

Izvorni znanstveni članak
Original scientific paper

Prispjelo - *Received*: 03. 07. 2006
Prihvaćeno - *Accepted*: 09. 10. 2006.

UDK: 630:631.432.1+.813.5+.181.62

Boris Vrbek*, Ivan Pilaš*, Nenad Potočić*, Ivan Seletković*

ISTRAŽIVANJA RAZINA PODZEMNIH VODA, UNOSA TEŠKIH METALA I OŠTEĆENOSTI KROŠANJA U ŠUMSKIM EKOSUSTAVIMA HRVATSKE

*THE RESEARCH OF GROUNDWATER TABLE LEVELS,
INPUT OF HEAVY METALS AND CROWN CONDITION
IN FOREST ECOSYSTEMS OF CROATIA*

SAŽETAK

Istraživanja oštećenosti krošanja za razdoblje od 1995 do 2004 godine u Republici Hrvatskoj pokazao je daljnje povećanje postotka značajne oštećenosti stabala svih vrsta. U usporedbi sa 2003. godinom značajna oštećenost stabala svih vrsta porasla je za 3,6 %, sa 23,2 % na 26,8 %. (sl. 15). Značajna oštećenost lištača također je u odnosu na prijašnju godinu porasla, i to za 3,5 %, sa 17,6% na 21,1 %. Postotak značajne oštećenosti kod četinjača porastao je sa 46,8 % na 48,8 %. Iz prikupljenih podataka piezometarskog monitoringa diljem Hrvatske, moguće je ustanoviti kako na prostoru nizinskih šuma vlada trend izrazitog sniženja podzemnih voda. Posebno je izražena pojava sezona s izrazito niskim vodostajima (1993., 2000. i 2003) u prethodnom desetljeću, nakon kojeg se razdoblja do današnjih dana vodonosnici u pojedinim šumskim područjima još nisu u dovoljnoj mjeri prihranili vodom. Utjecaj taloženja teških metala vodom tj. većim riječnim sustavima (Sava, Drava, Mura) istraživan na nekoliko lokaliteta daje poražavajuće rezultate što se tiče onečišćenja, a naročito je to karakteristično za umjetne akumulacije gdje su hidrocentrale kao i za rijeku Dravu. Iz navedenih rezultata istraživanja, za cjelovito sagledavanje izloženosti šuma štetnim utjecajima nužno je osnivanje cjelovitog monitoringa za Hrvatsku principom mreže opažanja vodeći brigu o zastupljenosti svih šumskih zajednica.

Ključne riječi: Šumski ekosustavi, oštećenost, podzemne vode, tlo, teški metali

UVOD

INTRODUCTION

S obzirom na stav da je najvažniji uzročnik propadanja šuma zračno onečišćenje, 1985. godine je u okviru Konvencije UN i Europske komisije o prekogra-

* Šumarski institut, Jastrebarsko, Cvjetno naselje 41, 10450 Jastrebarsko

ničnom onečišćenju (CLRTAP) osnovan Međunarodni program za procjenu i monitoring utjecaja zračnog onečišćenja na šume (International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests, skraćeno ICP Forests). S vremenom se došlo do zaključka da i drugi čimbenici stresa mogu imati jednako značajan utjecaj na propadanje šuma (klimatski ekstremi, štetnici i razni patogeni, pad razina podzemnih voda itd.), pa je glavni zadatak programa postao prikupljanje podataka o stanju šuma i njihovoj reakciji na čimbenike stresa na regionalnoj, nacionalnoj i internacionalnoj razini. Danas se smatra da je propadanje šuma uzrokovano nizom stresnih čimbenika čije je djelovanje prostorno i vremenski različito, te se propadanje šuma ne može pripisati jedinstvenom, zajedničkom resoru.

Ključnu ulogu u Programu ima praćenje stanja oštećenosti šuma putem vizualne procjene oštećenosti krošanja. Hrvatska sudjeluje u programu ICP Forests od 1987. godine, a opažanja se obavljaju na bioindikacijskim (mreža 16 x 16 km) i osnovnim ploham (mreža 4 x 4 km). Prvi zapisi o propadanju šuma u nas i u Europi vezani su za propadanje obične jele (*Abies alba* Mill.) oko 1900. godine, ali prva sistematska praćenja stanja oštećenosti krošanja započinju u Hrvatskoj tek u okviru ICP Forests (PRPIĆ i dr. 1988). Godišnje procjene prate se odgovarajućim izvješćima (SELETKOVIĆ i TIKVIĆ 1996; POTOČIĆ i SELETKOVIĆ 2000). Rezultate komparativnih istraživanja oštećenosti krošanja šumskih vrsta drveća u Hrvatskoj u odnosu na različite ekološke čimbenike i podatke iz europske mreže ploha daju SELETKOVIĆ i POTOČIĆ (2001, 2004).

U našoj zemlji poseban problem u nizinskim šumama predstavlja poremetnja režima podzemnih i površinskih voda izazvanih u prvom redu poljoprivrednim melioracijama, vodotehničkim zahvatima radi obrane od poplava i izgradnjom hidrocentrala. Kretanje vode temeljnice unutar šumskih ekosustava i bilanca ovisi o oborinama, intercepciji, otjecanju, evaporaciji i transpiraciji na koje osim oborina veliki utjecaj imaju vrste drveća, sastojinska struktura te arhitektura krošanja. Šume imaju značajnu ulogu u hidrološkom ciklusu u širem smislu tako da utječu na povećanje evaporacije i oborina te na sniženje temperature. Funkcija šume kao regulatora vode očituje se najprije kroz djelovanje smanjenja oborina bilo kroz djelovanje intercepcije odnosno zadržavanja vode na lisnoj površini koja je ovisna o vrsti drveća te sastojinskom sklopu. Prema raspoloživim podacima intercepcijom se zadržava do 30% oborinske vode.

Razina podzemne vode nije statična kategorija već pokazuje sezonsku ovisnost, te povezanost s režimom slivnog područja. Uopćeno možemo reći kako u zimsko proljetnom razdoblju na većem dijelu nizinskih šuma razine podzemne vode dolaze do same površine tla na koje se nadovezuje poplavna voda na pojedinim površinama. Pripadnost slivu također određuje dinamiku podzemne vode. Smanjenje vode (oborina) kao negativnu pojavu u šumskim ekosustavima najbolje možemo kvantificirati kroz promatranje njenog djelovanja na produktivnost šumskog drveća i sastojina. Kod utvrđivanja produktivnosti šumske sastojine može nam poslužiti godišnji radijalni prirast na stablima. U prethodnom desetljeću karakterističan niz sušnih godina dogodio se između 1990. i 1993. godine što je uzrokovalo izrazito niske razine podzemne vode izmjerene na piezometrima.

Onečišćenim poplavnim vodama unose se u naše šume i velike količine teških metala i drugih štetnih tvari (MAYER i PEZDIRC 1990; KOMLENOVIĆ i dr. 1991; VRBEK i PILAŠ 2004, 2005). Osim poplavnim vodama u naše šumske ekosustava teški metali i ostale taložne tvari dospijevaju atmosferskim daljinskim transportom. 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. Metali su prisutni u atmosferi kao dijelovi aerosola i veličine od 5 nm do 20 μm , ali većinom su između 0,1 do 10 μm promjera.

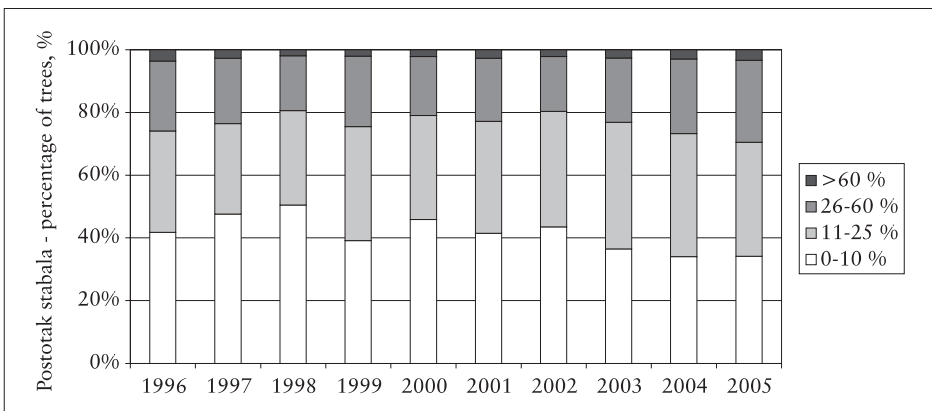
STANJE OŠTEĆENOSTI KROŠANJA STABALA U HRVATSKOJ OD 1996. DO 2005. GODINE

THE FOREST CROWN CONDITION IN CROATIA 1996.-2005.

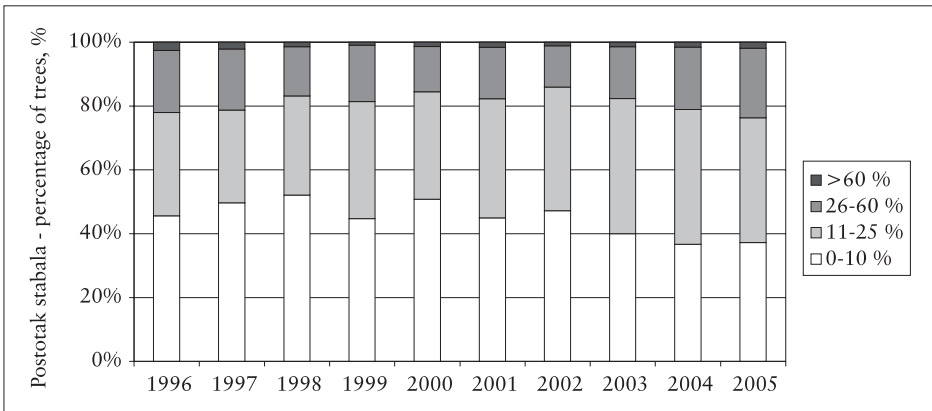
Postotak značajno oštećenih stabala 2005. godine je porastao u odnosu na 2004. godinu, i kod listača i kod četinjača. U usporedbi s 2004. godinom značajna oštećenost stabala svih vrsta (Grafikon 1.) porasla je za 2,8 %, s 26,8% na 29,6%. Značajna oštećenost listača (Grafikon 2.) također je u odnosu na prošlu godinu porasla, i to također za 2,8 %, s 21,1% na 23,9%. Postotak značajne oštećenosti kod četinjača porastao je s 48,8% na 51,4% .

Značajna oštećenost za listače pokazuje trend rasta od 1987. godine (6,0 %) do 1995.godine (27,7 %), a zatim pad do 1998. godine (16,8 %) da bi se od tada zadržavala na približno istoj razini. Ponovni porast bilježimo od 2003. godine, nakon čega značajna oštećenost listača kontinuirano raste, a taj se trend nastavlja i u 2005. godini.

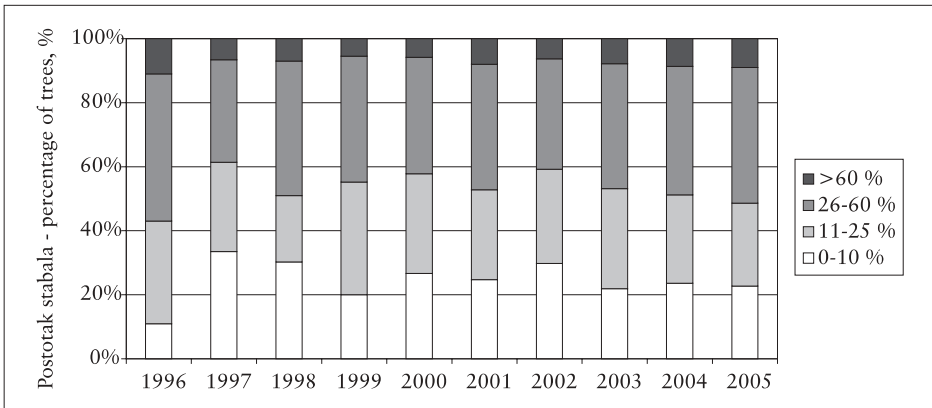
Za četinjače (Grafikon 3.) značajna je oštećenost 1987. godine iznosila 17,1 %, uz stalan trend rasta do maksimalnih 56,7 %, u 1996. godini. Niža vrijednost



Grafikon 1. Osutost krošanja svih vrsta drveća u Hrvatskoj 1996.-2005. godine
Graph 1. Defoliation of all tree species in Croatia, 1996 – 2005.



Grafikon 2. Osutost krošanja listača u Hrvatskoj 1996.-2005. godine
 Graph 2. Defoliation of broadleaves in Croatia, 1996 – 2005.

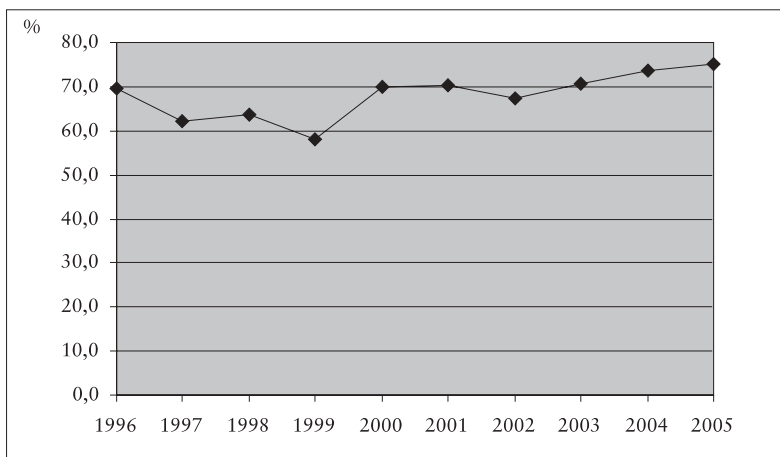


Grafikon 3. Osutost krošanja četinjača u Hrvatskoj 1996.-2005. godine.
 Graph 3. Defoliation of conifers in Croatia, 1996 – 2005.

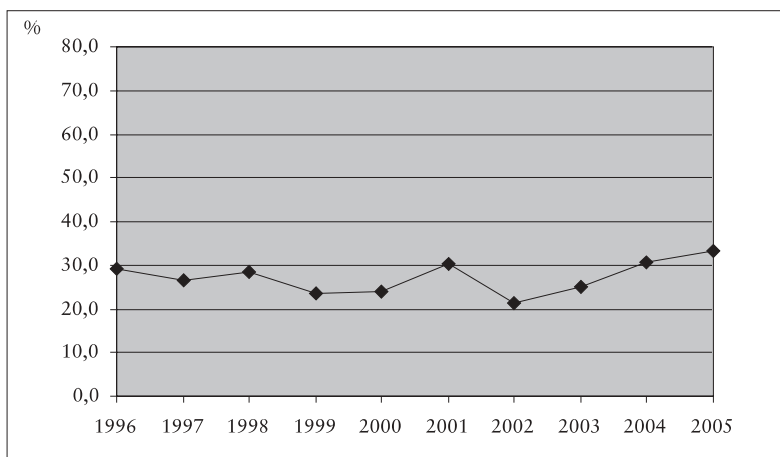
zatim je zabilježena 1997. (38,6 %), pa opet 2002. godine (40,7 %). Nakon toga vrijednosti postupno rastu sve do 51,4 % značajno oštećenih stabala četinjača zabilježenih u 2005. godini.

Obična jela (*A. alba*) i hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) su (uz običnu bukvu, *Fagus sylvatica* L.) najrasprostranjenije, te ekološki i gospodarski najvažnije vrste šumskog drveća u Hrvatskoj, pa je njihova visoka oštećenost razlog velike zabrinutosti kako stručne, tako i šire javnosti.

U 2005. godini zabilježen je do sada najveći udio stabala obične jele s postotkom oštećenosti većim od 25% od 76,7%, s porastom od 3,2 % u odnosu na procjenu 2004. godine. Najniža vrijednost od 36,6% značajno oštećenih stabala obične jele zabilježena je 1988. godine, dok 1993. taj postotak iznosi već 70,8 %. Takva oštećenost, uz manje oscilacije, zadržala se do 1999. godine kada je pala na 58,1 %, dok je u 2001. godini iznosila 70,4 %, a u 2004. godini već 73,5 % (Grafikon 4.).



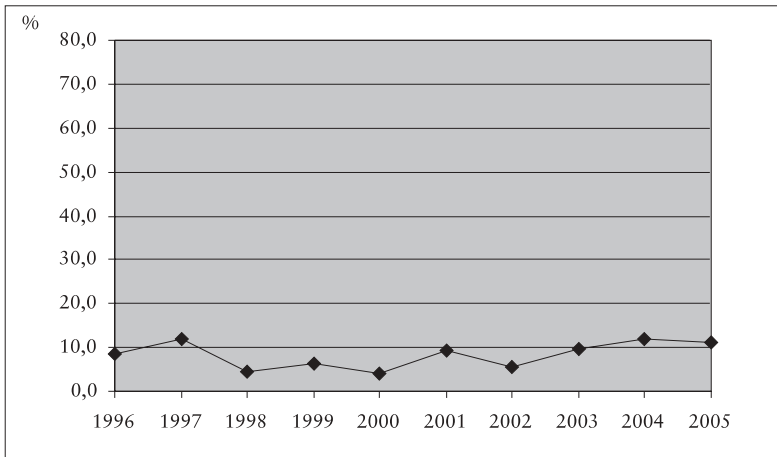
Grafikon 4. Značajna oštećenost obične jele (*Abies alba* Mill.) 1996.-2005. godine.
Graph 4. Moderate-to-severe defoliation of Silver fir (*Abies alba* Mill.), 1996-2005.



Grafikon 5. Značajna oštećenost hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) 1996.-2005. godine.
Graph 5. Moderate-to-severe defoliation of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) 1996-2005.

Značajna oštećenost hrasta lužnjaka naglo je rasla između 1988. godine (8,1 %) i 1994. godine (42,5 %), 1999. je godine zabilježen mali pad (23,5 %) dok je vrijednost u 2000. godini ostala praktički nepromijenjena (23,8%). U 2001. godini ta je vrijednost porasla na 30,2 %, a nakon pada značajne oštećenosti u 2002. godini (21,3 %), bilježimo postupni porast. 2003. godine vrijednost značajne oštećenosti iznosila je 25,0%, 2004. godine 30,6 %, a 2005. godine uz porast od 2,8 % zabilježeno je 33,4 % značajno oštećenih stabala hrasta lužnjaka (Grafikon 5).

Oštećenost obične bukve u posljednjih 10 godina praćenja nije se bitno mijenjala, krećući se od 4-10 %. U 2004. godini zabilježena je od početka praćenja najveća značajna oštećenost bukve od 12,0 %. U 2005. godini stanje oštećenosti



Grafikon 6. Značajna oštećenost obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) 1996.-2005. godine.
Graph 6. Moderate-to-severe defoliation of Common beech (*Fagus sylvatica* L.), 1996-2005.

obične bukve vraća u normalne vrijednosti, te s 10,9 % značajno oštećenih stabala bukva i dalje ostaje naša najmanje oštećena vrsta (Grafikon 6.).

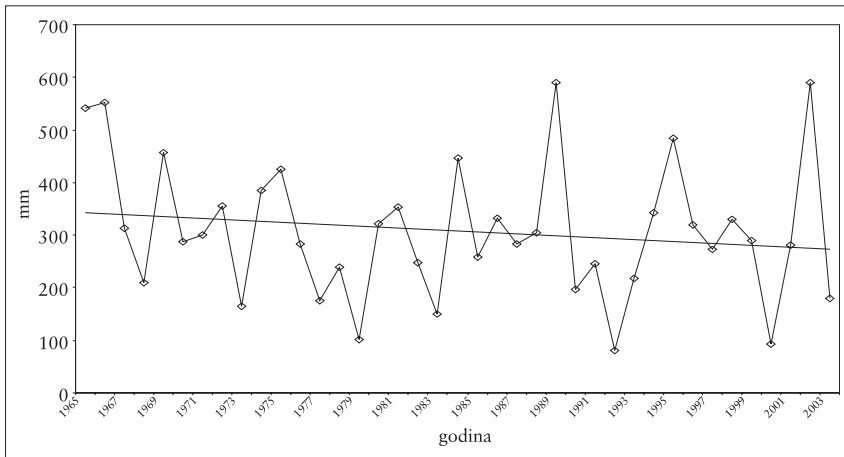
OPADANJE RAZINA PODZEMNIH VODA UTJECANO KLIMATSKIM ČIMBENICIMA

DECREASE IN GROUNDWATER TABLES INFLUENCED BY CLIMATE CHANGE

Kretanje vode temeljnice unutar šumskih ekosustava i bilanca ovisi o oborinama, intercepciji, otjecanju, evaporaciji i transpiraciji na koje osim oborina veliki utjecaj imaju vrste drveća, sastojinska struktura te arhitektura krošanja. Šume imaju značajnu ulogu u hidrološkom ciklusu u širem smislu tako da utječu na povećanje evaporacije i oborina te na sniženje temperature. Funkcija šume kao regulatora vode očituje se najprije kroz djelovanje smanjenja oborina bilo kroz djelovanje intercepcije odnosno zadržavanja vode na lisnoj površini koja je ovisna o vrsti drveća te sastojinskom sklopu. Prema raspoloživim podacima intercepcijom se zadržava do 30 % oborinske vode.

Razina podzemne vode nije statična kategorija već pokazuje sezonsku ovisnost, te povezanost s režimom slivnog područja. Uopćeno možemo reći kako u zimsko proljetnom razdoblju na većem dijelu nizinskih šuma razine podzemne vode dolaze do same površine tla na koje se nadovezuje poplavna voda na pojedinim površinama. Pripadnost slivu također određuje dinamiku podzemne vode.

Smanjenje vode (oborina) kao negativnu pojavu u šumskim ekosustavima najbolje možemo kvantificirati kroz promatranje njenog djelovanja na produktivnost šumskog drveća i sastojina. Kod utvrđivanja produktivnosti šumske sastojine može nam poslužiti godišnji radijalni prirast na stablima. U prethodnom deset-

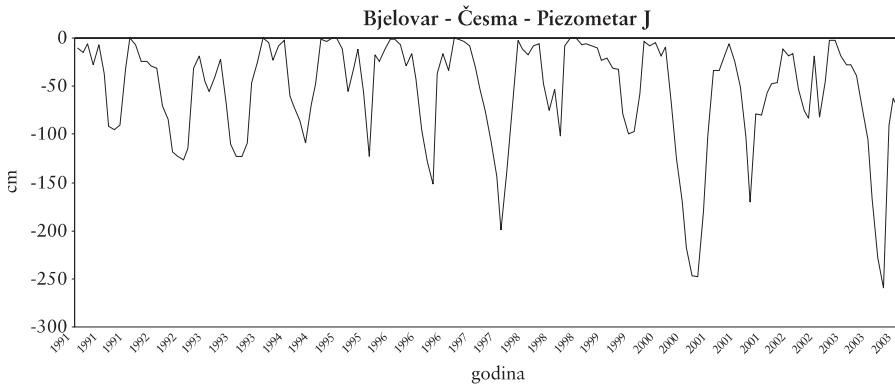


Grafikon 7. Rezerva vode u tlu od 1965. do 2003. godine
(podaci meteorološke postaje Šumarskog instituta Jastrebarsko)
Graph 7. Soil water reserve from 1965. to 2003. (Jastrebarsko meteorological station)

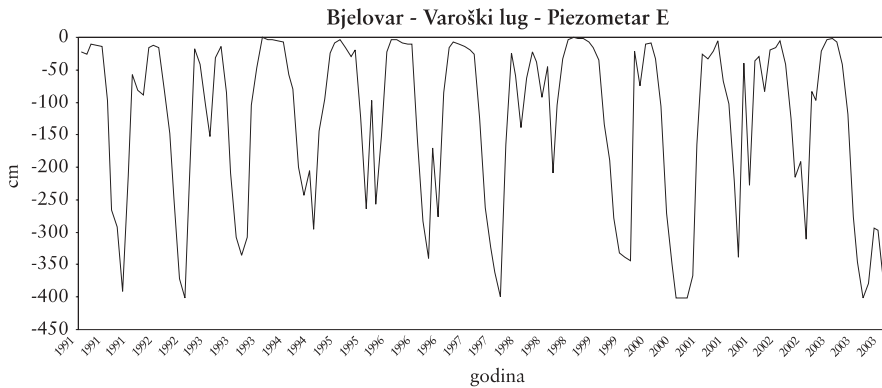
ljeću karakterističan niz sušnih godina dogodio se između 1990 i 1993 godine što je uzrokovalo izrazito niske razine podzemne vode izmjerene na piezometrima

Trend vode u tlu odnosno podzemne vode ustanovljen je iz dva izvora. Radi općenitog uvida u višedekadnu dinamiku rezerve vode u tlu može nam poslužiti obračun bilance vode u tlu dobiven na osnovu praćenja klimatskih parametara s meteorološke postaje Šumarskog instituta, Jastrebarsko (Grafikon 7.). Iz priloženog je vidljivo kako postoji trend smanjenja rezerve vode u tlu što posebno dolazi do izražaja u pojedinim sušnim godinama. U posljednjoj dekadi prošlog stoljeća zabilježena je epizoda sušnih godina i to od 1990. do 1994. godine s ekstremno niskom rezervom vode u tlu u 1993. koja nadmašuje sve prethodno ekstremno niske vrijednosti. Znakovita je pojava izrazitih sušenja šuma u tom razdoblju naročito na području nizinskih šuma centralne Hrvatske (PILAŠ i dr. 2003). Trend pojave ekstremno niskih količina vode u tlu nastavio se i u prvim godinama ovog stoljeća s ekstremima u 2000. te u 2003. godini.

Ustanovljene spoznaje potvrđuju i rezultati mjerenja podzemnih voda na piezometarskim stacionarima na kojima se provodi permanentno mjerenje razina podzemnih voda na prostoru nizinskih šuma Hrvatske (MAYER 1996). Iz prikupljenih podataka piezometarskog monitoringa diljem Hrvatske, nešto kraćeg opsega u odnosu na iznesene podatke s meteorološke postaje Jastrebarsko, moguće je ustanoviti kako na prostoru nizinskih šuma vlada trend izrazitog sniženja podzemnih voda. Iako postoje sezonske fluktuacije razina podzemnih voda utjecane zimsko proljetnim punjenjem tala vodom te evapotranspiracijom i otjecanjem u ljetno-jesenskom razdoblju ipak je moguće raspoznati dominantan trend njihovog opadanja. Posebno je izražena pojava sezona s izrazito niskim vodostajima (1993., 2000. i 2003.) u prethodnom desetljeću. Ekstremno niske razine podzemne vode pojavile su se u proteklih nekoliko godina i to za vrijeme ekstremne suše u 2000.

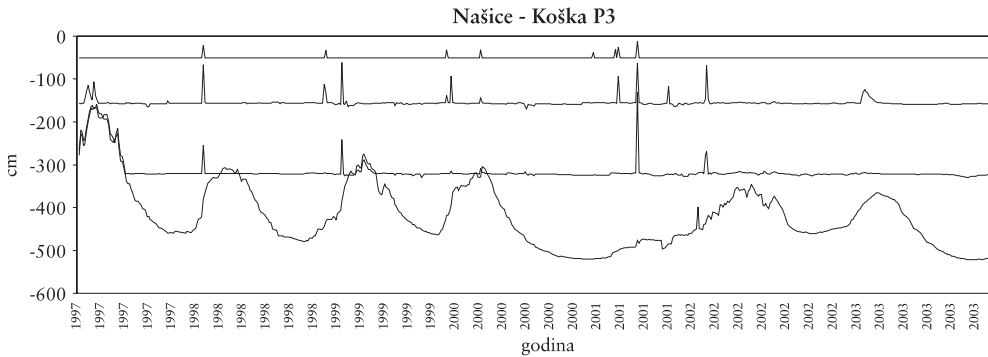


Grafikon 8. Nivogrami podzemnih voda na području Česme
Graph 8. Groundwaterlevels in Česma forest

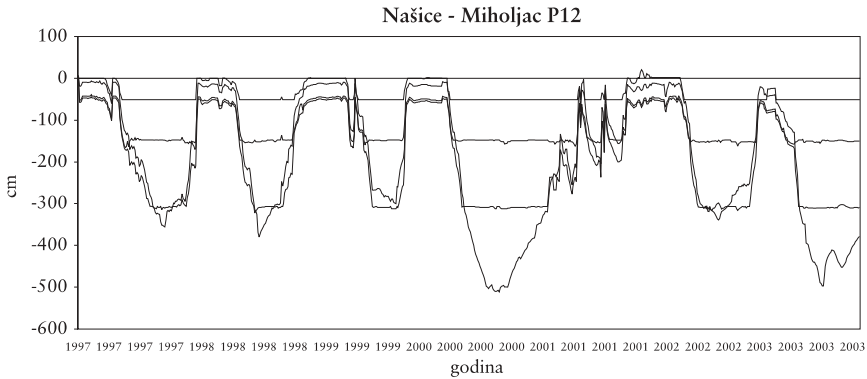


Grafikon 9. Nivogrami podzemnih voda područja Varoškog luga
Graph 9. Groundwaterlevels in Varoški lug forest

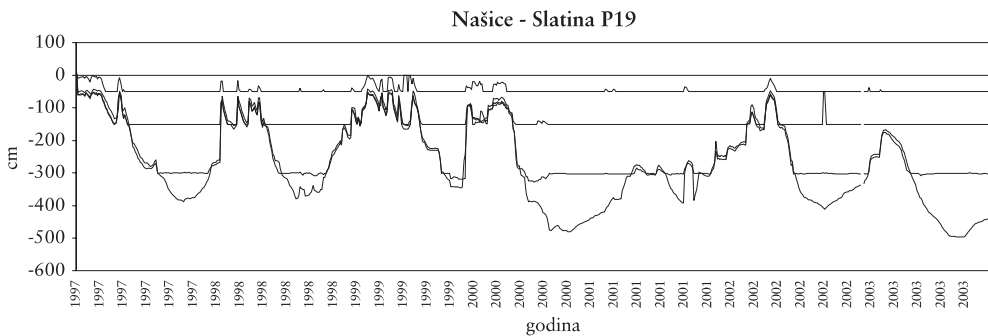
godini nakon koje se do današnjih dana vodonosnici u pojedinim šumskim područjima još nisu u dovoljnoj mjeri prihranili vodom (Slika 8.-14.). Ovakve nepovoljne prilike kulminirale su ponovnom pojavom ekstremne suše u 2003. Iz raspoloživih rezultata mjerenja moguće je utvrditi kako je utjecaj sniženja podzemnih voda na šumske ekosustave najkritičniji na području istočne Slavonije i to na predjelu Spačve u šumama hrasta lužnjaka na hipoglejnim i humoglejnim tlima s velikim oscilacijama podzemne vode gdje je zbog smanjene količine oborina podzemna voda dominantan izvor snabdijevanja vodom šumskih sastojina i stabala. Slične prilike vladaju na području šumskih kompleksa područja Našica i Osijeka. Posebno kritično stanje je na šumskim staništima Podravine gdje prevladavaju vrlo propusna tla na kojima se sniženje razina podzemne vode upotpunjuje s opadanjem vodostaja Drave. U sadašnjim prilikama izrazito se mijenja nekadašnji karakter vlaženja tih tala iz nekadašnjeg hidromorfnog u pretežno automorfni čime se znatno umanjuje produktivnost tamošnjih nekad vrlo produktivnih šumskih staništa. S druge strane na manje propusnim tlima Pokuplja i zapadne Posavine još uvijek se



Grafikon 10. Nivogrami podzemnih voda na području Koške, UŠ Našice
Graph 10. Groundwater levels in Koška, Našice

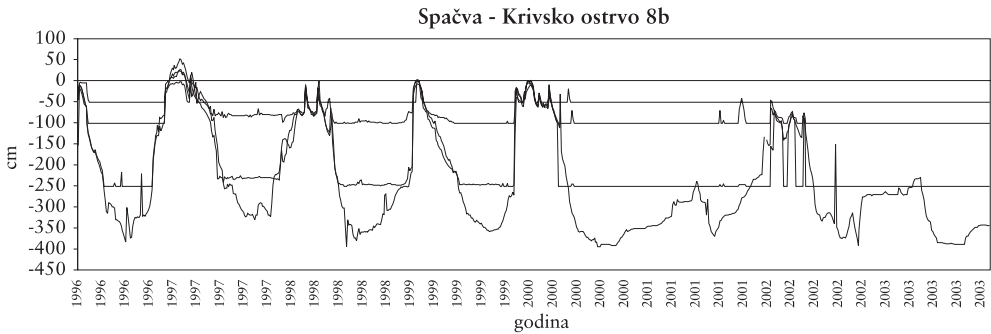


Grafikon 11. Nivogrami podzemnih voda na području Miholjca, UŠ Našice
Graph 11. Groundwater levels in Miholjac, Našice

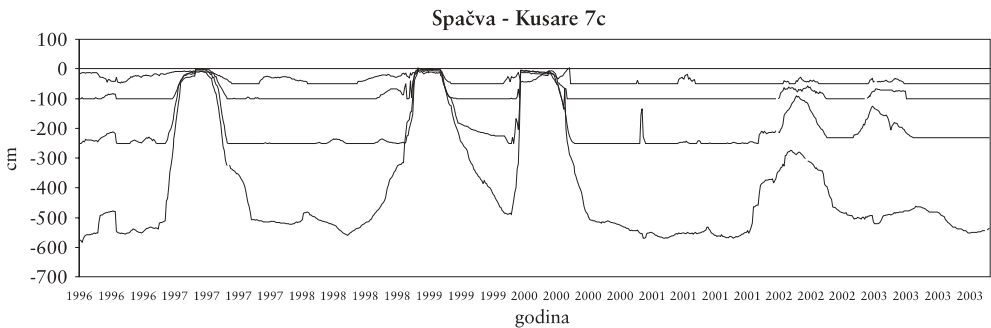


Grafikon 12. Nivogrami podzemnih voda na području Slatine, UŠ Našice
Graph 12. Groundwater levels in Slatina, Našice

možu lokalno naći prilike koji su u suprotnosti s generalnim trendom sniženja podzemnih voda. Naime uslijed provođenja sječa te lokalnog uklanjanja šumskih sastojina zatim izgradnjom kaseti dolazi do promjena hidroloških prilika na sta-



Grafikon 13. Nivogrami podzemnih voda na području Krivsko ostrvo, Uš Vinkovci
Graph 13. Groundwater levels in Krivsko ostrvo, Vinkovci

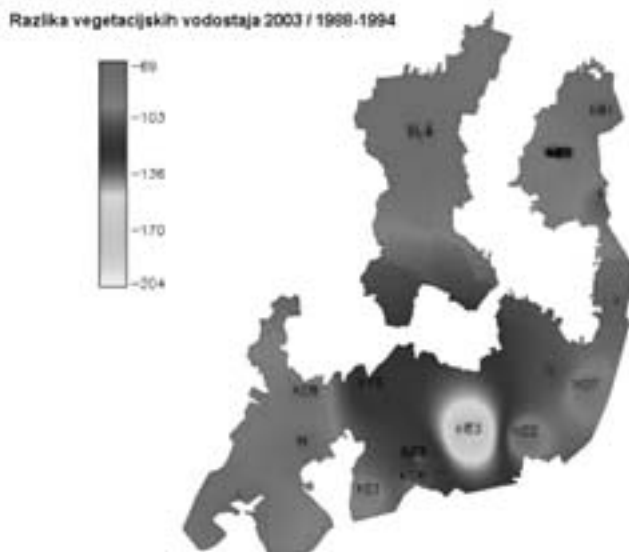


Grafikon 14. Nivogrami podzemnih voda na području Kusara, Uš Vinkovci
Graph 14. Groundwater levels in Kusare, Vinkovci

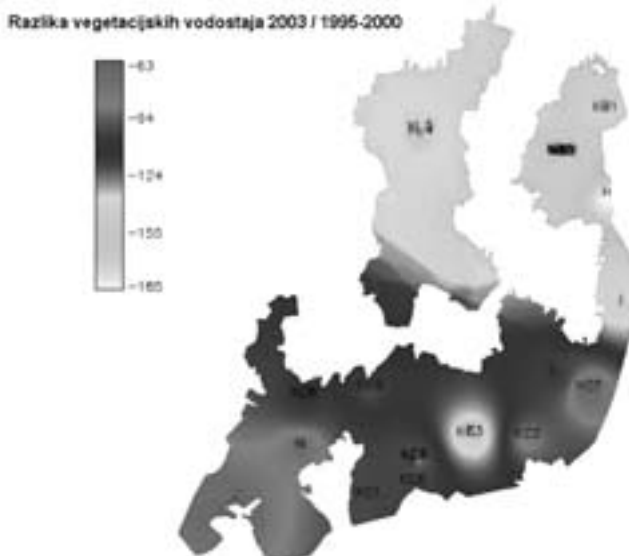
ništima te do lokalnog povećanja razina podzemne vode koja nastaje zbog izostanka transpiracione sposobnosti šumskih sastojina. Najizrazitiji primjer suprotnih trendova predstavlja pokupski bazen gdje se zbog lokalnih hidrogeoloških prilika došlo do podizanja razina podzemne vode i to prvenstveno iznad plitkih nepropusnih zona u tlu.

Trend podzemnih voda je prvenstveno ovisan o hidrološkim prilikama na lokacijama na kojima su provedena mjerenja te je stoga za generalni uvid u stanje vodnog lica podzemnih voda potrebno napraviti interpolaciju mjerenja iz raspoloživih piezometarskih postaja pomoću GIS-a. Analiza provedena za područje šume Česma i Bolčanski lug (MAYER i dr. 1996) prikazuje osim vremenske i prostornu dimenziju opadanja podzemnih voda. Tako je utvrđeno da su odstupanja prosječnih vegetacijskih vodostaja od 2003. godini od petogodišnjeg prosjeka (1995.-2000.) iznosila između -63 i -165 cm (Slika 1.).

Još izraženije razlike nađene su usporedbom prosječnih vodostaja u vegetaciji 2003. godine i prosječnih vodostaja u razdoblju od 1988. i 1994. godine. Opadanje podzemnih voda u 2003. godini u odnosu na usporedno razdoblje iznosilo je između -69 i -204 cm (Slika 2.).



Slika 1. Pad podzemnih voda u šumama Česma i Bolčanski lug – Velika u 2003. godini prema prosjeku od 1988. do 1994. godine
Figure 1. Decrease of groundwater table in Česma i Bolčanski lug – Velika forests in 2003 compared to average groundwater levels from 1988. – 1994.



Slika 2. Pad podzemnih voda u šumama Česma i Bolčanski lug – Velika u 2003. godini prema prosjeku od 1995. do 2000. godine
Figure 1. Decrease of groundwater table in Česma i Bolčanski lug – Velika forests in 2003 compared to average groundwater levels from 1995. – 2000.

VODOTEHNIČKI ZAHVATI NA POJEDINIM NIZINSKIM ŠUMSKIM CJELINAMA

HYDROTECHNICAL ACTIVITIES IN LOWLAND FORESTS

Na području Posavine od velikog značaja na hidropedološke odnose u šumskim predjelima imaju zahvati izgrađeni sa svrhom redukcije velikih vodnih valova Save i Kupe tzv. Sustav obrane od poplava srednja Posavina. Na velikim aluvijalnim površinama koje su nekad plavljene prirodnim režimom poplava uspostavljen je reguliran režim plavljenja tj voda se u slučaju visokih vodnih valova kontrolirano upušta u taj prostor. Manipulacija vodama u sustavu obrane od poplava Srednjeg posavlja imala je za cilj zaštitu naselja od poplava izgradnjom oteretnih kanala uz naselja te korištenje dijela šumskih i močvarnih površina kao retencionog i akumulacionog prostora. Sustavom je predviđeno minimiziranje antropogenog faktora uz zadržavanje aluvijalnih močvara sa svim svojim svojstvima. Iako je cijeli sustav izveden s izrazitim naglaskom na održanje pa i poboljšanje prirodne ekološke ravnoteže na tim površinama postoji djelomična poremetnja vodnog režima koja se očituje kroz utjecaj kanaliziranih tokova i oteretnih kanala koji ispresjecaju šumski prostor te učinci povećavanja vlažnosti na onim staništima koja su pretvorena u retencijske površine. Šumski kompleks koji su pod utjecajem ovih zahvata su područje Pokupskog bazena, Turopoljski lug i Kalje, Žutica, Opeke, Zelenika te Međustrugovi. Također značajan šumski kompleks koji nije u neposrednoj vezi s ovim sustavom ali na kojem su izvršeni znatni hidrotehnički zahvati predstavlja šuma Česma u Bjelovarskoj zavali te nešto manji kompleks Varoški lug.

Kanal Odra dužine 33 km služi kao odušni kanal za odtjecanje velikih voda Save u retenciju Odransko polje. Kanal je sa Savom spojen kod Jankomira, a djelimično prolazi kroz šumski kompleks Turopoljskog luga. Šuma Turopoljski lug nalazi se jugoistočno od Zagreba zauzima oko 4300 ha površine u zaoblju rijeke Save i Odre. Kanal Odra duboko zadire u šljunčani vodonosnik i djelomično prijeći kretanja podzemnih voda prema šumi (MAYER 1995). Na šumu Turopoljski lug nastavlja se šuma Kalje s sličnim hidropedološkim svojstvima. Zbog hidrotehničkih zahvata, prvenstveno kanala Odra znatno je reducirana plavljena površina šume, a smanjeno je i trajanje poplava. U kompleksima Turopoljski lug i Kalje u proteklom desetljeću dogodila su se masovna sušenja stabala koja se povezuju s učinkom provedenih hidrotehničkih zahvata MATIĆ i SKENDEROVIĆ (1993), PRPIĆ i dr. (1994, 2000), VUKELIĆ i RAUŠ (1993). PRPIĆ i dr. (1994) utvrdili su povezanost između radijalnog prirasta hrasta lužnjaka s minimalnom razinom podzemne vode tijekom vegetacijskog razdoblja u šumi Kalje s tim da je u istraživanom razdoblju od 1978. do 1985. godine došlo do značajnog sniženja radijalnog prirasta uslijed pada vodostaja.

Šuma Žutica sa 6400 ha površine nalazi se južno od Ivanić-grada u sklopu Lonjskog polja i predstavlja jedinstvenu cjelinu omeđenu na zapadnom dijelu oteretnim kanalom Lonja-Strug dok je istočna granica korito Česme. Na donjem krajnje južnom dijelu Česma se ulijeva u Lonju. Izrazit antropogeni utjecaj kao posljedica velikog broja naftnih bušotina i komunikacija unutar šume doveo je do

stvaranja specifičnih hidropedoloških odnosa zbog prekidanja prirodnog otjecanja površinske vode. Također pretvaranje šume u retencijski prostor koji služi za prihvaćanje visokih voda rijeke Save uz poremetnju prirodnih tokova doveo je do procesa zadržavanja veće količine vode u tlu te do širenja vlažnijih šumskih zajednica. Samo je na manjem dijelu šume, neposredno uz kanal Lonja -Strug koji je ostao izvan zone plavljenja došlo do znakova isušenosti staništa. Izgrađeni zahvati izvan i unutar šume utjecali su na regresiju šumske vegetacije u smjeru povećanja udjela vlažnijih šumskih zajednica crne johe i poljskog jasena na nekadašnjim staništima hrasta lužnjaka i to dominantno u subasocijaciji hrasta lužnjaka i velike žutilovke s drhtavim šašem BARIČEVIĆ (1998).

Pokupski bazen nalazi se na najzapadnijem dijelu Posavine i sastoji se od 11000 ha vrijednih hrastovih šuma. Šume na području pokupskog bazena uključene su u retenciju Kupčina te uvjetovane prokopanim oteretnim kanalom Kupa-Kupa te spojnim kanalom koji predstavljaju dio sustava obrane grada Karlovca od poplave. Na najnižim dijelovima pokupskog bazena izvršeno je intenzivno odvodnjavanje (MAYER 1996) dok je s druge strane zbog nepropusnosti tala na većem dijelu bazena prisutno pretjerano vlaženje staništa koje je uzrokovalo probleme s redovitim gospodarenjem na tom prostoru. Poplave su nakon izgradnje retencije Kupčina reducirane za 2/3.

U bjelovarskoj zavali nalaze se šume Česma, Bolčanski i Varoški lug. Hidrotehničkim zahvatima na području šume Česma i Bolčanski lug izrazito je promjenjen vodni režim prvenstveno režim poplava. Poplave su reducirane kanaliziranjem i produbljenjem potoka Velika, a zatim i kanaliziranjem vodotoka Česme. Poplave su u posljednje vrijeme vrlo rijetke, a uzrokovane su povratnim vodama rijeke Česme koja obrnutim smjerom puni nekadašnje rukavce unutar šume. Tijekom posljednjih desetljeća izgrađena je mreža plitkih kanala unutar šume uz šumske komunikacije koji su doprinjeli odvodnji tala.

Veliki kompleksi šuma bičko-bosutsko-spačvanske ravnice su utjecane površinskom odvodnjom te hidromeliorirana kanalskom mrežom. Najveći planirani zahvat na području tih šuma je kanal Dunav-Sava čija uloga je u prometnom povezivanju Save i Dunava ali bi služio i za navodnjavanje ostalih poljoprivrednih područja (TOMIĆ i dr. 2003). Predviđen utjecaj tog kanala na šume koje zahvaća nije do kraja istražen ali su mogući poremećaji režima podzemnih voda u okolnom šumskom prostoru te s time povezano i moguće povećano sušenje šuma.

Područje toka rijeke Drave izrazito je utjecano izgradnjom vodnih stepenica HE Varaždin Čakovec i Botovo. Promjene u morfologiji rijeke Drave u posljednjih 200 godina uzrokovane su prvenstveno prokopavanjem meandara te smanjenjem dužine riječnog toka na 67% prijašnje dužine od ušća Mure do utoka u Dunav. Na taj način je povećana erozijska uloga rijeke i intenzivirano njeno usjecanje u korito (BOGNAR i dr. 2003). Ovi procesi djelovali su i na trendove snižavanja podzemnih voda u šumskim površinama u zaobalju. U vodonosnicima otvorenog tipa kakvi prevladavaju na područjima nizinskih šuma uz Dravu gdje se korijenov sustav neposredno napaja iz podzemne vode te gdje su tla pretežito pjeskovito-šljunčane tekture sniženja podzemne vode uzrokovane erozijom korita predstav-

ljaju izrazito veliki utjecaj na stabilnost tamošnjih šumskih ekosustava. Visoka produktivnost fluvisola te ostalih močvarnih tala narušena je kako sniženjem podzemne vode tako i reduciranjem poplava izgradnjom obodnih nasipa uz Dravu što predstavlja izrazit šumskouzgojni problem. Utvrđeno je kako vodne stepenice nizvodno od izgrađenih vodnih stepenica uzrokuju sniženje razine podzemnih voda dok u uzvodnom dijelu dovode do njihovog povećanja ali i akumuliranja polutanata, pretežito teških metala koje rijeka Drava donosi iz uzvodnih industrijskih područja. Od planiranih daljnjih zahvata na području Drave od posebnog je značenja izgradnja vodne stepenice Novo Virje zbog utjecaja takvog zahvata na šumu Repaš (ANTONIĆ i dr.2001) .

UTJECAJ ATMOSFERSKOG TALOŽENJA NA SADRŽAJ TEŠKIH METALA U TLU

INFLUENCE OF AIR DEPOSITION ON HEAVY METALS CONCENTRATION IN SOILS

Veliki udjel današnjeg taloženja teških metala antropogenog je podrijetla. Atmosfera je vrlo važan medij za njihov transport. Na tlo dospijevaju taloženjem iz udaljenih izvora zrakom kao dijelovi aerosola. Dugoročno teški metali se talože usljed djelovanja gravitacije te ispiranja s vegetacije u tlo i dalje u podzemne vode, jezera, rijeke i mora.

Negativni efekti povišenja teških metala u tlu na organizme tla vidljivi su kada je sadržaj cinka u tlu veći nego 500 mgkg^{-1} , bakra veći od $20\text{-}100 \text{ mgkg}^{-1}$, olova $50\text{-}250 \text{ mgkg}^{-1}$ i kadmija $2\text{-}10 \text{ mgkg}^{-1}$. Utvrđeno je kako stanje opterećenosti

Tablica 1. Stupnjevi onečišćenja prema BRÜNE-ELLIGHAUSU (1981)
Table 1. Degrees of contamination according to BRÜNE-ELLIGHAUS (1981)

Stupanj onečišćenja	% granične vrijednosti
Vrlo nizak	1-5
Nizak	5-10
Srednji	10-25
Visok	25-50
Vrlo visok	50-100
Iznad GV	Više od 100

Tablica 2. Vrijednosti teških metala u mgkg^{-1} za površinski horizont u nizinskim šumama.
Table 2. Amount of heavy metals in mgkg^{-1} in surface layer in lowland forests

Teški metali mgkg^{-1}	Vrsta sedimentacije	Vrijednosti teških metala za područje rječnih slivova					
		Pokupski bazen	Česma	Sava donji tok	Drava donji tok	Spačva	Dunav
Pb	plavljenje	44-75	20-36	66-190	100-330	-	240-330
	taloženje	40-55	25-34	45-56	26-40	22-54	28-32
Cu	plavljenje	12-22	6-21	15-20	8-30	-	7-8
	taloženje	5-6	5,21	18-19	5-6	7-22	31-40
Zn	plavljenje	22-63	63-70	82-306	159-795	-	424-663
	taloženje	14-33	18-20	46-58	27-42	31-126	37-42

Tablica 3. Dosadašnji objavljeni rezultati sadržaja teških metala (mgkg^{-1}) u šumskim ekosustavima
Table 3. Results of heavy metal contamination in forest ecosystems

Autor	God.	Područje	Teški metal						
			Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Hg	Mn
			mgkg^{-1}						
Glavač i dr.	1985	Gorski kotar	19-126	5-16	14-84	0,2-0,7	0,3-6,1	-	-
Mayer, B.	1987	Bazen Kupčine	28-45	-	-	0,2-0,7	-	-	-
Mayr, B. & N. pezdirc	1990	Sjeverozapadna Hrvatska	20-60	2-21	17-95	-	-	-	-
Komlenović, N. i dr	1991	Istočna Slavonija - nizinske šume	22-64	6-23	33-674	-	-	-	60-480
Vrbek, B. i dr	1991	N.P. Risnjak	80-540	3-22	31-365	-	-	-	-
Vrbek, B. & Gašparac, M.	1992	N.P. Risnjak	116-560	6-28	77-518	-	-	-	-
Mayer, B.	1992	Varaždinska Drava	206-684	-	-	2,5-8,5	-	0,31-0,69	-
Olujić Z.	1992	Bazen Kupčine disertacija	24-33	-	-	0,5-0,7	-	-	-
Martinović, J.	1993	Zagrebačko područje	14-101	10-64	21-90	1,0-4,5	3,5-7,7	-	-
tlparMiloš, B. i dr.	1993	Područje Splita	18 -234						
Komlenović, N. i dr	1994	Jastrebarsko	16-63	-	-	-	-	-	-
Martinović, J. i dr.	1995	N.P. Mljet	-	32-68	74-133	-	-	-	-
Bilandžija, J. i dr.	1996	Istra-Marčana	20-80	7-56	14-45	-	-	-	-
Vrbek, B i Lindić, V.	1998	P.P. Biokovo	54-66	6-7	4-52	-	-	-	-
Vrbek, B. i Pilaš, I.	2000	Šuma Žutica	17-46	7-41	56-665	1,0-2,8	-	-	-
Vrbek, B. Pilaš, I.	2002	Šumska tla na kršu	23-86	4-36	4-78	0,4-4,1	-	-	-
Vrbek, B.	2002	Sjeverozapadna Hr. disertacija	25-54	5-9	15-26	-	-	-	-
Vrbek, B. i Pilaš, I.	2004	Hrast lužnjak i običan grab	25-54	5-9	15-26	-	-	-	-

teškim metalima faune ima direktne veze sa količinom teških metala u tlima. Prema raznim istraživanjima neposredan je utjecaj prometa na kemijski sastav padalina. Tvari se iz ispušnih plinova motornih vozila izravno uključuju u padaline i na taj način povećavaju koncentracije štetnih tvari u njima. Za neke teške metale (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.

Kako su u literaturi poznate granične vrijednosti za teške metale (GV) (Tablica 1) one nam iskazuju najveće dopuštene koncentracije iznad kojih je rizik koncentracije neprihvatljiv zbog depresivnog i toksičnog učinka na biljke i druge organizme. Pri tome je važno poznavanje prirodno stečenog ("geogeno", "pedogeno") stanja teških metala u tlu. Najčešće se uzimaju prirodne vrijednosti za olovo manje od 10 mg kg^{-1} , bakar $5-20 \text{ mg kg}^{-1}$ i cink $10-50 \text{ mg kg}^{-1}$. Postoji i pojam zanemarive koncentracije koja iznosi 1 % od granične vrijednosti. Kritična, prirodna i zanemariva koncentracija teških metala je za olovo 150 mg kg^{-1} , bakar 100 mgkg^{-1} i cink 300 mgkg^{-1} .

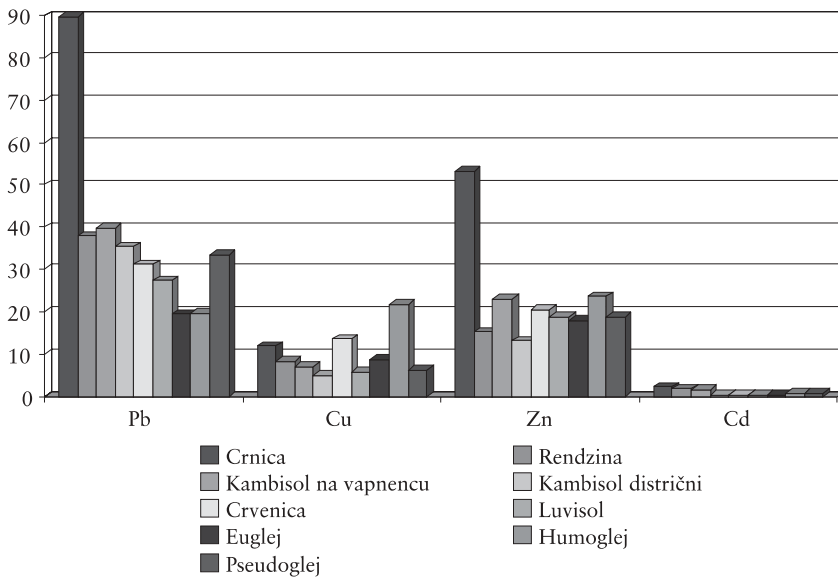
U tablici 2 prikazana su dosadašnja istraživanja i prosječni podaci za naša važnija šumska područja riječnih slivova i šuma sjeverozapadne Hrvatske. Iz poda-

Tablica 4 Dosadašnji neobjavljeni rezultati teških metala (mgkg^{-1}) u šumskim ekosustavima
Table 4. *Unpublished results of heavy metal contamination in forest ecosystems*

Autor	God.	Područje	Teška metala						
			Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Hg	Mn
			mgkg^{-1}						
Vrbek, B.	1990	Donje Međimurje	77-880	11-36	153-1738	-	-	-	-
Vrbek, B.	1992	Zaprešić	40	4	14	-	-	-	-
Puača, B. Vrbek, B.	1992	G.J. Borik, Istra	36-72	6-31	14-34	-	-	-	-
Puača, B.	1992	G.J. Čikat Istra	32-56	12-18	17-77	-	-	-	-
Vrbek, B.	1992	N.P. Mljet	27-41	7-8	28-31	-	-	-	-
Puača, B.	1993	Marčana, Istra	12-59	-	-	-	-	-	-
Vrbek, B.	1998	N.P. Plitvička jezera	45-68	4-20	19-96	0,7-4,1	-	-	-
Vrbek, B.	1997	Vrbovec-šuma Česma	14-23	3-29	16-34	-	-	-	-
Vrbek, B.	1998	Šuma Draganički lugovi	16-24	3-5	4-8	-	-	-	-
Vrbek, B.	1998	P.P. Žumberak	12-37	4-95	5-16	0,3-2,4	-	-	170-1175
Vrbek, B.	1998	P.P. Medvednica	28-35	6-9	18-22	0,5-0,6	-	-	544-625
Vrbek, B.	1998	Šuma Žabarski bok N. Gradiška	22-25	13-15	29-30	-	-	-	-
Vrbek, B.	1998	Šuma Zelenika – N. Gradiška	19-20	12-16	20-27	-	-	-	-
Vrbek, B.	1998	Lividraga- G. Kotar	38-75	5-9	18-30	-	-	-	-
Vrbek, B. Potočić, N.	1998	Delnice-G. Kotar	40-66	3-7	10-25	0,1-0,3	-	-	120-385
Vrbek, B.	1999	Poreč-Buzet, Istra	30-72	9-11	14-42	-	-	-	-
Vrbek, B.	1999	Senj-Senjsko bilo	25-29	7-11	15-17	1,0-2,8	-	-	587-1470
Vrbek, B.	1999	P.P. Biokovo	29-85	8-14	7-10	1,2-1,8	-	-	515-835
Vrbek, B.	1999	N.P. Paklenica	15-64	6-60	8-22	1,6-1,9	-	-	-
Vrbek, B.	1999	N.P. Velebit	23-90	4-9	5-64	0,4-2,0	-	-	337-832
Vrbek, B.	1999	Jastrebarske niz. šume	30-51	4-6	10-19	0,5-0,7	-	-	465-1645
Vrbek, B.	1999	Nova Gradiška	19-29	8-19	18-41	0,4-0,7	-	-	128-187
Vrbek, B.	1999	Šuma Radinje	17-19	9-10	18-20	0,4-0,5	-	-	105-237
Vrbek, B.	1999	Bazen Spačve	16-20	4-9	14-17	0,3-0,5	-	-	207-450
Vrbek, B.	2000	N.P. Brijuni	15-30	8-10	6-23	-	-	-	-
Vrbek, B. Vizentaner N.	2000	Park Bilje	12-17	6-9	9-17	0,3-0,5	-	-	217-397
Vrbek, B. Presečan, M.	2000	Bjelovarska Bilogora	19-29	4-7	16-22	0,3-0,5	-	-	400-1205
Pilaš, I. Vrbek, B.	2001	Šuma Kontija- Istra	17-28	6-11	4-10	0,3-0,8	-	-	-
Vrbek, B.	2001	P.P. Papuk	11-28	2-33	15-20	0,3-0,4	-	-	105-453
Vrbek, B.	2002	Otok Korčula	28-47	7-8	23-3,1	1,1-1,2	-	-	698-1030
Pilaš, I.	2002	Poreč	18-41	6-20	12-33	0,6-1,0	-	-	805-1745
Vrbek, B.	2003	Pintarica, Gerovo	11-47	3-6	9-66	0,2-0,6	-	-	-
Vrbek, B.	2003	N.P. Risnjak	8-267	7-20	22-45	0,9-3,1	-	-	-

taka se može zaključiti kako postoje razlike da li je neko tlo plavljeno pa su sedimentacijom dospjele teške metali u šumski ekosustav ili su metali prispjele zračnim transportom tj. suhim i mokrim taloženjem (MAYER 1987, 1991).

Istraživanja i rezultati sadržaja teških metala (olova, cinka i bakra) u tlima nizinskih šuma sjeverozapadne Hrvatske pokazala su kako ih neplavljene lokacije



Grafikon 15. Prosječna koncentracija teških metala u 9 tipova šumskih tala na području Hrvatske
 Graph 15. Average concentration of heavy metals in 9 forest soil types in Croatia

sadrže na nivou prirodnih koncentracija ili slabog povišenja. Blizina urbanih i industrijskih područja povećava unos teških metala što se regionalno poklapa s intenzitetom sušenja hrasta lužnjaka (ŠOJAT i dr. 1988). U tablici 3 i 4 prikazane su količine teških metala iz dosadašnjih objavljenih i neobjavljenih radova.

Na grafikonu. 15 prikazano je devet tipova tala na području Hrvatske s prosječnim vrijednostima sadržaja teških metala. Kako je bilo i za pretpostaviti, najviše teških metala sadrže vapneno dolomitne crnice. Osim što su ta tla na većoj nadmorskoj visini, zbog svoje genetske građe također sadrže veće količine teških metala (VRBEK i PILAŠ 2001.).

Prema sadržaju teških metala u uzorcima skupljenih na 55 lokaliteta možemo zaključiti kako postoji povećan unos olova, a naročito kadmija na području mediteranskog dijela Hrvatske sa matičnom podlogom vapnenca. Srednje vrijednosti za olovo iznose za površinski horizont 43,1 mg kg⁻¹, za mineralni dio tla 29,8 mg kg⁻¹, za kadmij u površinskom horizontu iznose 1,7 mg kg⁻¹, a za mineralni 1,8 mg kg⁻¹ što je prema literaturnim podacima na graničnoj vrijednosti za sadržaj kadmija u tlima. Prema tome nalazu tla su onečišćena kadmijem. Srednje vrijednosti za bakar iznose 9,9 mg kg⁻¹ za površinski horizont i 10,1 mg kg⁻¹ za mineralni horizont te za cink od 19,0 mg kg⁻¹ za površinski horizont i 5,8 mg kg⁻¹ za mineralni dio tla. Bakar i cink nalaze se u niskim koncentracijama na području krša mediteranskog dijela Hrvatske

Razni su izvori taloženja teških metala u šumske ekosustave i te je izvore teško razlučiti. Ako je neka šuma blizu veće prometnice, jasno je kako je utjecaj prometa odmah registriran povećanjem olova, a i industrijskim onečišćenjem metali dospri-

Tablica 5. Prosječan sadržaj teških metala na pošumljenim površinama krša
Table 5. Average heavy metals contamination in reforested carst area

Dubina uzorka u cm	Parametar	Teške metali (mgkg ⁻¹)			
		Pb	Cu	Zn	Cd
0-3	x ₁	23	4	4	0.4
	x ₂	86	36	78	4.0
	n	40	40	40	30
	x	43.1	9.1	19.0	1.7
5-25	x ₁	15	5	4	0.4
	x ₂	56	16	17	3.7
	n	53	52	52	40
	x	29.8	10.1	5.8	1.8

x₁ = najmanja nađena vrijednost (minimum), x₂ = najveća nađena vrijednost (maximum), n = broj uzoraka (number of samples), x = srednja vrijednost (average value).

jevaju u atmosferu i transportiraju se na velike udaljenosti. Utjecaj taloženja teških metala vodom tj. većim riječnim sustavima (Sava, Drava, Mura) je također istraživana na nekoliko lokaliteta, a rezultati istraživanja su poražavajući što se tiče onečišćenja, a naročito je to karakteristično za umjetne akumulacije gdje su hidrocentrale i za rijeku Dravu (MAYER i PEZDIRC 1990.).

Procjena onečišćenja za cijelo područje Hrvatske ne može se prikazati. Područja koja su istraživana lokalno ne mogu biti prosjek za cijelu državu jer su problemi onečišćenja bili lokalnih izvora. Razlučiti koje je onečišćenje lokalnog karaktera, a koje je globalno tj. koje je dospjelo daljinskim transport (atmosferom, suha imokra depozicija) moglo bi se samo na temeljima cjelokupnog monitoringa za Hrvatsku principom mreže opažanja, a vodeći brigu o zastupljenosti svih šumskih zajednica. Pretpostavka je prema svim dosadašnjim rezultatima kako je tlo u Hrvatskoj najviše oštećeno uz velike urbane centre, uz vodotoke većih rijeka i na visokim planinskim isponima.

ZAKLJUČCI CONCLUSIONS

1. Monitoring stanja oštećenosti krošanja u Republici Hrvatskoj pokazao je daljnje povećanje postotka značajne oštećenosti stabala svih vrsta u 2005. godini u odnosu na prethodne godine istraživanja. Što se tiče naših glavnih vrsta drveća, kod obične bukve značajna oštećenost je i dalje niska i kreće se u uskim granicama oštećenosti. Kod hrasta lužnjaka i obične jele primjetan je trend porasta značajne oštećenosti od 2003. godine.
2. Stanje oštećenosti krošanja u Hrvatskoj snažno je utjecano stresnim čimbenicima, a istraživanjima su ustanovljene veze oštećenosti s razinom podzemnih voda kod hrasta lužnjaka (*Q. robur*) (PILAŠ I VRBEK 2001), sušom i stanjem ishrane kod obične jele (*A. alba*), starosti (hrastovi), ekspozicijom kod crnog bora (*Pinus nigra* Arn.) i hrasta medunca (*Quercus pubescens* Willd.) i nadmorskom visinom kod hrasta lužnjaka, obične jele, obične bukve i poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) (POTOČIĆ i SELETKOVIĆ 2002).

3. Radi ublažavanja posljedica suše te dugoročnih trendova sniženja podzemnih voda u vrlo osjetljivim nizinskim kontinentalnim šumskim ekosustavima potrebno je djelovati u smjeru poboljšanja hidropedološkog sustava monitoringa, ubrzavanja protoka rezultata monitoringa radi pravovremenog uočavanja suše, objedinjavanju svih raspoloživih informacija u jedinstven sustav te na provođenju sveobuhvatnijih znanstvenih istraživanja.
4. Dosadašnjim istraživanjima o sadržaju teških metala u šumskim ekosustavima u Hrvatskoj kod mnogih autora prevladava vlastiti metodika uzorkovanja tala. Uzorkovanje je rađeno na fiksnim dubinama (0-5, 6-15, 16-30 itd. ili nekim drugim dubinama u cm) ili po genetskim horizontima tala. Na taj način sadržaj teških metala može biti različit za isto područje a rezultati se ne mogu usporediti. Sustavnog praćenja taloženja metala nema u šumskim ekosustavima, a ako je i bilo praćenja ono se odvijalo kratko vrijeme (3 do najviše 5 godina). Ne postoji u Hrvatskoj sistematsko praćenje i prikupljanje podataka o teškim metalima u šumskim ekosustavima. Najčešće su to podaci koji su rezultat određenih istraživanja u projektima, studijama i naručenim elaboratima. Zaključiti se može kako su podaci nejednoliko raspoređeni te da je teško donijeti konkretne zaključke za područje šumskih ekosustava Hrvatske. Razlog u tome je ne samo u nedovoljno prikupljenim podacima nego i velikoj raznolikosti šumskih ekosustava koji su utjecani litologijom, pedologijom i geomorfologijom.
5. Procjena onečišćenja za cijelo područje Hrvatske ne može se prikazati. Područja koja su istraživana lokalno ne mogu biti prosjek za cijelu državu jer su problemi onečišćenja bili lokalnih izvora. Razlučiti koje je onečišćenje lokalnog karaktera, a koje je globalno tj. koje je dospjelo daljinskim transportom (atmosfera, suha i mokra depozicija) moglo bi se samo na temeljima cjelokupnog monitoringa za Hrvatsku principom mreže opažanja, a vodeći brigu o zastupljenosti svih šumskih zajednica.
6. Pretpostavka je prema svim dosadašnjim rezultatima kako je tlo u Hrvatskoj najviše oštećeno uz velike urbane centre, uz vodotoke većih rijeka i na visokim planinskim isponima. Jasno je kako su visoki planinski isponi utjecani atmosferskim taloženjem.
7. Iz svega navedenog možemo zaključiti kako je propadanje šuma pojava kompleksne naravi te stoga razloge sušenja pojedinačnih vrsta ili šumskih sastojina na određenim staništima treba tražiti u specifičnim interakcijama stresnih čimbenika. Ta zadaća nije jednostavna, jer nije lako u praksi razlučiti glavne od sporednih, te početne od pratećih i terminalnih čimbenika koji zajednički vode propadanju neke šumske sastojine.

LITERATURA

REFERENCES

- ANTONIĆ, O., D. HATIĆ, J. KRIŽAN, D. BUKOVEC, D. BOROVIĆ, 2001: Projektiranje režima podzemne vode kao preduvjeta opstanka nizinskih šuma u području hidrotehničkog zahvata – Primjer šume Repaša i HE Novo Virje. Hrvat. Vode 8(32): 205-224, Zagreb.

- BARIČEVIĆ, D., 1998: Ekološko-vegetacijske značajke šume Žutica. Magistarski rad., Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 154, Zagreb.
- BOGNAR A., Z. PLETIKAPIĆ, Z. TADIĆ, 2003: Rijeka Drava i održivi razvitak. 3. hrvatska konferencija o vodama 993-1000, Osijek.
- BRÜNE, H., R. ELLINGHAUS, 1981: Schwermettargehalte in landwirtschaftlich genutzten Ackerböden Hessens. Landw. Forschung 38:338-349, Trier
- 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.
- MATIĆ S., J. SKENDEROVIĆ, 1993: Studija biološkog i gospodarskog rješenja šume Turopoljski lug ugrožene propadanjem. Glas. Šum. Pokuse 29:295-334, Zagreb, 1993.
- MAYER, B., 1987: Rezultati prvih istraživanja olova, kadmija, sumpora i fluora u tlu nizinskih šuma bazena Kupčina. Šumar. List 1-2: str. 19-27, Zagreb.
- 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., 1995: Podzemne i površinske vode u nizinskoj šumi Turopoljski lug u razdoblju 1989.-1993. Godine. Rad. Šumar. Inst. 30(1):47-73, Jastrebarsko. na sezonsku dinamiku radijalnog prirasta i sušenje hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u varoškom lugu. Rad. Šumar. Inst. 29(1): 83-102, Jastrebarsko.
- MAYER, B., 1996: Hidropedološki odnosi na području nizinskih šuma Pokupskog bazena. Rad. Šumar. Inst. 31(1/2):37-89, Jastrebarsko.
- 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., N. LUKIĆ, G. BUŠIĆ, 1996: Utjecaj kolebanja podzemnih i površinskih voda na promjenjivost širine godova i sušenje hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Varoškom lugu, Česmi i Bolčanskom lugu. Zaštita šuma i pridobivanje drva, knjiga 2 :191-210, Zagreb.
- PILAŠ, I., B. VRBEK, 2001: Istraživanje utjecaja hidroloških promjena i hidrotehničkih zahvata na tjednu dinamiku radijalnog prirasta hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Varoškom lugu. Znanost u potrajnom gospodarenju, znanstvena knjiga, str 388-394. Zagreb
- PILAŠ I., B. VRBEK, D. MEDAK, 2003: Application of groundwater monitoring in management of pedunculate oak forests in Croatia. 2nd Conference of Sustainable Management of Energy, Water and Environment Systems, CD Proceedings, Dubrovnik Neilson, R.P. i Marks, D. 1994. A global perspective of regional vegetation and hydrologic sensitivities from climatic change. J. Veg. Sci., 5, 715-730.
- POTOČIĆ, N., I. SELETKOVIĆ, 2000.: Stanje oštećenosti šuma u Republici Hrvatskoj 1998. godine. Šumarski list 1-2, str 51-56. Prpić, B., 1987. Propadanje šumskog drveća u Hrvatskoj s posebnim obzirom na opterećenje Gorskog kotara kiselim kišama i teškim metalima. Šumarski list ,1-2: 53-60.
- POTOČIĆ N, I. SELETKOVIĆ, 2002.: Influence of Some Stand and Ecological Factors on Crown Condition of Various Forest Tree Species. Book of Abstracts, 3rd Slovenian Symposium on Plant Physiology, Ljubljana.
- PRPIĆ, B., N. KOMLENOVIĆ, Z. SELETKOVIĆ, 1988: Propadanje šuma u Hrvatskoj. Šumarski list, 5-6:195-215, Zagreb.
- PRPIĆ B., A. VRANKOVIĆ, Đ. RAUŠ., S. MATIĆ, A. PRANJIC, Š. MEŠTROVIĆ, 1994: Utjecaj ekoloških i gospodarskih činilaca na sušenje hrasta lužnjaka u gospodarskoj jedinici Kalje šumskog gospodarstva Sisak. Glas. Šum. Pokuse 30: 361-419. Zagreb.
- PRPIĆ B., Z. SELETKOVIĆ, G. ŽNIDARIĆ, 1994: Ekološki i biološki uzroci propadanja stabala hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u nizinskoj šumi Turopoljski lug. Glas. šum. pokuse., Vol. 30; 193-222, 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: 229-240, Zagreb.

- SELETKOVIĆ I, N. POTOČIĆ, 2001.: Komparativni prikaz stupnja oštećenosti krošanja na plohama bioindikacijske mreže u Republici Hrvatskoj. Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama (Znanstvena knjiga): 373-382. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Šumarski institut Jastrebarsko, Zagreb
- SELETKOVIĆ I, N. POTOČIĆ, 2004.: Oštećenost šuma u Hrvatskoj u razdoblju od 1999. do 2003. godine. Šumarski list 3-4, 137-148.
- SELETKOVIĆ, Z., I. TIKVIĆ, 1996.: Oštećenost šumskih ekosustava različitih stanišnih prilika u Republici Hrvatskoj. U: Sever, S. (ur.): Zaštita šuma i pridobivanje drva, Šumarski fakultet, Zagreb i Šumarski institut, Jastrebarsko: 81-88.
- SELETKOVIĆ, Z., I. TIKVIĆ, 1996: Fenološka motrenja hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj. HŠD - Skrb za hrvatske šume od 1846. do 1996., Knjiga 2, str. 89-102, Zagreb.
- ŠOJAT, V., Z. ŠOLJIĆ, A. VRHOVAC, 1988: Razmatranje utjecaja automobilskeg prometa na kemijski sastav oborina. Suvremeni promet 10: 5113-5117, Zagreb. 6-8:373-385, Zagreb.
- TOMIĆ F., D. PETOŠIĆ, I. STRIČEVIĆ, D. DOLANJSKI, I. MUSTAČ, 2003: Značajke vodnog režima i stanja tala na području donjeg toka budućeg kanala Dunav-Sava. 3. hrvatska konferencija o vodama 950-959, Osijek.
- UN/ECE, EU, 1993: Forest Condition in Europe. Results of the 1992. Survey, Brussels, Geneva.
- UN/ECE, EU, 1994: Forest Condition in Europe. Results of the 1993. Survey, Brussels, Geneva.
- VRBEK, B., I. PILAŠ, 2001: Sadržaj teških metala (pb, cu, zn i cd) u kalkokambisolu na području pošumljenih površina krša Hrvatske. Rad. Šumar. Inst. 36 (2): 95-106, jastrebarsko.
- VRBEK, B. I PILAŠ, 2004: Heavy metals in Oak Forest Ecosystem in Croatia, Eurosoil 2004 abstracts pp 377. Albert-Ludwigs Universität Freiburg
- VRBEK, B. I PILAŠ, 2005: Teški metali nizinskih šumskih ekosustava Hrvatske, Knjiga sažetaka, Stubičke toplice
- VUKELIĆ, J., Đ. RAUŠ, 1993: Fitocenološki aspekt sušenja šuma u Turopoljskom lugu. Glas. Šum. Pokuse 29: 275-294. Zagreb.

THE RESEARCH OF GROUNDWATER TABLE LEVELS,
INPUT OF HEAVY METALS AND CROWN CONDITION
IN FOREST ECOSYSTEMS OF CROATIA

Summary

Research of crown condition between 1995 and 2004 in the Republic of Croatia showed an increase in the percentage of damage to all trees species. In comparison with 2003, moderate to severe damage to trees of all species increased by 3.6%, from 23.2% to 26.8% (fig. 15). Moderate to severe damage to broadleaves in comparison to previous years also increased, by 3.5%, from 17.6% to 21.1%. The percentage of moderate to severe damage in conifers increased from 46.8% to 48.8%. From the accumulated data from piezometric monitoring throughout Croatia, it was possible to ascertain that the extreme lowering of groundwater table is a trend that is ever increasing in lowland forests. Seasons with low groundwater table were frequent during the last decade (1993, 2000 and 2003). After this period and up to the present, aquifers in certain forest areas have still not recharged to a sufficient level. The influence of the input heavy metals by water i.e. by larger river systems (Sava, Drava, Mura) which were researched gave dismal results in terms of pollution. This was especially characteristic for artificial accumulations where there are hydro power plants such as the Drava River. From the aforementioned research results, the need to establish power plants grid monitoring which would include all forest types in Croatia is very important.

Key words: Forest ecosystems, damage, groundwater, soil, heavy metals