

*PRIRODOSLOVNI MUZEJ RIJEKA*  
*NATURAL HISTORY MUSEUM RIJEKA*

*Prirodoslovna biblioteka* 1  
*Natural history library*

*Prirodoslovna istraživanja riječkog područja*  
*Natural history researches of the Rijeka region*

*Rijeka, 1998.*

# ZNAČAJKE KVALITETE OBORINE NA RIJEČKOM PODRUČJU U RAZLIČITIM SINOPTIČKIM SITUACIJAMA

## PRECIPITATION QUALITY CHARACTERISTICS IN DIFFERENT SYNOPTIC SITUATIONS OVER THE RIJEKA AREA

Vesna Đuričić, Alica Bajić i Višnja Šojat

Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske, Grič 3, Hr- 10000 Zagreb, Hrvatska

Primljeno: 10. 12. 1996.

Prihvaćeno: 02. 04. 1997.

### SAŽETAK

U svrhu procjene opterećenja riječkog područja onečišćenjem određene su osnovne značajke kvalitete oborine uz različite tipove vremena za razdoblje 1981.-1995. godine. Tipovi vremena, bazirani na prizemnoj razdiobi tlaka zraka, grupirani su u šest kategorija prema istom ili sličnom utjecaju na vrijeme (Lončar i Bajić 1994). Na sjevernom Jadranu prevladavaju radijacijski i oborinski tip vremena. Radijacijski tip vremena karakterizira slabo strujanje promjenjiva smjera, te uglavnom konvektivna oborina, uz vrlo jak utjecaj podloge i lokalnih čimbenika bilo kojeg porijekla (pa i lokalnih izvora emisije onečišćenja). Oborinski tip vremena karakterizira advekcija toplog i vlažnog zraka (pretežno uz ciklonalnu zakrivljenost izobara) nad hladnu podlogu uslijed čega dolazi do stvaranja naoblake i oborine što je na planinskim preprekama potencirano i prisilnim dizanjem zraka. Ta dva tipa vremena mogu se smatrati karakterističnim pokazateljima prevladavajućeg utjecaja udaljenih (oborinski tip) ili lokalnih (radijacijski tip) izvora emisije onečišćenja. Iz dnevnih uzoraka oborine kemijskom analizom određena je koncentracija glavnih iona i pH vrijednost. Pokazalo se da je na riječkom području u 45% slučajeva pala kisela oborina. Oborina uz radijacijski tip vremena bila je manje kisela od one uz oborinski tip, iz čega pretpostavljamo da dio onečišćenja koji doprinosi kiselosti oborine dolazi iz drugih područja. Sumpora iz sulfata bilo je u oborini na riječkom području za red veličine više od dopuštenih granica štetnosti za okoliš. Više sulfata ima uz radijacijski tip vremena, što ukazuje na mogućnost da velik dio sumpornih spojeva potječe od lokalnih izvora. Količina istaloženog dušika iz nitrata nalazi se uglavnom unutar kritičnih granica štetnosti za tlo i površinske vode. Taloženje dušika je veće uz radijacijski tip vremena iz čega zaključujemo da je i dušik u oborini pretežno lokalnog porijekla. Koncentracije klorida i natrija su više uz oborinski tip vremena uz jugozapadni ili južni vjetar s mora. Koncentracije kalija i kalcija su više u radijacijskom tipu vremena, vjerojatno lokalnog porijekla (naročito kalcij od prašine). Koncentracije magnezija su slične u oba prevladavajuća tipa vremena.

*KLjučne riječi:* tipovi vremena, koncentracije glavnih iona u oborini, onečišćenje urbane sredine.

### ABSTRACT

The aim of this paper is to estimate the air pollution level in different weather conditions over the Rijeka area and to presume the possible origin of pollution. For this purpose we have statistically analyzed the major ion concentrations in precipitation in different weather types, for the period 1981-1995. Weather types, based on surface pressure field, have been grouped in six main categories, according to the similar meteorological conditions and their influence on the weather (Lončar and Bajić 1994). At the northern Adriatic two weather types prevail: radiation and precipitation weather type. Radiation weather type (RWT) is characterized by zero pressure gradient field, accompanied by weak winds of variable directions. In this weather type precipitation is mainly convective and effects of local pollution prevail. Precipitation weather type (PWT) is characterized by advection of warm and moist air over the cold surface, by strong winds, front passages and convergence of horizontal air flow and air lifting. Such situations are favorable for long-range transport of pollutants. Concentrations of major ions and pH are determined by standard analytical methods from bulk, daily precipitation samples. Over the broader area of Rijeka 45% of precipitation is acid. The precipitation in radiation weather type is less acidic than that in precipitation weather type. That is because of long or medium range transport which brings pollution from other regions. Wet deposition of sulfur from sulfates is for the order of magnitude greater than legislative value. Radiation weather type gives more sulfates than PWT and we could conclude that a great amount of sulfur is from local sources. Wet deposition of nitrogen from nitrates is more or less within legislative values. Nitrate deposition is greater in radiation weather type than in precipitation weather type. Therefore we conclude that nitrates in precipitation at Rijeka come mainly from local pollution sources. Chlorides and sodium concentrations are much higher in PWT,

accompanied by south-westerly or southerly winds from the sea. Concentrations of potassium and calcium are higher in radiation weather type, probably because of local sources (specially calcium from dust). Concentrations of magnesium are similar in both considered weather types.

*Key words:* Weather types, major ion concentrations in precipitation, urban pollution.

## UVOD

Onečišćenje atmosfere je problem koji nastaje na lokalnoj razini, ali ga sama atmosfera vrlo brzo internacionalizira prenoseći ga na globalni nivo. Jedan dio onečišćenja ispuštenog u zrak se odmah istaloži na lokalnoj skali, dok je drugi podložan atmosferskim procesima, te putuje na velike udaljenosti i istaloži se daleko od izvora. S druge strane, svako područje je pod utjecajem lokalnih i udaljenih izvora iz drugih regija, pa je time krug zatvoren. Zbog toga je jedino rješenje problema zaštite i kontrole kvalitete zraka i cjelokupnog ekosustava (voda i tla) kontrola izvora i smanjenje emisije onečišćenja.

Ovom jednostavnom ciklusu onečišćenja treba pridodati meteorološke uvjete kojima je ono u atmosferi podvrgnuto, a koji mogu biti vrlo nepovoljni. Zbog toga je važno poznavati meteorološke prilike nekog područja kako bi se industrijski razvoj, na kojeg možemo utjecati, uskladio s postojećim vremenskim prilikama na koje uglavnom ne možemo utjecati. Poznavanje vremenskih prilika koje vladaju na nekom području pomaže nam u rješavanju problema onečišćenja na mnoge načine. Tako se na osnovi prognoze vremenskih stanja može sugerirati velikim izvorima onečišćenja kada je pogodno, a kada izrazito nepogodno ispuštanje onečišćenja u zrak. Također se može upozoriti stanovništvo na epizode visokih koncentracija onečišćenja zraka kada bi trebalo izbjegavati boravak na otvorenim prostorima. Prostorno planiranje i razvoj nekog grada ili regije treba biti u skladu s prevladavajućim strujnim i stabilnosnim režimom kako bi se izbjeglo nepotrebno zadržavanje onečišćenja u izvorišnom području, odnosno kako bi se maksimalno iskoristio prirodni ventilacijski potencijal područja. Ovo su samo neki aspekti uloge meteorologije kao znanosti o fizičkim i kemijskim svojstvima atmosfere, u zaštiti okoliša. Obzirom da se cjelokupan život čovjeka, te biljnog i životinjskog svijeta odvija u stalnom dodiru s atmosferom, saznanja iz područja meteorologije treba koristiti kada i gdje god je to moguće.

Zaštita okoliša je posebno složen problem u gradovima. Naime, u gradu živi velik broj

stanovnika, a s druge strane u njima djeluju mnogobrojni izvori tvari štetnih po ljudsko zdravlje. Istraživanje utjecaja atmosfere na onečišćenje u gradovima je otežano zbog utjecaja grada na meteorološke parametre i njihovu veliku prostorno-vremensku promjenjivost. Kemizam atmosfere u gradovima se razlikuje od onog nad otvorenim terenom. U gradovima se zbog specifičnih meteoroloških uvjeta i mnoštva različitih izvora emisije stvara velik broj sekundarnih spojeva onečišćenja (kisele kiše, ozon, plinovi staklenika). Položaj grada, njegova topografija i u vezi s time meteorološki uvjeti su bitni čimbenici o kojima ovisi kvaliteta zraka. U priobalnim gradovima, kao što je Rijeka, zbog cirkulacije kopno-more često može doći do epizodnih situacija visokih koncentracija onečišćenja zraka, jer je onečišćenje "zarobljeno" u zatvorenom cirkulacijskom sistemu. S druge strane karakteristični lokalni vjetrovi, kao bura u Rijeci, pojačavaju provjetranje i smanjuju onečišćenje zraka.

U gradovima se stvara karakterističan "meteorološki smog". Indeks potencijala meteorološkog smoga definira se za gradove odvojeno za zimsko i ljetno razdoblje (Sluyter 1996). Indeks daje vjerojatnost maksimalnih koncentracija koje se mogu postići uz odgo-varajuće meteorološke uvjete neovisno o emisiji. Zimske epizode smoga javljaju se u višednevnim, stacionarnim, anticiklonalnim situacijama. Disperzija je ograničena zbog slabog vjetera i jake subsidencijske inverzije. Zimski indeks meteorološkog smoga bazira se na stabilnosti prizemnog sloja atmosfere, temperaturi, oborini i brzini vjetera. Ljetni smog se javlja za vrijeme toplog i sunčanog vremena. Sunčeva radijacija pojačava stvaranje ozona iz dušikovih oksida i hlapivih organskih spojeva. Ljetni indeks meteorološkog smoga se bazira na temperaturi, naoblaci i brzini vjetera.

U ovom radu promatran je kemijski sastav oborine na području Rijeke u različitim vremenskim situacijama. One su određene na osnovi tipa vremena, kao prvog pokazatelja prevladavajućih vremenskih prilika na širem području. Meteorološki parametri su u različitim tipovima vremena različiti. Prema karakteristikama tipa vremena moguće je indirektno procijeniti porijeklo onečišćenja

koje je oborinom, tj. procesom mokrog taloženja palo na neko područje. To smo pokušali i u ovom radu, promatrajući kemijski sastav oborine u dva prevladavajuća tipa vremena od kojih je jedan karakterističan pokazatelj utjecaja lokalnih izvora onečišćenja, a drugi utjecaja udaljenih izvora onečišćenja.

## PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Rijeka je najveći urbano-industrijski kompleks i luka u Kvarnerskom zaljevu. Na njenom području nalaze se mnogobrojni izvori različitog onečišćenja. Osim visokih izvora na području Urinja i Bakarskog zaljeva (rafinerija nafte, naftna industrija, koksara, termoelektrana) postoji i niz niskih industrijskih izvora (Urinj, Bakarski zaljev, Mlaka), te kućna ložišta i promet. Mjerno mjesto za praćenje kvalitete oborine nalazi se na meteorološkoj postaji Kozala ( $\varphi=45^{\circ} 20'$ ,  $\lambda=14^{\circ} 27'$ ,  $H=120$  m n/v). Prema kategorizaciji Svjetske meteorološke organizacije postaja spada u takozvane "impact" postaje, tj. one koje su pod direktnim utjecajem lokalnih izvora onečišćenja. Obzirom na okruženje, lokacija je pod utjecajem mnogobrojnih urbanih izvora onečišćenja (npr. kućna ložišta zimi). Vrlo je blizu frekventne prometnice, te je pod utjecajem izvora onečišćenja od prometa. Gledano šire, veliki industrijski izvori onečišćenja na području Rijeke i Kvarnera također utječu na kvalitetu oborine sakupljane na Kozali. Planinsko zaleđe Rijeke i vrlo složena konfiguracija terena uzrokuju specifično i orografski modificirano strujanje koje direktno utječe na prijenos onečišćenja na širem području Rijeke. Tome treba pridodati blizinu mora, koje također utječe na kemijski sastav oborine. Pri tumačenju razdiobe koncentracija onečišćenja treba imati na umu klimatske i mikrometeorološke karakteristike područja.

## METODE

Klasificiranje vremenskih stanja temelji se uglavnom na prizemnoj raspodjeli tlaka (i strujanja) uz eventualno korištenje polja geopotencijala na 1.5 ili 5.5 km visine (AT 850 i AT 500 hPa). Od 1970. godine za svakodnevno određivanje tipova vremena u Državnom hidrometeorološkom zavodu primjenjuje se Pojina tipizacija (Poje, 1965), koja sadrži 29 tipova vremena na sjevernom Jadranu. Na osnovi istog ili sličnog utjecaja na vrijeme, 29 osnovnih tipova grupirano je u 6 kategorija (Lončar i Bajić 1994): radijacijski tip

vremena, oborinski tip vremena, advekcija iz SE Europe, advekcija iz NW Europe, vjetrovni tip vremena i ostali nekarakteristični tipovi vremena.

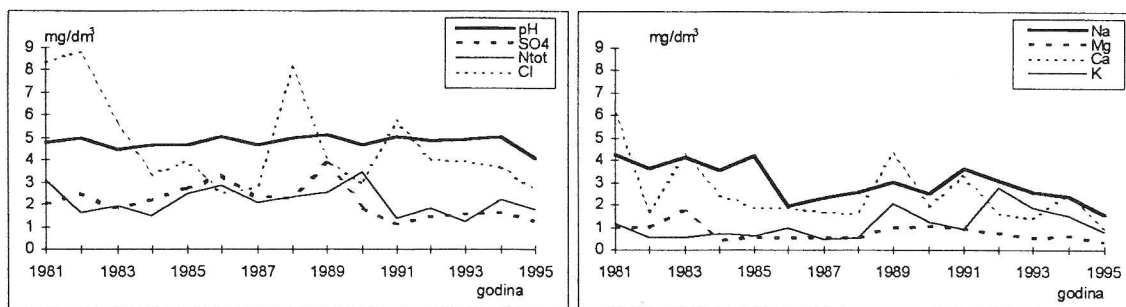
Uzorci oborine uzimaju se dnevno (od 07 sati jednog do 07 sati sljedećeg dana) na meteorološkoj postaji, takozvanom "bulk" metodom. To znači da se sakupljač oborine ne pokriva za vrijeme sušnog perioda, pa uzorak oborine sadrži i dio suhog taloženja. Uzorci se prenose u centralni analitički laboratorij Državnog hidrometeorološkog zavoda, gdje se analiziraju na 12 komponenti po standardnim metodama koje je propisala Svjetska meteorološka organizacija (WMO, 1978). Kiselost oborine, tj. njena pH vrijednost određuje se pH-metrom, koncentracija sumpora iz sulfata turbidimetrijsko/nefelometrijskom metodom s barij-sulfatom, koncentracija dušika iz nitrata UV-spektrofotometrijskom metodom, a iz amonij-iona ion selektivnom metodom kao i koncentracija klorida, dok se koncentracije lakih metala (natrija, kalija, kalcija i magnezija) određuju atomskom absorpcijom.

Dobiveni podaci podvrgnuti su osnovnim statističkim metodama. Srednje vrijednosti koncentracija dobivene su kao volumno otežani srednjaci količinom oborine (omjer umnoška koncentracije u  $\text{mgdm}^{-3}$  i količine oborine pojedinog uzorka u mm s ukupnom količinom oborine od svih uzoraka u promatranom razdoblju). Taloženje pojedinih komponenti iz oborine izračunato je kao umnožak volumno otežane srednje koncentracije u promatranom razdoblju i ukupne količine oborine iz tog razdoblja. Na taj se način korigiraju pogreške zbog činjenice da uzorkovanjem i kemijskom analizom nije obuhvaćena sva oborina. Naime, dogodi se da nedostaje poneki uzorak ili, što je češće slučaj, da je količina oborine u uzorku premala za kemijsku analizu. U Rijeci je analizirano 86% ukupne količine oborine u promatranom 15-godišnjem razdoblju.

## REZULTATI

### Kvaliteta oborine na riječkom području - općenito

Vremenski niz srednjih godišnjih koncentracija glavnih iona u oborini prikazan je na slici 1. Srednja godišnja pH vrijednost oborine varira između 4 i 5. Najniža je 1995. godine i iznosi 4.11, a najviša 1989. godine od 5.10. Sve su te vrijednosti u granicama kiselosti. Naime, normalna koncentracija  $\text{CO}_2$  u ravnoteži s prosječnom količinom relativne



Slika 1. Godišnji volumno otežani srednjaci pH vrijednosti i glavnih iona u oborini, Rijeka, 1982-1995.  
Figure 1. Annual precipitation volume weighted average of pH values and major ion composition of precipitation, Rijeka, 1981-1995.

Tablica 1. Osnovni statistički parametri pH vrijednosti i glavnih iona u oborini ( $\text{mgdm}^{-3}$ ), Rijeka, 1981-1995. ( $x_{\text{vw}}$ =volumno otežani srednjak iz cjelokupnog razdoblja, s=standardna devijacija, min=minimalna dnevna vrijednost, Max=maksimalna dnevna vrijednost).

Table 1. Statistical parameters of major ion composition of precipitation at Rijeka ( $\text{mgdm}^{-3}$ ), 1981-1995. ( $x_{\text{vw}}$ =precipitation volume weighted average from the whole period; s=standard deviation; min=minimum daily value; Max=maximum daily value)

	pH	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{N}_{\text{tot}}$	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
$x_{\text{vw}}$	4.72	1.74	1.74	3.94	2.53	0.92	2.10	0.60
s	0.95	4.31	2.92	7.88	4.04	3.01	8.25	1.96
min	2.89	0.01	0.15	0.12	0.08	0.05	0.04	0.04
Max	9.40	92.24	31.25	134.0	48.00	65.00	181.8	43.43

vlage u zraku daje pH vrijednost oborine od 5.6. Za oborine koje imaju pH manji od 5.6 kažemo da su kisele. Pojedinačni dnevni uzorci imaju i mnogo nižu pH vrijednost (tablica 1). U promatranom 15-godišnjem razdoblju 45% oborine na riječkom području bilo je kiselo.

Srednje godišnje koncentracije sumpora iz sulfata kreću se između 1 i  $3 \text{ mgdm}^{-3}$ , ali pojedinačne koncentracije variraju u prilično velikom rasponu što doprinosi velikoj standardnoj devijaciji. Svakako treba upozoriti na vrlo visoku maksimalnu dnevnu koncentraciju.

Slični iznosi srednjih godišnjih koncentracija kao sumpor pokazuje i ukupni dušik (iz nitrata i amonijaka). S takvim vrijednostima pH,  $\text{SO}_4^{2-}$ -S i  $\text{N}_{\text{tot}}$  riječko područje se nalazi u sredini ljestvice prosječnih vrijednosti tih elemenata u Europi (EMEP 1993, 1994, 1996).

Srednje godišnje vrijednosti koncentracija klorida u oborini jako se razlikuju od godine do godine, a također i od uzorka do uzorka. Maksimalna dnevna vrijednost izmjerena u promatranom razdoblju iznosila je čak  $134 \text{ mgdm}^{-3}$ .

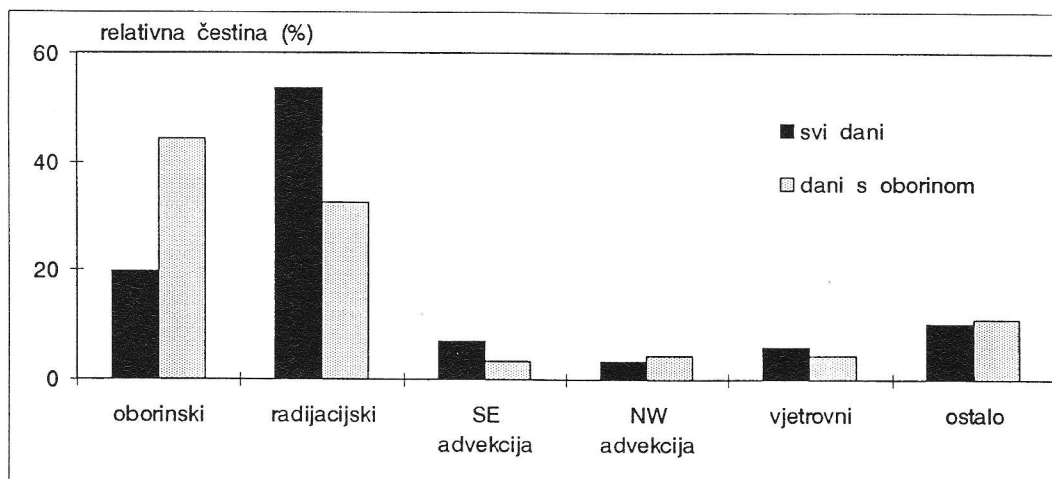
Veliku varijabilnost pokazuju i srednje godišnje koncentracije natrija (od 1.5 do  $4.3$

$\text{mgdm}^{-3}$ ), kao i kalcija (između 0.9 i  $6.2 \text{ mgdm}^{-3}$ ). Obzirom na činjenicu da su ioni klorida i natrija u oborini najčešće rezultat utjecaja morske prašine, veliku varijabilnost u koncentracijama ta dva elementa objašnjavamo promjenjivošću smjera strujanja (cirkulacija kopno-more + orografski uvjetovana cirkulacija). Sigurno je da su koncentracije klorida i natrija veće uz strujanje s mora nego uz strujanje s kopna. Kalcij u oborini je najčešće indikator prisustva prašine. Ona je obično lokalnog porijekla, iako uz određene vremenske uvjete i Saharska prašina može doći do naših krajeva.

Koncentracije magnezija i kalija su prilično niske i ne mijenjaju se jako iz godine u godinu, premda pojedinačne vrijednosti također mogu biti visoke.

#### Kvaliteta oborine u prevladavajućim tipovima vremena

Od šest osnovnih tipova vremena, na sjevernom Jadranu prevladavaju dva (slika 2): radijacijski (relativna čestina 54%) i oborinski (20%), a najrjeđa je advekcija iz NW Europe (svega 3%). U dane s oborinom prevladava



Slika 2. Razdioba relativnih čestina (%) tipova vremena na sjevernom Jadranu u razdoblju 1981-1995.  
Figure 2. Relative frequency distribution (%) of weather types at the northern Adriatic for the period 1981-1995.

oborinski tip sa relativnom čestinom 44%, a radijacijski tip je nešto rjeđi (33%), dok je učestalost ostalih tipova vremena ispod 5%. Zbog takve razdiobe čestina promatrat ćemo kvalitetu oborine samo u dva prevladavajuća tipa vremena.

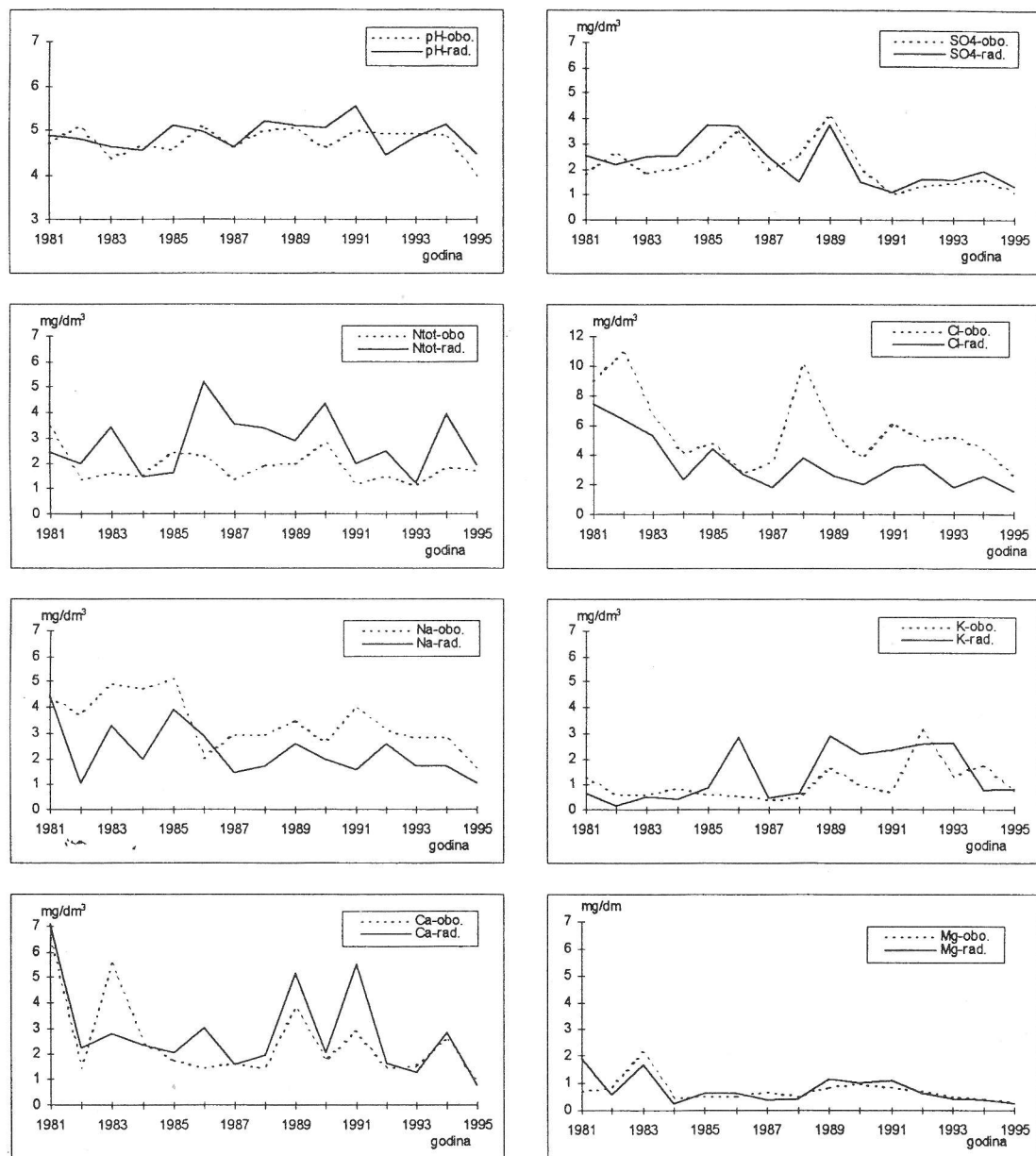
Radijacijski tip vremena karakterizira slabo strujanje promjenjiva smjera uz vrlo jak utjecaj podloge i lokalnih čimbenika bilo kojeg porijekla (pa i lokalnih izvora emisije onečišćenja). Radijacijski režim u ljetnim uvjetima omogućuje maksimalnu turbulentnu razmjenu po vertikali, dok u zimskim mjesecima djeluje suprotno, pogodujući ne samo stvaranju nego i održavanju najstabilnije atmosfere, što sputava i reducira turbulenciju (Lončar i Bajić 1994). Međutim, u oba slučaja onečišćenje zraka zbog slabog strujanja i prijenosa, ostaje manje više u izvorišnom području. Oborina je uglavnom konvektivna (u taj tip su ubrojani i ljetni pljuskovi nastali stvaranjem naoblake dnevnog razvoja, koji su ograničeni na manji prostor). Radijacijski tip vremena je najčešći u toplom dijelu godine, u ljetnim i jesenskim mjesecima. Obzirom na karakteristike vremena radijacijski tip vremena možemo uvjetno smatrati pokazateljem pretežnog utjecaja lokalnih izvora onečišćenja.

Oborinski tip vremena karakterizira advekcija toplog i vlažnog zraka (pretežno uz ciklonalnu zakrivljenost izobara) nad hladnu podlogu i stvaranje naoblake i oborine koji su na planinskim preprekama potencirani i prisilnim dizanjem zraka. Naoblaka je uglavnom slojevita, a oborina tipična za hladni dio godine. Konvektivne oborine toplog dijela godine sasvim drugog postanka i razvoja

uglavnom nisu uključene u ovaj tip vremena. Praćeni jakim vjetrom, frontalni poremećaji i oborinski sistemi dolaze uglavnom sa zapada ili sjeverozapada Europe. Oborinski tip vremena ima najveću učestalost u hladnom dijelu godine, u proljeće i kasnu jesen, vezano uz ciklone i doline niskog tlaka (Lončar i Bajić 1994). Obzirom na karakteristike vremena oborinski tip vremena uvjetno možemo smatrati pokazateljem utjecaja udaljenih izvora onečišćenja.

Kako je učestalost ostalih tipova vremena na sjevernom Jadranu značajno manja samo ćemo ukratko navesti njihove karakteristike. Advekcija iz jugoistočne Europe (SE advekcija) je tip vremena karakterističan za zimsko razdoblje, u kojem su uz hladnu advekciju i slabo strujanje moguće dugotrajne stabilne inverzione situacije u kojima dolazi do gomilanja onečišćenja na određenom području. Advekciju iz sjeverozapadne Europe (NW advekcija) karakterizira hladna advekcija u toplom dijelu godine pogodna za stvaranje konvektivne naoblake i konvektivne oborine (ljetni pljuskovi koji dobro isperu zrak, a pokazuju pretežit utjecaj lokalnih izvora onečišćenja). Vjetrovni tip vremena karakterizira advekcija hladnog zraka praćena često vrlo jakim vjetrom, pa su horizontalna i vertikalna razmjena zraka vrlo dobri, kao i provjetranje gradskih sredina, što rezultira slabim onečišćenjem zraka. U ostale tipove svrstani su svi slučajevi koji nisu imali izražene karakteristike naprijed navedenih tipova vremena.

Na slici 3. prikazane su srednje godišnje koncentracije glavnih iona u oborini u



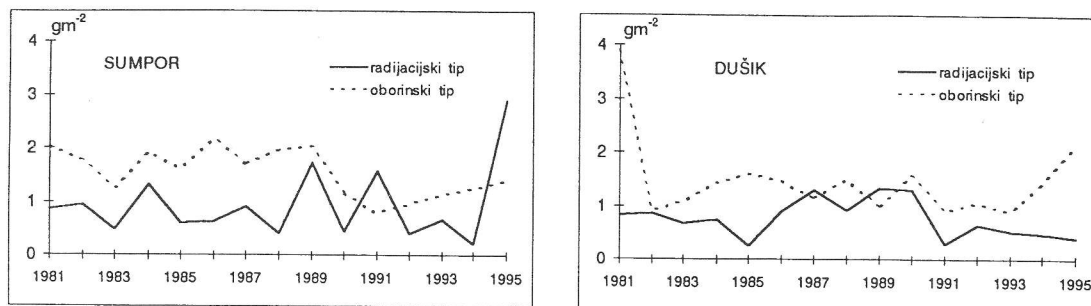
Slika 3. Godišnji volumno otežani srednjaci pH vrijednosti i glavnih iona u oborini u oborinskom (obo.) i radijacijskom (rad.) tipu vremena ( $\text{mgdm}^{-3}$ ), Rijeka, 1981-1995.

Figure 3. Annual precipitation volume weighted average of pH values and major ion composition of precipitation in radiation weather type (rad.) and precipitation weather type (obo.) ( $\text{mgdm}^{-3}$ ), Rijeka, 1981-1995.

radijacijskom i oborinskom tipu vremena. Bez obzira na stvarne vrijednosti koncentracija koje su komentirane u prethodnom poglavlju ovdje ćemo gledati samo njihov relativan odnos ovisno o tipu vremena.

Oborina je najčešće kiseliija (niža pH vrijednost) uz oborinski tip vremena. To ukazuje na mogućnost utjecaja udaljenih izvora na mokro kiselo taloženje na riječkom području. No, promatranje samo pH vrijednosti oborine nije dovoljno, već treba promatrati njezin cjelokupan ionski sastav. Koncentracije sulfata su, osim u razdoblju od 1988. do 1990.,

bile veće uz radijacijski tip vremena. Koncentracije ukupnog dušika su, izuzev dvije godine, također značajno više u radijacijskom tipu vremena nego u oborinskom. Na osnovi toga pretpostavljamo da velik dio dušičnih i sumpornih spojeva potječe od lokalnih izvora emisije. Koncentracije iona natrija i klora su uglavnom više u oborinskom tipu vremena. Kao što je već spomenuto, iona  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$  ima mnogo u morskoj prašini, a u oborinski tip vremena uključeno je i strujanje s juga i jugozapada koje donosi morsku prašinu do mjernog mjesta Kozala. Koncentracija kalija iz



Slika 4. Godišnje taloženje sumpora iz sulfata, te dušika iz nitrata i amonijaka ( $\text{gm}^{-2}$ ), u radijacijskom i oborinskom tipu vremena, Rijeka, 1981-1995.

Figure 4. Annual wet deposition of sulfur from sulfates and nitrogen from nitrates and ammonia ( $\text{gm}^{-2}$ ) in radiation and precipitation weather type, Rijeka, 1981-1995.

godine u godinu jako varira, ali se može primijetiti porast koncentracija kalija nakon 1988. godine. Magnezij također ne pokazuje razliku u koncentracijama u dva promatrana tipa vremena. Koncentracije kalcija su izuzev 1983. godine uvijek veće uz radijacijski tip vremena, što znači da je kalcij pretežno lokalnog porijekla.

Iz slike 3 se može zaključiti da su povišene koncentracije sumpornih i dušikovih spojeva kao i kalcija u oborini paloj na riječkom području pretežno lokalnog porijekla. Glavni izvori sumpornih i dušikovih spojeva su industrija i promet kojih na riječkom području ima mnogo, i kao što se vidi iz provedene analize velikim dijelom se istalože oborinom još u samom izvorišnom području.

#### Mokro taloženje sumpora i dušika

Pravu predodžbu o opterećenju nekog područja štetnim tvarima dobijemo iz podataka o količini te štetne tvari koja je dospjela do tla. Iz zraka štetni plinovi i čestice dopiru do tla procesima taloženja: mokrim, tj. ispiranjem zraka oborinom i suhim (gravitacijskim) taloženjem. Državni hidrometeorološki zavod mjeri količinu mokro istaloženih štetnih tvari na tlo i vode, iako je zbog metodologije mjerenja u uzorku oborine sadržan i dio suhog taloženja. Količina istaloženih tvari je umnožak

koncentracije te tvari u oborini i ukupne količine oborine u promatranom razdoblju. Obzirom da su sumporni i dušikovi oksidi najčešće, najštetnije i količinski najznačajnije štetne tvari za tlo, vode i ljudski okoliš općenito, izračunato je ukupno godišnje taloženje sumpora iz sulfata i ukupnog dušika (iz nitrata i amonijaka) za riječko područje (slika 4).

Iz slike 4 uočljivo je da i sumpora i dušika mokrim taloženjem dopiše na tlo više u oborinskom tipu vremena. Uz oborinski tip vremena godišnje padne gotovo trostruko veća količina oborine nego uz radijacijski tip. Od ukupne godišnje količine oborine na oborinski tip vremena otpada između 55 i 60%, a na radijacijski tip svega oko 20%. Broj dana sa oborinom u oborinskom tipu vremena također je veći od onog u radijacijskom. Količina istaložene tvari u  $\text{gm}^{-2}$  je umnožak količine oborine i koncentracije tvari, pa je veća količina oborine uz oborinski tip vremena razlog što je taloženje sumpora i dušika u tom tipu vremena veće, iako su koncentracije obje komponente u oborini veće uz radijacijski tip vremena. Ipak ostaje činjenica da udaljeni izvori onečišćenja koje u oblačnim sustavima, procesima daljinskog prijenosa dođu do Rijeke daju bitan doprinos opterećenju tla i voda riječkog područja. Do sličnih zaključaka dovele su i drugačije analize ovisnosti

Tablica 2. Ukupno godišnje mokro taloženje sumpora i dušika ( $\text{gm}^{-2}$ ) bez obzira na tip vremena, Rijeka, 1981-1995.

Table 2. Yearly wet deposition of sulfur and nitrogen ( $\text{gm}^{-2}$ ) in all weather types, Rijeka, 1981-1995.

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
$\text{SO}_4^{2-}$	3.9	4.4	2.4	4.2	3.7	4.7	3.7	3.3	4.8	2.3	1.3	2.0	2.3	2.3	2.4
$\text{N}_{\text{tot}}$	6.1	2.9	2.6	2.9	3.4	4.0	3.3	3.3	3.1	4.3	1.7	2.6	1.9	3.1	3.4



onečišćenja Kvarnera o meteorološkim uvjetima (Đuričić, 1989; Đuričić, Vidič, 1992; Šojat i sur., 1996). Ukupno godišnje taloženje sumpora (tablica 2) je gotovo za red veličine veće od dopuštenih granica štetnosti za tlo i površinske vode ( $0.2-0.5 \text{ gm}^{-2}$ ). Granica štetnosti za tlo i površinske vode za dušik iz nitrata iznosi  $1-2 \text{ gm}^{-2}$ . Talozenje dušika samo iz nitrata jest u dopuštenim granicama, ali ukupno taloženje dušika (iz nitrata i amonijaka) je nekoliko puta veće.

### Ekstremne koncentracije glavnih iona u oborini

Interesiralo nas je u kojim su vremenskim situacijama zabilježene maksimalne vrijednosti koncentracija pojedinih iona u dnevnim uzorcima (prikazane u tablici 1). Pokazalo se da je najveća kiselost (najniža pH vrijednost), te najviše nitrata i klorida u oborini uz oborinski tip vremena, i to u prosincu (pH i  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) ili kolovozu (Cl<sup>-</sup>). Maksimalne koncentracije sulfata, kalija, kalcija i magnezija zabilježene su uz radijacijski tip vremena u proljeće. Maksimalna koncentracija natrija zabilježena je u ljetnom periodu uz vjetrovni tip vremena, a amonij-iona zimi uz grupu ostalih, dakle, nekarakterističnih tipova vremena, ali je taj uzorak diskutabilan zbog vrlo male količine oborine. I ova analiza potvrdila je rezultate istraživanja navedene u prethodnim poglavljima.

## ZAKLJUČAK

Geografski položaj Rijeke u Kvarnerskom zaljevu i orografija terena često uvjetuju nepovoljne meteorološke prilike s aspekta zaštite okoliša. Klimatske karakteristike riječkog područja posljednjih 30 godina pokazuju da se u 32% slučajeva mogu očekivati nepovoljni uvjeti sa stanovišta difuzije i prijenosa svih primjesa koje se nalaze ili ulaze u atmosferu grada i njegove šire okoline (DHMZ, 1992). Nepovoljne su situacije stabilnih i stacionarnih stanja, kako ljeti tako i zimi, u kojima je difuzija

slaba i onečišćenje zraka od lokalnih izvora veliko. Kada se u cirkulacijskom sustavu kopno-more nađe onečišćenje, ono ostaje "zarobljeno" i neprestano kruži preko istog područja, što dovodi do visokih koncentracija onečišćenje zraka pri tlu. Lokalni izvori onečišćenja mogu, dakle, dovesti do povećanih koncentracija štetnih primjesa u zraku. Kada padne oborina procesom ispiranja zraka ispod baze oblaka (takozvani "bellow cloud" proces mokrog taloženja) te se štetne tvari talože na tlo i vode. S druge strane lokalno onečišćenje zraka sudjeluje u stvaranju oblačnih sustava djelujući kao jezgre kondenzacije. Ti oblačni sustavi uključeni su u sustave sinoptičke skale, pa se tako onečišćenje zraka od izvora sa riječkog područja prenosi na regionalnu skalu. Istim procesom onečišćenje s drugih područja u oblačnim sistemima dođe nad područje Rijeke i oborinom se istalože na tlo (takozvano "in cloud" mokro taloženje). Kvaliteta oborine se prati prvenstveno radi procjene doprinosa udaljenih izvora emisije onečišćenja na promatrano područje. No, analiza kemijskog sastava oborine u vezi sa tipovima vremena koji grubo mogu ukazati na porijeklo onečišćenja pokazala je da je riječko područje opterećeno onečišćenjem i od udaljenih i od lokalnih izvora. Koncentracije komponenata koje su najštetnije i koje najviše doprinose kiselosti oborine (sumporni i dušikovi spojevi) veće su u vremenskim situacijama karakterističnim za utjecaj lokalnih izvora. To je još jedan od razloga zbog kojeg treba težiti smanjenju emisije onečišćenja iz domaćih izvora, jer se ono velikim dijelom istaloži još u izvorišnom području.

Riječko područje je pod jakim opterećenjem onečišćenja putem mokrog taloženja. Oko 45% kiselih oborina, taloženje sumpora iz sulfata za oko red veličine veće od granica štetnosti za okoliš i taloženje dušika iznad dopuštenih vrijednosti, u kombinaciji sa nepovoljnim meteorološkim uvjetima koji često vladaju na tom području svakako zahtijevaju hitno djelovanje u smjeru zaštite riječkog područja.

**IZVORI**

- Državni hidrometeorološki zavod. 1992: Meteorološka podloga za potrebe prostornog planiranja općine Rijeka. DHMZ, Zagreb. 213 str.
- Đuričić, V. 1989: Some precipitation chemistry characteristics of selected stations along the Adriatic coast. Airborne pollution of the Mediterranean Sea. Report and Proceedings of the First WMO/UNEP Workshop. MAP Technical Reports Series No. 31. UNEP, Athens 1989: 81-101.
- Đuričić, V., S. Vidič. 1992: Acid precipitation at the northern Adriatic. Airborne pollution of the Mediteranean Sea. Report and Proceedings of the First WMO/UNEP Workshop. MAP Technical Reports Series No. 64. UNEP, Athens 1989: 137-155.
- EMEP. 1993: Data Report 1991, Part 1: Annual summaries. EMEP/CCC Report 4/93. NILU, Kjeller, Norway: 222 pp.
- EMEP. 1994: Data Report 1992, Part 1: Annual summaries. EMEP/CCC Report 4/94 NILU, Kjeller, Norway: 219 pp.
- EMEP. 1996: Data Report 1994, Part 1: Annual summaries. EMEP/CCC Report 4/96. NILU, Kjeller, Norway: 102 pp.
- Lončar, E., A. Bajić. 1994: Tipovi vremena u Hrvatskoj. Hrvatski meteorološki časopis, Vol.29. Hrvatsko meteorološko društvo, Zagreb: 31-41.
- Poje, D. 1965: Tipovi vremena u Jugoslaviji i njihova ovisnost o cirkulaciji atmosfere nad Jugoslavijom. Disertacija na Sveučilištu u Zagrebu: 215 str.
- Sluyter, R. 1996: Overview of air pollution in European cities. WMO Bulletin, Vol. 45, No.2: 123-128.
- Šojat, V., S. Vidič, D. Borovečki. 1996: Acid precipitation in Kvarner area region. Zbornik radova sa Međunarodnog kongresa Energija i zaštita okoliša. Opatija, 23-25. listopada 1996.: 471-478.
- WMO. 1978: International operations handbook for measurement of background atmospheric pollution. WMO, Report No. 491, Geneva, Switzerland.