

## LIZIMETRIJSKA PEDOLOGIJA KAO METODA ISTRAŽIVANJA KVALITETE PROCJEDNIH VODA ŠUMSKIH TALA HRVATSKE

LYSIMETRIC PEDOLOGY AS A METHOD OF QUALITY RESEARCHES  
OF SOIL SOLUTION IN FOREST SOILS OF CROATIA

Boris VRBEK<sup>1</sup>

**SAŽETAK:** Projektom "Ekološko-ekonomске valencije tipova šuma Republike Hrvatske" u Šumarskom institutu, Jastrebarsko, započela su 1991. godine sustavna i detaljna multidisciplinarna istraživanja u šumi hrasta lužnjaka i običnog graba. Tada je razrađena i lizimetarska metoda praćenja otopine tla u šumskih ekosustava. Tom metodom do danas je obuhvaćeno nekoliko šumskih zajednica na području Hrvatske. Rezultati su do sada prikazani u nekoliko radova, a od taložnih tvari praćeni su:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{N}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}_2^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Uzorkovanje se obavlja pomoću lizimetara. Plastični se lizimetri postavljaju u tlo na dubini od 10 cm ili ispod humusnog horizonta. Oni sakupljaju procjednu tekućinu u tlu. Površina sabirnika (kadice) iznosi  $1093 \text{ cm}^2$ . Kao filter u plastičnoj se posudi nalazi 96 % čisti kvarcni pjesak radi pročišćavanja tekućine od čestica tala. Uzorkovanje se obavlja jednom mjesечно ili jednom tijekom tri mjeseca.

Prema dobivenim rezultatima praćenja, naši šumske ekosustavi primaju više taložnih čestica (suho i mokro taloženje) u odnosu na kontrolne uzorke na otvorenom prostoru.

**Ključne riječi:** lizimetri, otopina tla, šumske ekosustavi

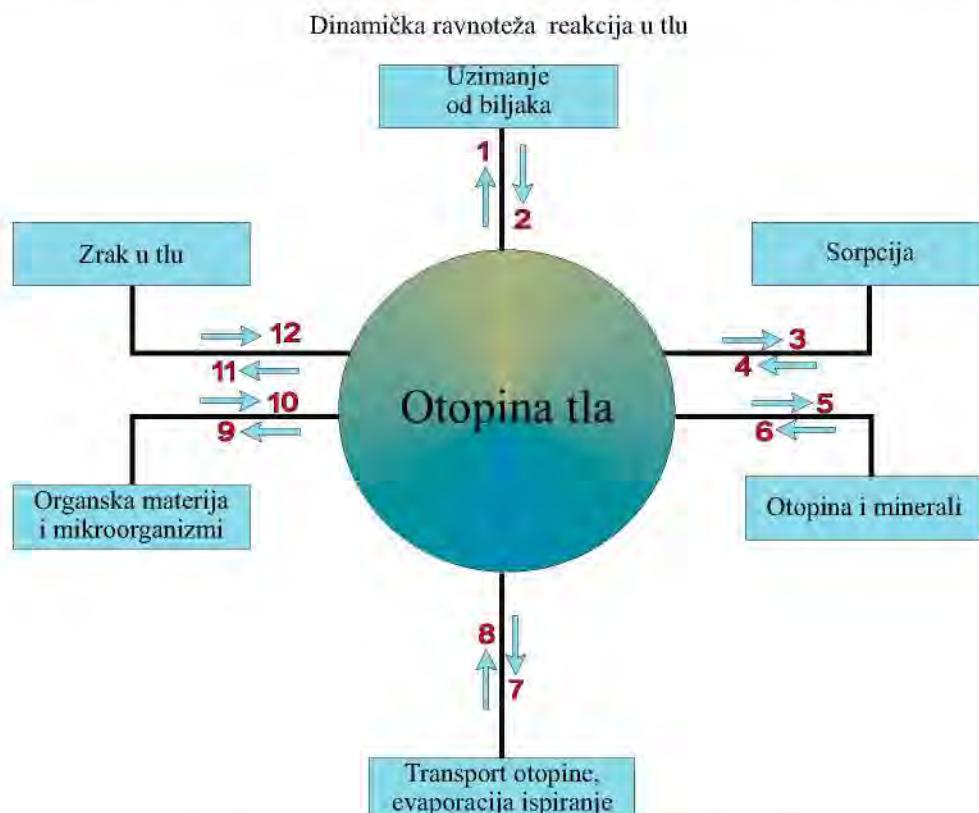
### UVOD – Introduction

Padaline na površinu tla dolaze kao otopina različitih plinova, soli i raznih tvari koje voda prikuplja i rastvara, prolazeći kroz atmosferu. Prolazeći kroz tlo, voda ulazi u reakcije s plinovitom i krutom fazom tla, obogaćujući se dalje mineralima i tvarima iz tla. U tlima, prema tome, postoji rastopina različitih koncentracija koja predstavlja vrlo aktivnu i dinamičnu komponentu tla (Čirić 1984). Otopina tla je nositelj hranjivih materija koje su najlakše dostupne biljkama za njihov rast i razvoj. Postoji nekoliko kategorija tekuće faze u tlu, a čije granice nisu oštro podijeljene, već postupno jedna kategorija prelazi u drugu. Svaka kategorija ima svoju ekološku važnost. Tekuću fazu tla čini voda u tlu, iako i ona pri određenim uvjetima pritska i temperature može prelaziti u kruto (led) i plinovito stanje. Voda se u tlu ne nalazi u čistom stanju, u

njoj se uvijek, makar i u vrlo malim količinama, nalaze otopljeni mineralni tvari ili različiti plinovi. Voda u tlu je zapravo otopina, tj. suspenzija tla (Bašić 1976). Ona se u tlu zadržava adsorpcijom na površini čestica tla i u porama, tj. kapilarama.

U novije doba otopina tla proučavana je kao medij za odigravanje mnogih kemijskih reakcija u tlu. Otopina tla može biti definirana kao vodena tekuća faza tla sa svojim otopljenim tvarima. Razne reakcije zbivaju se unutar tekuće faze tla (Slika 1.) Glavnina otopljenih tvari u tekućoj fazi tla (ili otopini tla) su ioni (Spark 1995). Otopina tla predstavlja medij preko kojega biljke uzimaju ione (1) i u koju nakon raspadanja biljke unose svoje tvari (2). Ione u otopini tla mogu sorbirati organske i anorganske komponente tla (3), a isto tako sorbirani se ioni otpuštaju u otopinu tla (4). Ako je otopina tla prezasićena bilo kojim mineralom u tlu, mineral se može istaložiti (5), dok se ne postigne ravnoteža. Ako je pak otopina tla premalo zasićena bilo kojim

<sup>1</sup> Dr. sc. Boris Vrbek, Šumarski institut Jastrebarsko Trnjanska 35, 10000, HR-Zagreb, Croatia.



Prema Sparks 1995 (izvorno: J. Wiley & sons 1979)

Slika 1. Ravnotežno stanje otopine tla prema Sposito (1995)

Figure 1 Equilibrium of soil solution according Sposito (1995)

mineralom u tlu, mineral može biti otopljen (6), sve dok se ne postigne ravnoteža. Ioni u otopini mogu biti transportirani kroz profil tla (7) do podzemnih voda kroz proces ispiranja tekućinama s površine. Kroz evaporaciju i sušenje tla može se dogoditi pomak iona i

prema površini (8). Mikroorganizmi također mogu potrošiti ione iz otopine tla (9) i kada organizmi uginute se organska materija razloži, ioni se oslobođaju natrag u otopinu tla (10). Plinovi mogu biti otpušeni u atmosferu tla (11) ili otopljeni u otopini tla (12).

## METODE MJERENJA OTOPINE TLA – Measurement methods of soil solution

Kretanje vode kroz tlo, kao i procjeđivanje kroz određeni volumen tla, istražuje se lizimetrima. Njima se može mjeriti kvaliteta otopine tla, kao i tvari koje dolaze u tlo padalinama te se ispiru dalje u podzemne vode ili odlaze bočno po nepropusnom horizontu tla. Riječ lizimetar izvedena je iz grčkih riječi "lisis", što znači otapanje i "metrom", što znači mjerjenje (Sraka 2002). Ovaj je naziv primjenljiv na svaki uredaj koji se koristi za proučavanje količine i kvalitete vode u tlu koja prolazi kroz solum tla ili se pak bočno kreće po nekom nagibu. Lizimetri su u početku bili korišteni u svrhu mjerjenja komponenata vodne bilance tla-evapotranspiracije (Sraka 1996), promjena zaliha fiziološki aktivne vode, kao i određivanja viškova vode u tlu – otjecanja u podzemne vode, a krajem prošloga stoljeća i u novije vrijeme sve se više koriste i za proučavanje kemijskog sastatava perkolata u profilu tla.

Ebermayer (1879) je među prvima upotrijebio lizimetre za mjerjenje kretanja vode kroz neporemećeno tlo u šumi. Za ugradnju lizimetra, prema tom autoru iskopana je pedološka jama, a u jednom zidu na dubini 137 cm načinjen je tunel (polica) u koji se stavio lizimetar za mjerjenje tekućine koja se procjeđivala kroz gornji dio profila. Slične izvedbe i način mjerjenja upotrijebili su Joffe (1929), Lutz i dr. (1968) i Lützke (1992). Lizimetar kod ovih autora nema bočnih strana, pa je kretanje vode slobodno.

Uvijek je postojao problem izolirati "pravu" otopinu tla. Najčešće upotrebljavana metoda je prikupljanje procjedne vode lizimetrima. Normalna otopina tla sadrži 100–200 različitih topivih kompleksa, mnogi od njih sadrže metalne katione i organske tvari Sposito (1989). Kod nas su lizimetrijska istraživanja tekuće faze tla kasnila u odnosu na Europu, pa se tek od prije

desetak godina počelo intenzivnije razmišljati o tom pristupu u pedologiji (lizimetrijska pedologija). Prvi radovi u agronomu odnosili su se na bilancu vode te lizimetrijsko mjerjenje otjecanja vode iz tla (Vidaček i dr. 1994) ili je žarište istraživanja bilo na ispiranju nitrata iz tla (Vidaček i dr. 1996). U šumarstvu Hrvatske počela se pridavati veća pozornost i "lizimetrijskoj vodi" ili otopini tla koja je do sada puno manje ili nikako proučavana. Ovdje moram napomenuti kako se do sad mjerila i još uvijek se mjeri kod nas samo procjedna voda (voda iz makropora) koja se hvata lizimetrima. Lizimetrijska voda u ovom slučaju predstavlja otopinu tla koja je pod utjecajem gravitacije te prolazi kroz horizonte tla od površine do podzemnih voda, a to znači cijedna voda koja se u tlu slobodno kreće ovisno o propusnosti tla za vodu i nije vezana kapilarnim silama. Procjedna voda se kroz tlo kreće makroporama pod utjecajem sile teže. Važan je čimbenik procesa geneze ispiranja, dealkalizacije, acidifikacije, lesivaže, pseudoooglejavanja itd. Lizimetrijskom tehnikom u šumarstvu bavilo se malo autora, a najviše su se bavili tom problematikom Vranković i dr. (1991), Vrbek (1992, 1993, 1996, 1998, 1999, 2000, 2002), Vrbek i Pilaš (2000, 2001).

U proučavanju kemijskog sastava tekuće faze tla lizimetrijskom pedologijom vrlo veliki doprinos na Istriku imali su Angelov (1973), Šilova (1955), Koutré i dr (1999), Vozbuckaia (1968), Kauričev i Nozdrunova (1960) te Kovda (1973).

Novijim spoznajama i istraživanjima u praćenju tijekova otopine tla, Beier i dr. (1989) dali su osnovnu podjelu lizimetara i metode koje su usvojene u većini europskih zemalja, kako bi podaci bili usporedivi. Otopina tla može biti sakupljena na dva načina. Kada je tlo u porušenom stanju i kada je tlo u neporušenom stanju. Sakupljanje tekućine iz tla u neporušenom stanju zahtjeva postavljanje lizimetra (sakupljač tekućine iz tla) koji sabire procjednu vodu uvijek na istoj lokaciji na terenu. U porušenom stanju tlo se uzorkuje te se vrši ekstrakcija otopine raznim metodama. Posebne lizime-

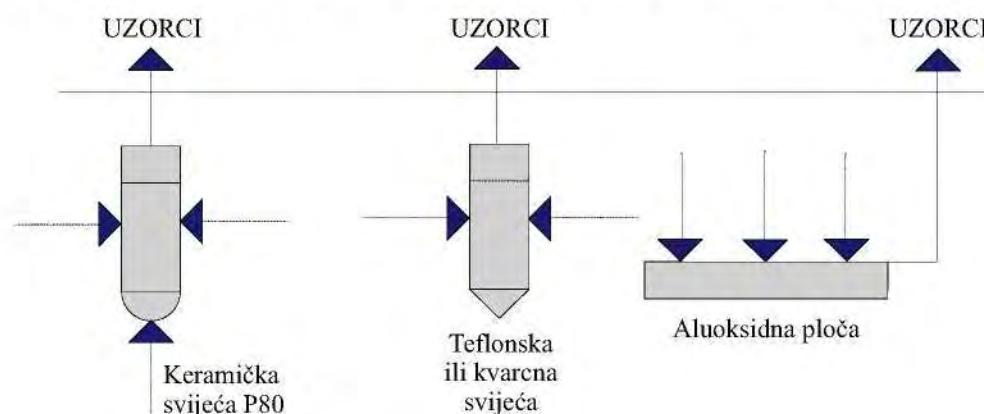
tre za šumske ekosustave po načelu slobodnog protoka perkolata konstruirao je Kren i dr. (1999). Učinke kiselog taloženja i utjecaja na otopinu tla te ispiranje hraničiva u šumskim tlima poseban je problem koji su u Finskoj proučavali Lindroos i dr. (2000), a to je i za očekivati, jer su prve vijesti o kiselim kišama i zakiseljavanju tala dolazile iz tog područja.

Ovisno o našim ciljevima i uvjetima te učestalosti uzorkovanja, možemo primijeniti ove metode lizimetrijske pedologije:

- tenzionali (pod tlakom) lizimetri
- gravitacijski (protočni) lizimetri
- centrifugiranje (centrifugalni lizimetri)
- ekstrakcija (ekstraktionski lizimetri)

Tenzionali lizimetri (lizimetri koji imaju konstantan tlak sisanja tekućine iz tla) najčešći su u uporabi za praćenje kvalitete otopine tla u Europi. Njih je relativno lako ugraditi u željeni medij ispitivanja i previše ne utječu na remećenja redoslijeda horizonata u tlu ili miješanje tla po dubini. Za tenzionale lizimetre mogu se upotrijebiti tenzionale posude ili ploče i keramičke svijeće. Tenzione ploče ili posude više miješaju tlo pri ugradnji nego svijeće. Najčešće se tenzione ploče upotrebljavaju ispod humusnog horizonta tla. Ovisno o sadržaju vode u tlu i hidrauličkoj vodljivosti tla, uporaba tenzionalih lizimetara ograničena je u tlima koja su određeni dio godine u suhim ili ekstremno suhim uvjetima (npr. područje Mediterana kod nas). Makropore koje su tu prisutne te brza drenaža tekućine u profilu tla ne mogu dati dobre rezultate ovom vrstom lizimetra.

Kako je prikazano na slici, postoje tri glavne vrste tenzionalih lizimetara. Kod uporabe takvih lizimetara trebaju specijalne vakuum pumpe koje su pod stalnim nadzorom. Takva je oprema zahtjevna, a ploha na kojoj se obavlja motrenje mora imati izvor napajanja opreme za motrenje. Stalni napon sisanja stvoren vakuumom može podići otopinu tla iz podzemne vode kod tog tipa lizimetra ako je ugrađen blizu razine podzemne vode. U svakom slučaju, keramički ili teflonski lizimetar

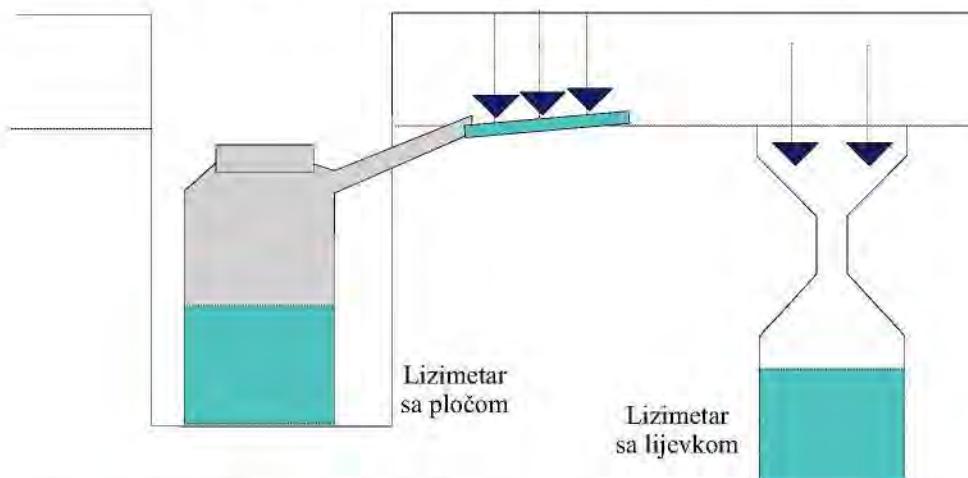


Slika 2. Tenzionalni lizimetri pod tlakom prema Derome i dr. (2001)  
Figure 2 Tension lysimeters under the pressure according to Derome (2001)

može se ugradivati na bilo kojoj dubini. Njihova je uporaba ograničena i ne mogu se ugraditi u humusni horizont, jer su relativno dugi (oko 6–8 cm) pa ponekad mogu biti duži nego je debljina istraživanog horizonta. Drugi je nedostatak kod suhih razdoblja. Nema dobar kontakt s humusnim horizontom. Taj se problem može riješiti naginjanjem keramičke ili teflonske sviće, pazeći pritom da ne dođe u vodoravni položaj. Taj problem uzorkovanja s površinskih horizonata rješava

treći tip lizimetra-aluoksidna ploča. Taj se lizimetar može postaviti blizu površinskog horizonta. Kod ugradnje se ne smiju izmiješati horizonti ili uništiti struktura tla, što je dosta teško postići.

Gravitacijski lizimetri su oni kod kojih se sakuplja procjedna voda prolazom kroz slojeve tla. Tekućina se uslijed gravitacije cijedi kroz profil tla i sakuplja u posebne kadice ili lijevke koji mogu biti različitih površina. Pogodni su u uvjetima gdje se voda brže procjeđuje

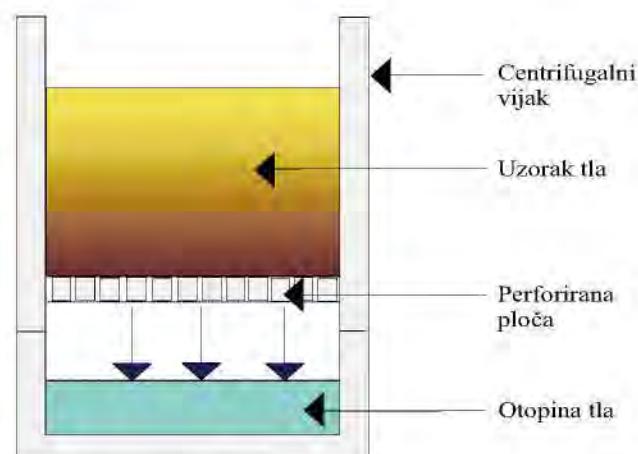


Slika 3. Lizimetri slobodnog protoka otopine tla (gravitacioni)  
Figure 3 Zero tension lysimeters for seepage water

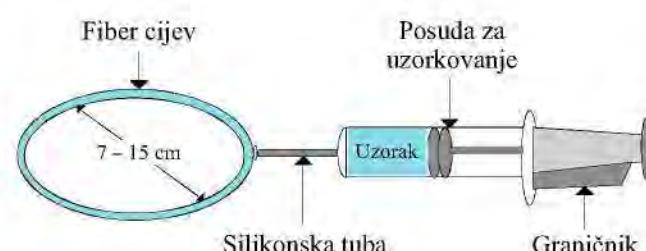
kroz tlo te u uvjetima visoke godišnje količine padalina. Gravitacijski lizimetri prikupljaju tekućinu iz otopine tla kada je u tlu zasićenje iznad poljskog vodnog kapaciteta. Takav lizimetar drenira sve makropore. Također se upotrebljava za prikupljanje tekućine ispod humusnog horizonta. Moram napomenuti kako gravitacijski lizimetri mogu povećati zasićenost tla iznad sakupljača (kadice) lizimetra, te ponekad stvarni rezultati mogu biti prividni. To se isključuje uporabom više lizimetara ili kombinacijom tenzionog lizimetra na istom tipu tla.

Centrifugalna metoda uzorkovanja tekućine iz tla potpuno razara uzorak. Ta je metoda pogodna za uzorkovanje s velikim intervalima (jednom ili dva puta godišnje). Prosječni uzorak s jednog mesta uzima se s više mjesta, kako bi se dobio reprezentativni podatak za tu lokaciju. Otopina koja se dobije centrifugiranjem kemijski se razlikuje od one koja se dobije klasičnim lizimetarskim metodama (Zabowski i dr. 1990; Raulund-Rasmussen 1989.) Ova tehnika izdvajanja otopine tla zbog svoje destruktivnosti na uzorcima i drugčijih podataka (tom se metodom izdvaja i vлага vezana u tlu), nije preporučljiva i usporediva s tenzionim ili gravitacijskim lizimetrima baš zbog dosta drugčijih rezultata.

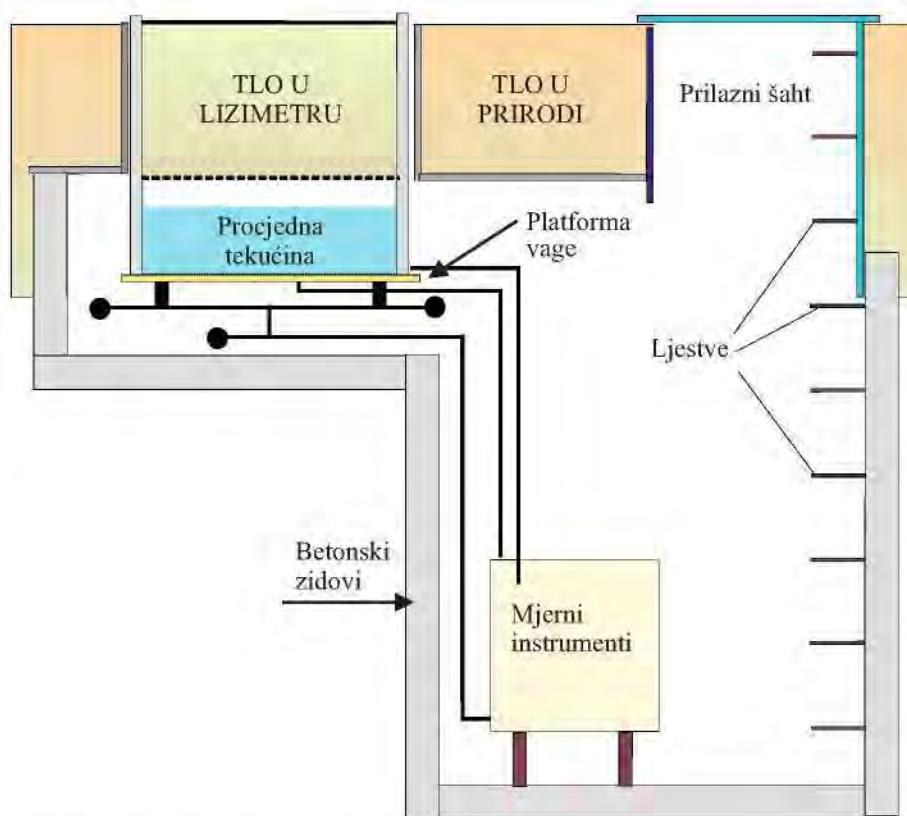
Druga metoda razaranja uzorka tla je ekstrakcijska metoda (Derome 2001). Primjenjuje se u teškim gli-



Slika 4. Lizimetar na načelu centrifugalnog izdvajanja tekućine  
Figure 4 Centrifugal soil solution separator lysimeter



Slika 5. Modificirani lizimetar LHF, prema Yanai i dr. (1996)  
Figure 5 Modified LHF lysimeter, according Yanai et all (1996)

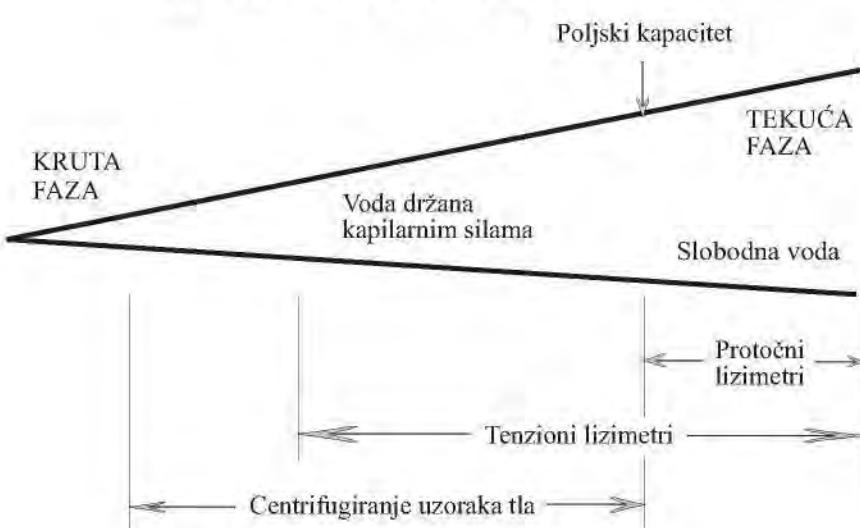


Slika 6. Veliki poljski lizimetar s vagom  
Figure 6 Great field lysimeter with balance

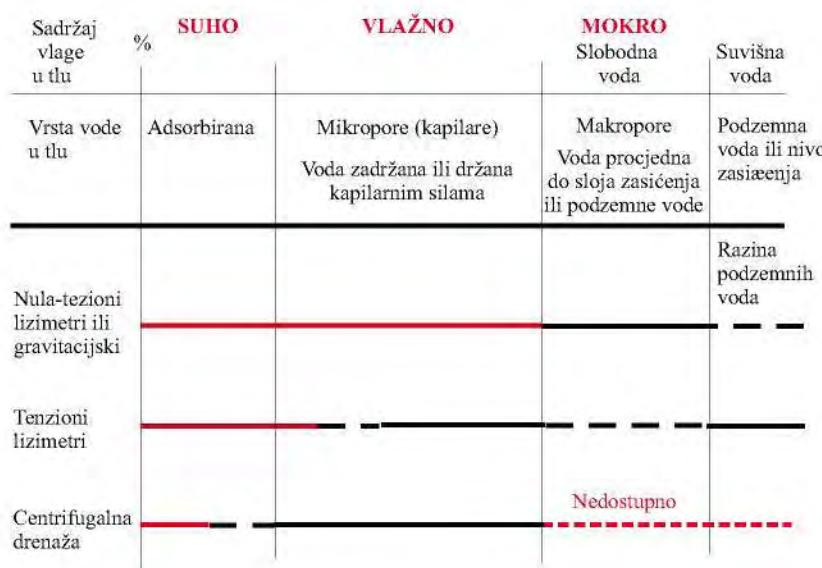
novitim tlima kao i kamenitim tlima i kod tala gdje druge metode nisu uspješne. Ekstrakcijska metoda je način namakanja uzorka do saturacije, razarajući strukturu tla dodavanjem tekućine. Mjeri se količina tekućine, a konačna analiza obuhvaća i proračun dodane tekućine te anione i katione koji su u njoj otopljeni te analizirani.

Svi lizimetri moraju biti građeni od materijala koji ne mogu kontaminirati uzorak. Najčešće su to keramički materijali, laboratorijsko staklo (borosilikatno staklo), poliamid, politetrafluoroethilen (PTFE, tj. teflon), polivinilidenfluorid (PVDF) polipropilen (PP), silikatni pijesak (Derome i dr. 2001). Ako se analize uzorka otopine tla rade na sadržaj teških kovina, problematični su materijali od kojih su građeni lizimetri. Adsorpcija teških kovina na keramičke i aluoksidne može izazvati probleme (Grossman i dr. 1994). To ovisi i o pH-vrijednosti tla. Prirodni procesi u tlu mogu donijeti i promjene u kvaliteti lizimeta. Npr. tekućine koje prolaze kroz B-horizont tala mogu uslijed povišenja organske materije, aluminijskih i željeznih hidroksida promijeniti veličinu pora u određenom razdoblju na površini lizimetra. Ovisno o uvjetima gdje su postavljeni lizimetri, uvijek možemo nakon desetak godina očekivati promjene u uzorcima otopine tla.

#### TEHNIKE IZDVAJANJA TEKUĆE FAZE TLA



Slika 7. Prikaz tekuće faze tla s različitim lizimetrijskim frakcijama  
Figure 7 Schema of soil solution fractions in different lysimeters



Slika 8. Frakcije vode u različitim tipovima lizimetara (Derome i dr. 2001)  
Figure 8. Soil water fractions in some kinds of lysimeters (Derome et all 2001)

Osim ovih navedenih lizimetara koji su zapravo za šumske ekosustave, postoje i druge vrste lizimetara (Klaghofer 1991). Oni se, prema kriterijima DVWK (1980), dijele:

- prema veličini i izgradnji posude lizimetra, (mali lizimetri prema Popovu, ljevkasti lizimetri, standardni lizimetri prema Friedrichu-Franzenu, veliki lizimetri).
- prema stabilnosti odnosno pokretljivosti lizimetra
- prema prisutnosti podzemne vode ili podtlaka (lizimetar bez podzemne vode te lizimetar sa i bez podtlaka)
- prema vrsti tla unosa tla u lizimetar, (ako je tlo razoren pa je lizimetar ponovno napunjen ili ako je tlo nerazoren pa je u lizimetar ugrađen monolit tla).
- prema tipu tala, npr. uslojeno (neuslojeno, glinasto, muljevito, pjeskovito).
- prema vegetacijskom pokrovu (bez raslinja, oranice, šuma, i td.)

Aboukhaled i dr. (1892), gledajući mjerjenja promjena sadržaja vlage u tlu, dijele lizimetre u dvije velike kategorije: nevagajući i vagajući lizimetri. Od njih su se u zadnja tri-četiri desetljeća razvile različite varijante.

*Nevagajući lizimetri* još se nazivaju volumetrijski, drenirajući ili kompenzirajući. Oni se dijele na sljedeće tipove:

- kompenzirajući lizimetri bez vodenog sloja predstavljaju najjednostavniji tip lizimetara koji su na dnu opskrbljeni posudom za sakupljanje perkolata;
- kompenzirajući lizimetri s konstantnim slojem podzemne vode koja je održavana u donjem dijelu lizimetra, a svaki gubitak vode uslijed kapilarnog diz-

nja i potrošnje na evapotranspiraciju kompenzira se i mjeri volumetrijski;

- kompenzirajući lizimetri s površinskim vodenim slojem, gdje je konstantna razina vode održavana iznad površine tla u lizimetrima bilo periodičnim dodavanjem vode ili posebnim uređajima za regulaciju;
- specijalni tip kompenzirajućih lizimetara u koje pripadaju svi oni drenirajući lizimetri koji imaju neka neobična obilježja (nema zidova ili stranica i nema dno te ima velike dimenzije).

*Vagajući lizimetri* izravno mjeru sve ulazne (padaline, navodnjavanje, itd.) i izlazne (evapotranspiracija, drenažu) vodene tijekove promjenom težine. Drenažna tekućina sakuplja se u posebnim posudama i mjeri u određenom razmaku. Ovakvi se lizimetri postavljaju samo na istraživačkim postajama i vrlo su rijetki. Jedan od prvih i najstarijih je onaj u Eberswaldu i Britzu u Njemačkoj, a datira od 1929. godine (Lützke 1992). Do 1953. godine na tom je području postavljeno ukupno 7 velikih lizimetara. Površina im iznosi 100 m<sup>2</sup>, a dubina 5 m. U Austriji također postoji dugogodišnja tradicija lizimetarskih istraživanja velikim lizimetrima (Zojer i dr. 1991; Merkeli 1991; Cepuder 1991, 1992; Gerzabek 1991).

Vagajući lizimetri izravno mjeru sve ulazne (padaline ili navodnjavanje) i izlazne (evapotranspiracija i drenažu) vodene tijekove promjenom težine. Drenažna voda sakuplja se u kontejnere i mjeri periodično. Aboukhaled i dr. (1982) navode kako ovi lizimetri omogućuju vrlo precizno mjerjenje evapotranspiracije za kratke intervale, ali zbog kompleksnosti instaliranja i visoke cijene njihova je primjena ograničena na specijalizirane istraživačke stanice. Glavna teškoća javlja se pri

mjerenu i registriranju malih promjena težine u odnosu na veliku težinu tala koje se nalaze u lizimetrima.

Prema različitim načelima vaganja, sve ove lizimetre možemo podijeliti na:

- mehaničke vagajuće lizimetre koji koriste različite tipove mehaničkih vaga za izravno mjerjenje promjena težine prouzročenih evapotranspiracijom, padalinama ili navodnjavanjem;
- elektroničke vagajuće lizimetre koji promjene u težini unutar kontejnera s tlom mjeru elektronički

mjeračem naprezanja ili električnim celijama;

- hidraulične vagajuće lizimetre koji se temelje na sustavima hidrauličnog registriranja promjene težine te se svaki pritisak na tekućinu, odnosno sve promjene unutar lizimetra, registriraju manometrom;
- plutajuće vagajuće lizimetare – plutaju u  $H_2O$  ili  $ZnCl_2$  koji se nalaze u drugom kontejneru, a promjene težine registriraju se kao promjene uzgona i flotacije razine tekućine u kojoj plutaju.

### Pregled lizimetrijskih istraživanja u šumskim ekosustavima Hrvatske

Lizimetri su primijenjeni i u istraživanjima šumskega ekosustava u Nacionalnom parku "Plitvice" (Martinović 1979; Martinović i Vranković 1986).

U svojim su istraživanjima pokušali ustanoviti utjecaj automobilskog prometa na tlo u Nacionalnom parku.

Podprojektom "Ekološko-ekonomske valencije tipova šuma Republike Hrvatske" u Šumarskom institutu Jastrebarsko, 1991. godine započela su sustavna i detaljna lizimetrijska istraživanja u šumi hrasta lužnjaka i običnoga graba. Praćenje kvalitete tekuće faze tla te unosa taložnih tvari obavljalo se na pokusnim plohamama. Lizimetri su postavljeni u šumskoj zajednici hrasta lužnjaka i običnoga graba, u šumskim zajednicama bukve i jele na Medvednici, hrasta kitnjaka i obič-

noga graba kraj Jastrebarskog, pretplaninske šume bukve kod Zavižana i u šumskoj zajednici alepskog bora i crnike na području Korčule. Nekoliko je njih u sastavnom dijelu praćenja ICP Forest (International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forest). Također su opremljene i pokusne lizimetrijske plohe na području Nacionalnih parkova "Risnjak", "Plitvice", "Mljet", "Brijuni", i "Paklenica" (Tablica 1). Modificirani Ebermayerovi lizimetri postavljeni su na dvjema dubinama u pedološkom profilu tla: ispod humusnog horizonta na 10 cm te u mineralnom dijelu tla na 100 cm. Uzorkovanje se obavlja jednom mjesečno, a u perkolatu se određuju anioni i kationi.



Slika 9. Protočni površinski lizimetri na pokusim plohamama u šumskom ekosustavu  
Figure 9 Zero tension surface lysimeters on research plots in forest ecosystems

Tablica 1. Pregled ploha s ugrađenim lizimetrijskim praćenjem u šumskim ekosustavima Hrvatske  
Table 1 Plots review with incorporated lysimeters in forest ecosystems in Croatia

Godina ugradnje <i>Year of instalation</i>	Lokalitet i br. plohe <i>Lokality and No. of plot</i>	Tip tla <i>Soil type</i>	WRB klasifikacija <i>WRB classification</i>	Šumska zajednica <i>Forest community</i>	Dubina lizimetra (cm) <i>Lysimeter at depth (cm)</i>
1992	Česma (Pl-1)	Pseudogley-gley	Gleysol	Hrast lužnjak i obični grab <i>Pedunculate oak and Common Hornbeam</i>	10, 100

1992	čazmanske nizinske šume (Pl-6)	Pseudogley na zaravni	Planosol	Hrast lužnjak i obični grab <i>Pedunculate oak and Common Hornbeam</i>	10, 100
1992	Česma (Pl-15)	Pseudogley na zaravni	Planosol	Hrast lužnjak i obični grab <i>Pedunculate oak and Common Hornbeam</i>	10, 100
1992	Šiljakovačka dubrava (Pl-23)	Pseudogley na zaravni	Albeluvisol	Hrast lužnjak i obični grab <i>Pedunculate oak and Common Hornbeam</i>	10, 100
1993	Repaš (Pl-25)	Fluvisol	Fluvisol	Hrast lužnjak i obični grab <i>Pedunculate oak and Common Hornbeam</i>	10, 100
1993	Jastrebarske nizinske šume (Pl-36)	Pseudogley na zaravni	Planosol	Hrast lužnjak i obični grab <i>Pedunculate oak and Common Hornbeam</i>	3 X 10
1996	Jastrebarske prigorske šume (ICP-102)	<i>Pseudogley of sloping terrains</i>	Albeluvisol	Hrast kitnjak i obični grab <i>Sessile-flowered Oak and common Hornbeam</i>	10
1996	Medvednica (ICP-103)	Kiselo smeđe na zelenim škriljevcima	Dystric cambisol	Bukva i jela <i>Beech and Fir</i>	3 X 10
1996	Korčula, Šakanj rat (ICP-111)	Crvenica	Chromic cambisol	Alepskog bora i crnike <i>Aleppo Pine and Evergreen Oak</i>	10
1996	Zavižan (ICP-105)	Smeđe tlo na vagnencima	Cambisol	Subalska bukva <i>Sub-Alpine Beech</i>	10
1997	Lividraga (ICP-106)	Lesivirano tlo	Luvisol	Bukva i jela <i>Beech and Fir</i>	10
1998	N.P. Risnjak (Pl-01)	Lesivirano tlo	Luvisol	Bukva i jela <i>Beech and Fir</i>	10
1998	N.P. Mljet (P-02)	Smeđe tlo na dolomitu	Cambisol	Crnika <i>Evergreen Oak</i>	10
1998	N.P. Plitvice Medveđak	Lesivirano tlo	Luvisol	Bukve <i>Beech</i>	10
1998	N.P. Plitvice Čorkova uvala	Smeđe tlo na vagnencima	Cambisol	Bukva i jela <i>Beech and Fir</i>	10
1999	Umag (ICP-107)	Crvenica	Chromic cambisol	Medunca <i>Pubescent oak</i>	10
2004	Poreč	Crvenica	Chromic cambisol	Medunca <i>Pubescent oak</i>	10
1999	N.P. Paklenica (P-04)	Smeđe tlo na vagnencima	Cambisol	Bukva i jela <i>Beech and Fir</i>	10
2004	Bjelovar Rogović kut	Lesivirano tlo	Luvisol	Bukve <i>Beech</i>	3 X 10

### ZAKLJUČCI – Conclusions

Potprojektom "Ekološko-ekonomske valencije tipova šuma Republike Hrvatske" u Šumarskom institutu, Jastrebarsko, 1991. godine započela su prva sustavna i detaljna lizimetrijska istraživanja u šumi hrasta lužnjaka i običnoga graba (*Carpino betuli-Quercetum robori* /Anić/med. Rauš 1969) (Rauš i dr. 1992).

Osim lizimetara u šumskoj zajednici hrasta lužnjaka i običnog graba, u 1996. i 1997. godini unutar potprojekata "Vrednovanje kapitalnih dobara šume i gubitaka

uzrokovanih utjecajem štetnih činitelja" i "Izloženost šuma štetnim utjecajima i povećanje njihove zaštite", lizimetrima je opremljeno 5 pokusnih ploha u šumskim zajednicama bukve i jele (*Abieti-Fagetum illyricum*/Ht.) na Medvednici (1 ploha), hrasta kitnjaka i običnog graba (*Epimedio-Carpinetum betuli*/Ht 1938/Borh. 1963) kraj Jastrebarskog u jastrebarskim prigorskim šumama (1 ploha), pretplaninska šuma bukve (*Homogino-alpine-Fagetum sylvaticae*/Ht 1938/Borh. 1963) kod

Zavižana na Velebitu (1 ploha) i u šumskoj zajednici alepskog bora i crnike (*Quercus ilicis-Pinetum halepensis*/Lasiel 1971) na području otoka Korčule (1 ploha). Nekoliko je njih u sastavnom dijelu praćenja ICP Forest (International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forest).

Praćenje ovom metodom trebalo bi proširiti na ostale važnije šumske zajednice u Hrvatskoj, kako bi se do-

bio što bolji uvid u utjecaj vrste šumskog pokrova na otopinu tla, a ujedno na stanje oštećenosti naših tala.

Lizimetrijskom pedologijom moguće je ustanoviti trend zakiseljavanja tala te kvalitetu vode koja cirkulira kroz neki šumski ekosustav. Na taj način moguće je ustanoviti pufernu spodobnost tla te u kojoj mjeri je došlo do zakiseljavanja.

## LITERATURA – References

- Aboukhaled, A., A. Altaro, M. Smith, 1982: Lysimeters FAO irrigation and drainage. Paper No 39, Roma.
- Angelov, E., 1973: O sezoni dinamike iononogog sostava lizimetričeskih vod v svetlo-seroi lesnoi počve, počvovedenie. No 12.
- Bašić, F., 1976: Pedologija. Viša poljoprivredna škola, Križevci.
- Beier, C., M. Butts, N.E. Von Freiesleben, K.H. Jensen, L. Rasmussen, 1988: Monitoring of soil water chemistry and ion fluxes in forest. Nordic Council of Ministers, Miljörapport 1989: 11.
- Cepuder, P., H. Supersperg, 1991: Erfahrungen mit der Lysimeteranlage Gross-Enzersdorf "Über die Lisimetertagung im Sickerwassergewinnung und Ergebnisinterpretation" am 16 und 17 April 1991. Irdning.
- Cepuder, P., 1992: Lysimeteranlage Gross-Enzersdorf, Ergenisse 1990 und 1991. Über die 2 Lisimetertagung im "Praktische ergebnisse aus der arbeit mit lysimetern" am 28 und 29 April 1992. Irdning.
- Ćirić, M., 1984: Pedologija. Sarajevo.
- Derome, J., A.J. Lindroos, K. Niske, 1999: Comparison of soil water percolation water quality. 743: 132–137. The Finnish Forest Research Institute, Research Papers.
- Derome, J., J. Bille-Hansen, L. Antti-Jussi, 2001: Evaluation of the lysimeter techniques employed in monitoring soil-solution quality in the European levelII intensive plot network, and assesment of the future intercompatibility of the soil solution data. European programme for the intensive monitoring of forest ecosystems (Level II). Technical report, 1–36.
- DWK, 1980: Empfehlungen zum Bau und Betrieb von Lysimetern. DWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, Heft 114, Verlag Paul parey.
- Ebermayer, E., 1879: Wie kann man den Einfluss der Wälder auf den Quellenrechtum ermitteln? Forstw. Centralbl., 1: 77–81.
- Geisler, R., U.S. Lundström, H. Grip, 1996: Comparison of soil solution chemistry assessment using zero-tension lysimeters or centrifugation. European Journal of Soil Science, 47: 395–405.
- Gerzabek, M., 1991: Die Lysimeteranlage des Österreichischen Forschungszentrum Selbendorf Über die Lisimetertagung im Sickerwassergewinnung und Ergebnisinterpretation" am 16 und 17 April 1991. Irdning.
- Grossman, J., R. Kloss, 1994: Variability of water quality in a spruce stand. Zeitschr. Pflanzenernähr. Bodenk. 157: 47–51.
- Joffe, J.S., 1929: A new type of lysimeter at the New Jersey Agricultural Experiment Station. Science, 70: 147–148.
- Jordan, C.F., (1968): A simple, tension-free lysimeter. Soil Science, 105, 81–86.
- Kauričev, I.S., E.M. Nozdrunova, (1960): Učet migracii nekotornijh soedinenii v počve s pomisljio lizimetričeskikh hromatografičeskikh kolo-nok. Počvovedenie, No 12.
- Klaghofer, E., 1991: Bodenphysikalische Aspekte bei der Erfassung von gelösten Stoffen von Lysimetern. Bericht über die lysimetertagung. "Art der Sickerwassergewinnung und Ergebnisinterpretation", BAL Gumpeinstein, 16.–17. April 1991, 19–23.
- Koutev, V., E. Ikonomova, Z. Popova, V. Varlev, B. Mladenova, 1999: Nitrates Movement in Conditions of Every-Furrow and Alternate-Furrow Irrigation and Fertilization. Bericht über die 8. lysimetertagung. "Stoffflusse und ihre regionale Bedeutung für die Landwirtschaft", BAL Gumpeinstein, 13.–14. April 1999, 161–162.
- Kovda, V.A., 1973: Osnovi učenija o počvah. Nauka, 1–468, Moskva.
- Krenn, A., G. Haberhauer, M.H. Gerzabek, (1999): Konstruktion eines Waldlysimeters zur Untersuchung des Stickstoffhaushaltes mit <sup>15</sup>N. Bericht Über die 8. Lisimetertagung im "Stof-

- flüsse und ihre regionale bedeutung für die Landwirtschaft" am 13 und 14 April 1999. Irdning.
- Lindroos, A.J., J. Derome, M. Starr, L. Ukonmaanaho, 2000: Effects of acidic deposition on soil solution quality and nutrient leaching in forest soils. U: Malkonen, E. (ed). Forest Condition in a Changing Environment-The Finish Case, Forestry Sciences, 65: 183-199.
- Lutz, H.J., R.F. Chandler, 1959: Forest soils. New York, London.
- Lützke, R., 1992: Lysimeter measurements at Britz and Eberswalde. IUFRO Centennial Meeting Berlin and Eberswalde.
- Mayer, B., 1979: Utjecaj kultura alepskog i brucijskog bora na tlo primorskih kamenjara izloženih zasoljavanju kod Rapca, Zemljiste i biljka 28 (1-2): 99-106.
- Martinović, J., 1979: Lizimetrijska istraživanja u NP Plitvičke jezera. Izvještaj za 1978. i 1979. godinu (rukopis), 1-12, Zagreb.
- Martinović, J., A. Vranković, 1986: Lizimetrijska istraživanja u N. P. Plitvička jezera. Izvještaj za razdoblje 1982. – 1986. (rukopis), 1-8.
- Merkel, B., 1991: Sickerwassergewinnung und Interpretation der Ergebnisse. Über die "Lisimeter-tagung im Sickerwassergewinnung und Ergebnisinterpretation" am 16 und 17 April 1991. Irdning.
- Penka, M., M. Vyscot, E. Klamo, F. Vašiček, 1985: Floodplain forest ecosystem. Prague.
- Raulund-Rasmussen, K., 1989: Aluminium contamination and other changes of acid soil solution isolated by means of porcelain suction cups. Journal of Soil Science, 40: 95-101.
- Smith, W.H., 1990: Air pollution and forest. Springer Verlag, Second edition, New York.
- Sparks, D.L., 1995: Environmental soil chemistry, Academic Press Limited, London.
- Sposito, G., 1989: The chemistry of soils. Oxford University Press, New York.
- Sraka, M., 1996: Lizimetrijska mjerjenje i metode proračuna bilance vode u tlu. Magisterij. Agrominski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Sraka, M., 2002: Lizimetrijsko testiranje modela proračuna bilance vode u tlu. Disertacija. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Šestić, S., M. Leskošek, V. Mihalić, I. Mušac, H. Resulović, 1989: Gubici hraniča ispiranjem iz oraničnog sloja zemljišta. Poljoprivredne aktualnosti, 33 (1-2): 211-221. ?.
- Šilova, E.I., 1955: Metod polučenia počvenog rastvora v prirodnih usloviah. Počvovodenie, No. 11. 86-90. (Ruski).
- Vidaček, Ž., M. Sraka, S. Husnjak, M. Pospišil, 1994: Lizimetrijsko mjerjenje otjecanja vode iz tla u uvjetima agroekološke postaje Zagreb-Maksimir. Poljoprivreda i gospodarenje vodama, 223-232, Bizovačke toplice.
- Vidaček, Ž., M. Bogunović, M. Sraka, S. Husnjak, 1996: Water discharges and nitrates from some soils of the Sava river valley, Bericht Über die 6. Lisimetertagung im Dienste des Grundwasserschutzes" am 16 und 17 April 1996. Irdning.
- Vranković, A., J. Martinović, 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., 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 taloženih tvari u zajednici hrasta lužnjaka iobičnoga graba na području Uprave šuma Bjelovar. Rad. Šumar. inst. 28 (1-2): 129-145, Jastrebarsko.
- Vrbek, B., 1996: Small lysimeters monitoring in a forest of Pedunculate Oak and Common Hornbeam in North-West Croatia. Bericht Über die 6. Lisimetertagung im Dienste des Grundwasserschutzes" am 16 und 17 April 1996. Irdning.
- Vrbek, B., 1998: Lizimetrijska istraživanja kvalitete vode u tlu nekih šumskeh zajednica, Rad. Šumar. inst. 33 (1): 59-72, Jastrebarsko.
- Vrbek, B., 1998: Lysimetric monitoring in Forest Ecosystems in International Conference on water protection in National parks and other protected areas. Primošten 20-23 May, Croatia, Book of abstracts.
- Vrbek, B., 1999: Cation and anion compounds in lysimeter waters of Pedunculate Oak and Common Hornbeam Community on the North-West Croatia. Abstracts 36-37, COST E6, Eurosilva forest treephysiology research, workshop: Root-Soil interactions in trees, Slovenia, Gozd Martuljek.
- Vrbek, B., 2000: A Method for monitoring deposited matter in forest Ecosystems. Arh. Hig Rada Toksikol Vol 51: No. 2 pp 207-216, Zagreb.
- Vrbek, B., I. Pilaš, 2000: Praćenje taloženih tvari u nacionalnim parkovima u Hrvatskoj. 7. Hrvatski biološki kongres Hvar od 24. do 29. rujna, Zbornik, 234-235.
- Vrbek, B., I. Pilaš, 2001: Praćenje utjecaja taložnih tvari na pokusnim plohamu u Hrvatskoj. Znanost

- u potrajanom gospodarenju, znanstvena knjiga, 388-394, Zagreb.
- Vrbek, B., 2002: Utjecaj padalina na kemijski sastav tekuće faze tala šumske zajednice (*Carpino betuli-quercetum roboris*, Anić 1956 ex. Rauš 1969 u sjeverozapadnoj Hrvatskoj, disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet 1-272, Zagreb.
- Yanai, J., D.J. Linehan, D. Robinson, I.M. Young, C.A. Hackett, 1996: Effects of inorganic nitrogen application on the dynamics of the soil solution composition in the root zone of maize, Plant and soil 180: 1-9
- Zabowski, D., F.C. Ugolini, 1990: Lysimeter and centrifuge soil solution: Seasonal differences between methods. Soil Science Society of America Journal, 54: 1130-1135.
- Zojer, H., P. Ramspacher, J. Fank, 1991: Die kombinierte Lysimeteranlage Wanga. Über die Lisimetertagung im Sickerwassergewinnung und Ergebnisinterpretation am 16 und 17 April 1991. Irdning.

**SUMMARY:** Systematic and elaborate multidisciplinary researches of peduncled oak and common hornbeam have begun in Forest Research Institute in Jastrebarsko in 1991. The method of monitoring matter sedimentation in forest and soil solution by lysimeters was worked out at that time. This method, which is nowadays closely related to ICP-Forest monitoring, has to date included several forest communities on the territory of Croatia. The following deposited matters were monitored:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ -S,  $\text{NH}_4^+$ -N,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}_2^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Plastic lysimeters are placed in the soil at the depth of 10 cm or beneath the humus layer and in mineral part of soil (100 cm). They collect the seeped liquid (seepage) in the soil. The surface of the collector-tubs (baths) is 1093 cm<sup>2</sup>. The plastic container contains 96 % clean quartz sand, which acts as a filter for purification of liquids from soil particles. Sampling is carried out once a month. According to the obtained data of monitoring, our forest ecosystems absorb more deposited particles (wet and dry sedimentation) in comparison to control samples in the open area.

**Key words:** monitoring, deposition, lysimeters, forest communities