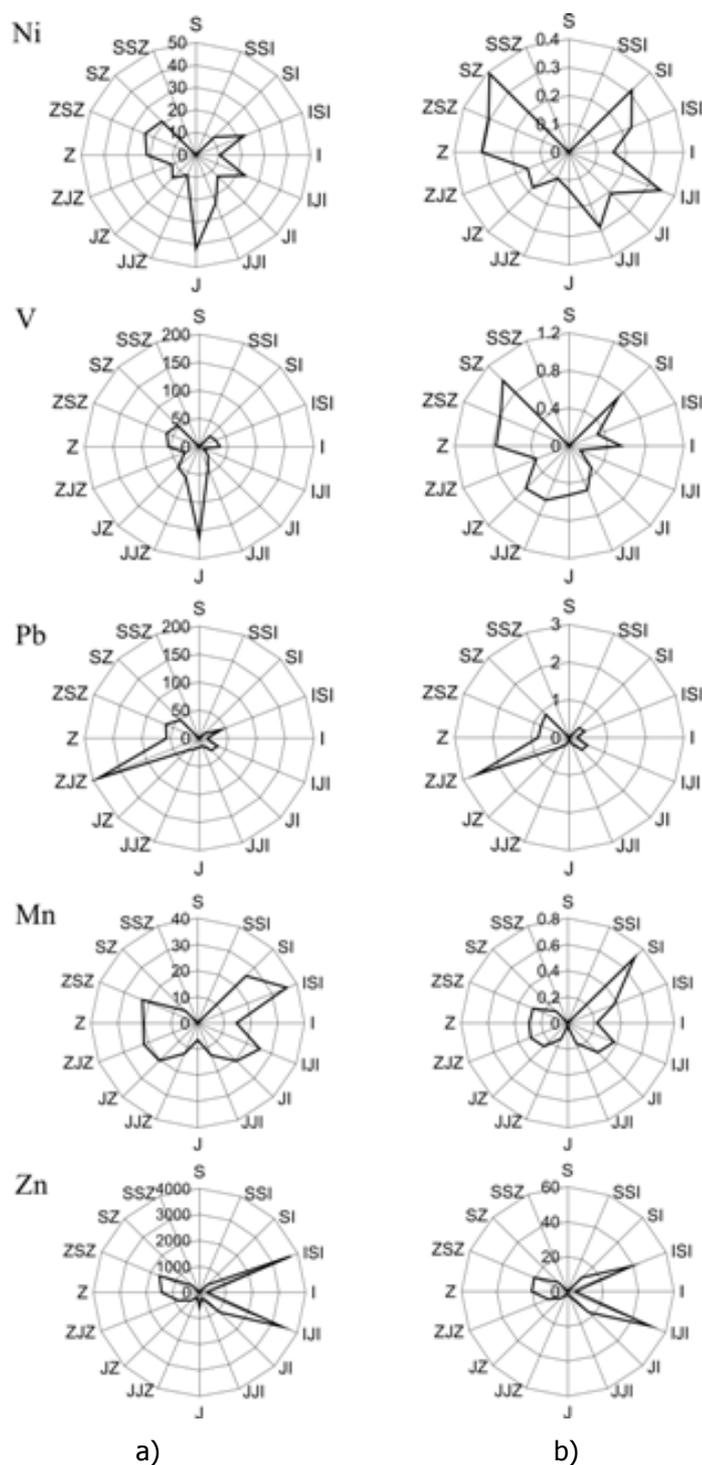
Tabela 1. Matrica korelacionih koeficijenata koncentracija metala u PM₁₀ česticama i meteoroloških parametara
 Table 1. Pearson correlation coefficients among metals in PM₁₀ and meteorological parameters in Belgrade area

	PM ₁₀	P	T _{max}	T _{sr}	Rh	V _{sr}	Pb	Cu	Zn	Mn	Fe	Cd	Ni	V	Al	Cr
PM ₁₀	1	0,27*	-0,28*	-0,30*	0,01	-0,26*	0,15*	0,19*	0,11	0,35*	0,25*	-0,02	0,36*	0,44*	0,15*	-0,11
P		1	-0,30*	-0,31*	0,00	-0,34*	-0,02	-0,03	0,05	0,12	0,16*	0,01	0,05	0,09	0,00	-0,20*
T _{max}			1	0,99*	-0,50*	-0,12	0,05	0,09	-0,25*	-0,02	0,01	0,01	-0,45*	-0,54*	-0,21*	0,19*
T _s				1	-0,45*	-0,14	0,03	0,10	-0,27*	-0,05	0,00	0,00	-0,46*	-0,55*	-0,23*	0,19*
Rh					1	-0,17*	-0,04	0,08	-0,10	-0,21*	-0,21*	0,10	0,25*	0,34*	-0,03	-0,07
V _s						1	-0,07	-0,14	0,18*	-0,12	-0,09	-0,05	-0,01	-0,11	0,02	0,02
Pb							1	0,28*	-0,02	0,16*	-0,01	0,25*	0,04	-0,03	0,00	0,25*
Cu								1	-0,13	0,12	0,02	0,45*	0,29*	-0,04	-0,07	-0,09
Zn									1	0,56*	0,41*	-0,09	0,31*	0,11	0,54*	0,16*
Mn										1	0,55*	-0,05	0,37*	0,15*	0,66*	0,35*
Fe											1	-0,12	0,24*	0,05	0,36*	0,10
Cd												1	0,02	-0,14*	-0,10	-0,08
Ni													1	0,69*	0,35*	0,01
V														1	0,22*	-0,12
Al															1	0,30*
Cr																1

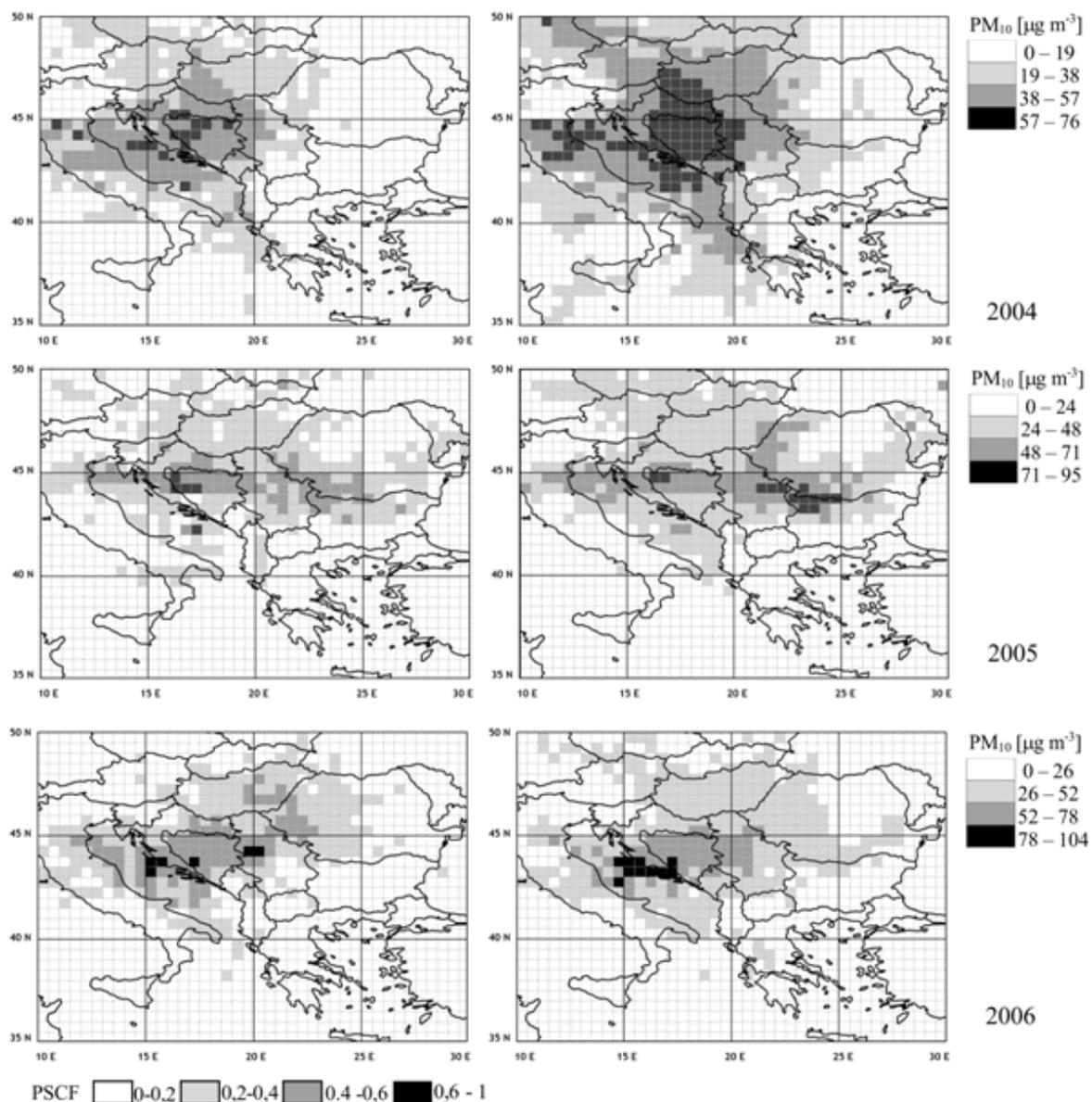
*nivo poverenja $p < 0,05$, T_{max} - maksimalna dnevna temperatura, T_{sr} - srednja dnevna temperatura, Rh - relativna vlažnost, V_{sr} - srednja dnevna brzina vetra

* Confidence Level $p < 0.05$, T_{max} - Maximum Daily Temperature, T_{sr} - Average Mean Daily Temperature, Rh - Relative Humidity, V_{sr} - Mean Daily Wind Speed

Takođe, za svaki element su računati i srednje vrednosti koncentracija koje su povezane sa odgovarajućim pravcem vetra. Pravci vetra su razvrstani u 16 jednakih sektora kojima su pridružene odgovarajuće srednje vrednosti koncentracija elemenata i rezultati za neke od elemenata su prikazani na slici 2. Na slici je prikazan i kvantitativni udeo elemenata u ukupnoj masi PM₁₀ zavisno od pravca vetra. Maksimalne vrednosti za PM₁₀ izmerene su iz pravca juga, kao i za V i Ni, dok je njihov udeo u PM₁₀ najznačajniji iz pravca juga i zapada. U tom pravcu u široj oblasti Beograda, Rakovici, nalazi se nekoliko toplana i industrijski kompleksi. Takođe, termoelektrana u Velikim Crljenima, Kolubara, se nalazi u istom pravcu udaljena oko 40 km. Analiza koncentracija Zn u PM₁₀ je pokazala zavisnost masene koncentracije od brzine vetra. Veće koncentracije su izmerene u periodu stabilnih meteoroloških uslova kada je srednja dnevna brzina vetra bila manja od 2 m s⁻¹. Za slučajeve kada je brzina vetra bila iznad 2 m s⁻¹, veće koncentracije su izmerene kada je vetar duvao iz pravca severoistoka (Pančevo) i istok-jugoistok (termoelektrane Kostolac i Smederevo – US Steel). Za Pb u PM₁₀ veće koncentracije su izmerene u danima kada je dominirao jugozapadni pravac vetra, ukazujući na doprinos iz kompleksa termoelektrana u Obrenovcu. I u ovom slučaju su posebno razmatrani uzorci za dane sa različitim brzinama vetra, i jasno se ističu veće vrednosti koncentracija Pb u danima sa brzinama vetra ispod 2 m s⁻¹, što navodi na zaključak da je saobraćaj najznačajniji izvor Pb u PM₁₀ u centralnoj oblasti Beograda. Takođe, maksimalne koncentracije za Cu su izmerene za dane sa manjim brzinama vetra ukazujući na dominantni uticaj lokalnih izvora.



Slika 2. Ruža a) koncentracija ($ng\ m^{-3}$) i b) udela u PM_{10} česticama ($ng\ g^{-1}$)
 Figure 2. Rose of element a) concentration ($ng\ m^{-3}$) and b) contribution to PM_{10} ($ng\ g^{-1}$)



Slika 3. Rezultati PSCF (levo) i CWT (desno) modela primenjenih na PM₁₀ za pojedine godine
 Figure 3. Map of PSCF (left) and CWT (right) for PM₁₀ for particular years

U opštem slučaju, pravac mogućeg regionalnog transporta PM₁₀ čestica ne mora da se poklapa sa pravcem vetra izmerenim na mestu receptora u prizemnom sloju troposfere. Imajući tu činjenicu u vidu, za analizu transportovanih čestica u oblasti Beograda primenjeni su hibridni modeli, a rezultati dobijeni primenom PSCF i CWT modela koji uzimaju u obzir izmerene vrednosti PM₁₀ u Beogradu za period od 2004. do 2006. godine su prikazani na slici 3. Analizirajući transport PM₁₀ čestica za svaku godinu može se zaključiti da na godišnjem nivou nema značajnih razlika u odnosu na dominantne pravce transporta. U odnosu na geografski položaj Beograda, sa slika se može uočiti da se mogući značajniji izvori emisije nalaze u oblasti zapadno i jugozapadno od Beograda i da je dominantan transport PM₁₀ iz tog pravca. Rezultati PSCF modela jasno ukazuju na veću verovatnoću da je u slučajevima kada je na mestu receptora izmerena povećana koncentracija PM₁₀ čestica, došlo do njihovog transporta iz pomenutih oblasti. Sličan rezultat daje i CWT model izdvajajući izvore intenzivnije emisije u zapadnoj oblasti, osim tokom 2005. godine kada ukazuje i na postojanje značajnih izvora emisije na istoku u oblastima Rumunije i Bugarske. Iako je prema PSCF modelu manja verovatnoća da se iz ovih oblasti transportuje čestični materijal, CWT model ukazuje da postoje izvori emisije koji doprinose da koncentracija PM₁₀ čestica u ovim oblastima bude iznad 70 $\mu\text{g m}^{-3}$ i da mogu u značajnoj meri da utiču na izmerene koncentracije na mestu receptora, odnosno u Beogradu.

ZAKLJUČAK

U cilju identifikacije mogućih oblasti izvora emisije PM_{10} čestica i njihovog transporta na područje Beograda, primenjena su dva hibridna modela, Funkcija potencijalnih doprinosa izvora i Model trajektorija otežinjenih koncentracijama. Rezultati modela primenjenih na masene koncentracije PM_{10} merene u Beogradu u periodu od 2004. do 2006. godine ukazuju na dominantan transport iz pravca zapada i jugozapada. Pomoću ovih modela identifikovani su i geografski položaji oblasti sa najznačajnijim izvorima emisije. Međusobna saglasnost rezultata dobijenih pomoću modela ukazuje da ovi izvori emisije mogu značajno da doprinesu povećanim vrednostima izmerenih masenih koncentracija PM_{10} u Beogradu. Analiziran je sadržaj metala u PM_{10} česticama (Pb, Cu, Zn, Al, Mn, Fe, Cr, Ni i V) i prikazana zavisnost koncentracije metala od pravca vetra. Rezultati prikazani u radu ukazuju na neophodnost razmatranja regionalnog transporta prilikom kontrole nivoa masenih koncentracija PM_{10} u Beogradu.

ZAHVALNICA

Rad je urađen u okviru projekta III43007 koji je finansiran sredstvima Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije. Autori se zahvaljuju NOAA Air Resources Laboratory (ARL) za korišćenje HYSPLIT modela i Gradskom zavodu za javno zdravlje Beograd.

LITERATURA

1. Seinfeld, J., and S.N. Pandis: From Air Pollution to Climate Change. Atmospheric Chemistry and Physics, Wiley, New York (1998).
2. Dockery, W.D., and A.C. Pope III. Critical Review: Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. Journal of the Air & Waste Management Association, **56** (6) (2006) 709-742.
3. IPCC. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC (2007).
4. Mijić, Z., M. Tasić, S. Rajšić, V. Novaković: The statistical characters of PM_{10} in Belgrade area. Atmospheric Research, **92** (4) (2009) 420-426.
5. Mijić, Z., S. Rajšić, A. Žekić, M. Perišić, A. Stojić, M. Tasić: Characterization and Application of Receptor Models to the Atmospheric Aerosols Research, in Air quality. Eds. Kumar, A. Sciyo Publisher, Croatia (2010) pp. 143-167.
6. Rajšić, S.F., M.D. Tasić, V.T. Novaković, M. N. Tomašević: First Assessment of the PM_{10} and $PM_{2.5}$ Particulate Level in the Ambient Air of Belgrade City. Environmental Science and Pollution Research, **11** (3) (2004) 158-164.
7. Tasić, M., B. Djurić-Stanojević, S. Rajšić, Z. Mijić, V. Novaković: Physico-Chemical Characterization of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in the Belgrade Urban Area. Acta Chimica Slovenica, **53** (3) (2006) 401-405.
8. Rajšić, S., Z. Mijić, M. Tasić, M. Radenković, J. Joksić: Evaluation of the Levels and Sources of Trace Elements in Urban Particulate Matter. Environmental Chemistry Letters, **6** (2) (2008) 95-100.
9. Kyotani, T., and M. Iwatsuki: Characterization of soluble and insoluble components in $PM_{2.5}$ and PM_{10} fractions of airborne particulate matter in Kofu city, Japan. Atmospheric Environment, **36** (4) (2002) 639-649.
10. Hsu, Y-K., M.T. Holsen, P.K. Hopke: Comparison of hybrid receptor models to locate PCB sources in Chicago. Atmospheric Environment, **37** (4) (2003) 545-562.
11. Draxler, R.R., and G.D. Rolph: HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring. Dostupno na: <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php> (06. 06. 2010.).
12. Rolph, G.D.: Real-time Environmental Applications and Display sYstem (READY), NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring. Dostupno na: <http://ready.arl.noaa.gov>. (06. 06. 2010.).
13. Mijić, Z., A. Stojić, M. Perišić, S. Rajšić, M. Tasić, M. Radenković, J. Joksić: Seasonal variability and source apportionment of metals in the atmospheric deposition in Belgrade. Atmospheric Environment, **44** (30) (2010) 3630-3637.

THE USE OF HYBRID RECEPTOR MODELING IN INVESTIGATING TRANSPORT PATHWAY OF PM₁₀ IN BELGRADE AREA

Z. Mijić, M. Tasić, S. Rajšić, A. Stojić
Institute of Physics, University of Belgrade, Serbia

Atmospheric aerosols are some of the key components of the atmosphere. They influence the energy balance of the Earth's surface, visibility, climate, human health and environment as a whole. The results of the long-term studies confirm that the adverse health effects are mainly due to particulate matter, especially small particles - less than 10 microns in diameter, PM₁₀. The investigation of the impact of regional transported atmospheric aerosols on their level in urban Belgrade atmosphere is essential for developing an effective air quality control strategy. The daily PM₁₀ samples were collected from 2003 to 2006 in very urban area of Belgrade and concentrations of Al, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd and Pb were analyzed by atomic absorption spectrometry. The influence of meteorological conditions on observed concentration levels of metals was studied, too. One of the main difficulties in air pollution management is to determine the quantitative relationship between ambient air quality and pollutant sources. In the field of atmospheric sciences receptor models aim to re-construct the impacts of emissions from different sources of atmospheric pollutants based on ambient data measured at the monitoring sites. For pollutant sources that are unknown, hybrid models that incorporate wind trajectories can be used to resolve source locations. In this study, air masses back trajectories were computed by the HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory) model through interactive READY system. Daily, 48-h back trajectories, starting from the center of Belgrade at 12:00 UTC each day, were evaluated for six different heights above the starting point at ground level (350, 500, 750, 1000, 2000 and 3000 m). Two hybrid receptor models, Potential Source Contribution Function (PSCF) and Concentration Weighted Trajectory (CWT), were used to identify spatial PM₁₀ source emission distribution and contribution of regional-scale transported aerosols. The PSCF values can be interpreted as a conditional probability describing the spatial distribution of probable geographical source locations by analysis of trajectories arriving at the sampling site. Since the PSCF method is known to have difficulties in distinguishing strong from moderate sources, the CWT model that determines the relative significance of potential sources has been additionally performed. The results suggest that the regional transport of PM₁₀ to Belgrade from west and southwest regions was evident.

Keywords: atmospheric aerosols, receptor models, PM₁₀, metals, transport pathway

Rad primljen: 18. 01. 2012.

Rad prihvaćen: 16. 05. 2012.