

Izvorni znanstveni članak  
*Original scientific paper*

Prispjelo - *Received*: 08. 11. 2004.  
Prihvaćeno - *Accepted*: 22. 11. 2004.

UDK: 630\*114.5

\*Boris Vrbek, Ivan Pilaš

## TEŠKE KOVINE (Pb, Cu i Zn) U TLU ŠUME HRASTA LUŽNJAKA I OBIČNOGA GRABA (*Carpino betuli-Quercetum roboris*, Anić 1956/emed. Rauš 1969) SJEVEROZAPADNE HRVATSKE

*HEAVY METALS (Pb, Cu and Zn) IN THE SOIL OF A PEDUNCLED OAK  
AND COMMON HORNBEAM FOREST (Carpino betuli-Quercetum roboris,  
Anić 1956/emed. Rauš 1969) IN NORTH-WEST CROATIA*

### SAŽETAK

Razrada i primjena metode praćenja taloženja tvari u šumskim ekosustavima u Šumarskom institutu, Jastrebarsko, započela su još 1991. godine, a prva primjena tijekom 1992. godine. Tom je metodom istraživano područje šumske zajednice hrasta lužnjaka i običnoga graba (*Carpino-betuli Quercetum roboris*, Anić 1956 ex. Rauš 1969) na području sjeverozapadne Hrvatske.

Postavljeno je ukupno 54 ploha u području Pokupskog bazena sa Šiljakovinom, na području sliva Česme i u području Gospodarske jedinice "Repaš". Plohe su veličine 1 ha i postavljane su po uobičajenoj metodici koja je primjenjivana u tipološkim istraživanjima naših šumskih ekosustava.

Svaka je ploha pedološki obrađena te je ustanovljen tip tla i njegove glavne fizikalne i kemijske karakteristike. Pedološki profili iskopani su na površini unutar postavljene plohe, na podplohi veličine 60X60 m. Iz genetičkih horizonata uzimani su uzorci (oko 1 kg tla) za standardne kemijske i fizikalne analize. Uzorci su uzimani u Kopecky valjke kako bi se odredila propusnost horizonata.

Najviše olova, prosječno u  $\text{mgkg}^{-1}$ , ima u A-horizontu Pokupskog bazena sa Šiljakovinom ( $54 \text{ mgkg}^{-1}$ ), zatim dolazi Česma ( $35,89 \text{ mgkg}^{-1}$ ), a najmanje u A-horizontu na području Repaša ( $25,86 \text{ mgkg}^{-1}$ ). Najviše bakra i cinka nađeno je u A-horizontu u Repašu, a najmanje u području Kupčina-Šiljakovina. Te su vrijednosti unutar prirodnih graničnih vrijednosti, prema podacima iz literature.

**Ključne riječi:** Šumska zajednica hrasta lužnjaka i običnoga graba, tlo, teške kovine

---

\* Dr. sc. Boris Vrbek, mr. sc. Ivan Pilaš, Šumarski institut, Jastrebarsko

## UVOD

### INTRODUCTION

Atmosfera je jedan od načina transporta teških kovina na velike udaljenosti iz različitih izvora. Tla mogu biti udaljena i po stotinjak i više kilometara od izvora onečišćenja, a ipak postanu onečišćena zbog neprestanog taloženja i nakupljanja teških kovina. Kovine su prisutne u atmosferi kao dijelovi aerosola i veličine od 5nm do 20 $\mu$ m, ali su većinom između 0,1 do 10  $\mu$ m promjera. (BOWEN 1979). Veliki udjel onečišćenja teškim kovinama antropogenog je podrijetla.

### Teške kovine u šumskom ekosustavu

Nakupljanje velike količine teških kovina kroz duže vrijeme u organskom dijelu tla dovodi do kontaminacije organizama u tlu koji imaju vrlo važnu ulogu pri njegovu daljnjem razvoju. Akumulacija olova (150 mgkg<sup>-1</sup> Pb), cinka (100 mgkg<sup>-1</sup> Zn) i bakra (20 mgkg<sup>-1</sup> Cu), prema TYLERU (1972), BERGKVISTU i dr. (1989), ATANASOVU i dr. (1999), MAYERU (1984), nisu još u koncentracijama koje bi oštetile organizme tla. Pa ipak, 4-10 puta veće koncentracije navedenih elemenata mogu indirektno reducirati produkciju biomase, razgradnju listinca i aktivnost enzima u nekom šumskom ekosustavu. Jedna od bitnih pojava u šumskim ekosustavima je mikoriza koja do sada kod nas nije dovoljno obrađivana. Prema GODBOLD i dr. (1987), mikoriza kod nekog stabla može biti višestruko osjetljivija na teške kovine nego sama biljka. Prema TYLERU i dr. (1989), BÅÅTHU (1989), ALBERTI i dr. (1996) AUGUSTINU i ANDREAEJU (1998), ANDREAEJU (1996), negativni efekti povećanja teških kovina u tlu na organizme tla vidljivi su kada je sadržaj cinka u tlu veći nego 500 mgkg<sup>-1</sup>, bakra veći od 20-100 mgkg<sup>-1</sup>, a olova 50-250 mgkg<sup>-1</sup>. Granične vrijednosti sadržaja teških kovina koje se mogu tolerirati u tlu su za olovo 50-100 mgkg<sup>-1</sup>, bakar 30-60 mgkg<sup>-1</sup>, a cink 100-200 mgkg<sup>-1</sup>

Istraživanjima je (OLUJIĆ 1992) utvrđeno kako stanje opterećenosti teškim kovinama faune bazena Kupčine ima direktne veze s količinom teških kovina u tlu. Radovima MAYERA (1987, 1991), MAYERA i PEZDIRC (1990), KOMLENOVIĆA i dr. (1991) VRBEKA i PILAŠA (2000), dokazan je vrlo značajan unos olova, bakra, cinka i kadmija u tlo poplavnih područja nizinskih šuma središnje Hrvatske. Razlog toj pojavi leži u sve većem onečišćenju vodotoka. Prema podacima za slivno područje rijeke Save, samo je 27% otpadnih voda pročišćeno najjednostavnijim mehaničkim postupkom. Prema MAYERU (1991), visoke koncentracije onečišćenja nastupaju za vrijeme dugotrajnih niskih vodostaja. Također, kad nastupa veliki kišni val iza sušnog razdoblja, ispire onečišćenja s poljoprivrednih područja i posebno s većih prometnica. Razmatranje utjecaja padalina koje ispiru auto-ceste, velika cestovna križanja i veće prometnice mogu imati utjecaj na zagađenje površinskih i podzemnih voda (VRHOVAC i dr. 1986), a isto tako i na tekuću fazu tla blizu tih lokacija. Prema istraživanjima ŠOJAT i dr. (1988) dokazan je neposredni utjecaj prometa na kemijski sastav padalina. Tvari se iz ispušnih plinova motornih vozila izravno uključuju u padaline i na taj način povećavaju

koncentracije pojedinih štetnih tvari u njima. Kretanje teških kovina u tlu ovisi o brzini kretanja vode kroz tlo, o fizičkim procesima, adsorpciji, ionskoj izmjeni, poroznosti i propusnosti te o karakteristikama prisutnih onečišćenja (MUSANI i dr. 1989). Kada se teške kovine jednom vežu u tlu, mogu se remobilizirati i vratiti u vodu ako dođe do promjene pH (npr. utjecaj kiselih kiša), povećanja koncentracije alkalijских i zemnoalkalijских soli (soljenje prometnica), smanjenja oksidoredukcijskih uvjeta-redoks potencijala (kovine prelaze u topive oblike nižih valentnih stanja ili formiraju helate). Tla bogata mineralima gline imaju veliku specifičnu površinu i veliki kapacitet kationske izmjene, a slično se ponašaju čestice s organskom ovojnicom pa je i njihov kapacitet adsorpcije metala veći. Prema MAYERU (1991), veliko je onečišćenje otvorenih voda na području Hrvatske. Ekotoksična zagađivala koja dolaze u šumske ekosustave poplavama, a i suhim i mokrim taloženjem, doprinose narušavanju stabilnosti šumskih ekosustava. Dio unosa teških kovina u poplavne nizinske šume dolazi s poljoprivrednih površina. Tla s nešto većim sadržajem gline, kao što su ovdje prisutna na Pokupskom dijelu te u predjelu Repaša s nešto smanjenom vertikalnom propusnošću u gornjim horizontima, mogu nakupljati teške kovine u površinskim mikrobiološki aktivnim horizontima te se na taj način remeti ishrana šumskog drveća.

## ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

### RESEARCH AREA CHARACTERISTICS

Sastojine hrasta lužnjaka i običnoga graba u sjeverozapadnoj Hrvatskoj nižu se na izvanpoplavnim terenima u dolinama Save, Kupe, Česme i Ilove te Drave. Savska, Dravska i Pokupska potolina jugozapadni su dio Panonske nizine koju okružuju Alpski i Dinarski masiv. To je, prema HERAKU (1990), Panonski strukturni kompleks. Njegova je osnova izgrađena od starije kristalinične koja je bila podignuta transgresijama i regresijama (morsko-jezerskim i kopnenim fazama). Nakupljanje znatnih količina sedimenata većim se dijelom zbivalo u neogenu u okviru mora Paratetys. Današnje stanje dolinskih mreža sjeverozapadne Hrvatske izvršeno je u većem dijelu početkom pleistocena (stariji kvartar). Tada su se zbivale i velike tektonske promjene koje su dovele do tvorbe savskog i dravskog proloma te mnogo rasjeda koji su se spuštali poprijeko. U to su vrijeme nastale i veće sedimentacije materijala. Tijekom pleistocena, kada su klimatske prilike bile jako pogoršane izmjenom nekoliko ledenih doba s toplim međudobima u trajanju od 2 pa do 3 milijuna godina (MALEZ 1974). U pleistocenu se pojavio i čovjek, a hrastove šume pojavile su se prije 6 - 7 tisuća godina u toplom i suhom borealu (MAYER 1992, 1996).

Pokusne plohe na kojima su obavljena istraživanja u tipičnoj su zajednici hrasta lužnjaka i običnoga graba. Prema RAUŠU i dr. (1992) ta zajednica nije izvrgnuta poplavama, ali je zimi tlo zasićeno vodom.

Tom tipu zajednice pripadaju najviše uzdignute lužnjakove šume naših nizinskih krajeva. Prema RAUŠU i dr. (1992), CESTARU i dr. (1985) i RAUŠU (1996)

zajednica hrasta lužnjaka i običnoga graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris*, Anić 1956/emed. Rauš 1969) koja se naslanja na poplavne šume hrasta lužnjaka, poljskog jasena i crne johe, a u višim položajima na šume kitnjaka i običnoga graba, odlikuje se širokom ekološkom amplitudom. Razvijena je na povišenjima i gredama na više ocjeditim terenima. Rasprostire se u pojasu između 110 i 120 m nadmorske visine.

Najznačajniji edifikator u sloju drveća je hrast lužnjak, a subedifikator obični grab. Prema DUBRAVCU (1997), sloj drveća prekriva 90-100% površine s izrazito razvijenom glavnom i sporednom etažom. Sloj grmlja dosta je slabo razvijen te pokriva 2-10% površine, a sloj prizemnog rašća pokriva 25-80 % površine.

Prema podacima RAUŠA (1996), ta se zajednica na cjelokupnom nizinskom području Hrvatske (Posavina, Podravina, Pokuplje i srednja Hrvatska) rasprostire na 35% cjelokupne šumske površine.

### Šumska tla istraživanoga područja

Za šumsku zajednicu hrasta lužnjaka i običnoga graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris* Ht. 1938), tj. ekološko-gospodarski tip II-G-10, ustanovljeno je kako se pojavljuju tipovi tala u hidromorfnom razredu (VRBEK 2002, 2003). Tla u tome razredu (klasi) karakterizira dopunsko povremeno ili trajno vlaženje vodom. U tu skupinu, prema dosadašnjim istraživanjima za EGT II-G-10, pripadaju pseudoglej nizinski (planosol i albeluvisol) i pseudoglej-glej (Gleyc luvisol), euglej (Gleysol) s podtipom hipoglej te humofluvisol (Fluvisol). Povremeno se pojavljuju i neki tipovi iz automorfne klase tala: Luvisol, pseudooglejeni (luvisol, gleyic, distric) te na nekoliko lokaliteta eutrično smeđe tlo, pseudooglejeno (eutric cambisol). Kemijske i fizikalne karakteristike navedenih tipova i podtipova tala u šumskoj zajednici hrasta lužnjaka i običnoga graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris* Ht. 1938) u Hrvatskoj se nalaze u vrlo širokom rasponu.

## METODA RADA

### WORK METHOD

Pokusne plohe veličine 1 ha su, prema metodi DUBRAVCA (1998) i NOVOTNYJA (1997) iskolčavane kompasom i mjernom trakom po principima geodezije i u okviru tolerancije točnosti (50 cm) kod zatvaranja poligona oko plohe. GPS-om (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 je svako stablo, uz oznaku prsne visine, dobilo svoj broj. Plohe su pedološki istražene (izvorni podaci u Šumarskom institutu, Jastrebarsko). Iskopana je glavna pedološka jama do dubine 180 cm te su se opisali i snimili genetički horizonti. Na svakom se lokalitetu na pedološkom profilu definirao tip tla. Iz genetičkih horizonata uzeto je po 1 kg tla kako bi se načinile kemijske i fizikalne analize. Isto su tako na nekoliko mjesta na plohi iskopani pomoćni pedo-

loški profili ili prikopke kako bi se ustanovilo je li ploha pedološki homogena. U tu su svrhu korištene i pedološke sonde. Na svakom su se lokalitetu, osim uzoraka iz pedoloških jama, uzimali i kompozitni uzorci tla iz humusnoakumulativnog horizonta na 12 mjesta unutar podplohe, kako bi se što više smanjile varijabilnosti u količini i kvaliteti humusae. Velika je varijabilnost sadržaja humusa i debljine humusa po svakom kvadratnom metru. (GREEN i dr. 1993).

Na području Česme (CS) je za standardne laboratorijske analize obrađen 21 pedološki profil, na području Pokupskog bazena (KU) 17, a na području Repaša (R) 16 pedoloških profila. Obradeno je po 5 horizonata u svakom profilu tla (od I do V) s dubinama: A horizont od 1 do 5cm; E, odnosno Ig, odnosno C<sub>1</sub> horizont od 6 do 30cm; B, odnosno IIg, odnosno C<sub>2</sub> horizont od 31 do 80; C<sub>1</sub>, odnosno C<sub>3</sub> horizont od 81 do 110cm i C<sub>2</sub>, odnosno G horizont od 111 do 170cm.

### Analiza uzoraka tla

Tom je prilikom određivano:

- reakcija tla primjenom staklene elektrode u H<sub>2</sub>O i M-KCl
- kvantitativni sadržaj karbonata Scheiblerovim kalcimetrom u slučaju kada je pH u H<sub>2</sub>O bio veći od 7
- sadržaj humusa određen je metodom Tjurina
- ukupni dušik određen je metodom po Kjeldahu
- sadržaj fiziološki aktivnog fosfora i biljkama pristupačnog kalija određen je po metodi Al, tj. ekstrakcijom amonij-laktat-octenom kiselinom
- mehanička analiza pipet-metodom; priprema Na-pirofosfata

Teške kovine određene su na atomsko-apsorpcijskom spektrofotometru AAS Perkin Elmer 3110, metodom BRUNE-ELLINGHAUS (1981), ekstrakcijom 2N HCl. Ovim se postupkom iz tla izdvaja ukupno olovo, 75% bakra i 30% cinka. Ostale pedološke analize učinjene su rutinskim metodama koje su uobičajene za analiziranje uzoraka tla. (ŠKORIĆ 1982) Analize su obavljene u laboratoriju Šumarskog instituta, Jastrebarsko, pod nadzorom Dunje Novosel dipl. ing. kemije.

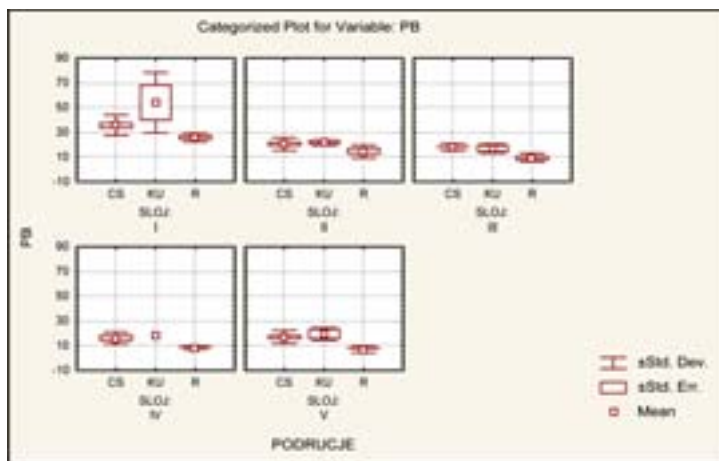
### Obrada podataka

Testirane su hipoteze podataka o razlici karakteristika tla po područjima. Karakteristike tla obrađene su deskripcijom F-testom i Duncan testom. Na taj su način obrađeni svi parametri koji su mjereni kod tla, a obuhvaćaju pedološke analize, kao i analize teških kovina (Pb, Cu i Zn).

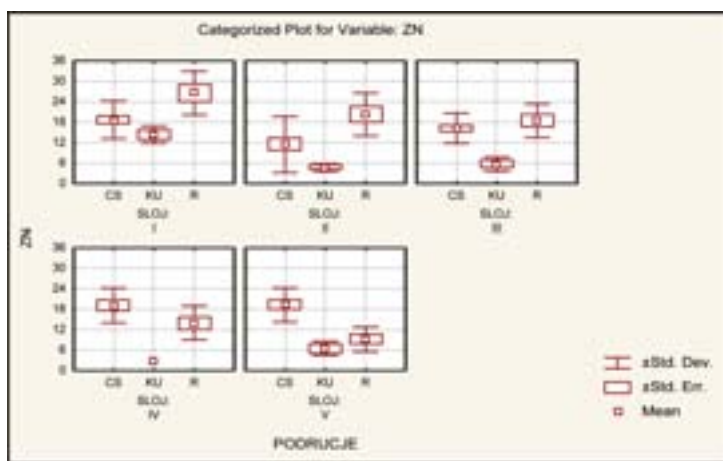
## REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA

### RESULTS AND DISCUSSION

Pod šumom hrasta lužnjaka i običnoga graba na istraživanome području u većini slučajeva tla pripadaju tipu pseudogleja, podtip ravničarski. Istraživanjima u



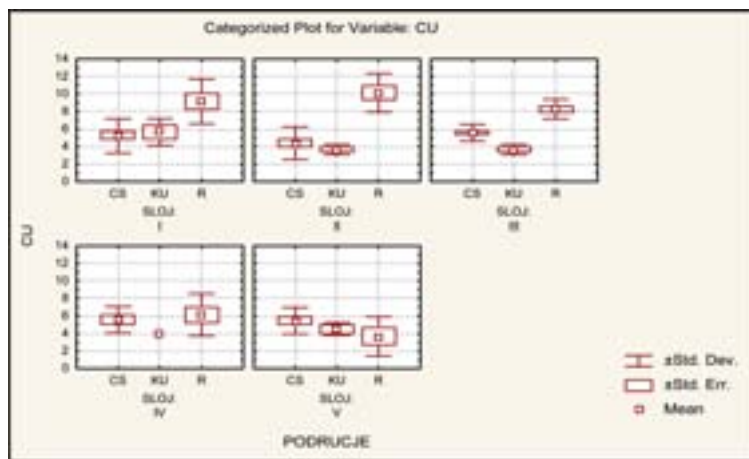
Slika 1. Statistički prikaz sadržaja olova u  $\text{mg kg}^{-1}$  po područjima i horizontima tla  
 Fig 1: Statistical view of lead content in  $\text{mg kg}^{-1}$  across area and soil layers



Slika 2. Statistički prikaz sadržaja cinka u  $\text{mg kg}^{-1}$  po područjima i horizontima tla  
 Fig. 2: Statistical view of zinc content in  $\text{mg kg}^{-1}$  across area and soil layers

toj šumskoj zajednici kod mnogih autora (BEZAK i dr 1989; PERNAR i dr. 2000; VRBEK 1992, 2000; VRBEK i PILAŠ 2000; MAYER 1992; URBANČIĆ i dr. 2000) konstatirao se pseudoglej ravničarski kao dominantni tip i podtip tla. Isto se tako istraživanjima na više pokusnih ploha (ukupno 54 plohe) ustanovilo kako se na spomenutom području pseudoglej ravničarski pojavljuje u 60-70% slučajeva, dok se tip pseudoglej glej i hipoglej i luvisol pseudooglejeni javljaju u samo približno 30% slučajeva. (VRBEK 2003)

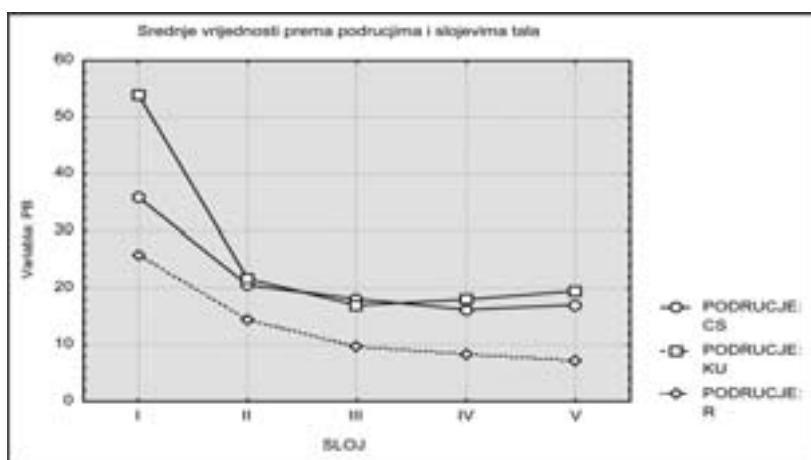
Na Slikama 1.-3. prikazane su statističke analize sadržaja olova, cinka i bakra u  $\text{mg kg}^{-1}$  po područjima (CS = Česma, KU = Kupčina i Šiljakovina, R = Repaš)



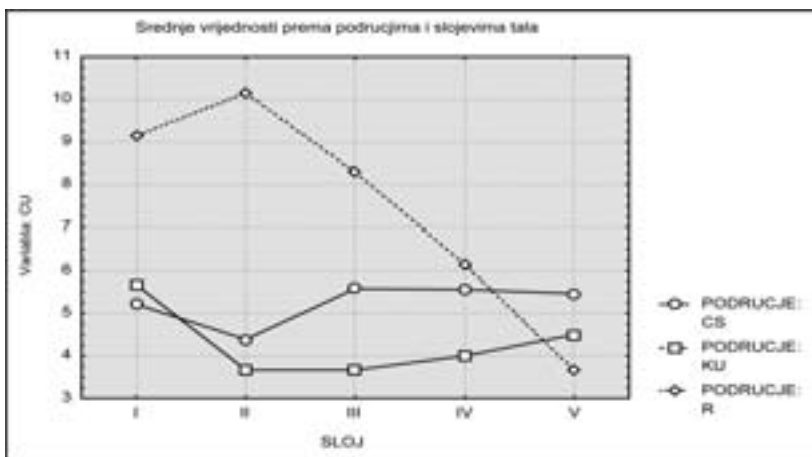
Slika 3. Statistički prikaz sadržaja bakra u  $\text{mg kg}^{-1}$  po područjima i horizontima tla  
 Fig 3: Statistical view of copper content in  $\text{mg kg}^{-1}$  across area and soil layers

Olova (Pb) ima najviše u površinskom sloju u Kupčini-Šiljakovini, a najmanje u Repašu te je između svih triju područja značajna razlika za površinski horizont. Povećanjem dubine, sadržaj olova smanjuje se blizu ili ispod  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  već u drugom horizontu pa ne postoji značajna razlika između područja, a niti između horizontata na različitim dubinama.

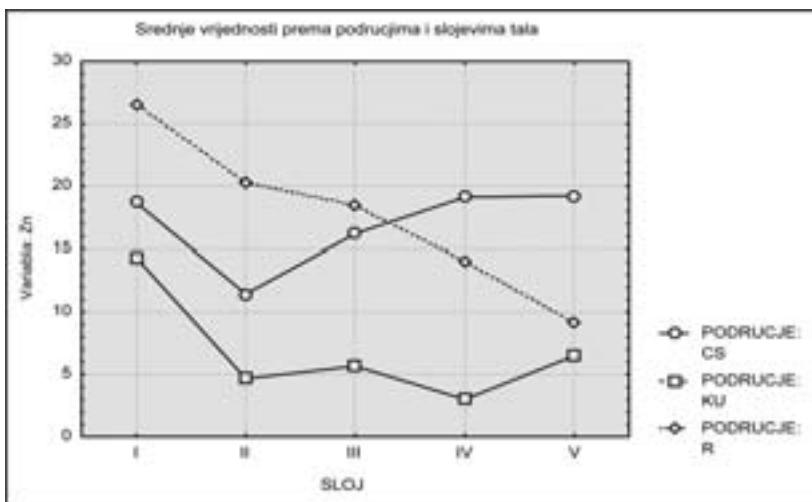
Količina bakra (Cu) u tlima pokazuje kako se značajno razlikuje po horizontima tla i promatranim područjima. Značajno veći sadržaj bakra dolazi u prvim tri horizontima u Repašu, u odnosu na Česmu i Kupčinu. U četvrtom i petom nema značajne razlike između područja.



Grafikon 1. Prosječni sadržaj olova u  $\text{mg kg}^{-1}$ , prema dubinama i područjima  
 Graph 1: Average content of lead in  $\text{mg kg}^{-1}$  according to soil depth and area



Grafikon 2. Prosječni sadržaj bakra u  $\text{mg kg}^{-1}$ , prema dubinama i područjima  
 Graph 2: Average content of copper in  $\text{mg kg}^{-1}$  according to soil depth and area



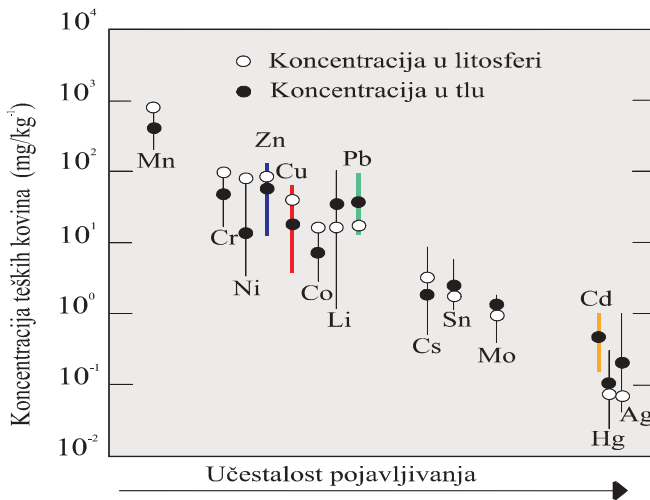
Grafikon 3. Prosječni sadržaj cinka u  $\text{mg kg}^{-1}$ , prema dubinama i područjima  
 Graph 3: Average content of zinc in  $\text{mg kg}^{-1}$  according to soil depth and area

Prema količini cinka (Zn), u tlima također dolazi do značajnih razlika. Najmanja količina cinka dolazi u Kupčini, a najveća u površinskom horizontu u Repašu. Povećanjem dubine, udio cinka raste samo u Česmi gdje je najveći u četvrtom i petom horizontu.

Analizama uzoraka tla na sadržaj teških kovina (olovo, bakar i cink) za područja Pokupskog-Šiljakovine, Česme i Repaša, (Grafikoni 1.-3.) ustanovila se povećana vrijednost olova u površinskim horizontima. Najveće prosječno povećanje sadržaja olova je na području Pokupskog-Šiljakovine ( $54,00 \text{ mg kg}^{-1}$ ), zatim dolazi



Česma ( $35,89 \text{ mg kg}^{-1}$ ), a najmanje je na području Repaša ( $25,86 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Vrijednosti za bakar i cink su unutar graničnih prirodnih vrijednosti, iako se, prema statističkim pokazateljima, te vrijednosti razlikuju u odnosu na dubinu sloja i područja istraživanja. Prema podacima iz literature, različite su vrijednosti za nezagađena tla. Tako NRIGAU (1978) piše o srednjim vrijednostima od oko  $17 \text{ mg kg}^{-1}$  Pb, URE i dr. (1982) govore o  $29 \text{ mg kg}^{-1}$  Pb. Prema navodima REAVESA i dr. (1984), za humusni horizont srednje vrijednosti iznose  $30 \text{ mg kg}^{-1}$  Pb, a za mineralni dio tla  $13 \text{ mg kg}^{-1}$  Pb. Za cink su te vrijednosti također različite (ovisno o prirodni matičnog supstrata), a prema KABATA-PENDIASU i dr. (1992), kreću se od 10 do  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  Zn, sa srednjom vrijednošću od oko  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  Zn. Problem povećanja teških kovina u tlu i njihov utjecaj na šumsko drveće nedovoljno je istraživano kod nas. Prema TYLERU, (1992), MAJDI i PERSSONU, (1989), VAN STRAALENU, (1973) MAYERU (1984) u tlima s niskom pH-vrijednošću (3,5–4,5) postoji objektivna opasnost da kod povećanih koncentracija teških kovina dolazi do efekta šoka na mikroorganizme tla i na mikorizu. Posljedica toga je odumiranje sitnih korjenovih dlačica i slabljenja biljke. Naročito je to prisutno kod šumskih ekosustava koji su blizu nekih većih prometnica gdje je povećanje olova višestruko (ŠOJAT i dr. 1988; CAREVIĆ 1998) ili su teške kovine donesene poplavnim vodama (MAYER 1987, 1991; MAYER i dr 1997; VRBEK i PILAŠ 2000), kao što se to u prošlosti događalo na području Pokupskog bazena i Repaša. Međutim, sve je više dokaza kako se teške kovine talože zračnim transportom u šumske ekosustave suhim i mokrim taloženjem, što se novijim istraživanjima i motrenjem (ANTONIĆ i LEGOVIĆ 1999; DURN i dr. 1993; JURIĆ i JELAVIĆ 1999; HRŠAK i dr. 1999) dokazuje i kod nas. Do sada su se kod nas problemi nakupljanja teških kovi-



Slika 4. Prosječna koncentracija (crni krugovi) i rasponi (vertikalne linije) teških kovina u tlima, u odnosu na koncentracije koje su u litosferi (bijeli krugovi) (Prema SPOSITO 1989; izvorno SIGEL 1986)

Fig. 4 Average concentration (black circles) and ranges (Vertical lines) of heavy metals in soil in relation to the concentrations which are in the lithosphere (white circles) (according to SPOSITO 1989; source SIGEL 1986)

na u tlu u raznim istraživačkim projektima svodili tek na konstatacije o njihovoj koncentraciji u tlu ili horizontima po dubini te rasprostranjenosti na nekom području. Danas raspoložemo s bazom podataka (MARTINOVIĆ i dr. 1999) koja na neki način objedinjuje veći dio podataka o koncentraciji teških kovina u našim tlima.

Iz Slike 4. može se vidjeti kako se koncentracija teških kovina u litosferi razlikuje od koncentracije nađene u tlu. Za neke teške kovine (olovo, litij, selen, molibden, živa, kadmij) karakteristično je kako ih ima u većoj koncentraciji u tlu nego u matičnoj stijeni, što se može tumačiti antropogenim utjecajem i taloženjem teških kovina u tlu. Prema MAYERU (1991), visoke koncentracije onečišćenja nastaju za vrijeme dugotrajnih niskih vodostaja, a isto tako iza sušnog razdoblja kiša i vodni valovi ispiru onečišćenja s poljoprivrednih i urbanih sredina u šumske ekosustave koji se povremeno plave. Prema MIKAC i BRANICI (1990), otpadna i rječna voda okoliša Zagreba nakon kišnog vala iza 7-dnevnog razdoblja bez kiše sadrže dvostruko veće koncentracije olova. Godišnji unos olovnih spojeva u Savu kod Zagreba koji potječe od sagorijevanja benzina, iznosi 10% anorganskog olova (13 t) i 0,35 organskog olova (5 kg), a najveći se dio emitirane količine atmosferom prenosi na velike udaljenosti. Ionska izmjena vrlo je važna kod vezanja kovina na čestice gline i izmjenjivi ioni kod toga sudjeluju u procesima vezanja ili otpuštanja kovina. Ako su tla bogata glinom, imaju veliku specifičnu površinu i pri tome veliki kapacitet ionske izmjene kao kada su bogata humusom jer je velik njihov kapacitet adsorpcije kovina. Iz tih je razloga važna puferna moć tla. Ako dođe do zasićenja, purifikacijski značaj tla više nema svoju ulogu. Poznavati puferni kapacitet nekog tla bitno je za prognozu razvoja onečišćenja nekog ekosustava i koliko taj sustav još može podnositi onečišćenje.

Na području istraživanja prisutni su descendentni (Repaš, Česma Pokupsko-Šiljakovina) i povremeno stagnirajući (Pokupsko-Šiljakovina) tokovi vode. Isto se tako kreću i teške kovine kroz solum tla na istraživanim plohama.

U svom članku MAYER (1991) prikazuje rezultate istraživanja teških kovina (Pb, Cu, Zn) u nizinskim šumama sjeverne Hrvatske. Prema tim istraživanjima, najveće vrijednosti teških kovina utvrđene su u području gornjeg dijela Drave.

Ako usporedimo prosječne vrijednosti za koncentraciju teških kovina u prvom sloju istraživanih tala kod podataka MAYERA (1991) (Tablica 1.) za neplavljena

Tablica 1. Koncentracija teških kovina u tlima šuma sjeverne Hrvatske za površinski horizont (0-5 cm), prema MAYERU (1991)

Table 1 Concentration of heavy metals in the forest soils of northern Croatia for the surface layer (0-5cm) according to MAYER (1991)

Teške kovine mgkg <sup>-1</sup> Heavy metals	Vrsta sedimentacije Type of sedimentation	Područje - Area		
		Kupčina	Česma	Drawski sliv
Pb	plavljenje	30-40	14-36	100-440
	taloženje	-	10-26	26-40
Cu	plavljenje	12-22	6-21	8-30
	taloženje	-	3-6	5-6
Zn	plavljenje	22-63	63-70	159-795
	taloženje	-	12-29	27-42

tla, s prosječnim podacima za tla na području Kupčine (Kupčina-Šiljakovina s tipom tla pseudoglej na pleistoceničnim ilovinama i glinama), Česme (tip tla pseudoglej, na pretaloženom lesu) i Repaša (sliv Drave sa tipom tla humofluvisol) za A-horizont, osjetne su razlike u sadržaju olova. Prosječni sadržaj olova u  $\text{mg kg}^{-1}$  na plohama Česme nešto je viši, a na području Repaša koncentracije su gotovo podjednake u odnosu na Mayerove podatke. Razlike za područje Kupčine mogu se usporediti samo za plavljene dijelove. Podaci taloženja za olovo u Kupčini u ovim su istraživanjima veći nego podaci za plavljenje površine u Kupčini.

Tablica 2. Prosječna koncentracija teških kovina po područjima za površinski horizont (0-5 cm)  
*Table 2 Average concentration of heavy metals for the surface layer (0-5cm) according to areas*

Teške kovine $\text{mg kg}^{-1}$ <i>Heavy metals</i>	Vrsta sedimentacije <i>Type of sedimentation</i>	Područje - Area		
		Kupčina	Česma	Repaš (Dravski sliv)
Pb	taloženje	54,00	35,89	25,86
Cu	taloženje	5,67	5,21	9,14
Zn	taloženje	14,33	18,68	26,57

Vrijednosti za cink i bakar u granicama su, uspoređujući podatke iz Tablice 2. s podacima iz Tablice 1.

Kako su u literaturi poznate granične vrijednosti za teške kovine (GV), one nam iskazuju najveće dopuštene koncentracije iznad kojih je rizik koncentracije teških kovina neprihvatljiv zbog depresivnog i toksičnog učinka na biljke i druge organizme. Pri tome je važno poznavanje prirodno stečenog (“geogeno”, “pedogeno”) stanja teških kovina u tlu. Prema podacima MARTINOVIĆA (1997), GRAČANINA i ILIJANIĆA (1977), najčešće se uzimaju prirodne vrijednosti za olovo manje od  $10 \text{ mg kg}^{-1}$ , bakar  $5\text{-}20 \text{ mg kg}^{-1}$  i cink  $10\text{-}50 \text{ mg kg}^{-1}$ . VRIES i BAKER (1996) uveli su i pojam zanemarive koncentracije koja iznosi 1% od granične vrijednosti. Prema istim autorima, postoji kritična, prirodna i zanemariva koncentracija teških kovina, a prema BRÜNE-ELLIGHAUSU (1981) možemo rangirati stupanj onečišćenja tla pojedinim teškim kovinama (Tablica 3.), kod čega se pridržavamo graničnih vrijednosti za olovo  $150 \text{ mg kg}^{-1}$ , bakar  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  i cink  $300 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Prema Tablici 3., na području Pokupskog-Šiljakovine u A-horizontu onečišćenje olovom je visoko, bakrom nisko i cinkom vrlo nisko. Na području Česme

Tablica 3. Stupnjevi onečišćenja prema BRÜNE-ELLIGHAUSU (1981)  
*Table 3 Degrees of contamination according BRÜNE-ELLIGHAUSU (1981)*

Stupanj onečišćenja <i>Degree of contamination</i>	% granične vrijednosti <i>% of marginal values</i>
Vrlo nizak	1-5
Nizak	5-10
Srednji	10-25
Visok	25-50
Vrlo visok	50-100
Iznad GV	Više od 100

onečišćenje olovom je srednje, bakrom nisko i cinkom vrlo nisko, a na području Repaša nešto je povećana koncentracija cinka pa prelazi u kategoriju niske do srednje.

## ZAKLJUČCI

### CONCLUSIONS

Na području sjeverozapadne Hrvatske zajednica hrasta lužnjaka i običnoga graba rasprostranjena je na hidromorfnim tlima. Na području Kupčine sa Šiljakovinom i sliva Česme dominantan je tip pseudoglej ravničarski, varijetet plitki do srednje duboki, a u predjelu Repaša dominantan je tip tla humofluvisol plitko i srednje duboko ogledjeni.

Teške kovine razlikuju se po sadržaju u površinskom horizontu tla na svima trima područjima. Najviše olova sadrži tlo u Kupčini i Šiljakovini, a najmanje u Repašu. Sadržaj bakra pokazuje značajnu izdiferenciranost između područja te pojedinih horizonata u tlima. Značajno veći sadržaj bakra dolazi u prvim trima horizontima u Repašu, u odnosu na Česmu i Kupčinu-Šiljakovinu. Prema količini cinka, u tlima također dolazi do značajnih razlika. Najmanja količina cinka nađena je u Kupčini, a najveća u površinskom horizontu u Repašu. Povećanjem dubine, udio cinka raste samo u Česmi gdje je najveći u četvrtom i petom horizontu.

## LITERATURA

### REFERENCES

- ALBERTI, G., B. HAUKE, H. R. KOHLER, V. STORCH (1996): Dekomposition. Qualitative und quantitative Aspekte und deren Beeinflussung durch geogene und anthropogene Belastungsfaktoren. Ecomed-Verlag, Landsberg, 490 S. ALLOWAY, B. J. 1995: Heavy Metals in Soils. Blackie Academic and Professional, 123-305, London.
- ANDREAE, H. (1996): Ecological impacts of some heavy metals related to long-range atmospheric transport. Background Report UN/ECE International Co-operative Program on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects (ICP-Forests) 24 S.
- ANTONIĆ, O., T. LEGOVIĆ (1999): Estimating the direction of an unknown air pollution source using a digital elevation model and a sample of deposition. Ecological Modelling 124, 85-95.
- ATANASSOV, I., V. VASSILEVA, P. SHEGUNOVA (1999): Applications of data for background concentrations of Pb, Zn, Cu and Cd in soils for calculating critical loads. U: UBA. Effects-based approaches for heavy metals. Workshop Schwerin, Germany, 12-15, October 1999. 137-140.
- AUGUSTIN, S., H. ANDREAE (1998): Cause-effect-interrelations in forest condition- State of current knowledge. UN/ECE International Co-operative Program on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects (ICP-Forests) 52 p.
- BÅÅTH, E. (1989): Effects of heavy metals in soil on microbial processes and populations (a review). Water, Air and Soil Pollution 47, 335-379.
- BERGKVIST, B., L. FOLKESON, D. BERGGREN (1989): Fluxes of Cu, Zn, Pb, Cd, Cr and Ni in temperate forest ecosystems- a literature review. Water, Air, Soil pollut. 47, 217-286.

- BEZAK, K., D. CESTAR, V. HREN, Z. KOVAČEVIĆ, J. MARTINOVIĆ, Z. PELCER, (1989): Uputstva za izradu karte ekološko-gospodarskih tipova brdskog i nizinskog područja (II) SR Hrvatske. Rad. Šumar. inst. 79:1-119, Zagreb.
- BOWEN, H. J. M. (1979): Environmental Chemistry of the elements. Academic Press, London.
- BRÜNE, H., R. ELLINGHAUS (1981): Schwermetallgehalte in landwirtschaftlich genutzten Ackerböden Hessens. Landw. Forschung 38:338-349, Trier.
- CAREVIĆ, O. (1998): The Effects of Benzo(a)pyrene and 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin from Automobile Exhaust upon Mammalian cell viability, promet Vol. 10, No 3, 101-105.
- CESTAR, D., V. HREN, Z. KOVAČEVIĆ, J. MARTINOVIĆ, Z. PELCER (1985): Tipovi nizinskih šuma sliva Česme i Ilove. Rad. Šumar. inst. 64, Jastrebarsko.
- DE VRIES, W., D. J. BAKKER, H. U. SVERDRUP, (1998): Manual for calculating critical loads of heavy metals for aquatic ecosystems. Guideline for critical limits, calculation methods and input data. DLO Wianand Staring Centre, Wageningen (The Netherlands), Report 165, 87 p.
- DUBRAVAC, T. (1997): Istraživanje strukture krošanja hrasta lužnjaka i običnoga graba u zajednici *Carpino betuli-Quercetum roboris* Anić ex Rauš 1969. Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb.
- 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.
- DURN, G., L. PALINKAŠ, S. MIKO, F. BAŠIĆ, S. GRGIĆ-KAPELJ, (1993): Heavy metals in Liming Materijals from NW Croatia: Possible Effect of Liming on Permissible Content of Heavy Metals in Arable Soil. Geol. Croat. 46/1, 145-155, Zagreb.
- GODBOLD, D. L., R. TISCHNER, A. HUTTERMANN (1987): Effects of heavy metals and aluminium on the root physiology of Spruce (*Picea abies* ŠL.Č Karst) seedlings. U: Hutchinson, T.C., Meema, K.M. (eds): Effects of atmospheric pollutants on forest, wetlands and agricultural ecosystems, NATO ASI Series G 16, 387-400, Springer-Verlag Berlin.
- GRAČANIN, M., LJ. ILIJANIĆ (1977). Uvod u ekologiju bilja. Školska knjiga, Zagreb.
- GREEN, R. N., R. L. TROWBRIDGE, K. KLINKA (1993): Towards a Taxonomic Classification of Humus Forms. Forest Science Monograph 29, pp 49.
- HERAK, M. (1990): Geologija. Školska knjiga, Zagreb.
- HRŠAK, J., K. ŠEGA, I. BALAGOVIĆ (1999): Sadržaj olova, mangana, kadmija i talija u frakcijama različitih veličina lebdećih čestica-prva ispitivanja. Drugi Hrvatski znanstveno-stručni skup Zaštita zraka '99: 505-510, Šibenik.
- JURIĆ, Ž., V. JELAVIĆ (1999): Emisija cestovnog prometa i utjecaj na kakvoću zraka u Hrvatskoj. Drugi Hrvatski znanstveno-stručni skup Zaštita zraka '99, 193-201, Šibenik.
- KABATA-PENDIAS, A., H. PENDIAS (1992): Soil and Plants, 2<sup>nd</sup> Edition Lewis Publ. Ic. Boca Raton, Florida, USA.
- KOMLENOVIĆ, N., B. MAYER, P. RASTOVSKI (1991): Unos teških metala onečišćenim poplavnim vodama u tla nizinskih šuma istočne Slavonije. Šum. list 11/12: 131-149, Zagreb.
- KOZAR, S., N. MIKAC, M. BRANICA (1990): Teški metali u površinskim i podzemnim vodama zaobalja rijeke Save na području Podsuseda. Zaštita voda ž90, JDZV, 390-394, Bar.
- MAJDI, H., H. PERSSON (1989): Effects of road-traffic pollutants (lead and cadmium) on fine-roots along a motor road. Plant and Soil 119, 1-5.
- MALEZ, M. (1974): Kvartar. Skripta za poslije diplomski studij iz geologije, Zagreb.
- MARTINOVIĆ, J., A. VRANKOVIĆ, N. PERNAR, B. VRBEK (1999): Baza podataka o hrvatskim tlima. Sv. III, Državna uprava za zaštitu okoliša, Zagreb.
- MARTINOVIĆ, J. (1997): Tloznanstvo u zaštiti okoliša. Priručnik za inženjere, Zagreb.
- MAYER, B. (1987): Rezultati prvih istraživanja olova, kadmija, sumpora i fluora u tlu nizinskih šuma bazena Kupčina. Šum. list 1/2:19-27, Zagreb.

- MAYER, B. (1991): Penetration des metaux lourds (Pb, Cu, Zn) a l'interieur des sols forestiers des valle de la Croatie septentrionale par courents d'zeau inondee pollue. 10e Congres forestier mondial. pp 6, Paris.
- MAYER, B. (1991): Važnost pročišćavanja otpadnih voda u sprečavanju ekotoksičnosti posebno za tla nizinskih šuma sjeverne Hrvatske, Rad. Šumar. inst. 26(1):95-104, Zagreb.
- MAYER, B. (1996): Hidropedološki odnosi na području nizinskih šuma pokupskog bazena. Rad. Šumar. inst. 31 (1/2): 37-89, Jastrebarsko.
- MAYER, B. (1992): Šumska tla Republike Hrvatske pri kraju XX stoljeća, Monografija šume u Hrvatskoj, 19-32, Šumarski fakultet, Zagreb.
- MAYER, B., N. PEZDIRC (1990): Teški metali (Pb, Zn, Cu) u tlima nizinskih šuma sjeverozapadne Hrvatske. Šum. list 6/8:251-260, Zagreb.
- MAYER, B., D. NOVOSEL, G. BUŠIĆ (1997): Teške kovine u sedimentima vodne akumulacije hidroelektrane Dubrava u šumskom fluvisolu uz akumulaciju. Rad. Šumar. Inst. 32(1):97-105, Jastrebarsko.
- MAYER, R. (1984): Heavy metal accumulation in the root zone of forest soils. Wald und Wasser; Nationalpark Bayer. Wald. 5 Tag. Bericht. 343-351.
- MIKAC, N. M. BRANICA (1990): unos ukupnog i organskog olova u rijeku Savu otpadnim vodama grada zagreba. Zaštita voda '90, 386-389, JDZV, Bar.
- MUSANI, LJ., M. JURACIĆ, Z. KONARD, E. PROHIĆ, A. VERTAČNIK (1989): Adsorpcijska svojstva aluvijalnih sedimenata Save i njihova uloga u pročišćavanju podzemne vode. Rijeka Sava zaštita i korištenje voda. JAZU, 262-283.
- MUSANI, LJ., S. KOZAR, A. VERTAČNIK (1990): Uinterakcija??? sedimenata s anorganskim zagadivalima. Zaštita voda '90, 136-140, JDZV, Bar.
- 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.
- NRIGAU, J. O. (1978): Biogeochemistry of Lead. Elsevier Biomedical Press, 18-88, Amsterdam.
- OLUJIĆ, Z. (1991): Sadržaj kadmija, olova i žive u flori, fauni i tlu bazena Kupčine. Disertacija, Veterinarski fakultet, Zagreb.
- PERNAR, N., Z. SELETKOVIĆ, D. BAKŠIĆ (2000): Pedological and microclimatic properties of some experimental plots of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) plantations in Croatia. Glas. Šum. pokuse 37: 251-262, Zagreb.
- RAUŠ, Đ., I. TRINAJSTIĆ, J. VUKELIĆ, J. MEDVEDOVIĆ (1992): Biljni svijet hrvatskih šuma (u monografiji "Šume u Hrvatskoj), 33-77, Zagreb.
- RAUŠ, Đ. (1996): "Hrast lužnjak u Hrvatskoj" Šumske zajednice i sinekološki uvjeti hrasta lužnjaka, 27-54, Vinkovci-Zagreb.
- REAVES, G. A., M. L. BERROW (1984): Geoderma 32:1-8.
- SIGEL, H. (1986): Metal Ions in Biological Systems. Vol. 20 (ed.) M. Dekker, New York.
- SPOSITO, G. (1989): The chemistry of soils. Oxford University Press, New York.
- ŠKORIĆ, A. (1982): Priručnik za pedološka istraživanja. P 57, Zagreb.
- ŠOJAT, V., Z. ŠOLJIĆ, A. VRHOVAC (1988): Razmatranje utjecaja automobilske prometa na kemijski sastav oborina. Suvremeni promet 10: 5113-5117, Zagreb.
- TYLER, G. (1972): Heavy metals pollute nature, may reduce productivity. Ambio 1, 52-57.
- TYLER, G. (1992): Critical concentrations of heavy metals in the mor horizon of Swedish Forests. Report 4078, Swedish environmental protection agency, 1-38.
- TYLER, G. (1972): Heavy metals pollute nature, may reduce productivity. Ambio 1, 52-57.
- URBANČIĆ, M., P. SIMONČIĆ, I. SMOLEJ (2000): Pedunculate oak stands in the lowland regions of Slovenia-soil water conditions. Glas. šum. pokuse 37:215-228, Zagreb.
- URE, A. M., M. L. BERROW (1982): Environmental Chemistry, 2:94-204, London.

- VAN STRAALLEN, N. M. (1993): Uptake of pollutants by soil organisms. International Postgraduate Course, Soil Pollution and protection, Wageningen Agricultural University p 13.
- VRBEK, B. (2000): Soil characteristics in Common Oak and Common Hornbeam (*Carpino betuli-Quercetum Roboris* Ht 1938) Forests in the republic of Croatia. XXI IUFRO World Congress, Forest and Society: The Role of Research, 7-12. August 2000. Kuala Lumpur, Poster Abstracts Vol.3., pp:437, Malasya.
- VRBEK, B., I. PILAŠ (2000): Pedoekološke značajke šume “Žutica”. Rad. Šumar. inst. 35(1): 13-36, Jastrebarsko.
- 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, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 1-272, Zagreb.
- VRBEK, B. (2003) Svojstva tala šume hrasta lužnjaka i običnoga graba (*Carpino betuli -Quercetum roboris* ht. 1938) Pokupskog bazena, Česme i Repaša, Rad. Šumar. Inst. 38(2):177-194, Jastrebarsko.
- VRBEK, B., I. PILAŠ (2000): Pedoekološke značajke šume “Žutica”. Rad. Šumar. inst. 35(1): 13-36, Jastrebarsko.
- VRHOVAC, A., I. EŠKINJA, V. ŠOJAT, I. RAMIĆ-MATEJAŠ (1986): Razmatranje utjecaja oborina i dionice obilaznice Buzin-Ivanja Reka auto-cesta “Bratstvo i jedinstvo” na zagađenje podzemnih voda. Suvremeni promet 4/5:221-276, Zagreb.

HEAVY METALS (Pb, Cu and Zn) IN THE SOIL OF A PEDUNCLED OAK  
AND COMMON HORNBEAM FOREST (*Carpino betuli-Quercetum roboris*,  
Anić 1956/emed. Rauš 1969) IN NORTH-WEST CROATIA

Summary

*Elaboration and application of a method of monitoring deposition of substances in ecosystems was commenced in the Forest Research Institute, Jastrebarsko, as early as 1988, and first carried out in 1992. The method was used for the investigation of a forest community of Peduncled Oak and Common Hornbeam (*Carpino betuli-Quercetum roboris*, Anić 1956 ex. Rauš 1969) in north-west Croatia.*

*A total number of 54 plots was established in the area of the Pokupsko Basin with Šiljakovo, the area of the Česma river basin and the area of the 'Repaš' Management Unit. The plots were 1 ha in size and were laid out according to the usual method applied in typological investigations of our forest ecosystems.*

*Each plot was pedologically analysed and its soil type and main physical and chemical characteristics determined. Pedological profiles were dug out on the surface within the established plot, in sub-plots, 60 x 60 m. Samples (approximately 1 kg of soil) were taken from genetic horizons for standard chemical and physical analyses.*

*All soils found belong to the class of hydro-morphologic soils with the main type of pseudogley level terrains, in the area of the Pokupsko Basin-Šiljakovina and the Česma. Pseudogleys in these two areas differ by the way of origin and certain chemical and physical characteristics. In the area of the Pokupsko Basin and Šiljakovina pseudogley is of primary character, where the impermeable horizon is of geological character, while in the area of the Česma pseudogley is of secondary character and originated from luvisols by gradual transition. Humofluvisol is the main soil type in the Repaš area.*

*Analysis of heavy metals was performed on a smaller number of samples, and differences exist according to the areas. Most lead was found on average in  $\text{mgkg}^{-1}$  in the A horizon of the Pokupsko Basin with Šiljakovina ( $54 \text{ mgkg}^{-1}$ ), followed by Česma ( $35.89 \text{ mgkg}^{-1}$ ), and the least in the A horizon in the Repaš area ( $25.86 \text{ mgkg}^{-1}$ ). Most copper and zinc was found in the A horizon in Repaš, and least in the area of Kupčina-Šiljakovina. The values are within natural limit values according to the data from literature.*

**Key words:** Forest community of Peduncled Oak and Common Hornbeam, soil, heavy metals