

Pedofiziografske značajke i sadržaj teških metala Pb, Zn, Cd i Cu u smrekovim šumama sjevernoga Velebita i Štirovače

Darko Bakšić, Ivan Perković, Nikola Pernar, Joso Vukelić, Boris Vrbeč

Nacrtač – Abstract

U radu su predstavljena pedološka istraživanja u tri smrekove zajednice na sjevernom Velebitu i u Štirovači: *Aremonio-Piceetum Horvat 1938*, *Laserpitio krapfii-Piceetum Vukelić i dr. 2010*, *Calamagrostio variaie-Piceetum Bertović 1975 nom. illeg.*

U tim su zajednicama uzeti kompozitni uzorci tla (13 kompozitnih uzoraka sastavljenih od po 9 pojedinačnih uzoraka) u površinskom sloju tla do 5 cm dubine i po pedološkim profilima (11 profila).

Reakcija tla jedina je pokazala statistički značajne razlike za površinski sloj tla, i to za zajednice *Aremonio-Piceetum* i *Laserpitio krapfii-Piceetum*. Najniža pH-vrijednost u zajednici *Aremonio-Piceetum* uvjetovana je kiselim matičnim supstratom, zaravnjenim reljefom koji dodatno u uvjetima perhumidne klime pogoduje podzolizaciji, dok specifične mikroklimatske prilike, mrazište i visoka zračna vlaga utječu na intenzivnije nakupljanje sirovoga humusa. U odnosu na pH-reakciju najmanju kiselost pokazuje asocijacija *Laserpitio krapfii-Piceetum*, čime su potvrđena fitocenološka istraživanja (Vukelić i dr. 2010) prema kojima ta zajednica u odnosu na ostale ima najveći broj vrsta reda *Fagetalia* (Pawlovski i dr. 1928) koje su dominantne u okolnim, uglavnom neutrofilnim bukovim i bukovo-jelovim šumama. Sve tri istraživane zajednice *Aremonio-Piceetum*, *Laserpitio krapfii-Piceetum* i *Calamagrostio variaie-Piceetum* u površinskom sloju tla do 5 cm pokazale su veliku onečišćenost olovom, a zajednice *Laserpitio krapfii-Piceetum* i *Calamagrostio variaie-Piceetum* i veliku onečišćenost cinkom i kadmijem.

Ključne riječi: smrekove zajednice, pedofiziografske značajke, teški metali, Velebit

1. Uvod – Introduction

Danas se najveći i najcjelovitiji kompleksi prirodnih smrekovih sastojina Hrvatske rasprostiru u altimontanskom i subalpinskom vegetacijskom pojasu Velebita na nadmorskim visinama u rasponu od 1100 do gotovo 1600 m. Temeljem karte staništa izrađene za projekt KEC (2003) površina smrekovih šuma u Parku prirode Velebit iznosi 3165 ha.

Na temelju dosadašnjih fitocenoloških istraživanja smrekovih šuma sjevernoga Velebita (Horvat 1938, 1950, 1963, Bertović 1975, Vukelić i Tomljanović 1990, Vukelić i dr. 2010) mogu se lučiti tri različite asocijacije: u mrazišnim udolinama Štirovače i Apatišanske dulibe altimontanska smrekova šuma s pavlovcem (*Aremonio-Piceetum* Horvat 1938), u plićim vrtačama i padinama koje se spuštaju s okolnih vrhova altimontansko-subalpinska smrekova šuma s obrublje-

nim gladcem (*Laserpitio krapfii-Piceetum* Vukelić i dr. 2010, koja u velikom dijelu obuhvaća Horvatu asocijaciju »*Piceetum croaticum subalpinum*« Horvat 1950) i na stjenovitim vrhovima, kukovima, škrapama i grebenima subalpinska smrekova šuma s milavom (*Calamagrostio variaie-Piceetum* Bertović 1975). One su tu rasprostranjene kao azonalne, mikroklimatski i edafski uvjetovane zajednice od kojih smrekova šuma s pavlovcem pridolazi u pojasu dinarske bukovo-jelove šume (*Omphalodo-Fagetum* / Tregubov 1957/ Marinček i dr. 1993), a ostale dvije u pojasu subalpinske bukove šume (*Fagetum subalpinum*) odnosno klekovine bora (*Pinetum mugi*). Njihove međusobne razlike potječu od ekoloških čimbenika presudnih za pridolazak i rasprostranjenost, od kojih su posebno zanimljivi edafski odnosi koje smo istraživali u ovom radu.

Na to upućuju i rezultati dosadašnjih malobrojnih tipoloških i pedoloških istraživanja (Gračanin 1963, Cestar i dr. 1977, 1978, Vrbek 2006a, 2006b).

Pedološka istraživanja koja su obavili Cestar i dr. (1978) pokazala su da se asocijacija *Picetum croaticum subalpinum* javlja u vrtačama, osobito na sjevernim padinama, na kalkomelanosolima i kalkokambisolima sa sirovim humusom. Oni ističu da su kalkomelanosoli pod tom zajednicom najbogatiji ukupnim dušikom i humusnim tvarima. Za zajednicu *Calamagrostio variaie-Picetum* navode da ima vrlo usku pedološku amplitudu te da uspijeva na raskidanim vapnenačkim blokovima na kojima su formirani plitki organogeni ili organomineralni kalkomelanosoli sa sirovim humusom. Njezin organski horizont na tipičnim staništima ima debljinu 10 do 15 i više centimetara. Uz to je uvijek prisutan Oh podhorizont debljine i do 2 cm.

2. Materijal i metode istraživanja – *Material and methodes of research*

Plohe su postavljene u tri smrekove zajednice: altimontanska smrekova šuma sa šumskim pavlovcem (*Aremonio-Picetum*), altimontansko-subalpinska smrekova šuma s obrubljenim gladcem (*Laserpitio krapfii-Picetum*) i subalpinska smrekova šuma s milavom (*Calamagrostio variaie-Picetum*) (slika 1).

Na svim su plohama obavljena terenska pedološka istraživanja koja su obuhvatila određivanje koordinata položaja ručnim GPS uređajem Garmin 76CSx, mjerenje nagiba i izloženosti terena optičkim klinometrom i kompasom Suunto Tandem, uzimanje kompozitnih uzorka površinskoga sloja tla do 5 cm dubine i otvaranje pedoloških profila (11 profila), te uzimanje uzoraka tla po pedogenetskim horizontima. Kompozitni uzorci uzeti su na 13 lokaliteta u površinskom sloju tla do 5 cm dubine. Svaki kompozitni uzorak sastojao se od 9 pojedinačnih uzoraka uzetih u razmaku od 1 m u križnom rasporedu.

Kompozitni uzorci tla do dubine od 5 cm, te uzorci tla uzeti unutar pedoloških profila po pedogenetskim horizontima analizirani su ovim laboratorijskim metodama:

- ⇒ Određivanje pH-vrijednosti pH (H₂O) i pH (CaCl₂) – HRN ISO 10390:2005;
- ⇒ Određivanje sadržaja karbonata CaCO₃ kod uzoraka u mineralnom dijelu tla s pH (CaCl₂ > 6) – volumetrijska metoda – HRN ISO 10693:2004;
- ⇒ Određivanje organskoga i ukupnoga ugljika suhim spaljivanjem (elementarna analiza) u kompozitnim uzorcima tla do 5 cm dubine i u humusno-akumulativnom horizontu – HRN ISO 10694:2004;
- ⇒ Određivanje sadržaja ukupnoga dušika suhim spaljivanjem (elementarna analiza) u kompozitnim

uzorcima tla do 5 cm dubine i u humusno-akumulativnom horizontu – HRN ISO 13878:2004;

- ⇒ Određivanje koncentracije elemenata Pb, Zn, Cu i Cd nakon ekstrakcije zlatotopkom na kompozitnim uzorcima i uzorcima s profila HRN ISO 11466:2004;
- ⇒ Određivanje granulometrijskoga sastava tla HRN ISO 11277:2004;
- ⇒ Za dio uzoraka granulometrijski sastav određen je pipet metodom nakon pripreme u Na-pirofosfatu.

Za analizirane varijable kompozitnih uzoraka tla do 5 cm dubine napravljena je deskriptivna statistika: broj uzoraka, aritmetička sredina, medijan, standardna devijacija, minimum i maksimum. Razina značajnosti od 5 % u svim testovima smatrana je statistički značajnom. Razlike aritmetičkih sredina varijabli kompozitnih uzoraka tla do 5 cm testirane su analizom varijance ako je bio zadovoljen uvjet homogenosti varijance. Ako je analiza varijance pokazala da postoji statistički značajna razlika za određenu varijablu po istraživanim fitocenoza, Tukeyevim višestrukim *post-hoc* testom utvrđeno je koje se fitocenoze za danu varijablu značajno razlikuju. Analize su napravljene u programskom paketu *STATISTICA 7.0* (StatSoft, Inc. 2003).

Stupanj onečišćenja za površinski sloj tla do 5 cm rangiran je po Brüne-Ellighausu (1981), pri čemu se pridržavalo graničnih vrijednosti za Pb 150 mg kg⁻¹, Zn 300 mg kg⁻¹, Cd 2 mg kg⁻¹ i Cu 100 mg kg⁻¹ (tablica 1), te prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 032/2010). S obzirom na to da je većina kompozitnih uzoraka tla praškasto-ilovaste teksture maksimalno dopuštene količine (MDK), prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja su za Pb 100 mg kg⁻¹, Zn 150 mg kg⁻¹, Cd 1 mg kg⁻¹, Cu 90 mg kg⁻¹, tablica 1.

3. Područje istraživanja – *Research area*

Istraživanje je provedeno u tri smrekove fitocenoze: *Aremonio-Picetum*, *Laserpitio krapfii-Picetum* i *Calamagrostio variaie-Picetum* na sjevernom Velebitu i u Štirovači, kako je prikazano na slici 1.

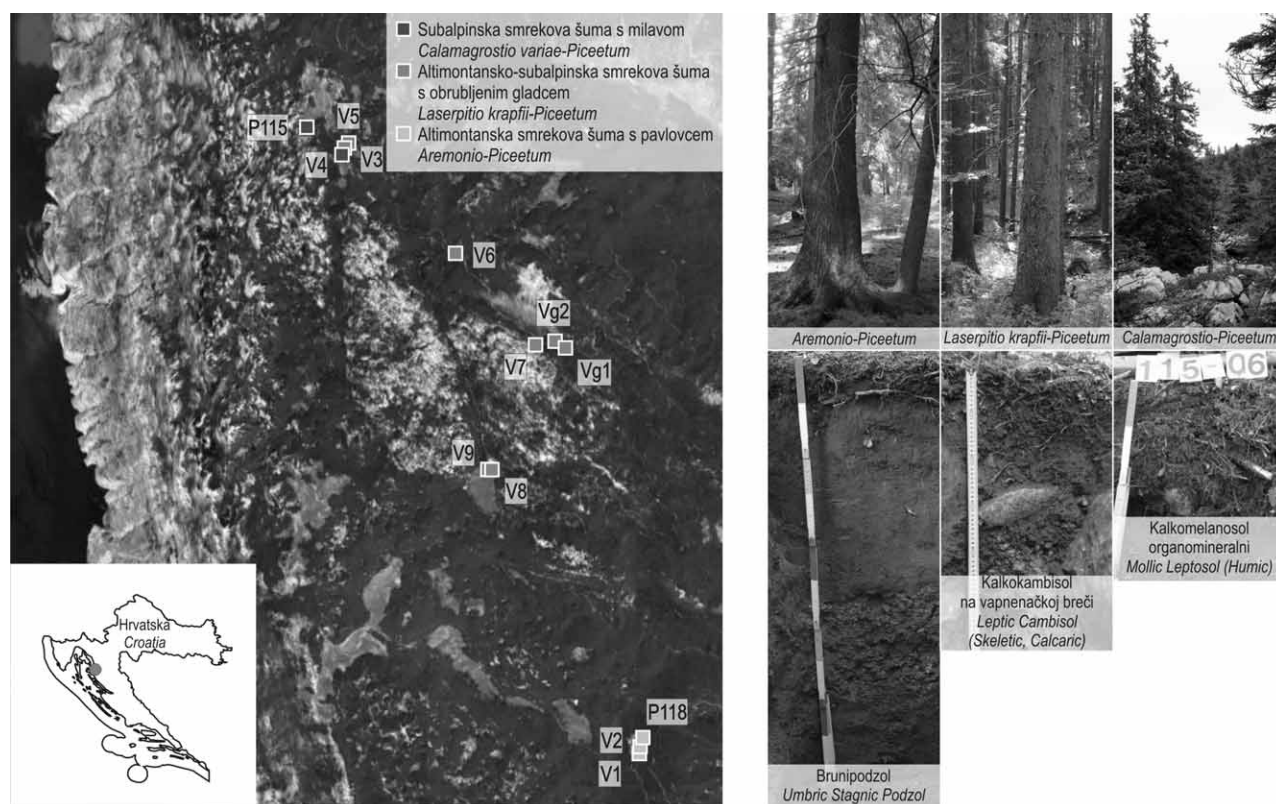
Litološku podlogu na sjevernom Velebitu čine dogerski vapnenci s ulošcima dolomita, malmski dolomitizirani vapnenci, te paleogenske vapnenačke breče i vapnenci. U užem dijelu Štirovače litološku podlogu izgrađuju naslage srednjega i gornjega trijasa i lijasa, a na dijelovima dna uvale Štirovače nalaze se i kvartarne naslage promjenjive debljine i litološkoga sastava. Vapnenci pretežno dolaze u dnu uvale, dok su dolomiti zastupljeni na bokovima. Klasične naslage zastupljene su većinom na istočnom boku

Tablica 1. Kriteriji određivanja stupnja onečišćenja prema Brüne-Ellinghausu (1981) i Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (2010)
Table 1 Criteria for determining pollution degrees according to the Brüne-Ellinghaus method (1981) and the Regulation on the Protection of Agricultural Land against Pollution (2010)

Brüne-Ellinghaus, 1981.		Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja, 2010. Regulation on the Protection of Agricultural Land against Pollution, 2010	
Stupanj onečišćenja - <i>Pollution degree</i>	% GV ¹	Stupanj onečišćenja - <i>Pollution degree</i>	SO ² (%) = TM/MDK * 100
Vrlo nizak - <i>Very low</i>	1 - 5	Čisto, neopterećeno - <i>Clean</i>	< 25
Nizak - <i>Low</i>	5 - 10	Povećana onečišćenost - <i>Increased</i>	25 - 50
Srednji - <i>Medium</i>	10 - 25	Velika onečišćenost - <i>High contamination</i>	50 - 100
Visok - <i>High</i>	25 - 50	Onečišćeno - <i>Contaminated</i>	100 - 200
Vrlo visok - <i>Very high</i>	50 - 100	Zagađeno - <i>Polluted</i>	> 200
Iznad GV - <i>Above Limit value</i>	> 100		

¹ GV - Granična vrijednost - Limit value

² SO - Stupanj onečišćenja (udio teških metala/maksimalna dopuštena vrijednost) * 100 - Pollution degree (heavy metal content/maximum allowed content) * 100



Slika 1. Područje istraživanja s označenim ploham i karakterističnim izgledom istraživanih zajednica s najzastupljenijim tipovima tla
Fig. 1 Research area with marked plots and characteristic appearance of investigated communities with the best represented soil types

Štirovače, a izgrađuju ih tufitični lapori i pješčenjaci koji su izrazito crvene boje (Mamužić i dr. 1966, 1973, Velić i dr. 1976, Sokač i dr. 1976).

Klima je prema podacima meteorološke postaje Zavižan (1594 m n. v.) perhumidna, umjereno hladna s prosječnom godišnjom temperaturom zraka od 3,8 °C (Zavižan, 1971 – 2006. godine) i prosječnom količinom oborina od 1983 mm/god. (min. = 1302 mm/god.; maks. = 2457 mm/god.).

4. Rezultati istraživanja i rasprava Research results and discussion

4.1 Pedofiziografske značajke Pedophysiological features

Prema nagibu terena izmjenom na mjestima uzorkovanja zajednica *Aremonio-Piceetum* javlja se na blago nagnutim terenima na kojima je prosječan

Tablica 2. Pedofiziografske značajke tla po profilima otvorenim u zajednicama *Arenario-Piceetum* (A-P), *Laserpitio krapfii-Piceetum* (L-P) i *Calamagrostio variae-Piceetum* (C-P)
Table 2 Pedophysiological soil features by profiles opened in the communities *Arenario-Piceetum* (A-P), *Laserpitio krapfii-Piceetum* (L-P) and *Calamagrostio variae-Piceetum* (C-P)

Pedološki profil Soil profile	Geog. širina Latitude	Geog. dužina Longitude	Nad. visina (GPS) Altitude	Područje Area	Fito-cenoza Phyto-coenose	Tip tla Soil type	Horizont Horizon	Dubina (od) Depth (from)	Dubina (do) Depth (to)	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	C org., g kg ⁻¹	N tot., g kg ⁻¹	C:N	CaCO ₃ , g kg ⁻¹
P 118	44° 41' 55,53"N	15° 3' 11,82"E	1149	Širovača	A-P	Brunipodzol <i>Umbric Stagnic Podzol</i>	A/E	0	10	3,88	2,90	96,9	7,9	12	-
							Bs	10	25	4,70	3,70	-	-	-	
							C1	25	46	4,75	3,96				
							C2	46	100	4,65	3,87				
V 2	44° 41' 50,64"N	15° 3' 9,91"E	1124	Širovača	A-P	Eutrični kambisol ilimerizirani <i>Haplic Cambisol (Hyperochric, Eutric)</i>	Aoh	0	3	4,18	3,74	81,4	7,3	11	-
							[B]v1	9	60	5,89	5,01	-	-	-	
							[B]v2	60	90	5,88	5,26				
Vg 1	44° 46' 9,60"N	15° 2' 1,56"E	1234	Lomska dubiba	L-P	Kalkokambisol plitki na karbonatnoj trošini <i>Lepic Cambisol (Sceletic)</i>	Aoh	0	11	5,30	4,71	145,9	11,3	13	-
Vg 2	44° 46' 14,10"N	15° 1' 51,88"E	1260	Lomska dubiba	L-P	Kalkokambisol plitki na karbonatnom koluviu <i>Hyperleptic Cambisol (Colluvic, Calcaric)</i>	[B]yz	11	45	6,33	5,55	-	-	-	-
							Aum	0	8	5,88	5,45	125,4	10,0	13	
							[B]yz	8	27	6,51	6,05	-	-	-	30,1
V 4	44° 48' 12,75"N	14° 58' 46,96"E	1476	Veliki Zavižan	L-P	Kalkokambisol ilimerizirani <i>Lepic Cambisol (Hyperochric, Calcaric)</i>	Aoh	0	2	5,05	4,56	101,2	7,8	13	-
							Aoh/E	2	5	5,36	5,05	-	-	-	
							[B]yz	5	60	7,23	6,91				
V 5	44° 48' 17,58"N	14° 58' 49,14"E	1422	Veliki Zavižan	L-P	Kalkokambisol s prevagom skeleta karbonatnih breča <i>Lepic Cambisol (Sceletic, Calcaric)</i>	Amo	0	20	6,97	6,60	111,7	10,9	10	34,4
							[B]yz	20	40	7,68	7,38	-	-	-	
V 6	44° 47' 10,14"N	15° 0' 22,15"E	1285	Lomska dubiba	L-P	Kalkokambisol na trošini karbonatnih breča <i>Hyperleptic Cambisol (Hyperochric, keletic, Calcaric)</i>	Aoh	0	2	6,28	6,02	83,3	6,6	13	30,1
							[B]yz	2	30	6,90	6,69	-	-	-	
V 7	44° 46' 10,90"N	15° 1' 35,19"E	1295	Veliki Lom	L-P	Kalkokambisol tipični duboki <i>Lepic Cambisol (Humic, Calcaric)</i>	Aoh	0	10	4,95	4,42	187,5	12,7	15	-
							[B]yz	10	50	7,20	6,83	-	-	-	
V 8	44° 44' 51,34"N	15° 0' 54,50"E	1317	Veliki Lubenovac	L-P	Kalkokambisol na karbonatnom skeletu <i>Lepic Cambisol (Ochric, Sceletic, Calcaric)</i>	Aoh	0	4	5,37	4,96	96,2	7,7	12	-
							[B]yz	4	35	6,60	6,28	-	-	-	
P 115	44° 48' 26,10"N	14° 58' 13,50"E	1462	Balinovac	C-P	Kalkmelanosol organomineralni <i>Mollic leptosol (Humic)</i>	Ofh	0	16	5,39	4,57	193,3	12,9	15	-
							Amo	16	55	7,12	6,39	136,5	10,8	13	

nagib iznosio 3°. Zajednica *Laserpitio krapfii-Piceetum* javlja se na većem nagibu, prosječno 15°, a zajednica *Calamagrostio variae-Piceetum* na najvećim nagibima, prosječno 27°.

Zajednica *Aremonio-Piceetum* zabilježena je u Štirovači u najnižem zaravnjenom dijelu. Rasprostire se na nadmorskoj visini od oko 1100 do 1200 m. Matičnu podlogu na oba otvorena profila čine trijaski klastiti izgrađeni od tufitičnih lapora i pješčenjaka izrazito crvene boje. Matični supstrat i položaj u reljefu, uz specifične klimatske prilike, uvjetovali su nastanak dubokih kiselih tala u kojima su izraženi znakovi podzolizacije (slika 1).

Zajednica *Laserpitio krapfii-Piceetum* javlja se na većim nadmorskim visinama između 1200 i 1500 m na sjevernim i istočnim ekspozicijama. Uglavnom pridolazi na kalkokambisolu (slika 1) čija je dubina uvjetovana razvedenošću i položajem u reljefu. Matičnu podlogu čine karbonatne jelar breče i vapnenačko-dolomitni blokovi, a u nižim dijelovima Lomske dulibe karbonatni kolvij.

Zajednica *Calamagrostio variae-Piceetum* pridolazi na nadmorskim visinama iznad 1400 m, na najvrletnijem terenu vapnenačkih blokova izgrađenih od karbonatnih jelar breča. Na takvu vrletnom terenu i ekstremnim klimatskim prilikama razvijaju se najplića tla, kalkomelanosol organogeni i organomineralni (slika 1) te kalkokambisol plitki.

Analize kompozitnih uzoraka tla uzetih s dubine do 5 cm u tri različite smrekove zajednice (*Aremonio-Piceetum*, *Laserpitio krapfii-Piceetum* i *Calamagrostio variae-Piceetum*) pokazale su da je najniža pH-vrijednost zabilježena u zajednici *Aremonio-Piceetum*, zatim u zajednici *Calamagrostio-Piceetum*, a najviša u *Laserpitio krapfii-Piceetum*. Prosječna vrijednost pH (H₂O) u zajednici *Aremonio-Piceetum* iznosi 4,35, u *Laserpitio krapfii-Piceetum* 5,56, a u *Calamagrostio variae-Piceetum* 5,23 (tablica 3). Prema pH-vrijednosti za dubinu tla do 5 cm statistički se značajno razlikuju zajednice *Aremonio-Piceetum* i *Laserpitio krapfii-Piceetum* (pH (H₂O), $p = 0,01447$; pH (CaCl₂), $p = 0,01668$).

U svim zajednicama površinski sloj tla bogato je humozan i bogato opskrbljen dušikom. Najbogatiji je u zajednici *Calamagrostio variae-Piceetum*, gdje prosječna vrijednost C org. iznosi 131,6 g kg⁻¹, a N tot. 9,3 g kg⁻¹ (tablica 3). Vrijednost C : N u sve tri zajednice pokazuje povoljan odnos koji se kreće između 11 i 15.

Prosječna debljina humusno-akumulativnoga horizonta najmanja je u zajednici *Aremonio-Piceetum* i iznosi 6,5 cm, veća je u zajednici *Laserpitio krapfii-Piceetum* i iznosi 7,5 cm, a najveća je u zajednici *Calamagrostio variae-Piceetum* i iznosi 21 cm. Sadržaj pH-vrijednosti, C org. i N tot. u humusno akumulativnom horizontu pokazuje slične vrijednosti i identičan

trend kao i kompozitni uzorci tla do 5 cm dubine pa ih zbog toga nećemo posebno navoditi.

Ako promatramo argiloakumulativni i kambični horizont, najnižu pH-vrijednost ima zajednica *Aremonio-Piceetum* u kojoj prosječna vrijednost pH (H₂O) iznosi 5,30. U zajednici *Laserpitio krapfii-Piceetum* prosječna vrijednost pH (H₂O) iznosi 6,92. Najvišu pH-vrijednost ima zajednica *Calamagrostio variae-Piceetum* u kojoj prosječna vrijednost pH (H₂O) iznosi 7,21, ali je riječ samo o jednom profilu otvorenom na plitkom i izrazito skeletnom kalkokambisolu.

Sva tla imaju teksturu u rasponu od praškaste do glinovite ilovače. Pojedine frakcije ne mogu se usporediti zbog različitih metoda određivanja granulometrijskoga sastava.

4.2 Sadržaj teških metala Pb, Zn, Cd i Cu – The content of heavy metals Pb, Zn, Cd and Cu

Granične vrijednosti za teške metale (GV) iskazuju najveće dopuštene koncentracije iznad kojih je rizik od koncentracije teških metala neprihvatljiv zbog depresivnoga i toksičnoga učinka na biljke i druge organizme (Martinović 1997, 2003). Pri tome je važno poznavanje prirodno stečenoga (»geogenoga«, »pedogenoga«) stanja teških metala u tlu. Prema podacima (Martinović 1997, Gračanin i Ilijanić 1977) najčešće se uzimaju prirodne vrijednosti za Pb manje od 10 mg kg⁻¹, Zn od 10 do 50 mg kg⁻¹, Cd manje od 0,5 mg kg⁻¹ i Cu od 5 do 20 mg kg⁻¹.

Novija istraživanja provedena prilikom izrade Geokemijskoga atlasa Hrvatske (Halamić i Miko 2009) prikazuju prostornu raspodjelu kemijskih elemenata u površinskom dijelu tla do 25 cm dubine provedenih na mreži 5 × 5 km za cijelu Hrvatsku. Stoga su podaci iz Geokemijskoga atlasa referentni i prikladni za usporedbu. Oni su recentno, a ne geogeno stanje. Raspon koncentracije Pb u površinskom sloju tla od 0 do 25 cm za gorsku Hrvatsku kreće se između 14 i 136 mg kg⁻¹, a medijan iznosi 39 mg kg⁻¹. Raspon koncentracije Zn je od 33 do 638 mg kg⁻¹ s medijanom 104 mg kg⁻¹, raspon koncentracije Cd je od 0,2 do 15,5 mg kg⁻¹ s medijanom od 0,6 mg kg⁻¹, a raspon koncentracije Cu je od 6 do 85 mg kg⁻¹ s medijanom od 25 mg kg⁻¹.

Usporedbom podataka iz Geokemijskoga atlasa Hrvatske s tablicom 4, u kojoj su dane prosječne vrijednosti za Pb, Zn, Cd i Cu za tri istraživane smrekove zajednice, uočava se da je vrijednost medijana za sadržaj Pb veća u sve tri zajednice od vrijednosti medijana za gorsku Hrvatsku. Vrijednost medijana za Zn ne odstupa značajno od vrijednosti medijana za gorsku Hrvatsku. Medijan za sadržaj Cd kod *Laserpitio krapfii-Piceetum* i *Calamagrostio variae-Piceetum* dvostruko je veći od medijana za gorsku Hrvatsku, dok je za zajednicu *Aremonio-Piceetum* dvostru-

Tablica 3. Deskriptivna statistika za pH-vrijednost, sadržaj C org. i N tot. za kompozitne uzorke tla uzete iz površinskoga sloja do 5 cm dubine u sve tri istraživane zajednice: *Aremonio-Piceetum* (A-P), *Laserpitio krapfii-Piceetum* (L-P) i *Calamagrostio variae-Piceetum* (C-P). Broj kompozitnih uzoraka u A-P je 3, u L-P je 8, a u C-P je 2

Table 3 Descriptive statistics for pH value, C org. and N tot. content for composite soil samples taken from the surface layer up to 5 cm deep in all the three studied communities: *Aremonio-Piceetum* (A-P), *Laserpitio krapfii-Piceetum* (L-P) and *Calamagrostio variae-Piceetum* (C-P). The number of composite samples in A-P is 3, in L-P it is 8 and in C-P it is 2

Varijabla Variable	A-P	L-P	C-P	Varijabla Variable	A-P	L-P	C-P	Varijabla Variable	A-P	L-P	C-P	Varijabla Variable	A-P	L-P	C-P
Aritm. sr. Mean	4,35	5,56	5,23	pH CaCl ₂	3,72	5,07	4,52	C org g kg ⁻¹	113,1	126,2	131,6	N tot g kg ⁻¹	8,5	8,9	9,3
Medijan Median	4,28	5,64	5,23		3,99	5,15	4,52		96,9	119,7	131,6		7,9	9,2	9,3
Std. dev. S.D.	0,51	0,54	0,23		0,72	0,58	0,08		50,2	39,8	87,3		1,9	2,5	5,1
Min.	3,88	4,62	5,07		2,90	4,26	4,46		72,9	84,7	69,8		6,9	5,7	5,7
Max.	4,89	6,33	5,39		4,26	6,07	4,57		169,4	205,8	193,3		10,7	13,5	12,9

ko manji. Medijan za sadržaj Cu za sve tri zajednice niži je od medijana za gorsku Hrvatsku.

Martinović (2003) navodi da sva tla Parka prirode Velebit u bioklimi bukovo-jelove šume imaju visok stupanj onečišćenja (veći od 50 % granične vrijednosti), dok za Zn i Cd navodi da pokazuju bitno niži stupanj onečišćenja.

Značajan utjecaj na sadržaj teških metala imaju pH-vrijednost, sadržaj organske tvari, tekstura i kapacitet izmjenjivih kationa (Ross 1994, Vanmechelen i dr. 1997). Najniži sadržaj teških metala u površinskom sloju tla do 5 cm kod zajednice *Aremonio-Piceetum* mogao bi se pripisati jednim dijelom geogenom porijeklu, a drugim dijelom manjoj izloženosti zračnoj poluciji zbog relativno zaštićenoga položaja jer se radi o udolini okruženoj planinskim vrhovima.

Zn i Cd su često prisutni kao elementi u tragovima u vapnenačkim stijenama i karbonatnim mineralima (Vanmechelen i dr. 1997), što ide u prilog većemu geogenomu sadržaju na kalkokambisolu i kalkomelanosolu u zajednicama *Laserpitio-Piceetum* i *Calamagrostio-Piceetum*. Istraživanja koja su proveli Glavač i dr. (1985) te Vrbeć i dr. (1991) pokazala su da stupanj opterećenja Pb, Zn i Cu koincidira s porastom nadmorske visine i izloženosti terena.

Martin i Bullock (1994) navode da topivost i pristupačnost teških metala općenito raste s povećanjem kiselosti. Prema tomu možemo očekivati da su teški metali najmobilniji u najkiselijem tlu u zajednici *Aremonio-Piceetum*.

S obzirom na stupanj onečišćenja površinski sloj tla do 5 cm dubine u svim trima smrekovim zajedni-

Tablica 4. Deskriptivna statistika sadržaja teških metala Pb, Zn, Cd i Cu u kompozitnim uzorcima tla do 5 cm dubine po istraženim zajednicama A-P, L-P i C-P. Broj kompozitnih uzoraka u A-P je 3, u L-P je 8, a u C-P je 2

Table 4 Descriptive statistics of heavy metal content (Pb, Zn, Cd and Cu) in composite soil samples up to 5 cm depth by the studied communities A-P, L-P and C-P. The number of composite samples in A-P is 3, in L-P it is 8, and in C-P it is 2

Varijabla Variable	A-P	L-P	C-P	Varijabla Variable	A-P	L-P	C-P	Varijabla Variable	A-P	L-P	C-P	Varijabla Variable	A-P	L-P	C-P
Aritm. sr. Mean	50,9	69,1	54,7	Zn mg kg ⁻¹	57,0	106,6	75,0	Cd mg kg ⁻¹	0,4	1,2	1,9	Cu mg kg ⁻¹	13,7	19,2	17,9
Medijan Median	54,5	65,0	54,7		61,0	101,0	75,0		0,3	1,0	1,9		13,4	18,4	17,9
Std. dev. S.D.	11,5	16,2	0,4		42,1	25,9	60,8		0,1	0,7	0,1		7,8	3,4	13,9
Min.	38,0	48,2	54,4		13,0	82,0	32,0		0,3	0,5	1,8		6,0	15,8	8,0
Max.	60,1	95,8	55,0		97,0	153,0	118,0		0,5	2,4	2,0		21,6	24,1	27,7

Tablica 5. Stupanj onečišćenosti površinskoga sloja tla do 5 cm dubine po istraživanim zajednicama A-P, L-P i C-P.**Table 5** Pollution degree of the top soil layer up to 5 cm deep by the studied communities A-P, L-P and C-P

Oznaka fitocenozе Type of association	Medijan - Median	Stupanj onečišćenja Pollution degree (Brune Ellighaus 1981)	SO (%)** TM/MDK* 100	Stupanj onečišćenja, Pravilnik NN 32/10 Pollution degree, Regulation NN32/10
Pb mg kg ⁻¹				
A-P	54,5	Visok - High	54,5	Velika onečišćenost - High contamination
L-P	65,0	Visok - High	65,0	Velika onečišćenost - High contamination
C-P	54,7	Visok - High	54,7	Velika onečišćenost - High contamination
Zn mg kg ⁻¹				
A-P	61,0	Srednji - Medium	40,7	Povećana onečišćenost - Increased
L-P	101,0	Visok - High	67,3	Velika onečišćenost - High contamination
C-P	75,0	Visok - High	50,0	Velika onečišćenost - High contamination
Cd mg kg ⁻¹				
A-P	0,3	Srednji - Medium	30,0	Povećana onečišćenost - Increased
L-P	1,0	Vrlo visok - Very high	100,0	Onečišćeno - Contaminated
C-P	1,9	Vrlo visok - Very high	190,0	Onečišćeno - Contaminated
Cu mg kg ⁻¹				
A-P	13,40	Srednji - Medium	14,9	Čisto, neopterećeno - Clean
L-P	18,35	Srednji - Medium	20,4	Čisto, neopterećeno - Clean
C-P	17,85	Srednji - Medium	19,8	Čisto, neopterećeno - Clean

** SO (%) - stupanj onečišćenja - Pollution degree; TM - ukupni sadržaj teških metala u tlu - Total content of heavy metals in soil
MDK - maksimalna dopuštena koncentracija - Maximum allowed content

cama pokazao je veliku onečišćenost olovom. Prema sadržaju cinka zajednice *Laserpitio krapfii-Piceetum* i *Calamagrostio variaie-Piceetum* pokazuju veliku onečišćenost, a po sadržaju su kadmija onečišćene (tablica 5). Analiza varijance pokazala je statistički značajnu razliku za površinski sloj tla do 5 cm dubine samo za sadržaj kadmija između zajednica *Aremonio-Piceetum* i *Calamagrostio variaie-Piceetum*.

5. Zaključci – Conclusions

Reakcija tla jedina je pokazala statistički značajne razlike za površinski sloj tla i to za zajednice *Aremonio-Piceetum* i *Laserpitio krapfii-Piceetum*. Najniža pH vrijednost u zajednici *Aremonio-Piceetum* uvjetovana je kiselim matičnim supstratom, zaravnjenim reljefom koji dodatno u uvjetima perhumidne klime pogoduje podzolizaciji, dok specifične mikroklimatske prilike, mrazište i visoka zračna vlaga utječu na intenzivnije nakupljanje sirovoga humusa. U odnosu na pH-reakciju najmanju kiselost pokazuje asocijacija *Laserpitio krapfii-Piceetum*, čime su potvrđena fitocenološka istraživanja (Vukelić i dr. 2010) prema kojima ta zajednica u odnosu na ostale ima najveći broj vrsta reda *Fagetalia* koje su dominantne u okol-

nim, uglavnom neutrofilnim bukovim i bukovo-jelovim šumama.

Sve tri istraživane zajednice, *Aremonio-Piceetum*, *Laserpitio krapfii-Piceetum* i *Calamagrostio-Piceetum*, u površinskom sloju tla do 5 cm pokazale su veliku onečišćenost olovom, a zajednice *Laserpitio krapfii-Piceetum* i *Calamagrostio variaie-Piceetum* i veliku onečišćenost cinkom i kadmijem.

6. Literatura – References

- Bertović, S., 1975: Ekološko-vegetacijske značajke okoliša Zavižana u sjevernom Velebitu. Glasnik za šumske pokuse 18: 5–75.
- Brüne, H., R. Ellinghaus, 1981: Schwermetallgehalte in Landwirtschaftlich genutzten Ackerböden Hessens. Landwirtschaft Fersch. Kongressband, Trier 38: 338–349.
- Cestar, D., V. Hren, Z. Kovačević, J. Martinović, Z. Pelcer, 1977: Tipološke značajke šuma na profilu Štirovača-Lešće. Odjel za tipologiju šuma, Šumarski institut Jastrebarsko, 103 str.
- Cestar, D., V. Hren, Z. Kovačević, J. Martinović, Z. Pelcer, 1978: Ekološko-gospodarski tipovi šuma okoliša Zavižana. Šumarski institut Jastrebarsko, 110 str.

- Glavač, V., H. Koenis, B. Prpić, 1985: Zur Immissionenbelastung der industrieferner Buchen und Buchentannenwälder in der dinarische Gebirgen Nordwestjugoslawiens. 15 Jahrestagung der Gessellschaft für ökologie, Graz.
- Gračanin, M., Lj. Ilijanić, 1977: Uvod u ekologiju bilja. Školska knjiga, Zagreb, 318 str.
- Gračanin, Z., 1963: Ein Beitrag zur Kenntnis der Boden der natürlichen Fichtenwälder (*Picea excelsa* Lam. L. K.) in Kroatien. Pflanzensociologie und landschaftsökologie, Bericht über das Internationale Symposium in Stolzenau, Den Haag 1968: 300–328.
- Halamić, J., S. Miko, 2009: Geokemijski atlas Republike Hrvatske. Hrvatski geološki institut, Zagreb, 87 str.
- Horvat, I., 1938: Biljnosociološka istraživanja u Hrvatskoj. Glasnik za šumske pokuse 6: 127–256.
- Horvat, I., 1950: Šumske zajednice Jugoslavije. Zagreb, 73 str.
- Horvat, I., 1963: Šumske zajednice Jugoslavije. Šumarska enciklopedija, I. izdanje, Zagreb, knj. 2: 560–590.
- Mamužić, P., A. Milan, 1966: Tumač za list Rab L 33–114. Osnovne geološke karte 1:100 000, SFR Jugoslavija, Beograd 1973.
- Mamužić, P., A. Milan, B. Korolija, I. Borović, Ž. Majcen, 1973: List Rab L33–114. Osnovne geološke karte 1:100 000, SFR Jugoslavija, Beograd.
- Marinček, L., L. Mucina, M. Zupančić, L. Poldini, I. Dakskobler, M. Accetto, 1992: Nomenklatorische revision der Illyrischen Buchenwälder (verband Aremonio-Fagion). Studia Geobotanica 12: 121–135.
- Martin, M. H., R. J. Bullock, 1994: The impact and fate of heavy metals in an oak woodland ecosystem. U: Toxic metals in soil-plant systems (Ed. Ross, S. M.), Wiley, 469 str.
- Martinović, J., 1997: Tloznanstvo u zaštiti okoliša. Priručnik za inženjere, Državna uprava za zaštitu okoliša, Zagreb, 287 str.
- Martinović, J., 2003: Gospodarenje šumskim tlima u Hrvatskoj (*Management of forest soils in Croatia*). Šumarski institut Jastrebarsko, 521 str.
- OIKON, 2003: »Croatia – Karst Ecosystem Conservation Project – Consulting Services for Biodiversity Studies«. Contract n° IBRD/GEF TF N° 050539 HR – Izrada karata staništa i pokrova zemljišta za 5 nacionalnih parkova i parkova prirode, Suradnja: Agriconsulting, Naručitelj: MZOPU.
- Ross, S. M., 1994: Retention, transformation and mobility of toxic metals in soils. U: Toxic metals in soil-plant system (Ed. Ross, S. M.), Wiley, 469 str.
- Schweingruber, F. H., 1972: Die subalpinen Zwergstrauchgesellschaften im Einzugsgebiet der Aare (Schweizerische nordwestliche Randalpen). SH Anstalt f. Forstliche Versuchswesen Mitteilungen 48(2): 195–504.
- Sokač, B., S. Bahun, I. Velić, I. Galović, 1976: Tumač za list Otočac L33–115. Osnovne geološke karte 1:100 000, SFR Jugoslavije, Beograd 1976.
- StatSoft, Inc., 2004: STATISTICA (data analysis software system), version 7. .
- Trinajstić, I., 1995: Plant geographical division of forest vegetation of Croatia. Annal. Forest. 20: 37–66.
- Trinajstić, I., 2008: Biljne zajednice Republike Hrvatske. Akademija šumarskih znanosti, Zagreb, 179 str.
- Vanmechelen, L., R. Groenmans, E. Van Ranst, 1997: Forest soil condition in Europe. Results of a Large-Scale Soil Survey, Forest Soil Coordinating Centre, Brussels, Geneva, 252 str.
- Velić, I., S. Bahun, B. Sokač, I. Galović, 1976: List Otočac L33–115. Osnovne geološke karte 1:100 000, SFR Jugoslavije, Beograd.
- Vrbek, B., 2006a: Istraživanje tipova tala Velebitskog botaničkog vrta u Nacionalnom parku »Sjeverni Velebit«. Šumarski institut Jastrebarsko, Odjel za ekologiju i uzgajanje šuma, 26 str.
- Vrbek, B., 2006b: Istraživanje tipova tala područja Štirovače u Nacionalnom parku »Sjeverni Velebit« s izradbom pedološke karte. Šumarski institut Jastrebarsko, Odjel za ekologiju i uzgajanje šuma, 27 str.
- Vrbek, B., M. Vrbek, J. Vukelić, 1991: Zakiseljavanje tla i nakupljanje Pb, Cu i Zn u jelovim zajednicama Nacionalnog parka »Risnjak«. Šumarski list 3–5: 163–172.
- Vries, W., D. J. Bakker, 1996: Manual for Calculating Critical Loads of Heavy Metals for Soils and Surface Waters. Winand Staring Centre, Wageningen, 173 str.
- Vukelić, J., A. Alegro, V. Šegota, 2010: Altimontansko-subalpska smrekova šuma s obrubljenim gladcem (*Laserpitium krapfii-Piceetum abietis* ass. nova) na sjevernom Velebitu. Šumarski list 134 (5–6): 211–228.
- Vukelić, J., J. Tomljanović, 1990: Prilog istraživanjima rasprostranjenosti i vegetacijske strukture nekih fitocenoza obične smreke (*Picea excelsa* Link.) u sjevernom Velebitu. Glasnik za šumske pokuse 26: 227–242.
- Weber, H. E., J. Moravec, J. P. Theurillat, 2000: International Code of Phytosociological Nomenclature. 3th ed. J. Veget. Sci. 11: 739–768.

 Abstract

Pedophysiological Features and Heavy Metal Content (Pb, Zn, Cd and Cu) in Spruce Forests of Northern Velebit and Štirovača

The largest and the most coherent complexes of natural spruce stands in Croatia are currently distributed in the altimontane and subalpine vegetation belt of Velebit over an area of 3165 ha and altitudes ranging from 1100 to almost 1600 m.

Past phytocoenological research into spruce forests in northern Velebit distinguishes three different associations: frost valleys of Štirovača and Apatišanska Duliba support the altimontane spruce forest with bastard agrimony (Aremonio-Piceetum Horvat 1938), shallower sink holes and slopes descending from the surrounding tops contain the altimontane-subalpine spruce forest with Laserpitium krapfii (Laserpitio krapfii-Piceetum Vukelić et al. 2010), while rocky tops, hips, karrens and ridges feature the subalpine spruce forest with small-reed (Calamagrostio variaie-Piceetum Bertović 1975). These associations are distributed as azonal, microclimatically and edaphically conditioned associations, of which spruce forest with bastard agrimony occurs in the belt of Dinaric beech-fir forest (Omphalodo-Fagetum) while the two others grow in a higher belt of subalpine beech forest with buttercup (Ranunculo platanifoliae-Fagetum). Their mutual differences result from ecological factors which are decisive for their occurrence and distribution. Of these, the edaphic relationships which we explored in this work draw particular interest.

Composite samples were taken from the top layer up to 5 cm deep (13 composite samples composed of 9 individual samples each), pedological profiles were opened (11 profiles), and soil samples were taken by pedogenetic horizons within pedological research in three spruce communities: altimontane spruce forest with bastard agrimony (Aremonio-Piceetum), altimontane-subalpine spruce forest with Laserpitium krapfii (Laserpitio krapfii-Piceetum), and subalpine spruce forest with small-reed (Calamagrostio-Piceetum) in the area of northern Velebit and Štirovača. Composite samples, taken from the top soil layer up to 5 cm deep, consisted of 9 samples, each taken at a distance of 1 m in a cross pattern.

Soil samples were analyzed by means of the following laboratory methods: determination of pH values (HRN ISO 10390:2005), determination of CaCO₃ content (HRN ISO 10693:2004), determination of organic and total carbon and nitrogen with dry combustion (HRN ISO 10694:2004, HRN ISO 13878:2004), determination of concentrations of Pb, Zn, Cu and Cd (HRN ISO 11466:2004), and determination of the granulometric soil composition (HRN ISO 11277:2004). Descriptive statistics were made for all the samples by the investigated phytocoenosis. Variance analysis was used to test the differences between the composite soil samples for the layer of up to 5 cm in depth. Statistica 7.0 software was used for this purpose.

The analyses of composite soil samples taken from a depth of 5 cm in three different spruce communities (Aremonio-Piceetum, Laserpitio krapfii-Piceetum and Calamagrostio-Piceetum) showed that the lowest pH value was recorded in the community Aremonio-Piceetum, followed by the community Calamagrostio-Piceetum, while the highest value was recorded in the community Laserpitio krapfii-Piceetum. The average pH (H₂O) value in the community Aremonio-Piceetum reaches 4.35, in Laserpitio krapfii-Piceetum it is 5.56 and in Calamagrostio-Piceetum it is 5.23. In terms of pH values for soil depths of up to 5 cm, the communities Aremonio-Piceetum and Laserpitio krapfii-Piceetum (pH H₂O, p=0.01447; pH CaCl₂, p=0.01668) show a statistically significant difference.

In all the communities the surface soil layer is richly humous and well supplied with nitrogen. It is the richest in the community Calamagrostio-Piceetum, where the average value of C org amounts to 131.6 g kg⁻¹ and N tot. to 9.3 g kg⁻¹ (Table 3). The C : N ratio in all the three communities is favourable and ranges between 11 and 15.

The average depth of the humus-accumulative horizon amounting to 6.5 cm is the lowest in the community Aremonio-Piceetum. It is higher in the community Laserpitio krapfii-Piceetum where it reaches 7.5 cm and the highest in the community Calamagrostio-Piceetum, where it is 21 cm. The content of pH values, C org., N tot. in the humus-accumulative horizon shows similar values and an identical trend to composite soil samples at a depth of up to 5 cm. In terms of the argyle-accumulative and cambic horizon, the lowest pH value is observed in the community Aremonio-Piceetum, where the average pH (H₂O) value is 5.30. In the community Laserpitio

krapfii-Piceetum, the average pH (H₂O) value is 6.92. The highest pH value is observed in the community Calamagrostio-Piceetum, where the average pH (H₂O) value reaches 7.21, but it is only one profile opened in the shallow and distinctly skeletal calcocambisol. All the soils have a texture ranging from silty to clayey loam.

Soil reaction was the only parameter to show statistically significant differences for the top soil layer. These differences relate to the communities Aremonio-Piceetum and Laserpitio krapfii-Piceetum. The lowest pH value in the community Aremonio-Piceetum is conditioned by acid parent material, flat relief which additionally favours the podzolization process in the perhumid climate, while specific microclimatic conditions, frost sites and high air humidity cause more intensive accumulations of raw humus. In relation to the pH reaction, the lowest acidity is displayed by the association Laserpitio krapfii-Piceetum, as confirmed by phytocoenological research (Vukelić et al. 2010), according to which this community, compared to others, has the biggest number of species of the order Fagetalia. These species are dominant in adjacent, mainly neutrophilic beech and beech-fir forests.

All the three studied communities, Aremonio-Piceetum, Laserpitio krapfii-Piceetum and Calamagrostio-Piceetum, manifested high Pb contamination in the surface soil layer of up 5 cm. The average Pb content (median) in the community Aremonio-Piceetum amounts to 54.5 mg kg⁻¹, in the community Laserpitio krapfii-Piceetum to 65.0 mg kg⁻¹, and in the community Calamagrostio-Piceetum to 54.7 mg kg⁻¹. The top soil layer of 5 cm in the communities Laserpitio krapfii-Piceetum and Calamagrostio-Piceetum also manifested high Zn and Cd contamination. The average content (median) in the community Laserpitio krapfii-Piceetum for Zn is 101.0 mg kg⁻¹ and for Cd it is 1.0 mg kg⁻¹, whereas in the community Calamagrostio-Piceetum it is 75.0 mg kg⁻¹ for Zn and 1.9 mg kg⁻¹ for Cd.

Keywords: spruce communities, pedophysiological features, heavy metals, Velebit

Adresa autorâ – Authors' address:

Doc. dr. sc. Darko Bakšić
e-pošta: dbaksic@sumfak.hr
Prof. dr. sc. Nikola Pernar
e-pošta: npernar@sumfak.hr
Ivan Perković, dipl. inž. šum.
e-pošta: iperkovic@sumfak.hr
Prof. dr. sc. Joso Vukelić
e-pošta: jvukelic@sumfak.hr
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma
Svetošimunska 25
HR-10 000 Zagreb
HRVATSKA

Dr. sc. Boris Vrbek
e-pošta: borisv@sumins.hr
Hrvatski šumarski institut Jastrebarsko
Zavod za ekologiju šuma
Cvjetno naselje 41
HR-10 450 Jastrebarsko
HRVATSKA