

ODNOS UNUTARSEZONSKIH VARIJACIJA PRIRASTA DEBLA, ELEKTRIČNOG OTPORA KAMBIJALNE ZONE I PODZEMNE VODE U SASTOJINI HRASTA LUŽNJAKA (*Q. robur* L.)

DEPENDENCE OF INTRASEASONAL VARIATIONS OF TREE STEM
DIAMETER CHANGES, ELECTRICAL RESISTANCE OF CAMBIAL ZONE
AND GROUNDWATER IN COMMON OAK STAND (*Q. robur* L.)

Ivan PILAŠ*, Nenad POTOČIĆ*

SAŽETAK: U radu je istraživan utjecaj sezonskih oscilacija podzemne vode na varijacije rasta debla te varijacije električnog otpora kambijalne zone dvije grupe od po deset stabala hrasta lužnjaka različitog zdravstvenog stanja (ispod i iznad 40 % osutosti). Mjerjenje podzemne vode obavljeno je na setu piezometara unutar sastojine postavljenom na dubinama od 0,5 m; 1,0 m; 2,0 m; te 7,0 m. Povezanost između promatranih varijabli proučavana je na osnovu pojave istovjetnih cikličkih kretanja koja su ustanovljena korištenjem spektralne analize, brze Fourierove transformacije (FFT). Na varijacije rasta debla u dobrih stabala najveći utjecaj ima dinamika podzemne vode mjerena na piezometarskoj cijevi od dva metra dubine, koja se nalazi unutar zone zakorijenjivanja hrasta lužnjaka na istraživanom tlu tipa pseudoglej. Između podzemne vode i električnog otpora kambijalne zone povezanost je nešto slabije izražena, ali su oscilacije podzemne vode također izdvojene kao jedan od uzročnika varijacija električnog otpora. Stabla lošeg zdravstvenog stanja pokazala su i slabiju reakciju rasta promjera debla na trenutna povećanja vode u tlu, tako da kod njih povezanost s podzemnom vodom nije jasno izražena. Promatran je i međuodnos između varijacija sezonskog rasta debla kod "dobrih" i "loših" stabala, te je utvrđeno kako u prvom dijelu vegetacijske dobi dolazi do tjednog zaostajanja prirasta loših stabala za dobrima, dok se u drugom dijelu vegetacije, uslijed nedostatka vode, dinamika prirasta dobrih i loših stabala izjednačuje. Ovo istraživanje potvrdilo je prikladnost spomenutih metoda izmjere kao jedne od vrlo jeftinih alternativa praćenja vodnog statusa stabala hrasta lužnjaka prilikom ustanovljenja djelovanja suše ili učinaka hidrotehničkih zahvata na području nizinskih šuma.

Ključne riječi: sezonski rast promjera debla, električni otpor kambijalne zone, podzemna voda, hrast lužnjak, osutost stabala

UVOD – Introduction

Sve izraženiji klimatski ekstremi u posljednjih nekoliko godina, ponajprije pojave izrazitih suša uvjetovanih nedostatkom oborina i previsokim temperaturama, uzrokuju stvaranje novih ekoloških odnosa na

šumskim staništima. Voda u tlu predstavlja jedan od najvažnijih čimbenika produktivnosti šumskih staništa koji se pod navedenim novonastalim prilikama kvantitativno mijenja i to u većini slučajeva u smjeru smanjenja. Kvantitativne promjene vodnih odnosa u tlu uzrokuju smanjenu produktivnost šuma, i u krajnjem slučaju dovode do pojave masovnih sušenja sastojina što za šumsko gospodarstvo, koje teži očuvanju

* Mr. sc. Ivan Pilaš, mr. sc. Nenad Potočić, Šumarski institut Jastrebarsko, Cvjetno naselje 41, 10450 Jastrebarsko

potrajnih načela, predstavlja sve veći problem čije će posljedice u budućnosti biti sve očitije. Razmjeri tih promjena povećani su u nizinskom dijelu Hrvatske, gdje se globalne prilike isprepliću s utjecajem velikog broja manjih i većih hidrotehničkih aktivnosti, koje su i dovele do poremetnje režima poplavnih i podzemnih voda kao dodatnih izvora vlaženja na tim staništima (Prpić 2000). Kompleksnu narav ugibanja šuma, uvezši u obzir stanište, uzročnike sušenja, opseg i jačinu ugibanja stabala te mjere za poboljšanje stanja za hrast lužnjak, iznio je Prpić (1996). Povezanost pada razina podzemne vode sa smanjenjem radikalnog prirasta hrasta lužnjaka u šumi Kalje utvrđili su Prpić i dr. (1994). Prema Mayeru i Bušiću (1995) smanjenje vitaliteta šumskog ekosustava na području Pokupskog bazena, kao i propadanje hrasta lužnjaka, rezultat je ponajprije dreniranosti tla kroz smanjenje površinskih tokova i snižavanja razine podzemne vode, kao i pogoršanja kvalitete vode, što se sve događa u kombinaciji s razdobljima suše (Komlenović 1996). Suša se smatra jednim od glavnih čimbenika odgovornih za pogoršanje zdravstvenog stanja hrasta lužnjaka u posljednjih nekoliko desetljeća (Thomas 1998).

Radi praćenja tih promjena ustanovljen je monitoring podzemnih voda na velikom dijelu naših nizinskih šuma, a procjena zdravstvenog stanja šumskih sastojina provodi se unutar mreže kvadrata 16 X 16 km i 4 X 4 km. Najčešće korišten pristup u interpretaciji rezultata dosadašnjih istraživanja ovoga tipa je u uspostavljanju stohastičkih odnosa između nizova podataka koji reprezentiraju ekološko stanje sastojina obuhvaćenih praćenjem, kao što su osutnost krošnja, visina podzemne vode, godišnji radikalni prirast itd. Zbog složenosti šumskih ekosustava, međutim, jednostavne i jednoznačne interpretacije rezultata praćenja ekoloških čimbenika na širem području najčešće nisu moguće. Kompleksna narav rasta stabala odnosno sastojina, razlog je što za modeliranje radikalnog godišnjeg prirasta treba u obzir uključiti relativno velik broj ulaznih varijabli (Ivkov 1994, Antonić i dr 2002) dok sama voda u tlu te podzemna voda samo jednim dijelom

objašnjavaju varijabilitet prirasta između godina. Zbog potrebe kvalitetnijeg utvrđivanja i praćenja vodnog statusa stabala moguće je primijeniti i neposrednije metode, kao što su npr. mjerjenje transpiracije, odnosno sap flow-a (Kostner i dr. 1998) te jutarnjeg vodnog potencijala (pre down water potential) (Landsberg i Gower 1997), čije je korištenje zbog relativno skupe i kompleksne opreme ograničeno na relativno mali broj stabala i u eksperimentalne svrhe. Osim ovih najčešće korištenih pristupa postoje i manje uobičajeni, a vrlo pristupačni načini utvrđivanja vodnih prilika u stablu. Jednostavan pristup predstavio je Mayer (1994) koji je istraživao utjecaj vlažnosti tla, oborina, vode u piezometrima na dvije grupe stabala uz rub i unutar sastojine hrasta lužnjaka na sezonsku dinamiku radikalnog prirašćivanja debla. Pilaš i dr. (2000, 2003) na istom su pokusu utvrđili kako postoji veza između sezonskih oscilacija radikalnog prirasta te oscilacija podzemne vode u piezometarskim cijevima. Osim navedenih istraživanja sezonske dinamike rasta provedena su u nas i istraživanja električnog otpora kambijalne zone (Komlenović) pomoću kojih je moguće posredno stići uvid u određene fiziološke pokazatelje zdravstvenog stanja stabala. Nije međutim istražena povezanost između električnog otpora kambijalne zone te vodnog statusa stabala odnosno vodnih prilika u tlu.

Na temelju dosad iznesenog, osnovni cilj ovog istraživanja je u ispitivanju mogućnosti primjene metoda sezonske dinamike radikalnog prirasta debla te električnog otpora kambijalne zone kao indikatora vodnih prilika u stablima hrasta lužnjaka, te povezanost tih mjerenih varijabli s vodom u tlu. Iz tog razloga istraživali smo sezonsku dinamiku radikalnog prirasta i električni otpor kambijalne zone dvije grupe stabala hrasta lužnjaka različitog stupnja osutnosti unutar jedne vegetacijske zone, njihov međusobni odnos te odnos tih promatranih svojstava prema vodi u tlu, odnosno podzemnoj vodi. Istraživanje je obavljeno i s namjerom ispitivanja uporabljivosti tih metoda kod praćenja problematike vezane za poremetnju vodno-zračnih odnosa u tlu u šumskim staništima hrasta lužnjaka.

MATERIJAL I METODE ISTRAŽIVANJA – Material and methods

Vremenski raspored i metode izmjera – Time scale and measurement methods

Ploha je smještena u Šumariji Jastrebarsko, GJ Jastrebarski lugovi, odjel 8, u šumskoj zajednici hrasta lužnjaka i običnog graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris typ.* Rauš 1969) razvijenoj na pseudogleju ravničarskom, dubokom, distričnom (koordinate prema Gauss – Krugeru: 5554336, 5055819). Starost sastojine je 152 godine, nadmorska visina 110 m. Na plohi se nalazi piezometarski set sastavljen od četiri cijevi postavljenih na dubinama od 0,5 m, 1,0 m, 2,0 m i 7,0 m.

U uzorak je uzeto 20 nadstojnih stabala hrasta lužnjaka (*Q. robur L.*), od toga 10 stabala osutnosti krošnje do 40 % ("dobra stabla") i 10 stabala osutnosti 40 % i više ("loša stabla") (foto 1 i 2).

U ovom istraživanju korištena je jednostavna modifikacija dendrometra u točci, koji se sastojao od nepokretnog dijela, klanfe, i pokretnog dijela, metalne pločice zabijene u koru. Praćenje tjednih prirasta na deblu obavljeno je mjeranjem tjednog umanjenja razdaljine



Foto 1. "dobro" stablo
Photo 1 "healthy" tree



Foto 2. "loše" stablo
Photo 2 "damaged" tree

između pločice u kori i klanfe (Foto 3) pomoću noniusa odnosno pomičnog mjerila.

Električni otpor kambijalne zone mjerjen je pomoću uređaja Conditometer AS 1 (Bollmann Elektronik Systeme, Rilasingen, Njemačka, foto 4).

Jednom tjedno, u prijepodnevnim satima, od travnja do rujna 2002. godine, izoliranim elektrodama mjerjen je otpor na četiri mjesta po obodu debla u prs-



Foto 3. mjerjenje radijalnog prirasta debla
Photo 3 measurement of tree stem diameter changes



Foto 4. mjerjenje električnog otpora kambijalne zone
Photo 4 measurement of electrical resistance of cambial zone

noj visini. Elektrode probadaju ritidom, živu koru (neprovodni i provodni floem), vaskularnu kambijalnu zonu (kambij, stanice-majke ksilema i floema, nediferencirane stanice ksilema i floema) i diferencirani tekući ksilemski prirast te se zaustavljuju u kasnom drvetu. Kao podatak koristimo srednju vrijednost četiri očitanja zbog toga što na očitanje po obodu debla može

utjecati niz čimbenika: ekscentričnost debla, ekscentričnost krošnje, nejednaka debljina žive kore, patološke promjene ispod kore itd.

U piezometarskim cijevima mjerena je, također u tjednim razmacima, visina podzemne vode.

Analiza rezultata mjerena – Data analysis

Dobiveni nizovi podataka predstavljaju segment vremenskih serija s uklopljenim sezonskim utjecajem, koji kod pojedinih promatranih varijabli uzrokuje porast (npr. rast promjera stabala), dok kod pojedinih izaziva opadanje (podzemna voda) ili pak pad i kasniji ponovni rast (električni otpor). Kako bi iz mjerenih varijabli uklonili sezonalni trend, provedena je njihova transformacija diferenciranjem dvaju uzastopnih vrijednosti u nizu. Analiza na ovaj način transformiranih nizova varijabli provedena je istraživanjem njihovog cikličnog ponašanja pomoću spektralne analize pomoću softverskog paketa STATSOFT STATISTICA 6.0. Primijenjena je brza Fourierova transformacija (Fast Fourier transform – FFT) odnosno metoda prilagođena za utvrđivanje karaktera vremenskih serija, posebno stoga što otkriva naizgled skrivenu prirodu promatra-

nog svojstva. Pomoću te metode vremensku seriju rasstavljamo na nizove sinus i kosinus krivulja različitih valnih duljina, a zatim se daljnji postupak provodi kroz izračun sume kvadrata sinus i kosinus funkcija za svaku frekvenciju. Konačni proizvod, periodogram može se interpretirati kao varijanca tj. suma kvadrata podataka u određenoj frekvenciji odnosno razdoblju. Radi jasnijeg uočavanja pojedinih značajnih frekvencija provodi se izjednačavanje periodigrama pomoću metode pokretnih sredina, te se dobije grafikon spektralne gustoće. Maksimumi varijance pojedinih vrijednosti frekvencija tj. maksimumi periodigrama odnosno grafova spektralne gustoće, pokazuju frekvenciju, odnosno razdoblje u kojem je prisutno ciklično ponašanje promatrano niza.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA – Results

Osnovni statistički pokazatelji i sezonska dinamika mjerenih varijabli

Basic statistical parameters and seasonal distribution of measured variables

Za provedena mjerena rasta debla, električnog otpora kambijalne zone i visine podzemne vode, napravljen je izračun osnovnih statističkih pokazatelja (Tablica 1). Rast debla izražen je kao tjedni prirast (Grafikon 1) te kumulativno (Grafikon 2). Raspodjela vrijednosti mjerena električnog otpora prikazana je u Grafikonu 3. Mjerena su interpretirana odvojeno za stabla dobrog i lošeg zdravstvenog stanja. Prikaz mjerena podzemne vode na četiri piezometarske cijevi dan je u Grafikonu 4.

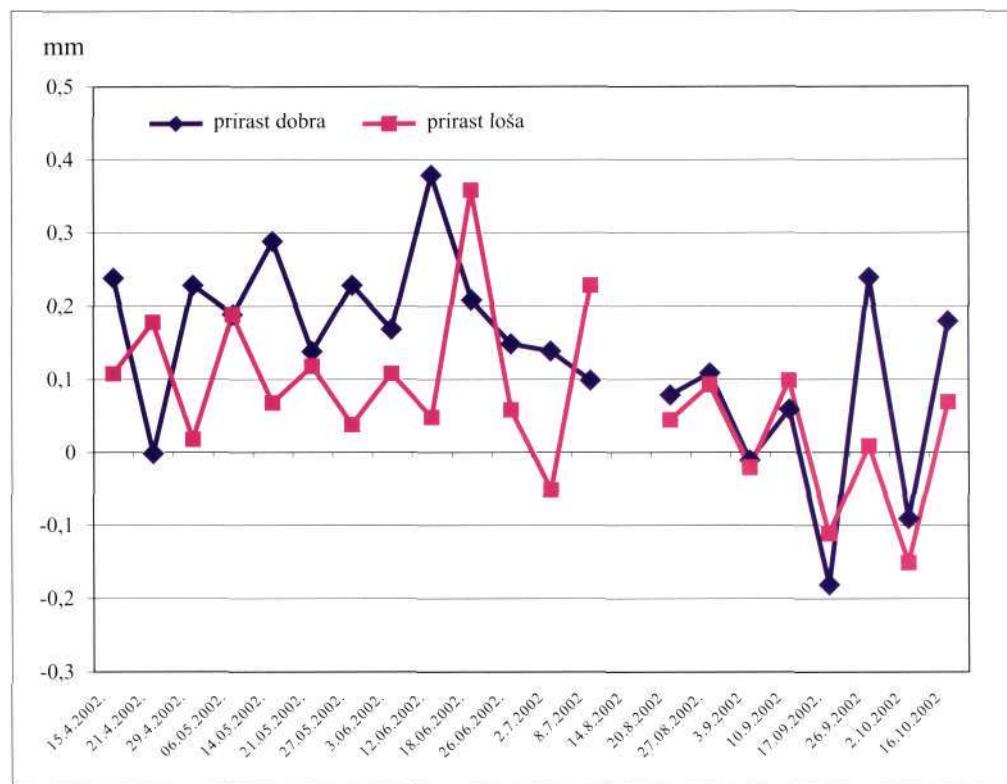
Prosječni tjedni prirast debla iznosio je kod dobroih stabala 0,14 mm, dok je u loših stabala bio upola manji, 0,07 mm. Najveći tjedni prirast postignut je kod dobroih stabala između 5. i 12. lipnja (0,38 mm) dok je

kod loših stabala maksimum od 0,36 mm postignut tijedan dana kasnije. Tijekom mjerena utvrđene su i negativne vrijednosti tjednog prirasta, uglavnom na kraju sezone i to i kod dobroih i loših stabala. Distribucija tjednih prirasta pokazuje trend porasta do sredine lipnja, dok nakon njegove kulminacije dolazi do postupnog opadanja. Kumulativne vrijednosti prirasta debla u sezoni iznosile su kod dobroih stabala 3,88 mm, dok je kod loših stabala rast debla bio znatno manji (1,85 mm).

Prosječna vrijednost električnog otpora kambijalne zone viša je kod loših stabala ($10,09 \text{ k}\Omega$) u odnosu na dobra ($7,11 \text{ k}\Omega$). Iz distribucije električnih otpora vidljivo je kako njihove vrijednosti opadaju do sredine vegetacijske sezone tj. do srpnja, a zatim se prema kraju ponovno povećavaju. Minimum srednje vrijednosti električnog otpora je kod dobroih stabala iznos 5,78 $\text{k}\Omega$, a postignut je 2. srpnja, dok su kod loših stabala minimumi također dominantni u tom mjesecu ali je najizraženiji ipak minimum od $8,65 \text{ k}\Omega$ postignut 18. lipnja, u vrijeme najvećeg prirašćivanja debla. Iz Tablice 1 vidljivo je da izmjereni otpori loših stabala imaju veću amplitudu vrijednosti, kao i standardnu devijaciju u odnosu na dobra stabla.

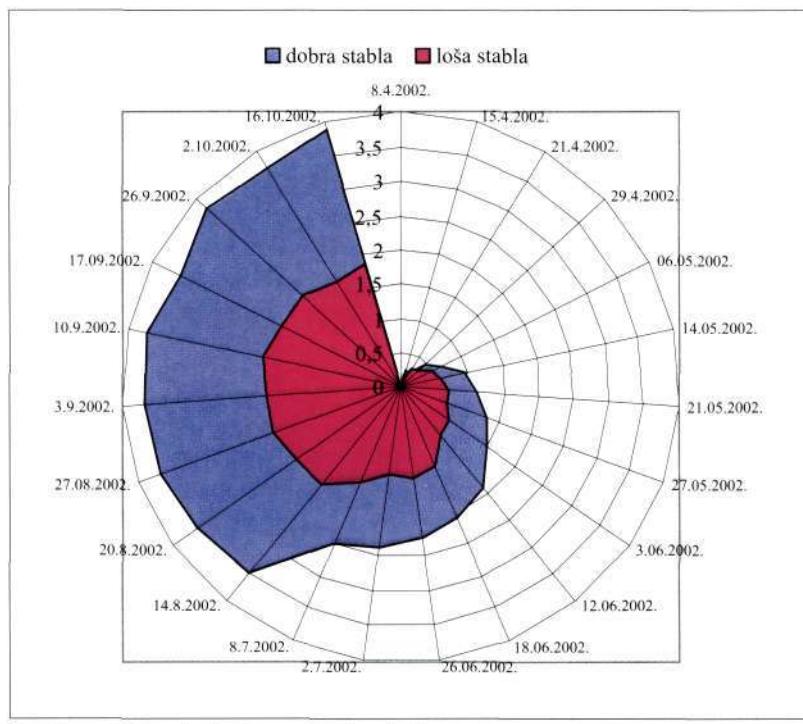
Tablica 1. Osnovni statistički pokazatelji mjerenih varijabli
Table 1 Basic statistical parameters of measured variables

	sredina (mm) ($\text{k}\Omega$)	min (mm) ($\text{k}\Omega$)	max (mm) ($\text{k}\Omega$)	std. dev. ($\text{k}\Omega$)
prirast dobra stabla	0,14	-0,18	0,38	0,13
prirast loša stabla	0,07	-0,15	0,36	0,11
otpori dobra stabla	7,11	5,78	9,55	1,08
otpori loša stabla	10,09	8,65	13,25	1,22



Grafikon 1. Dinamika radijalnog prirasta debala

Graph. 1 Stem diameter changes

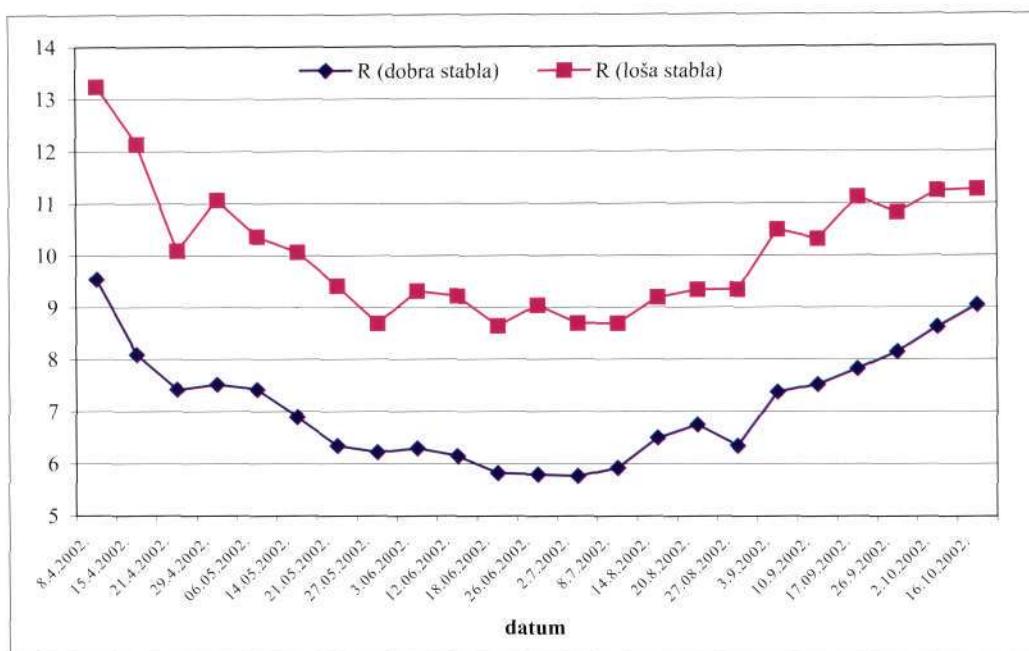


Grafikon 2. Kumulativni rast promjera debla

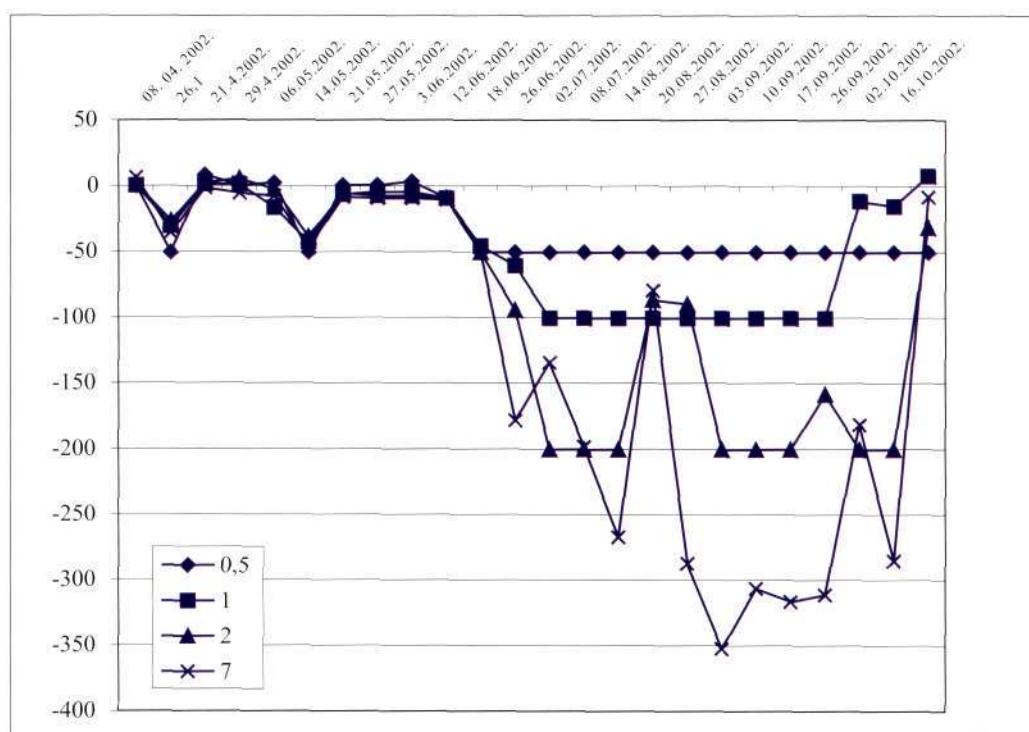
Graph. 2 Cumulative stem diameter growth

Dinamika podzemne vode (Grafikon 4) odgovara prilikama karakterističnim za pluviotermički, odnosno zimsko-ljetni režim kakav nalazimo u pseudoglejnim tlima na ovom području. Podzemna voda se do sredine mjeseca lipnja nalazi blizu same površine tla, a vodo-

staji u piezometarskim cijevima međusobno korespondiraju. Nakon uobičajenog sezonskog pada podzemne vode dolazi do isušivanja cijevi na određenim dubinama, tako da u cijelokupnom razdoblju mjerjenja jedino cijev od sedam metara, nije presušila. Karakterističan



Grafikon 3. Dinamika električnih otpora kambijalne zone
Graph. 3 Dynamics of electrical resistance of cambial zone



Grafikon 4. Dinamika podzemne vode
Graph. 4 Groundwater dynamics

je izraziti porast podzemne vode u mjesecu kolovozu koji je registriran samo na cijevima od dva i sedam metara dok na površinskim cijevima od pola i jednog metra nije zabilježen. Ovakva pojava redovita je za područje pokupskog bazena, gdje se voda nakon obilnijih ljetnih oborina koje padnu na širu sливnu površinu bazena infiltrira u tlo, te dolazi do njenog povećanja u gornjim vodonosnim slojevima. Zatim dolazi do stva-

ranja vodnog vala podzemne vode koji se kreće lateralnim tokom prema najnižim dijelovima bazena, tj. prema području gdje je smještena istraživana ploha. S druge strane količina oborina koja izravno padne na plohu, nije dovoljna da potpuno ispunji porozni sustav tla vodom, tako da se takve oborine i ne osjete na površinskim piezometrima.

Transformacija podataka i analiza varijabli – Data transformation and analysis

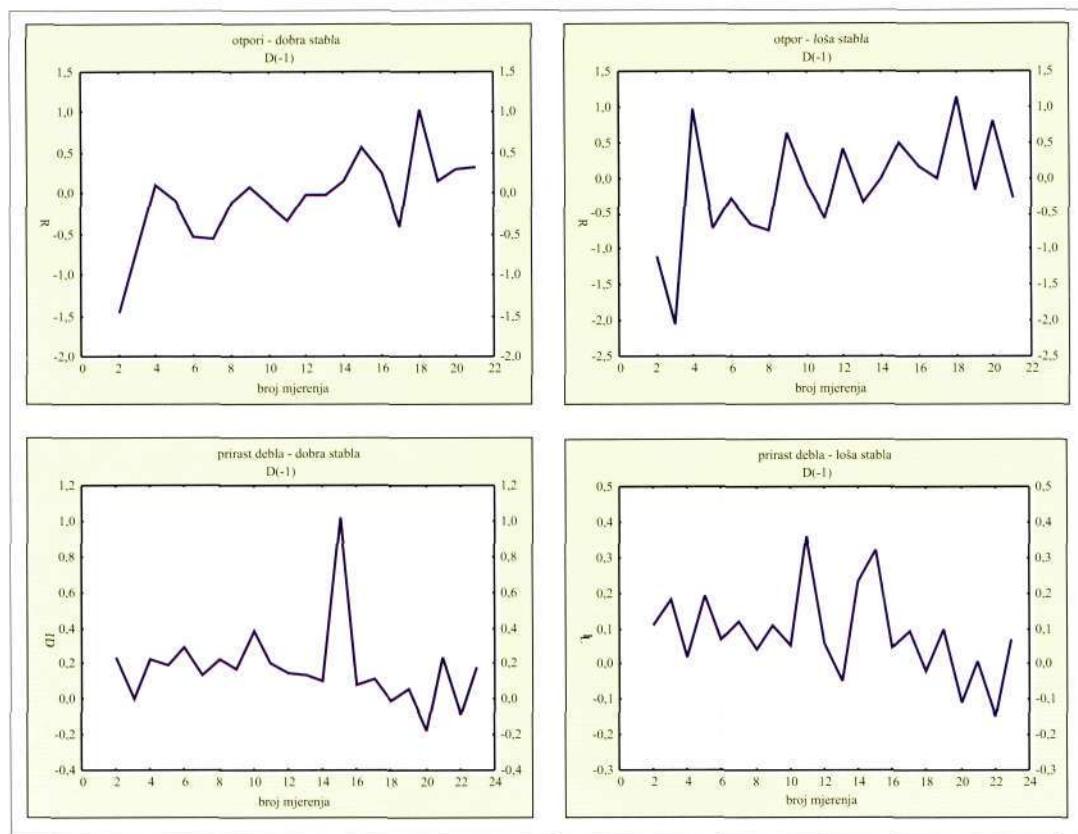
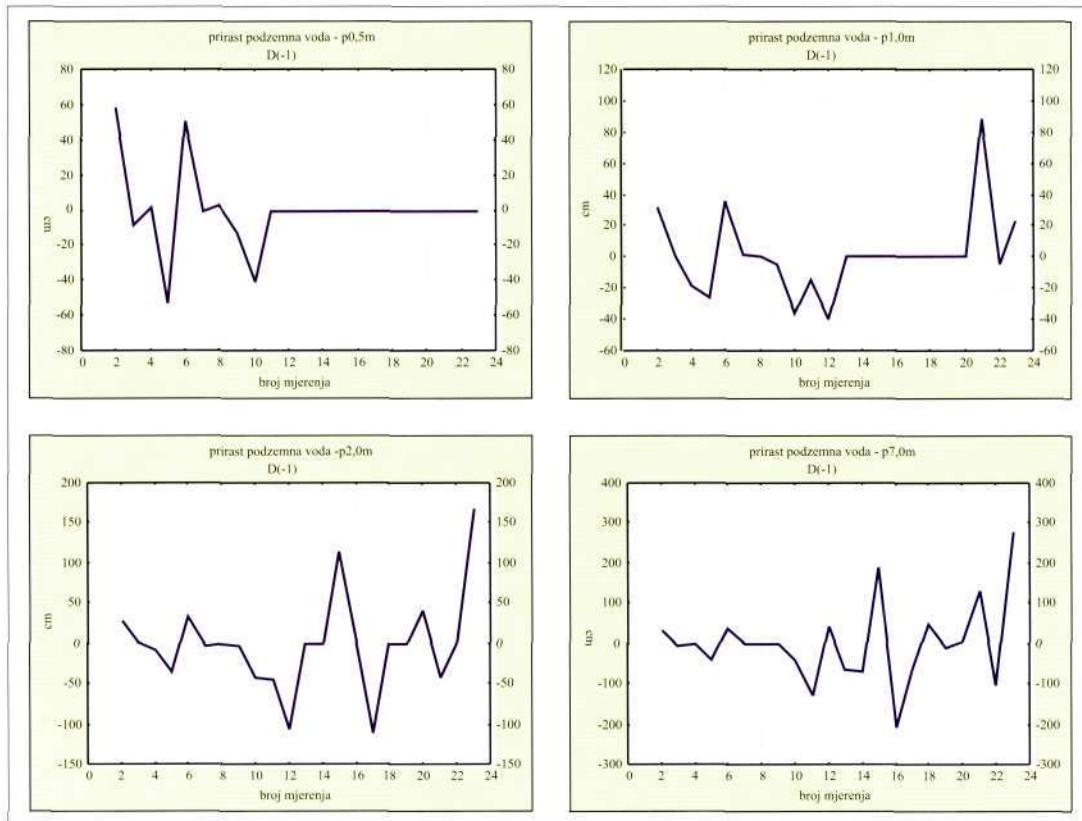
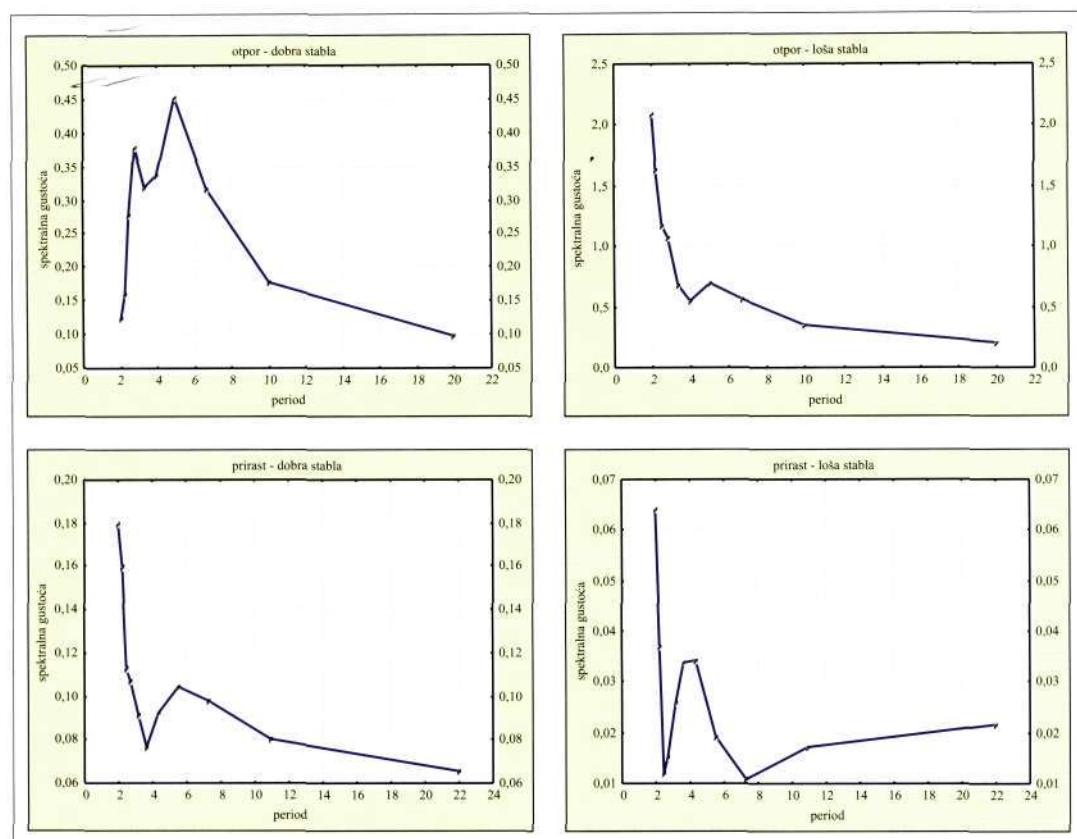
Slika 1. Diferencirane vrijednosti električnog otpora ($\text{k}\Omega$) i rasta debla (mm)

Fig. 1 Diferenced values of electrical resistance and diameter growth



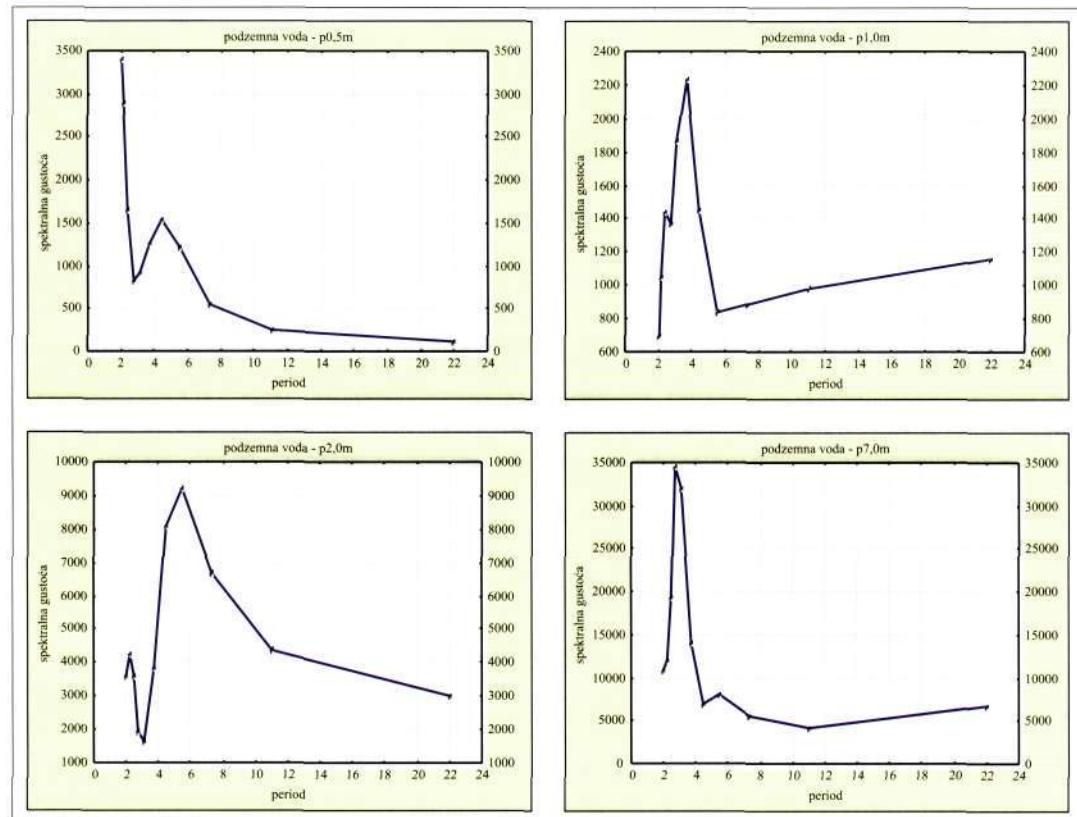
Slika 2. Diferencirane vrijednosti podzemne vode (cm)

Fig. 2 Diferenced values of groundwater



Slika 3. Spektralna analiza otpora i prirasta debla

Fig. 3 Spectral analysis resistance and tree stem diameter

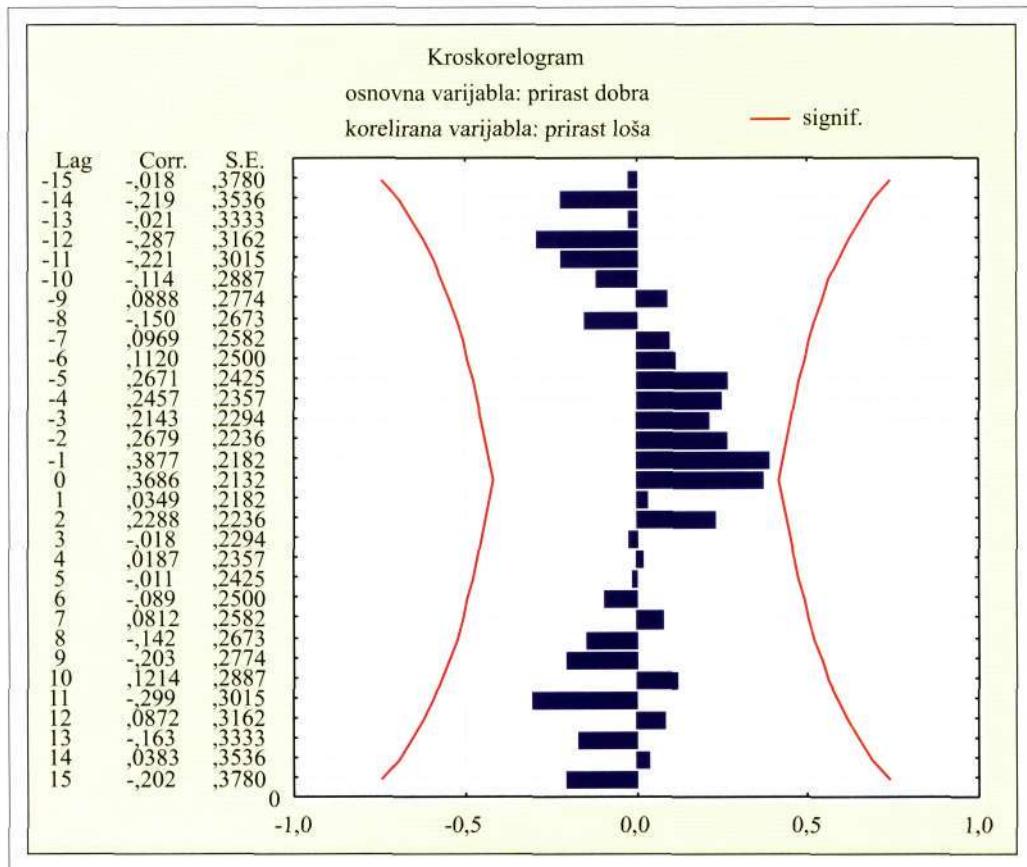


Slika 4. Spektralna analiza visina podzemne vode

Fig. 4 Spectral analysis of groundwater

Transformacija rezultata mjerena provedena je u dva koraka. Prvi korak sastojao se u uklanjanju komponente sezonskog trenda, što je u osnovi postupak pripreme podataka za spektralnu analizu (FFT). Diferencirane vrijednosti mjerena električnog otpora i rasta debla prikazane su u Slici 1, a u Slici 2 diferencirane vrijednosti, tj. prirast podzemne vode. Na ovako transformiranim podacima napravljena je spektralna analiza što je prikazano u slikama 3 i 4.

Iz Grafikona 1. vidljivo je kako na početku vegetacijske sezone dolazi do različitog reagiranja prirasta debala kod dobrih i loših stabala. U drugom dijelu sezone taj međusobni vremenski odmak nije izražen, te se promjene kod stabala događaju istodobno. Odnos između vremenskih nizova sezonskog rasta promjera debla dobrih i loših stabala istražen je pomoću kroskorelacijske analize (Slika 5).



Slika 5. Kroskorelacijska analiza radijalnog prirasta dobrih i loših stabala
Fig. 5 Crosscorelation analysis of stem variations of healthy and damaged trees

RASPRAVA – Discussion

Dobiveni rezultati mjerena sezonske promjene promjera debla, iako znatno ekstenzivnije prikupljani, odražavaju zakonitosti opisane u radovima Vesala i dr. (2000), Perämäki i dr. (2001), Sevanto i dr. (2001), Sevanto i dr. (2002), Sevanto (2003) te Pilaš i dr. (2000) i Pilaš i dr. (2003). Za razliku od Komlenovića (1996), koji je utvrdio razlike u godišnjem prirastu oštećenih i neoštećenih stabala hrasta lužnjaka kroz duže razdoblje, u našem istraživanju zanimalo nas je ponašanje različito oštećenih stabala tijekom jedne vegetacijske sezone. Razlike između prirasta promjera debla u kumulativnim razmjerima su vrlo očite. Rast promjera na kraju vegetacijske sezone bio je dvostruko veći kod grupe dobrih u odnosu na loša

stabla. Zahvaljujući većim tjednim prirastima dobra stabla postigla su i veći ukupni rast na kraju mjerene razdoblja. Rast je izraženiji u prvoj polovici sezone kada je razina podzemne vode unutar dosega korijenovog sustava stabala, dok se prema kraju vegetacijskog razdoblja tjedni prirast debla kod dobrih i loših stabala izjednačuje. Smatramo da su oslabljeni mehanizmi koji uvjetuju kruženje vode na relaciji tlo – stablo – atmosfera razlog nepostojanja jasne veze reakcije promjera debla na povećanje količine vode u tlu kod loših stabala. Fiziološki oslabljena stabla vrlo sporo, te kvantitativno neznatno, reagiraju na promjenu prilika u tlu, a prirast debla zaostaje u fazi od tjedan dana za zdravim stablima, što je vidljivo (iako nije signifikant-

no potvrđeno) iz maksimuma kroskorelacije u – 1 koraku. Ta pojava vezana je također za prvi dio vegetacije (vrijeme povoljnih vodnih odnosa u tlu) dok u drugom dijelu vegetacije, nakon sniženja razine podzemne vode, dolazi do izjednačenja dinamike rasta debla dvije grupe stabala.

U odnosu na istraživanje Komlenovića (1996), koji je za najvitalnija stabla dobio vrijednosti ispod 5 kΩ, a osutost krošnje iznad 40 %, korespondirala je s vrijednostima iznad 11 kΩ, utvrđene su niže vrijednosti otpora. U razdoblju od 26. 6. do 8. 7. električni otpor kambijalne zone dobrih stabala iznosi od 5 do 7 kΩ, a loših od 7 do 11 kΩ. Visina čitanja u različitim godinama mijenja se i u velikoj mjeri ovisna je od klimatskih prilika u godini istraživanja, a razlike su veće kod zdravstveno slabijih stabala (Levančić i dr. 1997). Unatoč razlikama u dobivenim vrijednostima, dinamika vrijednosti otpora slijedi isti trend smanjenja od proljeća prema ljetu i ponovnog porasta prema kraju vegetacijskog razdoblja, a diferencijacija stabala različite osutosti prema otporu kambijalne zone i dalje je vrlo jasna. Uz to, primjetne su i veće amplitude vrijednosti kod loših stabala. Ta pojava vezana je uz nejednako razvijenu kambijalnu zonu manje vitalnih stabala (Komlenović 1996), raspadanje drvene tvari djelovanjem gljiva i posljedično oslobađanje iona (Tattar i dr. 1972, Ostrofsky 1986, Torelli i dr. 1990) te socijalni položaj u sastojini kroz dulje razdoblje (Ferlin 1993). Ovime je potvrđeno postojanje kolebanja sezonske dinamike električnog otpora kambijalne zone u ovisnosti o kolebanjima podzemne vode. Voda koja se transportira provodnim sustavom drveća sadrži otopljene tvari te pokazuje svojstva elektrolita. Stoga je kambijalna zona nositelj električne aktivnosti u deblu (Kurek 1992). Električni otpor ovisan je o svojstvima stanične stijenke i molarne koncentracije kationa u apoplastnoj tekućini. Električni otpor kambijalne zone, odnosno živih tkiva u deblu, u korelaciji je s brzinom prirasta i vitalnosti te tako sa zdravstvenim stanjem, odnosno kondicijom drveta. Tako zdrava stabla dobrog rasta sa širokom kambijalnom zonom i širokom živom korom, pogotovo provodnim floemom, iskazuju niži električni otpor i obrnuto (Torelli i dr. 1990, Torelli i Križaj 1991). Do istih je zaključaka došao Komlenović (1996) istražujući električni otpor kambijalne zone hrasta lužnjaka u Popkupskom bazenu.

Pojava maksimuma spektralne gustoće u istovjetnom razdoblju ukazuje na međuovisnosti između promatranih varijabli, što je najočitije u razdoblju od 4,4, odnosno 5,5 mjerena kod dinamike prirasta debla i podzemne vode na dubini cijevi od dva metra. Porast podzemne vode unutar tog profila tla, prema tomu, utječe i na porast prirasta debla tj. utječe na povećanje protoka vode i tvari u deblu. Isto tako, na temelju ovih i

prethodnih mjerena možemo ustvrditi kako postoji jasna povezanost između povećanja promjera debla hrasta lužnjaka u odnosu na povećanje vode u tlu, ali s druge strane samo iz mjerena unutar jedne vegetacijske sezone nismo u mogućnosti ustanoviti o kojem se obliku veze radi. Iako promjene u radiusu debla u određenoj mjeri nastaju kao posljedica prolaska vode, ne može se decidirano tvrditi da se radi o uzlaznom tijeku vode kroz ksilem pod utjecajem transpiracije (Sevanto 2003), već je promjena radiusa debla uzrokovana i silaznim tijekom vode i otopljenih šećera kroz floem. Između širenja ksilema i transpiracije nije nađeno vremensko zadržavanje (Hellkvist i dr. 1980). Utvrđeno je kako vremenski odmak varijacija na deblu ima veze s unutarnjim transportom šećera kako su to utvrdili Sevanto i dr. (2002 i 2003), što je pokazatelj dinamizama vezanih uz descententne tokove floema. Do sada je prevladavalo tradicionalno shvaćanje kako transpiracija u stablima ovisi ponajprije o vodnom potencijalu lišća, međutim pojedina istraživanja potvrdila su kako isušivanje tla uzrokuje pokretanje određenih kemijskih spojeva od korijena prema lišću, koji uzrokuju zatvaranje puči neovisno od vodnog potencijala u lišću (Landsberg i Gower 1997 prema Wartinger i dr., Zhang i Davies, Tardieu i dr.). Tako možemo objasniti pojavu smanjenja i izjednačavanja prirasta debla kod dobrih i loših stabala u drugoj polovici vegetacijskog razdoblja, tj. u vrijeme pada podzemne vode. S obzirom i na postojanje lateralnog transporta vode i u njoj otopljenih tvari između ksilema i floema, cijeli tok vode u sistemu debla predstavlja izuzetno kompleksan sklop.

U slučaju dinamike električnog otpora kambijalne zone problem je još kompleksniji, jer se radi o promjenama u količini i sastavu elektrolita tijekom vegetacijske sezone koji se izražava putem električnog otpora, pa uočavamo slabije podudarnosti spektrograma električnog otpora dobrih stabala i prirasta. Iako više autora smatra da negativna veza postoji između EOKZ i prirasta drveća (Shortle i dr. 1977, Kile i dr. 1982, Blanchard, Shortle i Davis 1983, Lindberg 1991), Levanić i dr. (1997) dobili su relativno slabu negativnu vezu ($r^2 = 0,44$) visine otpora u mjesecu kolovozu i širine goda u godini mjerena. Razmatrajući relativno slabu korelaciju kambijalnog otpora i prirasta, Pieñe i dr. (1984) smatraju da razlike u električnom otporu kod zdravih, dominantnih stabala u istoj sastojini pokazuju kompleksan odnos kambijalnog otpora i zdravstvenog stanja stabala, što se djelomično može objasniti razlikama u debljini floema između stabala.

Postoji podudarnost dinamike električnog otpora kambijalne zone i dinamike razina podzemne vode na 0,5 m, što je donekle u vezi s pojmom neposrednih oborina na pokusnoj plohi koje se odražavaju na povećanje razine vode u površinskom piezometru (P0,5 m).

Razni autori (Ferlin 1993, Lindberg 1991) smatraju da vodni režim, odnosno vlažnost tla utječe na otpor kambijalne zone drveća. Rezultatima ovog istra-

živanja ta se veza potvrđuje, iako i dalje ostaje nepoznat njen oblik.

ZAKLJUČAK – Conclusion

Na temelju provedenih analiza možemo zaključiti kako je praćenjem sezonske dinamike radijalnog prirasta debla te električnog otpora kambijalne zone moguće dobiti spoznaje o kretanju vode unutar stabala, te s određenom rezervom steciti uvid u vodni status pojedinih stabala odnosno sastojine. Dobivene spoznaje imaju vrlo veliku važnost u hidropedološkim, hidrološkim, fiziološkim i drugim ekološkim disciplinama, jer se samo s nekoliko parametara može u određenoj mjeri posredno steciti uvid u trenutni kvantitativni status vode u tlu, što je važno s hidropedološkog i hidrološkog gledišta te istovremeno raspolagati spoznajom o intenzitetu opskrbljivanja stabala vodom, odnosno steciti uvid u

transpiraciju, što je itekako važno glede kvalitetnijeg sagledavanja ekološkog stanja stabala i sastojina.

Ove metode mjerena, osim za generalno praćenje suše, mogu naći primjenu i prilikom utvrđivanja utjecaja hidromeliorativnih zahvata u šumskom prostoru usporedbom nultog stanja prije i nakon njegovog izvršenja, i to kao zamjena za skuplja i komplikiranija mjerena. Zbog jednostavnosti, pomoću ovih metoda mjerena moguće je postaviti relativno velik broj mjernih stajališta te u većoj mjeri sagledati učinak djelovanja prostornih i vremenskih varijacija vode u tlu, tog izrazito promjenjivog i vrlo važnog ekološkog čimbenika za nizinska šumska staništa.

LITERATURA – References

- Antonić, O., D. Hatić, J. Križan, D. Bukovec, 2001: Modelling groundwater regime acceptable for the forest survival after the building of the hydro-electric power plant. Ecological Modelling 138, 277–288.
- Blanchard, R. O., W. C. Shortle i W. Davis, 1983: Mechanism relating cambial electrical resistance to periodic growth rate of balsam fir. Canadian Journal of Forest Research, 13:3, str. 472–480.
- Breda, N., A. Granier, G. Aussenac, 1995: Effects of thinning on soil and tree water relations, transpiration and growth in an oak forest (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Tree Physiology, 15, 295–306.
- Ferlin, F., 1993: Variabilnost bioelektričnega potenciala dreves kot možnega kazalnika vpliva endogenih in eksogenih rastnih dejavnikov v bukovih sestojih. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 41, str. 51–80.
- Ivković, M. 1994: Simuliranje razvoja sastojina uz pomoć modela ovisnosti debljinskog prirasta o razini podzemnih voda. Glas. Šum. pokuse 30: 95–141, Zagreb.
- Kääriäinen, H., J. Virtanen, Irvine and J. Grace, 2000: Do tree stems shrink and swell with Tides? Tree Physiology 20: 633–635.
- Kile, G. A., J. D. Kellas i R. G. Jarrett, 1982: Factors influencing electrical resistance in stems of *Eucalyptus obliqua*, *E. Globulus* subsp. *Bi-costata* and *E. Viminalis*. Australian Forest Research, 12:2, str. 129–138.
- Komlenović, N., 1996: Cambial Electrical Resistance as an Indicator of Condition and Nutritional Status of Pedunculate Oak and Sessile-flowered oak. Analji za šumarstvo, Vol. 21/1, str. 1–22.
- Kostner, B., A. Granier, and J. Cermak, 1998: Sapflow measurements in forest stands: methods and uncertainties. Ann. Sci. For. 55: 13–27.
- Kurek, W., 1992: Endogenous oscillations of electric potential difference in the cambial region of the pine stem. Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 61:2, str. 211–220.
- Landsberg, J. J., S. T. Gower, 1997: Applications of Physiological Ecology to Forest Management. Academic Press, 354.
- Levančič, T., N. Torelli i M. Zupančič, 1997: Zveza med širino branike in električno upornostjo živih tkiv pri jelki (*Abies alba* Mill.) na Ravniku. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 54, str. 125–140.
- Lindberg, M., 1991: The resistance of *Picea abies* bark to *Heterobasidion annosum*: roles of stress, structural defence and biochemical resistance. 106 str., Swedish University of Agricultural sciences, Uppsala.
- Mayer, B., 1994: Utjecaj dinamike vlažnosti tla, podzemne vode, oborina i defolijacije na sezonsku dinamiku radijalnog prirasta i sušenje hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u varoškom lugu. Rad. Šumar. Inst. 29 (1): 83–102, Jastrebarsko.
- Ostrofsky, W. D., 1986: an evaluation of red spruce vigor using the Shigometer. CFRU Progress Re-

- port, College of Forest Resources, Univ. Of Maine No. 28.
- Perämäki, M., E. Nikinmaa, S. Sevanto, H. Ilvesniemi, E. Siivola, P. Hari, T. Vesala, 2001: Tree stem diameter variations and transpiration in Scots pine: an analysis using a dynamic sap flow model. *Tree Physiology* 21: 889–897.
- Piene, H., R. G. Thompson, J. E. McIsaac, i D. S. Fensom, 1984: Electrical resistance measurements on young balsam fir trees in relation to specific volume increment, foliar biomass, and ion content of bark and wood. *Can. J. For. Res.* 14: 177–180.
- Pilaš I., B. Vrbek, Đ. Kauzlaric, 2000: The Graundwater Regime – A Decisive Factor of Pedunculate Oak Stability. *IUFRO OAK 2000*, Poster abstracts.
- Pilaš, I., B. Vrbek, D. Medak, 2003: Application of groundwater monitoring in management of pedunculate oak forests in Croatia. 2nd Conference of Sustainable Managment of Energy, Water and Enviroment Systems, CD Proceedings, Dubrovnik.
- Prpić, B. 1996: Propadanje šuma hrasta lužnjaka, Hrast lužnjak u Hrvatskoj, 273–298, Vinkovci – Zagreb.
- Prpić, B., I. Anić, 2000: The influence of climate and hydro-technical developments in the stability of the peduncled oak (*Quercus robur L.*) stands in Croatia. *Glas. šum. pokuse* 37: 29–240, Zagreb.
- Prpić, B., A. Vranković, Đ. Rauš, S. Matić, A. Pranjić, i Š. Meštirović, 1994: Utjecaj ekoloških i gospodarskih činilaca na sušenje hrasta lužnjaka u gospodarskoj jedinici Kalje Šumskog gospodarstva Sisak. *Glasnik za šumske pokuse* 30: 361–419.
- Sevanto, S., T. Vesala, M. Perämäki, E. Nikinmaa, 2002: Time lags for xylem and stem diameter variations in a Scots pine tree. *Plant, Cell and Environment* 25: 1071–1077.
- Sevanto, S., T. Vesala, M. Perämäki, E. Nikinmaa, 2003: Sugar transport together with environmental conditions controls time lags between xylem and stem diameter changes. *Plant, Cell and Environment* (u tisku).
- Sevanto, S., T. Vesala, M. Perämäki, J. Pumpanen, H. Ilvesniemi, E. Nikinmaa, 2001: Xylem diameter changes as an indicator of stand-level evapo-transpiration. *Boreal Environment Research* 6: 45–52.
- Shortle, W. S., A. L. Shigo, P. Berry i J. Abu-samra, 1977: Electrical resistance in tree cambium zone: relationship to rates bof growth and wound closure. *Forest Science*, 23:7, str. 326–329.
- Tattar, T., A. Shigo, i T. Chase, 1972: Relationship between the degree of Resistance to a pulsed electric current and wood in progressive stages of discoloration and decay in living trees. *Can. J. For. Res. Vol 2*: 236–243.
- Thomas, F., 1998: State of knowledge in cause-effect research on damage to oak and beech in Europe, in: Augustin, S. & H. Andreae (Ur.): Cause-effect-interrelations in forest condition, UN/ECE and EC, Geneva and Brussels, 52 pp.
- Torelli, N. i B. Križaj, 1991: Bioelektrična določitev kondicije navadne jelke (*Abies alba* Mill.) in prognoziranje preživetja v območjih z zračno poluccijo. *Biol. Vestn.* 39/4, str. 49–62.
- Torelli, N., D. Robič, M. Zupančič, P. Ovn, F. Ferlin i B. Križaj, 1990: Električna upornost kot kazalec zdravstvenega stanja in možnosti jelk za preživetje na območjih z zračno poluccijo. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 36, str. 17–26.
- Vesala, T., S. Sevanto, P. Paatero, E. Nikinmaa, M. Perämäki, T. Ala-Nissilä, J.

SUMMARY: This paper presents research regarding the mutual relationship between intra-seasonal variations of tree stem diameter changes, changes of electrical resistance of cambial zone (ERCZ) and groundwater oscillations. Two groups consisting of ten common oak (*Quercus robur L.*) trees were selected, one group with crown damage status above (healthy trees) and the other below 40 % (damaged trees). Research was undertaken in the Pokupsko Basin area. The site was selected in forest type of pedunculate oak and common hornbeam, the soil was gleic luvisol. The groundwater regime on the site is characteristic for the wider area of the Posavina region with high groundwater levels during the winter and spring seasons and low levels in summer and autumn with minimal groundwater levels below 5 m.

The measurements of stem diameter changes were made by the use of a simple point dendrometer. Differences were measured on a weekly basis by vernier caliper gauge. Electric resistance of cambial zone was monitored on average basis of four longitudinal measurements by Conditometer. The groundwater data was collected from four piezometers at numerical depths of 0.5 m, 1.0 m 2.0 m and 7.0 m. The results of measurements were analyzed by Fast Fourier analysis i.e. similarities of cyclical patterns of data of respective variables were compared. Differences in stem diameter changes of two groups of trees were analyzed by cross correlation. The results of measurements showed that cumulative growth of healthy trees was two times larger than that of damaged ones i.e. 3.88 mm versus 1.85 mm. Weakly tree stem changes were 0.14 mm of the healthy and 0.07 mm of the damaged group. Electric resistance of cambial zone was lower in the healthy group of trees ($7.11 \text{ k}\Omega$ on average) than that of the damaged group ($10.09 \text{ k}\Omega$). The seasonal differences of stem diameter changes were most obvious in the first half of the growth season either in quantitative relations or in the existence of weekly time lag delay of stem changes of damaged trees in respect to healthy ones. Characteristic delay of stem diameter changes in the first part of the growth season vanished in the second part due to soil water deficiency caused by decreased groundwater level below rooting zone. The seasonal pattern of ERCZ showed that the difference between the two researched groups was constant during growth season. By use of FFT (Fast Fourier Transformation), from spectral density plots identical cyclical pattern of groundwater level measured on 2.0 m depth and stem diameter changes of healthy trees were most obvious. The identical peaks of spectral density plots showed that groundwater increase with cyclical behavior of 4.4 and 5.5 measurements influenced tree stem growth and changes of ERCZ what was confirmed by the existence of the same periodicity in these variables. This research showed that by use of easy measurable variables like stem diameter changes and electric resistance of cambial zone one can achieve a quite satisfactory evaluation of tree water status and health condition. Also, to some extent, the groundwater status can be monitored and this is useful for forestry practice in drought prevention and as a control of larger hydro technical activities in lowland common oak forests.

Key words: tree stem diameter changes, electrical resistance of cambial zone, groundwater, *quercus robur*, crown damage