

Izvorni znanstveni članak  
Original scientific paper

Prispjelo - Received: 02. 04. 2005.  
Prihvaćeno - Accepted: 21. 06. 2005.

UDK: 630\*114.9

**Boris Vrbek\***

## KVALITETA PADALINA I OTOPINE TLA NACIONALNIH PARKOVA „PLITVIČKA JEZERA“, „SJEVERNI VELEBIT“ I „RISNJAK“

### QUALITY OF PRECIPITATION AND SOIL SOLUTION IN THE NATIONAL PARKS “PLITVICE LAKES”, “NORTHERN VELEBIT” AND “RISNJAK”

#### SAŽETAK

*Praćenje kvalitete padalina i otopine tla u Nacionalnim parkovima u Hrvatskoj započeto je 1995. godine u okviru projekta Ministarstva znanosti “Gospodarenje šumama posebne namjene”. Nakon prestanka financiranja projekta 2000. godine, praćenje se uz pomoć djelatnika Nacionalnih parkova i Šumarskog instituta nastavilo u nešto smanjenom intenzitetu. Metodom ICP-Forest monitoring (International Co-operative Programme on Assessment and monitoring of Air Pollution Effects on Forest) do danas su praćenjem u Hrvatskoj obuhvaćeni Nacionalni parkovi: „Risnjak“, „Paklenica“, „Brijuni“, „Mljet“, „Plitvička jezera“, „Sjeverni Velebit“ i „Risnjak“. Rezultati koji su dobiveni na pokusnim plohama, a biti će prikazani u ovom radu su s područja Nacionalnih parkova „Plitvička jezera“, „Sjeverni Velebit“ i „Risnjak“. Od taložnih tvari u padalinama i otopini tla analizirani su Cl, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>. Uzorkovanje na plohama obavlja se lijevcima, a količina padalina mjeri plastičnim kišomjerima, površine otvora 60 cm<sup>2</sup>. Postavljeno je po 9 kišomjera i lijevaka u dijagonalnom raspored, na svakoj plohi veličine 30 x 30 m. Na kontrolnom mjestu bez utjecaja vegetacije također su postavljeni lijevci i kišomjeri u slučajnom rasporedu ili krugu. Lizimetri za sakupljanje i mjerenje kvalitete procjedne vode postavljeni su u tlu na dubini od 10 cm ili ispod humusnog horizonta. Kao filter u plastičnoj se posudi nalazi 96% čisti kvarcni pijesak radi pročišćavanja tekućine od čestica tla. Jednom mjesečno obavlja se uzorkovanje iz kišomjera, lijevaka i lizimetara. Prema dobivenim rezultatima praćenja, naši šumski ekosustavi primaju više taložnih čestica (suho i mokro taloženje) u odnosu na kontrolne uzorke na otvorenom prostoru, a isto tako taložne tvari koje prispiju padalinama utječu na kvalitetu vode koja se procjeđuje kroz površinski dio tla.*

**Ključne riječi:** praćenje, Nacionalni parkovi, otopina tla, zakiseljavanje

---

\* Dr. sc. Boris Vrbek, Šumarski institut, Jastrebarsko

## UVOD

### INTRODUCTION

Atmosferu oko nas onečišćuju plinovi, pare i prašine koji se otpuštaju u zrak iz raznih uređaja za sagorijevanje goriva, npr. razna ložišta, kao i ispušni plinovi automobila. Plinovi, pare i prašina koji se ispuštaju sadržavaju razne spojeve koji mogu biti manje ili više toksični i mogu utjecati na kvalitetu vode u šumskim ekosustavima. U atmosferu dospijevaju produkti sagorijevanja fosilnih goriva, kao što su oksidi dušika, policiklički aromatski ugljikovodici, teške kovine te sumporni dioksid koji nastaje oksidacijom sumpora sadržanog u gorivu. Plinovite i krute tvari koje se ispuštaju u atmosferu vraćaju se na površinu Zemlje u svom izvornom ili promijenjenom obliku i to sedimentacijom ili ispiranjem kišom. Kisela taloženja uglavnom su posljedica emisije sumpornog dioksida i dušičnih oksida koji u atmosferi tvore sumpornu i dušičnu kiselinu i sedimentima se talože na biljke i tlo. Kisele kiše također oštećuju materijale i izazivaju koroziju, a taloženjem na tlo te smanjenjem pH u tlu mogu pogodovati mobilizaciji teških kovina. Prema SIENFELDU (1986) zrak je onečišćen kada su tvari u atmosferi u koncentracijama višim od normalnih vrijednosti a te povišene vrijednosti utječu na ljude, životinje, vegetaciju i tlo.

Poznato je kako tvari iz atmosfere dospijevaju na površinu zemlje (vegetaciju, tlo, jezera) suhim i mokrim taloženjem. Mokro taloženje je kad elementi padalina (kapi kiše, kristali, pahuljice snijega, susnježica, solika i dr.) pri padanju iz oblaka pokupi i ujedno otopi čestice ili tvari koje nailaze na svom putu prema tlu. Već unutar oblaka počinje kemijsko otapanje te daljnje mehaničko ispiranje. Do suhog taloženja tvari pretežno dolazi usljed djelovanja sile teže. Suho taloženje je duži proces i nije ovisno o padalinama. Sulfati i nitrati smanjuju pH padalina. Čista voda, u ravnoteži s atmosferskim CO<sub>2</sub> (do 0,03%), ima pH 5,6. Po jedinstvenom dogovoru sve padaline koje imaju vrijednosti manje od 5,6 nazivaju se kiselim padalinama.

Prva istraživanja o unosu tvari iz atmosfere suhim i mokrim taloženjem u nas, odnosila su se na šume Dinarskog gorja. Prema GLAVAC i dr. (1985) bukove i bukovo-jelove šume u jugozapadnoj Hrvatskoj izložene su jakom emisijskom opterećenju. U kasnijim su istraživanjima te nalaze potvrdili PRPIĆ (1987), MARTI-NOVIĆ i dr. (1988), SELETKOVIĆ (1990), KOMLENOVIĆ i dr. (1991), MAYER (1989), VRBEK i dr. (1991, 2002, 2004).

U proučavanju tekuće faze tla u šumskim ekosustavima kod nas ima nekoliko radova koji se bave tom problematikom. Metode lizimetrijske pedologije u svojim su istraživanjima primijenili VRANKOVIĆ i dr. (1991) i VRBEK (1992, 1993, 1998, 2000, 2002). Rezultati iz tih istraživanja potvrdili su kako postoji unos tvari iz atmosfere u tekuću fazu tla (perkolat) naših šumskih ekosustava.

## PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

### INVESTIGATED AREA

Potpuniji podaci mjerenja i rezultati istraživanja su predstavljene na pokusnim ploham u trima Nacionalnim parkovima: „Plitvička jezera“, „Sjeverni Velebit“ i „Risnjak“. (Slika 1).

Nacionalni parkovi: „Brijuni“, „Paklenica“ i „Mljet“ imaju postavljene plohe i instrumente za praćenje, ali su podaci prikupljeni neredovito, dok u Nacionalnim parkovima „Kornati“ i „Krka“ mjerenja nisu do sada uspostavljena.



Slika 1: Nacionalni parkovi u Hrvatskoj  
Figure 1 National Parks in Croatia

## METODE ISTRAŽIVANJA

### WORK METHOD

Pokusne plohe veličine 1 ha su, prema metodi DUBRAVCA (1998) i NOVO-TNYJA (1997), iskolčavane kompasom i mjernom trakom po principima geodezije i u okviru tolerancije točnosti (50 cm) kod zatvaranja poligona oko plohe. GPS-om

Tablica 1. Osnovne karakteristike ploha u Nacionalnim parkovima u sustavu praćenja taložnih tvari

*Table 1 General characteristics of plots in the National Parks within the system of monitoring sedimentary material*

<b>Godina postavljnja Established</b>	<b>Lokacija plohe Locality plot</b>	<b>Tip tla na plohi Soil type on the plot</b>	<b>WRB klasifikacija WRB classification</b>	<b>Šumska zajednica Forest community</b>	<b>Lizimetar Lysimeter</b>	<b>Kišomjeri i lijevci Rain gauges and bulks</b>	<b>Kontrole Controls</b>
					Dubina cm Deep cm	kom. pieces	kom. pieces
1996.	NP S. „Velebit“ (ICP-105)	Smeđe tlo na vapnencu Crnica na vapnencu	Cambisol Leptosol	Predplaninska bukva <i>Sub-Alpine Beech</i>	10	18	6
1998.	NP „Risnjak“ (PI-01)	Smeđe tlo na dolomitu Luvisol u vrtači Rendzina na dolomitu	Cambisol Luvisol Leptosol	Bukva i jela <i>Beech and Fir</i>	10	18	6
1998.	NP „Mljet“ (P-02)	Smeđe tlo na dolomitima	Cambisol	Hrast crnika <i>Evergreen Oak</i>	10	18	6
1998.	NP „Plitvice“ (P-03)	Smeđe tlo na vapnencima Luvisol u vrtači Crnica na vapnencu	Cambisol Luvisol Leptosol	Bukva i jela <i>Beech and Fir</i>	10	18	6
1999.	NP „Paklenica“ (P-04)	Smeđe tlo na vapnencima, koluvijalno	Cambisol	Predplaninska bukva <i>Sub-Alpine Beech</i>	10	18	6
2000.	NP „Brijuni“ (P-05)	Smeđe tlo na vapnencima	Cambisol	Hrast crnika <i>Evergreen Oak</i>	10	18	6

(Garmin Etrex Summit) su izmjerene koordinate, a nadmorske visine očitane iz topografskih karata 1:50.000. Na svakoj je plohi učinjena izmjera svih stabala, a na podplohama veličine 60 x 60 m je svako stablo, uz oznaku prsne visine, dobilo svoj broj. Svaka je ploha pedološki obrađena te je ustanovljen tip tla i njegove glavne fizikalne i kemijske karakteristike. U Tablici 1. prikazan je popis ploha s tipovima tala i brojem mjernih instrumenata.

Plohe su opremljene kišomjerima za mjerenje količine padalina te lijevcima za uzorkovanje tekućine (taloženje suhe i mokre depozicije), preporučeno po metodi ICP (International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forest). Kišomjeri i lijevci postavljeni su u dijagonalnom rasporedu po 9 komada, svaki na prostoru podplohe veličine 30 X 30 m. Na kontrolnom mjestu bez utjecaja vegetacije lijevci i kišomjeri su postavljeni u slučajnom rasporedu ili krugu.

U pedološki profil ugrađen je lizimetar na dubini od 10 do 20 cm ili ispod humusnog horizonta za mjerenje procjedne tekućine (perkolata), kako bi se ustanovila kvaliteta VRANKOVIĆ i dr. (1991) i VRBEK (1992, 2002).

Po tri kišomjera i tri lijevka postavljaju se na kontrolnim mjestima izvan utjecaja vegetacije, tj. na otvorenome prostoru.



Fotografija 1. Prikupljanje padalina lijevcima na plohi u NP „Risnjak“ (Foto: B. Vrbeč)  
*Photo 1 Collecting precipitation by funnels (bulks) on the plot in NP “Risnjak” (Photo: B. Vrbeč)*

Od taložnih tvari praćeni su  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ -S,  $\text{NH}_4^+$ -N,  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Kemijski sastav tekućina određivan je u Državnom hidrometeorološkom zavodu. Upotrebene su analitičke metode koje su standardne ili uobičajene za određivanje malih količina tvari u vodama i padalinama: spektrofotometrijskom (spektrofotometar Perkin Elmer Lambda-1) su metodom određivani  $\text{SO}_4^{2-}$ -ioni,  $\text{NO}_3^-$ -N ioni, metodom ionselektivnih elektroda (ORION – Microprocessor ionanalyser, model 901)  $\text{NH}_4^{4+}$  -ion i  $\text{Cl}^-$  -ion, a metalni ioni (natrij i kalij- alkalni, kalcij i magnezij–zemnoalkalni) određivani su atomskom apsorpcijskom spektrofotometrijom (Atomski spekt. Perkin Elmer, model 603). Uzorkovanje se obavlja lijevcima, a količina padalina mjeri se plastičnim kišomjerom. Uzorkovanje se obavlja jednom mjesečno.



Fotografija 2. Lizimetar ispod humusnog horizonta (Foto: B. Vrbeč)  
*Photo 2 Lysimeter beneath the hmus layer (Photo: B. Vrbeč)*



Fotografija 3. Mjerenje padalina na kontroli u NP „Risnjak“ (Foto: B. Vrbeč)  
*Photo 3 Measuring precipitation on the control in NP “Risnjak” (Photo: B. Vrbeč)*



Slika 4. plohe s mjestima uzorkovanja i instrumentima za praćenje  
*Figure 4 Rough draft of the plot with sites of sampling and instruments for monitoring*

## REZULTATI I RASPRAVA

### RESULTS AND DISCUSSION

Lizimetri su postavljeni na što manje stjenovitim i kamenitim mjestima na plohi. Plohe pedološki nisu homogene. U NP „Risnjak“ dolomitni je matični supstrat i na plohi se u 50% slučajeva pojavljuje luvisol tipični na dolomitu s luvisolima u vrtačama, a ostalih 50% tala je kombinacija rendzina i smeđih tala na dolomitu. Na području NP „Sjeverni Velebit“ matični supstrat je vapnenac te se u 70% slučajeva pojavljuje smeđe tlo na vapnencu i 30% crnice na vapnencima u NP „Plitvička jezera“ na matičnoj podlozi vapnenaca javljaju se također luvisoli, tipični i luvisoli u vrtačama, s učešćem oko 60%, dok je 40% kombinacija smeđih tala na vapnencima sa crnicama na vapnencima.

Prema rezultatima analiza iz Tablice 2., može se zaključiti kako je raspon pH u M-KCl u gornjim horizontima tala od 3,8 do 4,4. Prema skali pH vrijednosti (ŠKORIĆ 1982), tla pripadaju u jako kisela. Na područjima NP „Risnjak“ i „Plitvička jezera“ tla pripadaju u tu grupu po svim horizontima, dok na području Sjevernog Velebita tlo pH tla raste dubinom. Površinski humusni horizonti imaju vrlo visok sadržaj humusa također na području Velebita i Plitvičkih jezera, dok je u NP „Risnjak“ tlo dosta humozno. Dobro do bogato su opskrbljena dušikom, a relativno slabo do srednje opskrbljena fiziološki aktivnim fosforom i kalijem. Po mehaničkom sastavu tla u većini slučajeva pripadaju u lake do praškaste gline.

Na području triju Nacionalnih parkova („Risnjak“, „Sjeverni Velebit“ i „Plitvička jezera“) prosječni pH padalina bio je manji od 5,6, a to je granica koja



Tablica 2. Kemijske i fizičke karakteristike istraživanih tipova tala  
*Table 2 Chemical and physical characteristics of the investigated soil types*

Nacionalni park <i>National park</i>	Tip tla s ugrađenim lizimetrom <i>Soil type with establish lysimeter</i>	Dubina <i>Depth</i>	pH		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O <i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> K<sub>2</sub>O</i>	Humus <i>Humus</i>	Ukupni N <i>Total N</i>	Glina <i>clay</i>	Teksturna oznaka <i>Texture</i>	
			pH	pH						mg/kg <sup>-1</sup>
Risnjak/	Lesivirano ili ilimerizirano tlo u vrtači (Luvisol)	cm	H <sub>2</sub> O	M-KCl						
		2-14	4,9	3,8	2,18	36,52	36,0	1,0	33,2	Laka glina
		27-35	5,1	4,3	4,36	19,09	28,0	0,8	26,3	Praš. glina
		47-58	5,4	4,2	0,44	27,39	4,9	0,3	24,6	Praš.gl.ilovač.
		66-74	5,6	4,1	0,44	32,37	5,9	0,1	23,0	Glin.ilovač.
Sjeverni Velebit	Smede na vapnencu tipično srednje duboko, humusno (Kambisol)	1-3	5,0	4,4	13,52	205,2	7,9	36,0	Laka glina	
		6-20	6,4	6,0	4,80	74,70	92,0	4,2	35,4	Laka glina
		30-40	7,8	7,7	4,80	58,1	47,0	1,8	30,0	Laka glina
Plitvička jezera	Lesivirano ili ilimerizirano tlo u vrtači (Luvisol)	1-4	5,2	3,9	8,28	124,5	107,8	4,5	25,6	Praš. glina
		8-60	6,0	4,2	1,31	37,35	26,9	1,5	18,7	Praš.gl.ilovač
		70-90	6,1	4,1	3,05	92,13	15,0	0,7	40,6	Laka glina

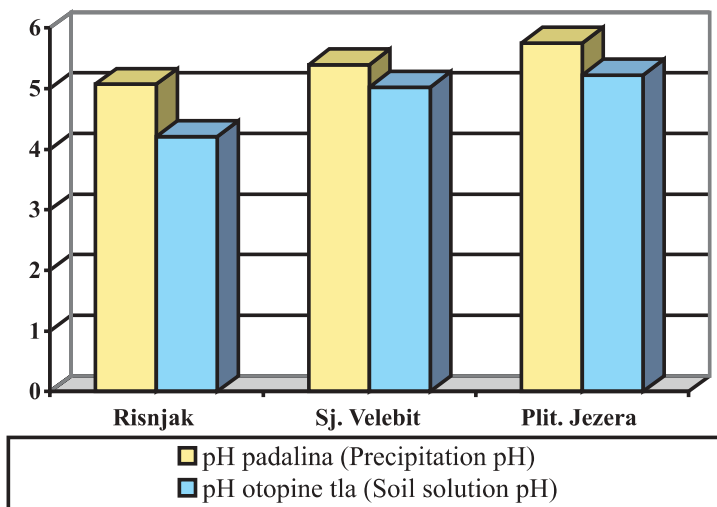
određuje kada su kiše kisele. (Grafikon 1, Tablica 3.). To se naročito može zaključiti za NP „Risnjak“ i „Sjeverni Velebit“ dok je na području NP „Plitvička jezera“ 70% uzoraka pripadalo u „kisele“. Prosječni raspon pH u kišomjerima iznosio je od 5,07 do 5,75. Otopina tla je u tom razdoblju imala prosječni sadržaj pH od 4,21 do 5,22. Evidentno je smanjen unos sumpora, a povećan dušičnih spojeva (zajedno NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N i NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N). Kad se uzmu u obzir mjerene količine padalina u mm u Nacionalnim parkovima, podaci ukazuju kako prosječni godišnji unos dušičnih spojeva za NP „Risnjak“ iznosi oko 16 - 18 kg ha<sup>-1</sup>, za NP „Sjeverni Velebit“ oko 11 - 14 kg ha<sup>-1</sup> i za NP „Plitvička jezera“ od 13 - 16 kg ha<sup>-1</sup>. Isto je tako na istraživanoj plohi NP „Risnjak“ prispjelo oko 8 kg ha<sup>-1</sup> klorida i oko 9 kg ha<sup>-1</sup> sumpora. Na plohi NP „Sjeverni Velebit“ prispjelo je oko 6 kg ha<sup>-1</sup> klorida i oko 8 kg ha<sup>-1</sup> sumpora te na području NP „Plitvička jezera“ oko 5 kg ha<sup>-1</sup> klorida i oko 6 kg ha<sup>-1</sup> sumpora. U prosjeku lizimetri imaju veći sadržaj taložnih tvari od vrijednosti nađenih u kišomjerima ispod krošanja stabala. Taj podatak ukazuje i na razlog nižih pH vrijednosti u lizimetrijskim uzorcima. Evidentni su nakupljanje taložnih tvari na površini tla te daljnji transport kroz profil tla u procjedne i podzemne vode.

Tablica 3. Prosječne godišnje vrijednosti taložnih tvari (mg /dm<sup>3</sup>) padalina (kišomjeri)  
*Table 3 Average annual values of sedimentary material (mg/dm<sup>3</sup>) from precipitation (rain-gauges)*

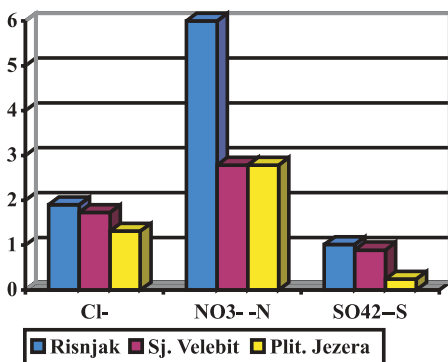
NP	Broj uzor.	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	pH	Vodljivost mS
„Risnjak“	7	1,52	1,87	2,11	0,36	0,44	0,62	2,22	2,11	5,07	30,5
„Sjeverni Velebit“	8	1,37	0,98	0,58	0,30	0,49	1,07	0,79	10,5	5,39	16,0
„Plitvička jezera“	8	1,27	1,42	0,79	0,51	0,51	0,54	2,63	8,63	5,75	32,5

Tablica 4. Prosječne godišnje vrijednosti taložnih tvari ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) u otopini tla (lizimetri)  
Table 4 Average annual values of sedimentary material ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) in the soil solution  
(Lysimeters)

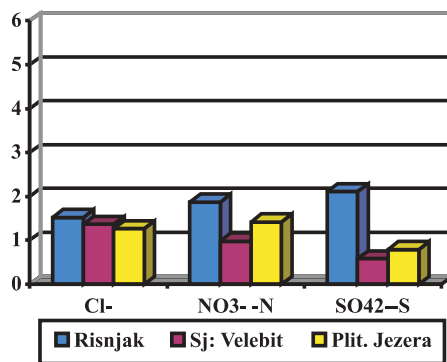
NP	Broj uzor.	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	pH	Vodljivost mS
		mg/dm <sup>3</sup>									
„Risnjak“	7	1,90	6,05	1,01	0,24	1,12	0,86	2,09	3,48	4,21	76,6
„Sjeverni Velebit“	8	1,73	2,79	0,89	0,20	0,46	0,58	0,64	3,97	5,02	33,5
„Plitvička jezera“	7	1,31	2,79	0,24	0,13	0,39	0,51	1,06	11,21	5,22	54,0



Grafikon 1. Prosječne godišnje vrijednosti pH padalina i otopine tla u trima Nacionalnim parkovima  
Graph 1 Average annual pH values of precipitation and soil solution in three National Parks

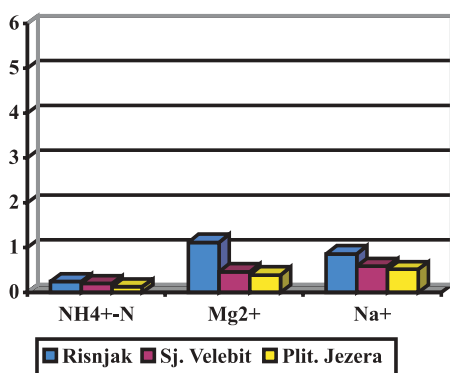


Grafikon 2. Prosječni sadržaj aniona ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) u lizimetrima  
Graph 2 Average content of anions ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) in lysimeters

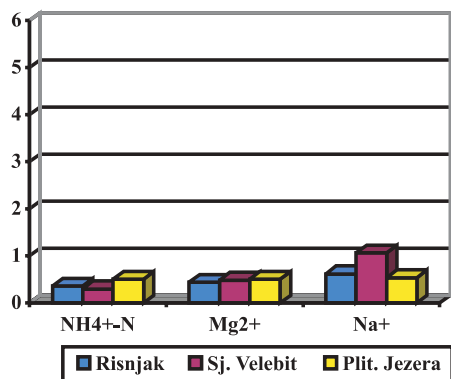


Grafikon 3. Prosječni sadržaj aniona ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) u kišomjerima  
Graph 3 Average content of anions ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) in rain-gauges





Grafikon 4. Prosječni sadržaj kationa ( $\text{mg/dm}^3$ ) u lizimetrima  
*Graph 4 Average content of cations ( $\text{mg/dm}^3$ ) in lysimeters*



Grafikon 5. Prosječni sadržaj kationa ( $\text{mg/dm}^3$ ) u kišomjerima  
*Graph 5 Average content of cations ( $\text{mg/dm}^3$ ) in rain-gauges*

U Grafikonima 2.–5. prikazane su poredbene vrijednosti taložnih tvari gdje se primjećuju razlike između padalina (kišomjeri) i otopine u tlu (lizimetri). Pošto su tla u većini slučajeva na karbonatnim supstratima njihova, puferna moć je vjerojatno u dubljim horizontima dosta dobra. Lizimetri su naime postavljeni u površinskim horizontima, ispod humusnog horizonta na dubinama od 10 do 20 cm. U procesu je zakiseljavanje tala koja su već i sama po sebi dovoljno kisela i niskih pH vrijednosti čak i u dubljim horizontima, što se može i vidjeti iz Tablice 2.

Sulfati i nitrati smanjuju pH padalina. Povoljna je okolnost što se padalinama unosi više ili jednako kalcija u odnosu na sumpor te što su tla na karbonatnoj podlozi i bogata sa  $\text{CaCO}_3$  u dubljim horizontima. U svezi kalcija i kalija na području istraživane plohe postoji pojačano ispiranja tih kationa s lišća i iglica na površinu tla (Tablice 3. i 4.).

Unos tvari zračnim se transportom očituje i na sastav tekuće faze tla. Ovisno o pufernoj sposobnosti tla, mogu nastati manja ili veća oštećenja na vegetaciji, a to se zatim očitava i na prirastu drvne mase. Ovi su rezultati u skladu s istraživanjima BRETCHEL (1989), VAN BREEMEN i dr. (1984). koji su ustanovili veliku ulogu šumskog pokrova i redovito su vrijednosti za taložne tvari bile više pod šumskim pokrovom nego na kontrolnim mjestima.

## ZAKLJUČCI

### CONCLUSIONS

Taložne tvari utječu na tlo i kvalitetu procjedne tekućine. Većina pH vrijednosti koje su izmjerene na uzorcima pripadaju kiselima.

Ta su istraživanja potvrdila kako postoji unos tvari iz atmosfere u tekuću fazu tla (perkolat) u Nacionalnim parkovima „Risnjak“, „Sjeverni Velebit“ i „Plitvička

jezera“, a šumski ekosustavi opterećeni su taložnim česticama (suho i mokro taloženje) te ih ispiru i talože dalje u tlu, a otopina tla ih prenosi dalje u podzemne vode.

Lizimetrijskom pedologijom lako se može ustanoviti stupanj zakiseljavanja tala usljed suhog i mokrog taloženja te ocijeniti njihova puferna sposobnost. Vrsta šumskog pokrova pri tome je važan čimbenik.

## LITERATURA

### REFERENCES

- BRETCHEL, H.M., 1989: Monitoring wet deposition in forest; quantitative and qualitative aspects. In: Monitoring Air Pollution and Forest Ecosystem Research Report No. 21 in the Air Pollution Reports Series of the Environmental Research Program of the European Communities, 39-63., Brussels.
- DUBRAVAC, T., 1998: Istraživanje strukture krošanja hrasta lužnjaka i običnoga graba u zajednici *Carpino betuli-Quercetum roboris*/Anić 1959 Rauš 1969. Rad. Šumar. inst. 33(2):61-72, Jastrebarsko.
- GLAVAČ, V., H. KOENIES, B. PRPIĆ, 1985: O unosu zračnih polutanata u bukove i bukovo-jelove šume Dinarskog gorja sjeverozapadne Hrvatske, Šum. list 9-10:429-447, Zagreb.
- KOMLENOVIĆ, N., B. MAYER, P. RASTOVSKI, 1991: Opterećenost kultura crnog bora (*Pinus nigra* Am) na području Istre sumporom i teškim metalima. Šum. list 11-12:451-461, Zagreb.
- MARTINOVIĆ, J., B. VRBEK, 1988: Istraživanje imisijske acidifikacije tala u Hrvatskoj. Rad. Šumar. inst. 75:177-181, Zagreb.
- MAYER, R., 1989: Antropogeni i prirodni protoci tvari u šumskom ekosistemu. Šum. list 6-8:299-313, Zagreb.
- NOVOTNY, V., 1997: Pomak osnovnih sastojinskih elemenata u vremenu između dvije izmjere u zajednici *Carpino betuli-Quercetum roboris* Anić ex. Rauš 1969. Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb.
- PRPIĆ, B., 1987: Sušenje šumskog drveća s posebnim osvrtom na opterećenje Gorskog kotara kiselim kišama i s teškim metalima. Šum. list 1-2:52-60, Zagreb.
- SELETKOVIĆ, Z., 1990: Utjecaj industrijskih polutanata na običnu bukvu (*Fagus sylvatica* L.) u šumskim ekosistemima Slavenskog gorja. Doktorska disertacija, Zagreb.
- SIENFELD, J. H., 1986: Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution. New York, A Wiley Interscience Publication.
- ŠKORIĆ, A., 1982: Priručnik za pedološka istraživanja, Sveučilište u Zagrebu
- VRANKOVIĆ, A., MARTINOVIĆ, J., N. PERNAR, 1991: Neki pokazatelji ekoloških promjena tla u Nacionalnom parku Plitvička jezera. Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Posebna izdanja, knjiga XCVIII, Odjeljenje prirodnih nauka, knjiga 15:133-143, Sarajevo.
- VRBEK, B., VRBEK, M., J. VUKELIĆ, 1991: Zakiseljavanje i nakupljanje Pb, Cu i Zn u jelovim zajednicama Nacionalnog parka "Risnjak". Šum. list 3-5: 163-172, Zagreb.
- VRBEK, B., 1992: Metoda pedoloških istraživanja u projektu ekonomsko-ekološke valencije tipova šuma (EEVTŠ). Rad. Šumar. inst. Jastrebarsko, 27 (1): 65-75, Zagreb.
- VRBEK, B., 1993: Praćenje depozicije taložnih tvari u zajednici hrasta lužnjaka i običnoga graba na području Uprave šuma Bjelovar. Šumar. inst. Jastrebarsko, 28 (1-2): 129-145, Jastrebarsko.

- VRBEK, B., 1998: Lizimetrijska istraživanja kvalitete vode u tlu nekih šumskih zajednica, Rad. Šumar. inst 33 (1): 59-72, Jastrebarsko
- VRBEK, B., 2000: Method for monitoring deposition in forest ecosystems, Arh Hig Rada Toksikol; 51:207-216, Zagreb.
- VRBEK, B., 2002: Utjecaj padalina na kemijski sastav tekuće faze tala šumske zajednice hrasta lužnjaka i običnoga graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris*, Anić 1956 ex. Rauš 1969) u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1-242, Zagreb.
- VRBEK, B., I. PILAŠ, V. ŠOJAT, N. MAGDIĆ, 2004: Utjecaj kiselih kiša na šumu i tlo u Nacionalnom parku “Plitvička jezera”, Plit. Bilten br.6 N. P. Plitvička jezera 174-200.

## QUALITY OF PRECIPITATION AND SOIL SOLUTION IN THE NATIONAL PARKS “PLITVICE LAKES”, “NORTHERN VELEBIT” AND “RISNJAK”

### Summary

*The method of ICP-Forest monitoring (International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests) is applied in Croatia for monitoring National Parks “Risnjak”, “Paklenica”, “Brijuni”, “Mljet”, “Plitvička jezera”, “Northern Velebit” and “Risnjak”. The results obtained on experimental plots will be presented in this paper covering the regions of the National Parks of “Plitvička jezera”, “Northern Velebit” and “Risnjak”. Of the sedimentary material in precipitation and soil solutions the following have been analysed:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , S,  $\text{NH}_4^+$ -N,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Sampling on the plots was performed with funnels (bulks) and the amount of precipitation measured by plastic rain-gauges with opening surface of  $60 \text{ cm}^2$ . 9 rain-gauges and funnels (bulks) were laid out in diagonal distribution on each plot of  $30 \times 30 \text{ m}$ . On the control site, without the influence of vegetation, funnels (bulks) and rain-gauges were laid out at random or in circle. Lysimeters for collecting and measuring the quality of seepage water were set up in the soil at depth of 10 cm, or under the humus horizon. A filter consisted of 96% quartz sand in a plastic container for the purpose of purifying the liquid of soil particles. Lysimeters were set up on plots in the national parks on sites with fewer rocks and stones and on deeper soils. In the NP “Risnjak” dolomite was the dominant parental substrate on the plot, and the frequent soil type was luvisol typical, and also in sink-holes. In the NP “North Velebit” the dominant parental substrate on the plot was limestone, and the most frequent was calcicambisol. In the NP “Plitvička jezera” the dominant parental substrate on the plot was limestone, and the soil was luvisol typical, and also in the sink-holes with an additional non-calcareous loess. Soil reactions were very acid (very dystic) to acid (dystic), particularly in the surface horizons.*

*Data show that the average annual intake of nitrogeenous compounds for the NP “Risnjak” amounts to approximately  $16\text{-}18 \text{ kg ha}^{-1}$ , for NP “N. Velebit” approximately  $11\text{-}14 \text{ kg ha}^{-1}$  and for NP “Plitvička jezera” from 13 to  $16 \text{ kg ha}^{-1}$ . Thus the investigated plot on NP “Risnjak” accumulated approx.  $8 \text{ kg ha}^{-1}$  chloride and approx.  $9 \text{ kg ha}^{-1}$  sulphur. The*

*plot on NP “N. Velebit” collected approx. 6 kg $ha^{-1}$  chloride and approx. 8 kg $ha^{-1}$  sulphur and in the region of NP “Plitvička jezera” approx. 5 kg $ha^{-1}$  chloride and approx. 6 kg $ha^{-1}$  sulphur. On average the lysimeters had a larger content of sedimentary material than the values registered in rain-gauges under tree crowns. This data indicates the reason for the lower pH values in the lysimetric samples. Accumulation of sedimentary material on the soil surface and further transportation through the soil profile into seepage water, is evident. Sedimentary materials effect the soil and quality of seepage water. The majority of pH values measured in the samples are acidic. By lysimetric pedology it is easy to establish the degree of soil acidification due to dry and wet sedimentation and to estimate their buffer capacity. Thus, the type of forest cover is an important factor.*

**Key words:** *monitoring, National Parks, precipitation, soil solution, acidification*