

VERTIKALNA DISTRIBUCIJA ČVRSTIH POLUTANATA U SARAJEVU

Muriz Spahić

Univerzitet u Sarajevu, Prirodno-matematički fakultet, Odsjek za geografiju,
Zmaja od Bosne 33-35, Sarajevo, Bosna i Hercegovina
murizspahic@gmail.com

Semir Ahmetbegović

Univerzitet u Tuzli, Prirodno-matematički fakultet, Odsjek za geografiju
Univerzitetska 4, Tuzla, Bosna i Hercegovina
semir.ahmetbegovic@untz.ba

Koncentracija polutanata u zraku Sarajevske kotline određena je, osim polucije iz emisionih zona, još i meteorološkim stanjima atmosfere posebno tokom hladnijeg perioda godine. Sarajevska kotlina, kao i sve druge morfološke unutar gorske depresije oblika zavala su slabije provjetrene u odnosu na otvorene morfoforme, posebno visoravni. Pored toga, kotline u hladnijem periodu godine odlikuju termičke inverzije, od kojih su najznačajnije one koje nastaju spuštanjem hladnih zračnih masa niz gorske padine u dno Sarajevskog polja. One se kombinuju sa radijacijskim inverzijama, praćene istoimenim maglama i mogu trajati po nekoliko dana i sedmica u Sarajevskom polju.

Za vrijeme temperaturnih inverzija zrak se bogati polutantima čija koncentracija često prevazilazi dozvoljene granice. U njima se nalaze i čvrsti polutanti koji padaju iz zraka na površinu, koja tokom hladnijeg perioda godine može biti pokrivena snijegom koji polutanti prljaju. Snijeg polutante zadržava in situ, na mjestu nagomilavanja i bez otpuhivanja. To je dovoljan razlog da se njihova količina može odrediti skidanjem povlatnog sloja snijega sa jedinične površine, potom ga u vodenom stanju profiltrirati i talog izmjeriti.

Ključne riječi: *polutanti, morfološke depresije, temperaturne inverzije, radijacione inverzije, inverzije spuštanja zračnih masa, snijeg, povlatni sloj snijega, talog.*

VERTICAL DISTRIBUTION OF SOLID POLLUTANTS IN SARAJEVO

Muriz Spahic

University of Sarajevo, Faculty of Mathematics and Science, Department for Geography
Zmaja od Bosne 33-35, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
murizspahic@gmail.com

Semir Ahmetbegović

University of Tuzla, Faculty of Sciences and Mathematics, Department of Geography
Univerzitetska 4, Tuzla, Bosnia and Herzegovina
semir.ahmetbegovic@untz.ba

The concentration of air pollutants in Sarajevo basin is determined by the pollution from emission zones, and also by the meteorological conditions of the atmosphere, especially during the colder period of the year. Sarajevo basin, as well as all the other morphological depression forms that are basins, are poorly aerated when compared to open morph forms, especially plateaus. In addition, the basins are characterized by thermal

inversions during the colder period of the year, of which the most important ones are those that occur from the descending of cold air masses down the mountain slopes into the bottom of the Sarajevo basin. They are combined with radiation inversions, accompanied by the fogs of the same name and can last for several days and weeks in the Sarajevo basin.

During temperature inversions the air is getting richer with pollutants whose concentration often exceeds the allowable limits. These pollutants contain solid pollutants that fall from the air on the surface, which can be covered by the snow that pollutants dirty during the colder period of the year. Snow retains pollutants in situ, at the site of accumulation and without blowing it away. This is reason enough to determine their amount by removing the roof seam layer of snow from a surface unit, filter it in its liquidity and then measure the precipitate.

Keywords: *pollutants, morphological depression, temperature inversions, radiation inversions, inversion of descending air masses, snow, roof seam layer of snow, precipitate.*

UVOD

INTRODUCTION

Određivanje mase čvrstih polutanata, koji se u zrak emituju iz emisionih postrojenja iznad urbanih centara i industrijskih regija određuje se ekvivalentom nus produkata prema ukupnoj količini potrošenih energenata. Potrebno je naglasiti da sva količina čvrstih čestica kao nus produkti potrošenih energenata ne ostaju u sloju troposfere iznad urbanizovanih centara. Njihov jedan dio zračnim masama se disperguje daleko od mjesta emisije iako se ne uzimaju u obračun procjene.

Disperzija polutanata pospješuje se advektivnom labilnošću niskih slojeva troposfere uzrokovana nejednakim toplotnim kapacitetom podloge. Ova pojava je izraženija tokom toplijeg perioda godine kada se, uglavnom, ne osjeća štetnost sadržanih polutanta u urbanom zraku. Ista pojava se dešava i tokom hladnijeg perioda godine za vrijeme labilne ili indiferentne atmosfere što je posljedica negativnog vertikalnog termičkog gradijenta za vlažni zrak kada se on intenzivno miješa. U takvim okolnostima polutanti se disperguju i daleko odnose od emisionih zona zbog čega se njihove koncentracije smanjuju i nisu opasne po život. Za vrijeme stabilne atmosfere, kada je vertikalni termički gradijent za suhi zrak pozitivan, onda temperature zraka rastu sa porastom nadmorske visine i ne dozvoljavaju advektivno miješanje zraka pa time i disperziju polutanata daleko od emisionih centara. To je najteže stanje kada učešće polutanata u zraku može prevazilaziti po nekoliko puta koncentraciju dozvoljenu za život.

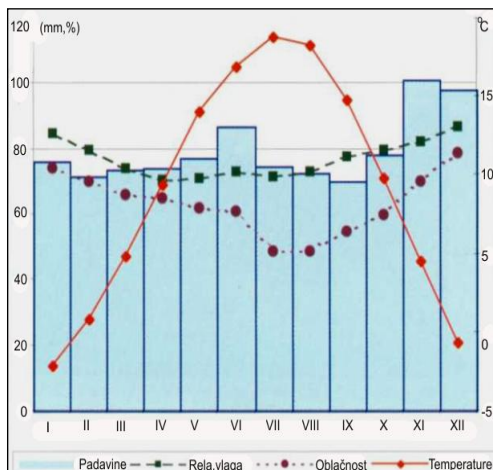
Da bi se utvrdila ukupna količina, u ovom slučaju, čvrstih polutanata korišten je metod terenskog uzrokovanja sniježnih ploha definisanih površina po vertikalnom profilu Sarajevske kotline; od njenog dna Baščašija (530 m), do Vidikovca (1164 m) sjevernim ekspozicijama i kontrolna padina južnih ekspozicija do Crepoljskog (1524 m). Uzorkovanje čvrstih polutanata sa sniježnih ploha vršeno je po nadmorskim visinama ekvidistancija po 100 m. Ova etapa istraživanja obavljena je na završetku anticiklonalnog stabilnog vremena u kojem su se javile temperaturne inverzije, sa ciklonalnim vremenskim stanjem nestabilne atmosfere u kojoj su nestale temperaturne inverzije. Sniježni uzorci su skupljeni u flakone, a potom laboratorijski filtrirani i analitičkom vagom mjerena njihova masa.

KLIMATSKI POLOŽAJ SARAJEVA THE CLIMATIC POSITION OF SARAJEVO

Klimatski položaj Sarajeva određen je klimatskim faktorima koji definišu klimatske elemente i klimatske pojave. Sarajevo je urbogenetski vezano za središnji dio Sarajevske kotline koja, u regionalno-geografskom pogledu, pripada središnjoj Bosni i Hercegovini i subregionalnoj cjelini Sarajevsko-zeničke zavale. Sarajevska urbana cjelina zahvata jugoistočni dio ove prostrane i ujedno najveće kotline unutar bosanohercegovačkih Dinarada, kao i njen obodni dio, koji se završava na padinama Trebevića i Crepoljskog, čije nadmorske visine premašuju 1000 m. Na krajnjoj istočnoj strani gdje završava Miljacka klisurastu dolinu u Sarajevskom polju formirano je najstarije urbano jezgro Sarajeva. Sarajevo je istovremeno i glavni grad istoimenog Kantona koji, osim četiri gradske općine: Stari Grad, Centar, Novo Sarajevo i Novi Grad, čine još Vogošća i Ilidža. Sve ove administrativne jedinice su saobraćajno dobro povezane sa gradskim urbanim područjem, te se ne uočava evidentna razlika ukupnog urbanog sistema.

Sarajevo je nodalno jezgro, koje ima funkcionalnu centrifugalnu konurbacijsku kompetenciju u okviru istoimenog Kantona, kome pored navedenih općinskih administrativnih jedinica, još pripadaju: Hadžići na jugozapadu, Ilijaš na sjeveroistoku i Trnovo, na jugoistoku.

Sarajevo sa prosječnom godišnjom temperaturom 9,5°C i prosječnom količinom padavina od 932 mm, uglavnom, pripada dolinsko-kotlinskom tipu termičkog režima kontinentalne varijante, a prema indeksima Kepenove klasifikacije pripada Cfbwx", koja Sarajevo uvrštava u umjereno topli i vlažni klimat sa toplim ljetom i bez sušnog razdoblja (Spahić, 2002). Klimatsku razglednicu Sarajeva potrebno je dopuniti specifičnim termičkim režimom koji se formira pod uticajem temperaturnih inverzija karakterističnih za hladniji period godine praćenih radijacijskim maglama u prijelaznim godišnjim dobima, a rijetko advektivnim maglama u hladnijem periodu godine.



Sl. 1. Klima-dijagram Sarajeva sa prosječnih stanja klimatskih elemenata i pojava

Izvor podataka: Spahić (2000)

Fig 1. Climatic chart of Sarajevo with the average state of climatic elements and phenomena

U godišnjoj raspodjeli prosječnih temperatura (Sl. 1.) najhladniji mjesec je januar (-1,2°C), a najtopliji je juli (18,8°C), pa godišnje prosječno kolebanje iznosi 20,0°C. Tokom godine u Sarajevu su česte pojave mraznih dana (dani sa prosječnom temperaturom nižom od 0°C), koji su uvjetovani vremenskim stanjima, a najčešće radijacijom i advekcijom. Ovakva vremenska stanja posebno su izražajna u Sarajevskom polju i prosječno traju 93,4 dana. U odnosu na mrazne, broj ljetnih dana (dani sa prosječnom temperaturom višom od 25°C), u Sarajevu i njegovoj okolini je manji i prosječno ih, u toku godine, ima 66,4.

Padavine u Sarajevskom polju su u granicama onih u Sarajevsko-zeničkoj zavali i prosječna suma iznosi 956 mm. One su dosta ravnomjerno raspoređene tokom

godine pri čemu se prosječni maksimum od 101 mm javlja u novembru, a minimum od 70 mm u septembru. Prosječno maksimalna visina padavina iznosi 2106 mm, a najmanja prosječna godišnja visina je 181 mm, pa je odnos između ove dvije vrijednosti 11,5:1.

Prosječna godišnja oblačnost za urbani sistem Sarajeva iznosi 63%, što znači da je u toku prosječne godine više od polovine neba prekriveno oblacima. Topliji period godine je vedriji u odnosu na hladniji i taj odnos je 69,8% : 56,8%. Od oblačnosti ovisi godišnja raspodjela vedrih i mutnih dana. Iznad Sarajeva godišnje ima 59,9 vedrih dana (dani sa oblačnosti manjom od 20%) i 128,6 mutnih dana (dani sa oblačno-sti većom od 80%).

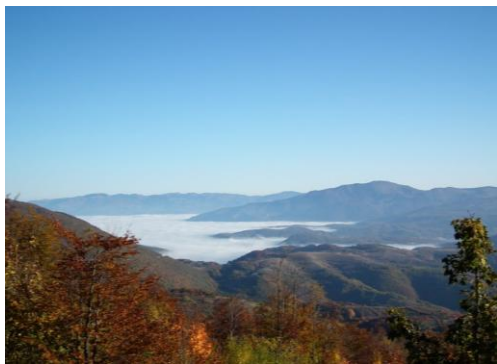
Magle u Sarajevu su dosta česta pojava. Prosječno u toku godine Sarajevo, a posebno njegov zapadni nizijski dio se nalazi pod maglom 53,2 dana, od čega prosječno najviše u decembru 8,6 dana, a najmanje u julu 3,1 dana.

Godišnji tok stvarne insolacije za područje Sarajeva iznosi 1829,1 sati, što je 5,0 sati prosječnog sijanja sunca na dan. Prema ovim podacima, Sarajevo se svrstava u srednje osunčana mjesta u našoj zemlji. Provjetravanje Sarajevskog polja dosta je slabo. U njemu prevladavaju vjetrovi iz istočnog i zapadnog kvadranta i učestvuju sa 30,5% u ukupnoj ruži vjetrova. Prosječno godišnje trajanje tišina iznosi 25,6%.

TEMPERATURNE INVERZIJE I AEROZAGAĐENJA U SARAJEVU TEMPERATURE INVERSIONS ARE AIR POLLUTION IN SARAJEVO

Geneza i karakteristike inverzije spuštanja hladnih zračnih masa Genesis and characteristic of inversion of lowering cold air masses

U posebnim vremenskim uvjetima, kada je vertikalni termički gradijent pozitivan u zatvorenim reljefnim udubljenjima oblika kotlina, zavala i dolina javljaju se termički obrti koji pripadaju temperaturnim inverzijama, termičkim obrtima ili mrazištima, kako se još u narodu nazivaju. Za nastanak ovih pojava potrebna su najmanje dva uvjeta: potpuno stabilna atmosfera ili anticiklonsko vrijeme i reljefni horizontalni diverzitet morfoloških depresija oblika kotlina i dolina unutar planinske morfološke amfiteatralne strukture.



**Sl. 2. Sarajevska kotlina preplavljena radijacionom maglom u vrijeme temperaturnih inverzija
Fig. 2. Sarajevo basin overflowed with radiation fog at the time of temperature inversions**

Anticiklonsko vrijeme uvjetuje uslojavanje atmosfere, pri čemu su bočni potisci veoma snažni, kojima se, nešto topliji zrak, prisiljava na brzu vertikalnu ekspanziju pri čemu se intenzivno ohlađuje. U višim slojevima gdje su bočni potisci slabiji on se širi, gubi energiju i intenzivno ohlađuje. Anticiklonsko vremensko stanje podrazumijeva odsustvo ili veoma oslabljenu advekciju zraka, visok zračni pritisak, generalno smanjenu vlažnost zraka i povećanu turbulentnu izmjenljivost, koja se odvija ascendentno ekspanzijom toplog zraka u više nadmorske visine i descendentno subsidencecijom hladnijeg zraka iz viših prema nižim nadmorskim visinama.

Ako se anticiklonalno vremensko stanje javlja u morfološkim udubljenjima, onda se ova turbulentna šema toplog i hladnog zraka

usložnjava toplotnim kapacitetom podloge koja tokom dana utiče na nejednako zagrijavaju planinskih vrhova, planinskih padina i dna kotlina i dolina, pri čemu niži tereni su topliji, a dna kotlina i dolina su najtoplija. Tokom noćnog hlađenja ohlađuje se zrak koji stacionira na podlozi kotlina i dolina, planinskih padina i planinskih vrho-va. Najbrže se ohlađuju planinski vrhovi i visoke planinske padine, koje su tokom dana najmanje zagrijane, a potom i niži reljefni nivoi, a najsporije kotlinska i dolinska dna. Najviše toplote radijaju podloge nižih nadmorskih visina, pa njihova toplota ekspandira u najviše nadmorske visine, gdje se ohlađuje i akumulira na planinskim vrhovima i najvišim planinskim padinama. Ohlađeni zrak sa ovih nadmorskih visina krajem noći i u rano jutro započinje da »klizi«, kao teži, niz planinske padine prema mjestu ekspandiranog toplog zraka u dnu kotline i doline, pri čemu ohlađuje preostali nešto topliji zrak. Na ovaj način nastaju radijacione magle; najprije tanke, a tokom obnove ovih procesa narednih noći, njihova debljina se povećava pa se tokom narednih dana ne diže i ne rasplinjava. Na višim nadmorskim visinama gdje je zrak nešto ohlađeniji radijacijski procesi su slabiji pa se na njima ne obrazuju radijacijske magle.

Posljedica ovakvih stanja u vrijeme stabilnog vremena uvjetuje dnevno zagrijavanje planinskih vrhova i njihovih visokih padina, dok niske planinske padine, dna kotlina i dolina koji su preplavljeni radijacijskim maglama sprečavaju prodiranje sunčevog zračenja, pa imaju manje dnevno zagrijavanje. To dovodi do nešto nižih temperatura zraka u kotlinama i dolinama u odnosu na planinske vrhove i njihove padine. One mogu iznositi i do 6°C. Tokom dana planinski vrhovi i planinske padine su potpuno osunčani, nebo je intenzivno vedro, temperature su ugodnije pa je vrijeme lijepo. Istovremeno u dnu kotlina i dolina vlada maglovito, hladno i depresivno vrijeme, koje prema meteorološkog terminologiji pripada ružnom vremenu.

Aerozagadenost u inverzionom sloju **Air pollution in the inversion layer**

Maglovito vremensko stanje u kotlinama i dolinama može potrajati koliko i anticiklonsko stanje atmosfere. Što je duže to sve hladnije, maglovitije i zadimejenije. U inverzionom sloju zrak stacionira i ne izdiže se iznad inverzionog sloja, zbog toga što iznad njega stacionira nešto topliji zrak koji, podstiče njegovu indiferentnost pa zrak koji ekspandira u inverzionom sloju na završnoj njegovoj visini razilazi se prema bokovima kotlinskih ili dolinskih padina.

S obzirom da se inverzija spuštanja zračnih masa obavlja tokom hladnijeg perioda godine, kada se odvija grejna sezona, najčešće fosilnim gorivima koja produkuje veliku količinu polutanata kojima se gradski zrak prlja. Na učešće polutanata u gradskom zraku dopinose i gradski saobraćaj. Udio polutanata u gradskom zraku zavisi od polucije emisionih zona, vrste fosilnih goriva i njihove energoiskoristljivosti.

Najmanje polutanata emituje zemni gas, potom nafta i najviše ugalj. Ugljevi manjeg toplotnog kapaciteta i manje energoiskoristljivosti produkuju iznimno veliku količinu polutanata, kojima se kontaminira zrak. Njihovo nagomilava obuhvata gradski zrak do visine inverzionog sloja zbog nedostatka advekcije i iznimno slabe turbulencije zraka.

Godišnja raspodjela klimatskih elemenata u Sarajevu, koje je smješteno u dnu Sarajevskog polja uokvirenog planinskim reljefom uz dolinske, istina usku otvorenost prema istoku i zapadu, redovito u hladnijem periodu godine uvjetuje pojavu temperaturnih inverzija praćene radijacionim maglama koje zadimljavaju polutanti. Zadimljena i prljava magla se naziva dim ili smog. Polutanata iznad Sarajeva ima i tokom ljeta koja je umanjena za

emisiju toplinskih postrojenja kojima se zagrijevaju stambeni prostori. Polutanti tokom ljetnjeg anticiklonskog vremena u sarajevski zrak produkuje gradski saobraćaj i obrazuje fotohemijski smog. Fumigacija je učestalija pojava i odnosi se na zadimljenu radijacijsku maglu koja je, kako je to već rečeno, prateća pojava temperaturnih inverzija uvjetovana orografskim sklopom oko Sarajevskog polja.

Smog čine polutanti, najčešće dim i čađ, a nastaju sagorijevanjem ogrijeva, posebno fosilnog u koje spadaju: ugljevi, tečno gorivo i zemni gas. Smog se posebno emituje, kako je već rečeno, iz ložišta za proizvodnju toplinske energije; najčešće toplana, termoelektrana i kućnih ložišta. Polutante izlučuju i automobili u kojima, također, sagorijevaju fosilna goriva. Osim navedenih u uzročnike stvaranja smoga učestvuje i industrija, posebno visokotonažna procesna ili prljava, kao što su željezare, cementare i hemijska industrija. U polutante koji obrazuju smog najčešće se ubrajaju: sumpordioksid, ugljičnimonoksid i azotni oksid. Pored ovih na zagađenje zraka utiču lebdeće čestice kao što su: dim i čađ.

Sarajevski zrak iznad urbanizovane zone opterećen je svim vidovima polutanata, posebno sumpordioksidom, azotnim oksidom, ugljenmonoksidom, dimom i čađom, za koje postoji monitoring na tri automatske stanice i četiri lokacije povremenog uzorkovanja zraka. Podaci monitoringa upozoravaju na visok stepen učešća polutanata u atmosferi iznad Sarajeva tokom hladnijeg perioda godine, kada su njihove koncentracije više puta, tokom decembra 2013. god. od 4 do 10 puta prevazilaze maksimalno dozvoljene vrijednosti.

Maksimalno dozvoljena koncentracija učešća sumpordioksida u toku jednog sata propisana je na $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a u toku jednog dana $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tokom godine dozvoljena koncentracija sumpordioksida ne smije biti viša od $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Maksimalna koncentracija azotnih oksida za jedan sat može biti do $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, za jedan dan $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a za jednu godinu maksimalna koncentracija se definiše do $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zraka. Maksimalno dozvoljene vrijednosti za ugljenmonoksid za jedan sat iznosi $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, za jedan dan $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i za jednu godinu do $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zraka. Propisana maksimalna dozvoljena koncentracija lebdećih čestica za jedan dan iznosi do $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a za godinu $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zraka (Zakon o zaštiti zraka Sl. Novine 4/10).

VERTIKALNA DISTRIBUCIJA POLUTANATA VERTICAL DISTRIBUTION OF POLLUTANTS

Da bi se odredila vertikalna distribucija čvrstih polutanata u Sarajevskoj kotlini u nedostatku hipsometrijskog monitoringa, od strane autora izvršeno je prvo istraživanje 1989. godine i ponovljeno kontrolno istraživanje 2009. godine. Oba istraživanja su bila na završetku anticiklonskog vremena. Početak anticiklonskog vremena označio je kraj sniježnim padavinama, kada je započet period temperaturnih inverzija i nagomilavanje čvrstih polutanata na snijeg. Snijeg je pogodan za apsorbovanje čvrstih polutanata zbog njihove in situ postojnosti bez mogućnosti otpuhivanja i nagomilavanja na drugim mjestima. S druge strane, sniježni pokrov predstavlja idealne plohe za prikupljanje uzoraka čvrstih polutanata, jer on u dovoljnoj mjeri apstrahira neravnine i vegetacioni pokrov.

Uzrokovanje čvrstih polutanata - čađi, kao što je to već rečeno, vršeno je sa sniježnih ploha površine 1 m^2 po hipsometrijskim nivoima ekvidistancije 100 m, na profilu od Baščaršija – Vidikovac. Isto je urađeno i na profilu Baščaršija – Crepoljsko.

Pri uzorkovanju čađi sa sniježnih ploha vođena je pažnja o datumu početka i završetka sniježnih padavina, kao i o terminskim granicama početka i završetka inverzivnih stanja temperatura u Sarajevu. Pored toga, u Hidrometeorološkom zavodu praćeni su podaci o

koncentracijama čvrstih polutanata u zraku iznad Sarajeva, što je u ovom istraživanju poslužilo kao uporedni podatak.

Kvantitativnim određivanjem prikupljenih čvrstih polutanata sa sniježnih ploha pokazana je njihova distribucija na južnom vertikalnom profilu od Bašćaršije do Trebevića, koja je identična i na kontrolnom profilu Bašćaršija – Crepoljsko. Distribucija čvrstih polutanata vertikalnog profila po ekvidistancijama od 100 m data je u tabeli 1. Uzorkovanje čvrstih polutanata vršeno je sa sniježnih ploha u periodu temperaturnih inverzija koje su trajale 10 dana, od 29. januara do 06. februara 1989. godine. Cjelokupna procedura uzimanja uzoraka provjerena je deceniju kasnije. U oba slučaja učešće čvrstih polutanata na sniježnim ploham je bilo, gotovo identično.

Iz tabele 1. se primjećuje da je maksimalna koncentracija čvrstih polutanata sadržana na površini snijega registrovana na hipsometrijskom položaju od 700 m. Prema višim nadmorskim visinama ova koncentracija opada. Gornji granični pojas do kojeg se distribuiraju čvrsti polutanti su nadmorske visine od 900 m, što jasno ukazuje na završetak inverznog sloja iznad kojega nema odlaganja čvrstih polutanata. Povećana raspodjela čvrstih polutanata oko hipsometrijskih nivoa od 700 do 800 m objašnjava se njihovom horizontalnom disperzijom do gornjeg inverzionog sloja. Udio čvrstih polutanata odloženih na sniježne plohe na višim nadmorskim visinama drastično se smanjuje zbog njihovog nadvišavanja inverzionog sloja zraka.

Na osnovu podataka vertikalne distribucije čvrstih polutanata moguće je računski doći do pokazatelja o ukupnoj kvantitativnoj opterećenosti polutantima pojedinih hipsometrijskih nivoa i u cijeloj Sarajevskoj kotlini.

Tabela 1. Hipsometrijska kvantitativna distribucija čvrstih polutanata po ekvidistancijama od 100 m na profilu Bašćaršija – Trebević u periodu 03.01 – 10.02. 1989. god.

Table 1.: Hypsometric quantitative distribution of solid pollutants by equidistance of 100 m on the profile Bascarsija – Tribasic, in the period from January 3rd to February 10th in 1989

MJESTO UZORKOVANJA	Nadmorska visina (m)	Površina km ²	(Čvrsti polutanti-čadž) (gr./m ²)	Ukupno kg/km ²
1. Bašćaršija	do 500	28,94	0,013	376,2
2. Bistrik (stara željeznička stanica)	501 - 600	77,68	0,010	776,8
3. Hrid	601 - 700	44,01	0,024	1 056,2
4. Bistrik – raskršće	701 - 800	26,77	0,016	428,3
5. Čolina kapa	801 - 900	20,57	0,006	123,4
6. Kosmatica	901 - 1000	16,39	0,002	32,6
7. Trebević – Vidikovac	1001 - 1100	12,52	0,000	
U k u p n o:		226.88		2,79 tona

Udio vertikalne distribucije čvrstih polutanata u Sarajevskoj kotlini posredno omogućava definisanje i visine inverzionog sloja. Prema tabelarnim podacima gornji sloj fumigovane magle nalazi se do najviše 800 m, a najčešće na 700 m, tj. zahvata niske slojeve zraka iznad Sarajeva do najviše 300 m relativne visine. Prema meteorološkom monitoringu to su i najčešće visine pojave radiacionih magli.

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK DISCUSSION AND THE CONCLUSEION

U nedostatku monitoringa raspoređenog po vertikalnom profilu u Sarajevskoj kotlini, kao i neadekvatne distribucija postojećeg po dnu kotline, bilo je neophodno posrednim metodom prikupiti uzorke čvrstih polutanata odloženih na sniježnim plohama kako bi se sračunala njihova distribucija na površini ekvidistancija od po 100 m. Na osnovu prikupljenih podataka o količini čvrstih polutanata na sniježnim plohama, koje su za ova postupak najprikladnije zbog njihove in situ postojanosti otkriveni su i drugi parametri, a posebno oni o visini inverzionog sloja u kojoj je koncentracija ovih polutanata i najveća.

Prema rezultatima istraživanja otkiveno je da najveća koncentracija polutanata nije u najnižim nadmorskim visinama, već se njihova količina povećava sa porastom nadmorske visine. Maksimalna koncentracija polutanata zabilježena je na relativnoj visini od oko 300 m u odnosu na početnu tačku mjerenja na Baščaršiji. U prvi mah je nelogično ali se dubljim i sveobuhvatnim meteorološkim analizama prihvata veoma objašnjavajuće jer inverzija temperatura ima svoju donju (topografsku) i gornju (suhoadijabatsku) termičku granicu.

Donja granica je postojana, dok se gornja mijenja u zavisnosti od stabilnosti atmosfere. Ako su promjene temperature za suhoadijabatsko stanje niskih slojeva atmosfere stabilne onda je visina inverzionog sloja viša, ako su ove promjene u fazi poremećene stabilnosti ili indiferentnosti, onda je inverzioni sloj niži. Ovim se dokazuje maksimalna raspodjela polutanata po vertikalnom profilu. Za vrijeme stabilne atmosfere visina inverzionog sloja, omeđena visinom radijacione magle, maksimalno iznosi 300 m. Njegov gornji sloj ne može proći dižući nešto topliji zrak iz toplana i kućnih ložišta. Nakon vertikalne termičke ekspanzije topliji zrak u visini gornjeg inverzionog sloja advektivno disperguje prema kotlinskim stranama, na kojima taloži polutante, a potom kao ohlađen zrak se spušta niz kotlinske padine u kotlinsko dno. Najvećom koncentracijom odloženih polutanata na kotlinskim padinama definisan je gornji sloj termičke inverzije iznad Sarajeva.

Učešće polutanata u zraku iznad urbanizovane zone Sarajeva daleko je veći u hladnijem periodu godine u odnosu na topliji. Naime, u hladnijem razdoblju godine spaljuju se fosilna goriva za zagrijavanje stanova, kao i zbog posebnih inverzionih meteoroloških uvjeta, koji pospješuju polutantsku koncentraciju. S obzirom da grejna sezona u Sarajevu traje pola godine i pod uvjetima da temperature inverzije su česte, na gradsku površinu u tom periodu se odloži ukupno 50 tona čvrstih polutanata.

Najveća koncentracija čvrstih polutanata produkuje se u gornjem inverzionom sloju na nadmorskim visinama 700 m, na kojima se odloži više od 1 tone čvrstih polutanata za samo 10 dana. Ovaj podatak opovrgava hipotezu kako su više nadmorske visine kotlinskih padina udobnije i zdravije za život u odnosu na kotlinska dna.

Literatura References

- Bluestein, H.B., 1993: Synoptic-dynamic meteorology in midlatitudes, (Vol. II). Oxford University Press, New York. 431 pp.
- Spahić, M. 2000: Geografija i klima Ilidže. Monografija Ilidža, Sarajevo
- Spahić, M. 2002: Opća klimatologija, Posebna izdanja Geografsko društvo Sarajevo
- Spahić, M. 1999: Osnove geoekologije. Tuzla
- Šegota, T., Filipčić, A. 1996: Klimatologija za geografe. Školska knj. Zagreb
- Zakon o zaštiti zraka Federacije Bosne i Hercegovine, Službene novine 4/10

SUMMARY

VERTICAL DISTRIBUTION OF SOLID POLLUTANTS IN SARAJEVO**Muriz Spahic**

University of Sarajevo, Faculty of Mathematics and Science, Department for Geography
Zmaja od Bosne 33-35, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
murizspahic@gmail.com

Determination of mass of solid pollutants, which are emitted into the air from the transmission installations over urban centers and industrial areas, is determined by the equivalent of by-products to the total amount of energy consumed. It should be noted that all the quantity of solid particles as a by-product of spent fuels does not remain in the layer of troposphere above the urbanized centers. One part of those is being dispersed by the air masses far from the place of emission even though they are not taken into the calculation of estimates.

During the stable atmosphere, when the vertical thermal gradient of dry air is positive, then the air temperatures increase with altitude and do not allow advective mixing of air and, in that way the dispersion of pollutants far from the emission centers. This is the most difficult situation when participation of pollutants in the air exceeds the concentration allowed for living by several times.

To determine the total amount, in this case the one of solid pollutants, we used the method of field sampling from snowy surface defined areas by the vertical profile of the Sarajevo basin; from its Bascarsija bottom (530 m) to the Vidikovac (1164 m) with the northern exposures and the control slope of southern exposures up to Crepoljsko (1524). The sampling of solid pollutants from the snow surfaces was performed at altitudes by the equidistance of 100 m. This phase of the research was carried out at the end of stable anticyclonic weather in which the temperature inversions occurred, with cyclonic weather condition of unstable atmosphere in which the temperature inversions were gone. Snow samples were collected into flacons and filtered in the laboratory and then their mass was measured with the analytical scale.

In special weather conditions, when the vertical thermal gradients is positive in closed relief depressions in form of valleys and basins, occur thermic turnovers that belong to the temperature inversions, thermic turnovers or frosts areas, as they are popularly called. For the occurrence of these phenomena, two conditions must be met: fully stable atmosphere or anticyclone weather and relief horizontal diversity of morphological depressions in the forms of basins and valleys within the mountainous morphological amphitheatric structure.

In the absence of a monitoring divided at the vertical profile in Sarajevo basin, as well as the inadequate distribution of existing at the bottom of the valley, it was necessary to collect the samples of the solid pollutants deposited at the snowy surfaces using the indirect methods, and in order to calculate their distribution on the surface of equidistance of 100 m. Based on collected data on amount of solid pollutants on snowy surfaces, which were the most suitable for this task because of their stability in situ, some other parameters were detected as well, especially those on the heights of inversion layer in which the concentration of those pollutants was the highest.

During the stable atmosphere, the height of the inversion layer, bordered by the height of radiation fog, is 300 m at maximum. Its upper layer can't go through, lifting slightly

warmer air from the thermal plants and home furnaces. After the vertical thermal expansion the warmer air at the height of upper inversion layer is advectively being dispersed toward valley slopes, on which it deposits pollutants, and then, as the cooled air it goes down the slopes toward the bottom of the valley. The highest concentration of the deposited pollutants on the valley slopes defines the upper layer or thermal inversion above the Sarajevo.

The highest concentration of solid pollutants produced in the upper inversion layer at altitudes of 700 m, where more than 1 ton of solid pollutants is delayed in just 10 days. This data disproves the established hypothesis that higher altitudes of basin slopes are more comfortable and healthier to live in, compared to the valley bottom

Authors

Muriz Spahić, doctor of geographical sciences, full professor at the Faculty of Science, University of Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. Scientific area of research includes: physical geography and environmental protection, from which he published one monography and six university textbooks. Author of over 75 scientific articles, autor and co-author of several textbooks of geography in primary and secondary schools. Responsible researcher and participant in several scientific prestige projects. President of the Association of Geographers of Bosnia and Herzegovina, editor of the scientific journal *Acta Geographica Bosniae et Herzegovinae*.

Semir Ahmetbegović, doctor of geographical science, assistant professor at the Faculty of Sciences and Mathematics, University of Tuzla, Bosnia and Herzegovina. In 2012. he defended PhD Thesis "Relief as population gathering factor in Bosnia and Herzegovina" on Geography Department of Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Sarajevo. Author and coauthor 24 scientific and technical articles and one book.