

## OBNOVA VODNOG REŽIMA NIZINSKIH ŠUMA KAO POTPORA POTRAJNOM GOSPODARENJU

### THE RECONSTRUCTION OF THE WATER REGIME IN LOWLAND FORESTS IN SUPPORT OF SUSTAINABLE MANAGEMENT

Ivan PILAŠ<sup>1</sup>, Špela PLANINŠEK<sup>2</sup>

*SAŽETAK: U radu su prikazane mogućnosti obnove vodnog režima nizinskih šuma kao jedne od mogućnosti smanjenja učinka klimatskih promjena u budućnosti. Pritom je dan cjelovit metodološki prikaz aktivnosti koje trebaju prethoditi takvoj rekonstrukciji. Kao početni segment potrebno je analizirati sve važne komponente nizinskih ekosustava: morfologiju terena, hidrografiju, stratigrafiju tala, vegetaciju te antropogene utjecaje. Kao sljedeći korak opisan je način pridobivanja spoznaja o vodnom režimu u prirodnim nenarušenim uvjetima, koje su uvjetovale stvaranje ekosustava u današnjem obliku. U tu svrhu prikazane su mogućnosti rekonstrukcije nekadašnjih uvjeta pomoću reliktnih indikatora, kao što je morfologija hidromorfni tala nizinskih staništa. Sljedeći korak obuhvaća analizu kritičnih predjela ugroženih padom ili prekomjernim porastom razina podzemne vode, te u konačnici mjere rekonstrukcije vodnog režima, odnosno mogućnosti povratka prirodnih uvjeta.*

*Ključne riječi: Nizinske šume, vodni režim, podzemna voda, reliktni indikatori, morfologija tla, hidrotehničke mjere*

#### UVOD – Introduction

Značenje koji voda ima za okoliš, odražava se kroz njenu biološku, kemijsku, fizičku, socioekonomsku i političku funkciju (Chang 2006). Voda je u velikoj mjeri čimbenik koji utječe na pojavu različitih tipova šuma, ali koji dugoročno utječe na njihov razvoj i opstojnost. Iako voda ima veliki značenje za pridolazak šuma, šume u znatnoj mjeri modificiraju hidrološke prilike na nekom području, odnosno kvantitativne i kvalitativne značajke voda. Šume djeluju na smanjenje padalina koje dopiru do tla intercepcijom, a istovremeno i utječu na redukciju vlažnosti tla transpiracijom. Šume, odnosno gospodarenje šumama ima utjecaj (Vilhar & Fajon 2007) na kvalitetu i kvantitetu vode kroz: reguliranje koncentracije polutanata i dušika u vodi, eroziju i unos sedimenta, stupanj otjecanja, kao i na temperaturu vode.

Odnos između šuma i njihovih hidroloških uvjeta je u današnje vrijeme znatno utjecan promjenama koje proizlaze iz poremećaja u hidrološkom ciklusu, kao re-

zultata globalnih klimatskih promjena. Rezultati predviđanja klimatskih promjena i njihovog utjecaja na globalni hidrološki ciklus s velikom su vjerojatnošću utvrdili da će buduće hidrološke promjene djelovati u ovisnosti o prostornom gradijentu unutar EU. Jedna od posljedica globalnih klimatskih promjena, odnosno globalnog zatopljenja, je sve veća mogućnost pojave ekstremnih oborinskih događaja na cijelom području EU (European Environmental Agency 2008; Bates et al. 2008). Kao logična posljedica ekstremnih oborina, sve je češća pojava poplava koje se pojavljuju diljem EU i Hrvatske, npr. kao što je bila poplava na rijeci Elbi u Njemačkoj 2002. Godine, te poplave u istočnoj Hrvatskoj i u slivu Save u 2010. g. Kao odgovor na povećan rizik od poplava nastala je Direktiva EU o poplavama (EU-Flood Directive, EC 2007) koja ima za cilj reduciranje i gospodarenje s rizikom koje poplave nanose ljudskom zdravlju, okolišu, kulturnom nasljedstvu i ekonomskim aktivnostima. Navedena direktiva zahtijeva od zemalja članica da za svako slivno područje identificiraju rizik od poplava putem namjenskih karata, te ustanove planove gospodarenja radi smanjenja navedenog rizika. Planovi gospodarenja poplavama tre-

<sup>1</sup> Dr. sc. Ivan Pilaš, Hrvatski šumarski institut, Cvjetno naselje 41, 10450, Jastrebarsko, e-mail:ivanp@sumins.hr

<sup>2</sup> Špela Planinšek, dipl. ing., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

baju uključiti kombinaciju tehničkih mjera, nestrukturiranih mjera, kao i proširenih mjera zaštite. Kao osnovna nestrukturirana mjera pojavljuje se povećanje retencijske sposobnosti u nekom slivnom području, čime se u značajnoj mjeri naglašava uloga šuma te mjera pošumljavanja kao jednog od prirodnih sustava s velikim vodno-retencijskim sposobnostima.

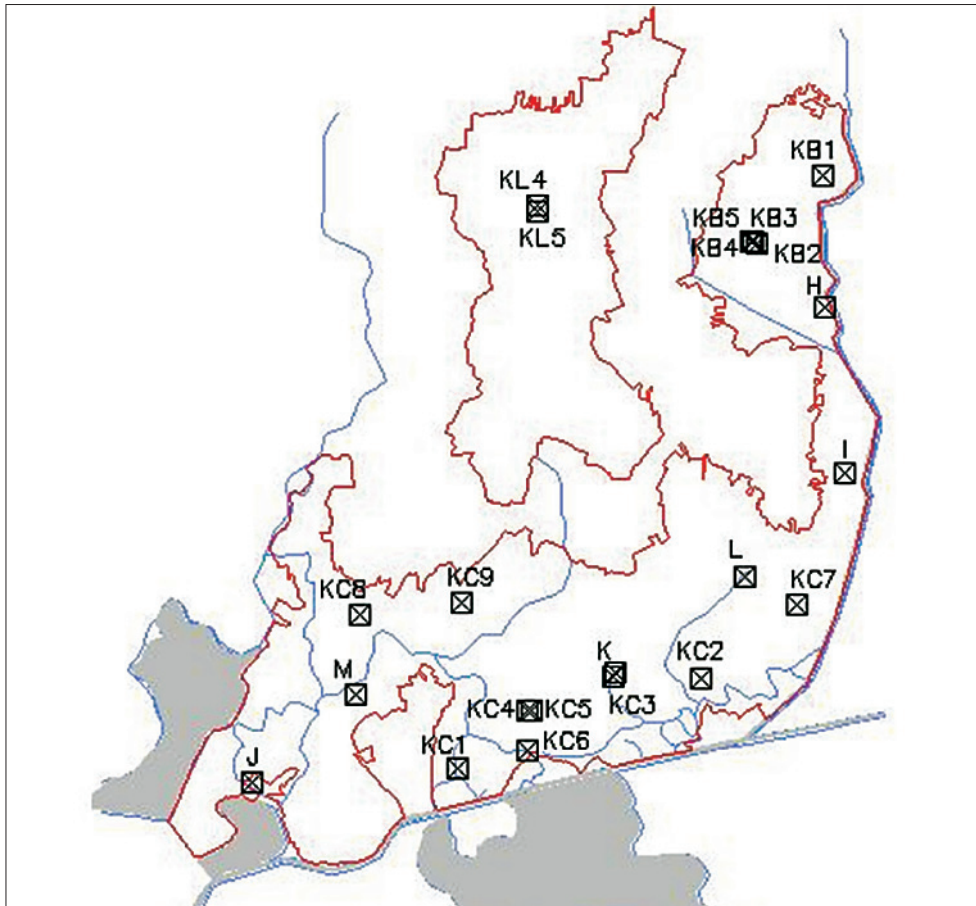
Drugi vrlo važno gledište koji proizlazi kao posljedica globalnih klimatskih promjena je izmjena generalnog hidrološkog trenda u ovisnosti o prostornom gradijentu u EU. Navedene promjene ponajprije se odnose na povećanu vjerojatnost većih oborina u sjevernom, a povećanu pojavu sušnih događaja u južnom dijelu EU. Na području RH očekivana je pojava povećanih oborina tijekom zimskog razdoblja, dok je smanjenje oborina uz povećane temperature očekivano tijekom vegetacijske sezone u proljeće i ljeto.

Navedeni scenarij klimatskih promjena, imat će očekivano značajan utjecaj na režim podzemnih voda u nizinjskim šumama Hrvatske. Nizinske šume hrasta lužnjaka kakve danas nalazimo, najvećim su dijelom utjecane dotatnim izvorom vlaženja iz podzemne vode. Podzemna

voda predstavlja jedan od najvažnijih čimbenika njihovog pridolaska, jer zahtjevi hidrofilnih vrsta kao što je hrast lužnjak značajno nadmašuju resurse vode koji pridolaze samo iz oborina. Kako bi se nadoknadio naveden manjak, šume hrasta lužnjaka, jer se nalaze na reljefno najnižim lokacijama, opskrbljuju se iz površinskih vodonosnika u koje se voda prikuplja sa šireg slijevnog područja. Međutim, nedostatkom oborina tijekom sušnih sezona, dolazi do pražnjenja tih vodonosnika uslijed nedostatnog dotjecanja, odnosno do sezonskog sniženja podzemne vode, nedostatne opskrbe sastojina hrasta lužnjaka s vodom te njihovog povećanog sušenja.

Kao cilj ovoga rada, predstavljen je novi metodološki pristup procjene narušenosti hidroloških uvjeta u tlu nastalih opadanjem razina podzemnih voda, koji se temelji na reliktnim morfološkim svojstvima hidromorfni tala. Isto tako dat je prikaz mogućnosti restauracije vodnog režima, na pokusnim akumulacijama u šumi Česma (Vrbovec) kao jedne od mjera svladavanja i smanjenja hidroloških promjena i ekstremnih događaja uslijed globalnog zatopljenja, s ciljem održanja dugotrajne stabilnosti ekosustava i povećanja općih funkcija šuma.

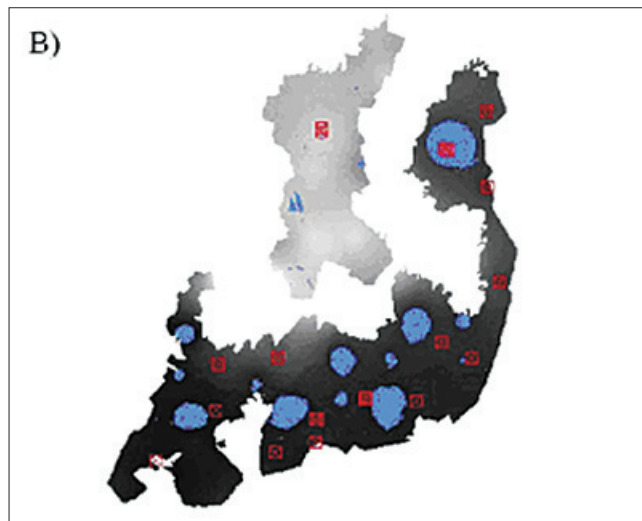
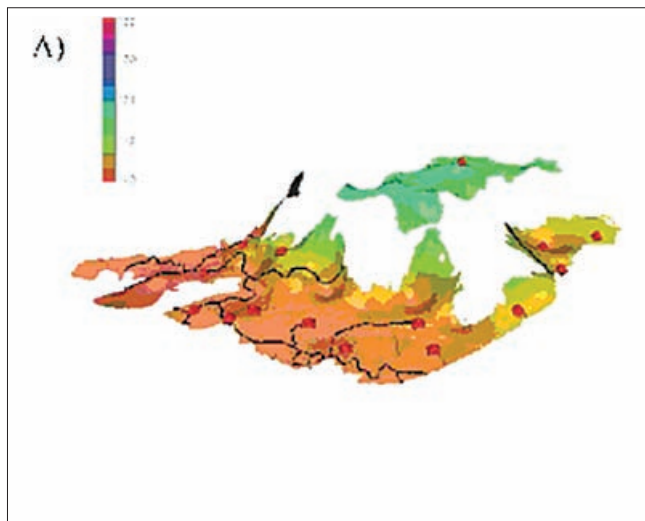
## HIDROGRAFSKE, GEOMORFOLOŠKE I SASTOJINSKE ZNAČAJKE *Hydrographic, geomorphological and stand characteristics*



Slika 1. Hidrografska mreža i položaj piezometarskih stacionara u Česmi i Bolčanski lug – Velikoj Velika forests  
Figure 1 Hydrographic network and position of piezometric stations in Česma and Bolčanski lug – Velika forests

Prethodno detaljnijoj analizi podataka izrađena je prostorna gis baza podataka, kako bi se stekao uvid u geomorfološke, hidrografske i sastojinske prilike za šume sjeverozapadne Hrvatske (pokupski bazen, Česma, Varoški lug, Turopoljski lug i Žutica). Na slici 1 dan je prikaz hidrografske mreže s lokacijama 22 piezometarske po-

staje, mreža prirodnih vodotoka unutar šumskog prostora, kao i izgrađeni kanali rijeke Česma i potoka Velika (na južnom i istočnom rubu). Na slici 2 vidljiv je položaj šumskog kompleksa Česma u donjem dijelu, s najnižom kotom terena od oko 103 m, te na povišenom dijelu izdvojen kompleks Bolčanskog luga na terasi. Na slici 3

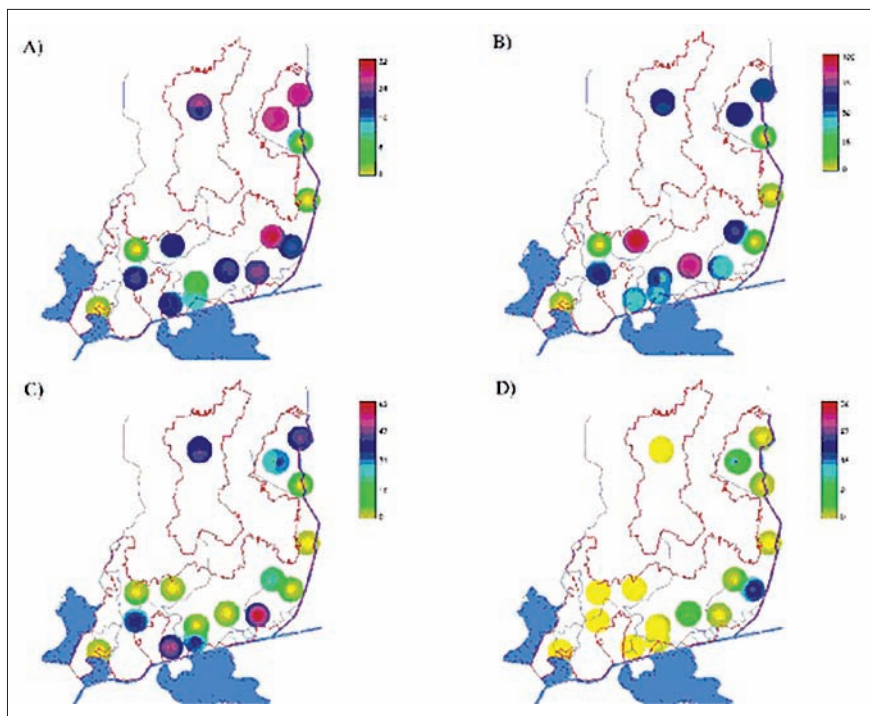


Slika 2a. Digitalni elevacijski model Česme i Bolčanski lug – Velike (iz karte M 1:25000);

Slika 2b. Prostorni raspored depresija u Česmi i Bolčanskom lugu – Velikoj (iz DTM-a M 1:25000)

Figure 2a Digital elevation model of Česma and Bolčanski lug – Velika (based on the topographic map 1:25000)

Figure 2b Spatial distribution of terrain depressions in Česma and Bolčanski lug – Velika



Slika 3a. Procjena ukupne temeljnica na lokacijama piezometarskih stacionara;

Slika 3b. Postotak učešća hrasta lužnjaka u temeljnici;

Slika 3c. Postotak učešća običnog graba u temeljnici;

Slika 3d. Postotak učešća poljskog jasena u temeljnici

Figure 3a Estimation of stand basal area on piezometric locations;

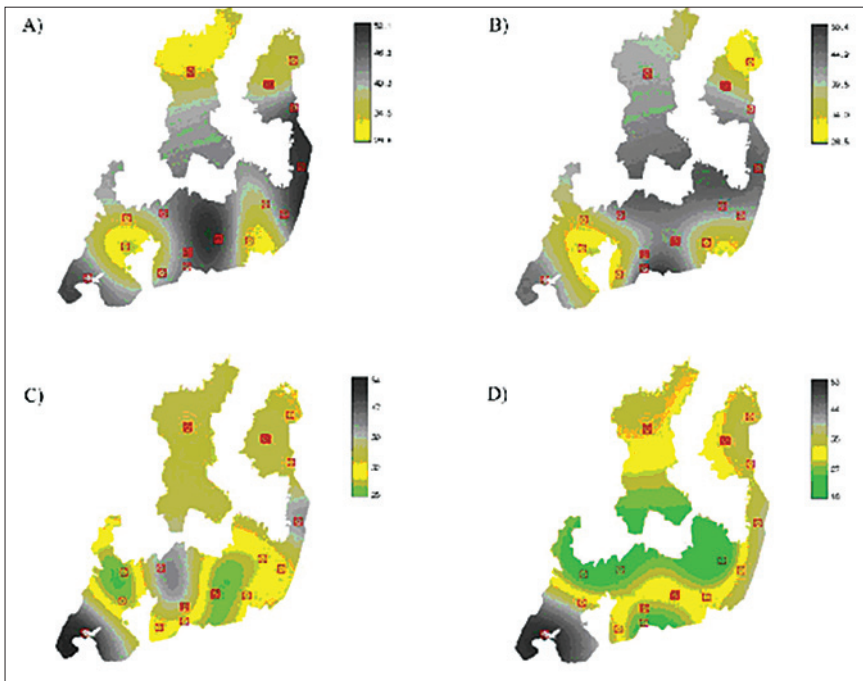
Figure 3b Percentage of common oak in total stand basal area;

Figure 3c Percentage of common hornbeam in total stand basal area;

Figure 3d Percentage of field ash in total stand basal area.

dan je prikaz depresija u šumi, izrađenih iz digitalnog elevacijskog modela, s vlažnijim uvjetima uslijed zadržavanja oborinske i poplavne vode.

Sastojinske prilike također su obrađene na lokalitetima uz piezometarske stacionare te je prikazana njihova prostorna razdioba. Na slici 4 prikazana je ukupna temeljnica, a na slikama 5, 6 i 7 postotak hrasta lužnjaka, običnog graba i poljskog jasena u temeljnici. Na slikama 8, 9, 10 i 11 dan je prikaz stratigrafije tala kroz postotno učešće sadržaja gline u tlu na dubinama od 20, 60, 130 i 200 cm.



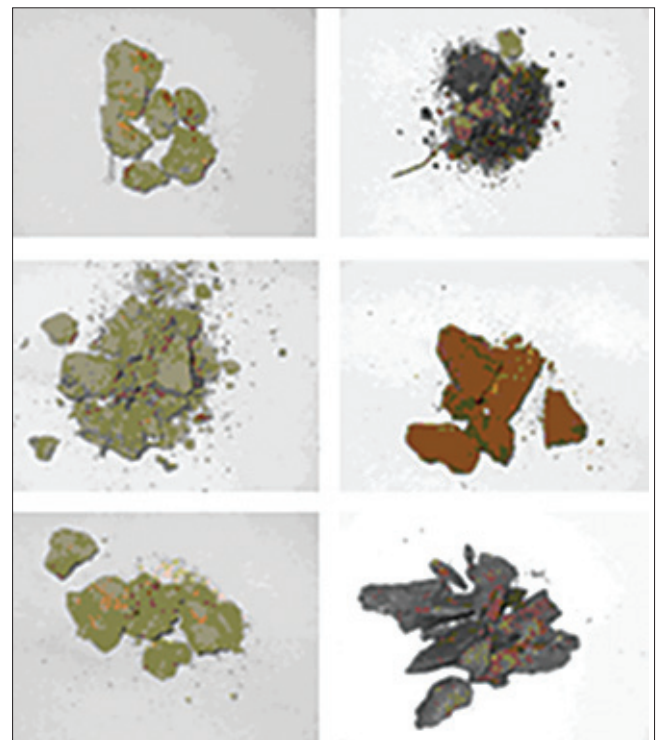
Slika 4. Prostorna razdioba postotnog sadržaja gline u tlu u Česmi i Bolčanski lug – Velikoj na dubini: A) 20 cm; B) 60 cm; C) 130 cm; D) 200 cm

Figure 4 Spatial distribution of clay percentage in soils of Česma and Bolčanski lug – Velika on depths of: A) 20 cm; B) 60 cm; C) 130 cm; D) 200 cm

### PROCJENA TRAJANJA VLAŽNOSTI IZ RELIKTNIH SVOJSTAVA TALA *Assessment of the waterlogging rate from relict soil properties*

U dosadašnjim ekološkim razmatranjima, voda u tlu se vrlo često nametala kao jedan od odlučujućih čimbenika čijom promjenom (tzv. promjena režima podzemnih i poplavnih voda) dolazi do pojave narušavanja stabilnosti te u konačnici i sušenja šuma hrasta lužnjaka. Zbog toga je determiniranje stanja vodnih resursa u tlima nizinskih šuma oduvijek pobuđivala interes šumarske znanosti i struke. Značajan pomak u tome predstavljala su istraživanja Mayera (1987, 1989, 1994, 1995, 1996) na šumskim kompleksima sjevero-zapadne Hrvatske. Međutim, iako obimna i u svojem temelju izrazito ekološki (stanišno) orijentirana iz navedenih rezultata vrlo se malo može zaključiti i iskazati na kvantitativan način jedno od osnovnih pitanja: kolika količina vode u tlu (razina podzemne vode) je potrebna za očuvanje stabilnosti nizinskih šumskih ekosustava, odnosno u kojoj su mjeri danas prisutni promijenjeni uvjeti u tlu u istim. Pri donošenju zaključaka vezanih za procjenu vrijednosti hidroloških parametara važnih za očuvanje stabilnosti nizinskih šuma, potrebno je sagledati sve tri komponente nizinskih ekosustava, a to su hidrologija, tlo i vegetacija (Hurt & Carlisle 2001). Najkompleksnija analiza ovih triju komponenti istraživana je s namjerom delinacije, odnosno razgraničenja močvarnih staništa radi njihove zaštite, što je praksa koja se provodi u SAD (Cowardin et al. 1979, Tiner & Burke 1995, Environmental Laboratory 1987, Hammer 1992). Analiza ovih triju komponenti u okviru delinacije močvarnih staništa provodi se radi zadovoljavanja tehničkih kriterija nužnih za proglašavanje nekog staništa močvarnim,

čime se na njega primjenjuje zakonska regulativa s namjerom njegove zaštite (Environmental Laboratory 1987). U nas je provedeno nekoliko istraživanja u kojima je kao jedno od mogućih rješenja navedenog problema predstavljen funkcionalni pristup (Ivkova 1994 i Antonić et al. 2001) u kojemu se potreba hra-



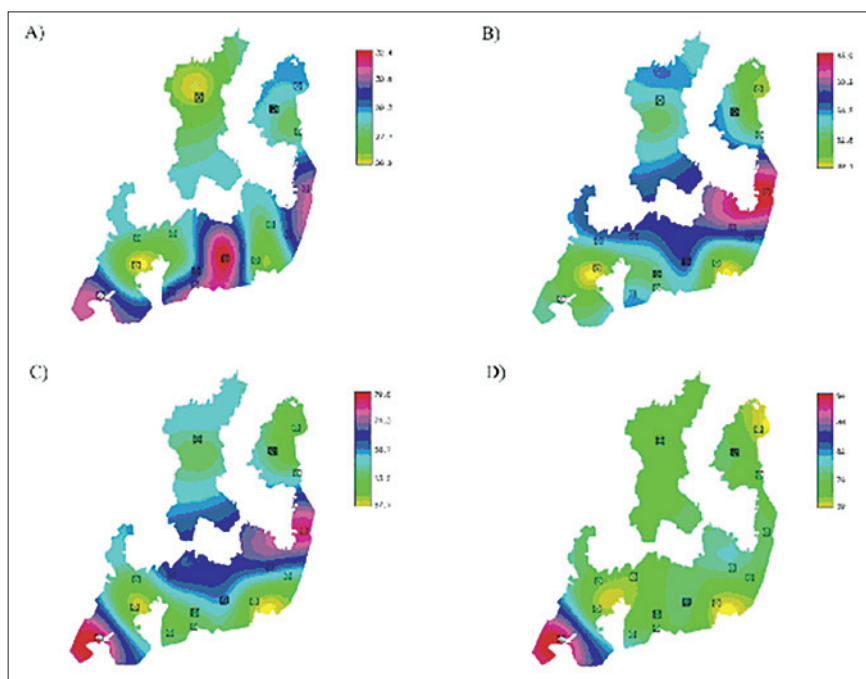
Slika 5. Različita morfološka svojstva hidromorfni tala  
Figure 5 Different morphological properties of hydromorphic soils

sta lužnjaka za vodom determinira putem sagledavanja njihovog optimalnog rasta u različitim stanišnim i hidrološkim uvjetima. Navedeni pristupi traže detaljno poznavanje velikog broja lokalnih prostornih i vremenskih varijabli (stanišne, klimatske, sastojinske...) što je s obzirom na obim nizinskih šuma vrlo zahtjevno.

Prema Čirić (1984) proučavanje morfologije profila tla zajedno s proučavanjem ostalih kvalitativnih i kvantitativnih promjena nezamjenjiva je metoda rekonstrukcije pedogenetskih procesa i povjesti razvoja jednog tla, kao i ocjena osnovnih osobina tog tla. Hidromorfna tla nizinskih šuma, daju dovoljno informacija pomoću kojih se može zaključiti o optimalnim vodnim prilikama u kojima su šume rasle u prirodnim uvjetima (prije antropogenizacije). Morfologija tih tala, koja je nastajala kroz dugi niz godina, potpomognuta procesima kao rezultat prekomjernog povremenog navlaživanja, upravo je odraz nekadašnjih hidroloških prilika koje su vladale na prostoru nizinskih šuma, prije regulacije vodotoka, izgradnje melioracijskih kanala i pretvaranja šuma u retencijska područja radi zaštite od poplava. U odjel hidromorfni tala prema Martinoviću (2003) spadaju: pseudoglej, recentno aluvijalno tlo (fluvisol), fluvijativno livadsko (humofluvisol), pseudoglej-glejno tlo, ritska crnica (molični humoglej), močvarno glejno epiglejno, hipoglejno te amfiglejno tlo te tresetna tla (histosoli). Izdvajanje tala provodi se putem analize njihovog hidrološkog režima koji se utvrđuje na osnovi vizualne interpretacije morfoloških indikatorskih pokazatelja u tlu, kao što su sklop profila, boja tla, struktura i tekstura te ektomorfoloških svojstava kao što su reljef, šumska asocijacija itd. Analizom sklopa profila odnosno horizontala, stječemo uvid u procese pedogeneze koji su različitog karaktera, ovisno o tipu tla. Kod određivanja tipova hidromorfni tala osnovna je uloga boje određenih profila, na osnovi čega zaključujemo o tipu odnosno podtipu tla. Varijacije boje različitih tipova hidromorfni tala ovise o stratigrafiji tj. matičnom supstratu, položaju u reljefu tj. geomorfologiji te o režimu vlažnosti ili hidrologiji (Richardson & Daniels 1993). Uloga matičnog supstrata na boju tla je dvojaka, neposredna i posredna. Matični supstrat, odnosno njegova mineralogija znatno utječe na boju tla, dok istovremeno njegova tekstura može utjecati na pokretljivost, a time i na dulje zadržavanje vode u tlu. Uloga geomorfologije je pretežito vezana uz nastajanje

specifičnih hidrodinamičkih uvjeta o kojima ovisi režim vode u tlu.

Iako je iz do sada iznesenog prikazano kako morfologija indicira različiti stupanj vlaženja hidromorfni tala, samo prema morfološkim svojstvima je teško utvrditi kakav je sadašnji režim vode u tlu, odnosno da li su na nekim staništima prisutne promjene hidroloških uvjeta. Morfologija je ponajprije pokazatelj reliktnih uvjeta, kakvi su nekada vladali u tlima, a ne sadašnje stanje. Stoga se zbog analize promjena u tlima uspostavio funkcionalni odnos između morfologije (morfoloških svojstava tla iskazanim u komponentama Munselovog sustava boja) te trenutnih mjerenja na piezometarskim postajama u obliku transformirane hidrološke varijable, koja pokazuje sadašnje stanje vlaženja. Postupak utvrđivanja hidrološke varijable iz podataka piezometarskih mjerenja obuhvatio je niz transformacija, kako bi se u konačnici izračunao postotak trajanja mokre faze tla (WLR) prema modificiranom postupku primijenjenom u istraživanju Blavet et al. (2000) te Fiedler & Sommer 2004. Piezometarski setovi korišteni u ovom istraživanju, sastoje se od dvije do pet piezometarskih cijevi na standardnim numeričkim dubinama (obično 0,5 m, 1,0 m, 2,0 m, 4,0 m i 7,0 m) kakva je već praksa postavljanja hidropedoloških stacionara (Mayer 1975). Nakon pojedinačne analize morfoloških značajki i trajanja vode u tlu pristupilo se izradi modela u kojemu su morfološke varijable postavljene kao nezavisne, dok je trajanje mokre faze u tlu zavisna varijabla određena kombinacijom nezavisnih



Slika 6. Procjena prostorne razdiobe postotnog godišnjeg trajanja zasićenosti tla vodom pomoću generaliziranog linearnog modela u Česmi i Bolčanski lug – Velikoj na dubini: A) 20 cm; B) 60 cm; C) 130 cm; D) 200 cm

Figure 6 Estimation of spatial distribution of average yearly waterlogging rate by generalized linear model in Česma and Bolčanski – lug on depths: A) 20 cm; B) 60 cm; C) 130 cm; D) 200 cm

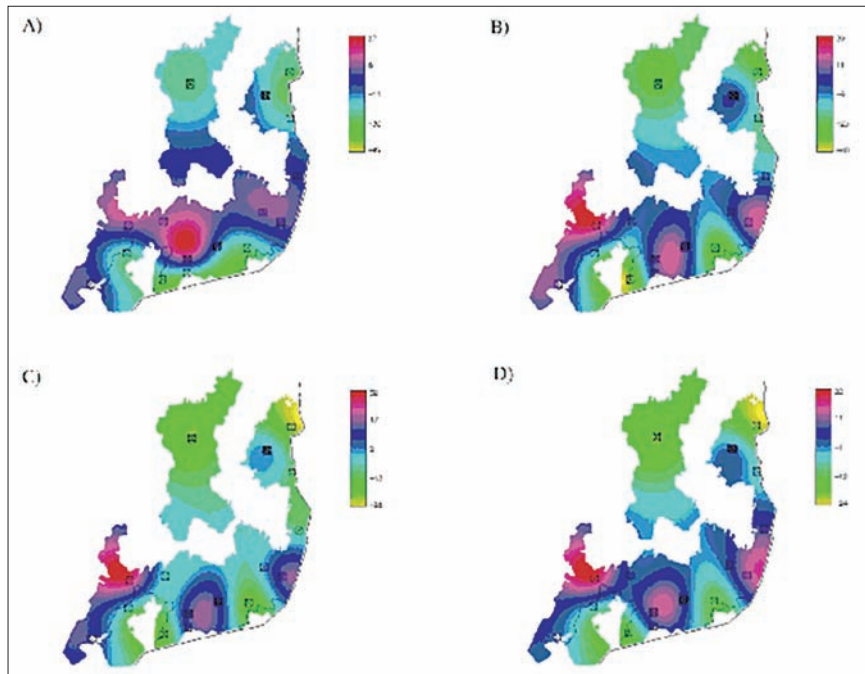
morfoloških varijabli na određenim kategoričkim dubinama tla. Pri izradi modela primijenjena je GLZ (generalizirani linearni/nelinearni model) metoda (Vrbek et al. 2010). Na svakoj od lokacija napravljena je procjena trajanja zasićenosti tla vodom iz morfokromatskih varijabli pomoću izrađenog GLZ funkcijskog modela.

Sljedeći korak, prostorna razdioba trajanja zasićenosti tla vodom (trajanje mokre faze) napravljena je za slojeve tla od 20, 60, 130 i 200 cm pomoću interpolacije piezometarskih lokacija metodom inverznih sredina, što je prikazano na slici 6.

### PROCJENA NARUŠENOSTI HIDROLOŠKIH UVJETA U TLU *Assessment of disturbance of hydrological conditions in the soil*

Do sada provedena prostorna analiza daje dosta dobar uvid u stanje vlažnosti tla, te čimbenike koji utječu na to stanje. Kako bi se sagledale promjene u hidrološkim prilikama u tlu napravljena je još dodatna prostorna analiza u kojoj je napravljena usporedba (razlika) između procijenjene vlažnosti tla dobivene iz morfokromatskih osobina pomoću GLZ modela, te trenutnog stanja vlažnosti dobivenog iz očitavanja podzem-

nih voda na piezometarskim postajama. Iz te razlike izrađena je prostorna interpolacija, što je prikazano u slici 7. Na prostornim slojevima jasno se mogu izdvojiti zone unutar šume s povećanom vlažnošću tla (crveno) te zone s deficitom vlažnosti (zeleno). Pomoću prethodno provedene gis analize, možemo zaključiti kako do povećanja vlažnosti tla dolazi na onim područjima unutar šume gdje je došlo do značajnijeg prekida



Slika 7. Procjena narušenosti prirodnih hidroloških uvjeta u tlu u Česmi i Bolčanski lug – Velikoj na dubini: A) 20 cm; B) 60 cm; C) 130 cm; D) 200 cm (zeleno označene su zone s padom podzemne vode, crveno označene su zamočvarene zone s povećanom vlažnošću)

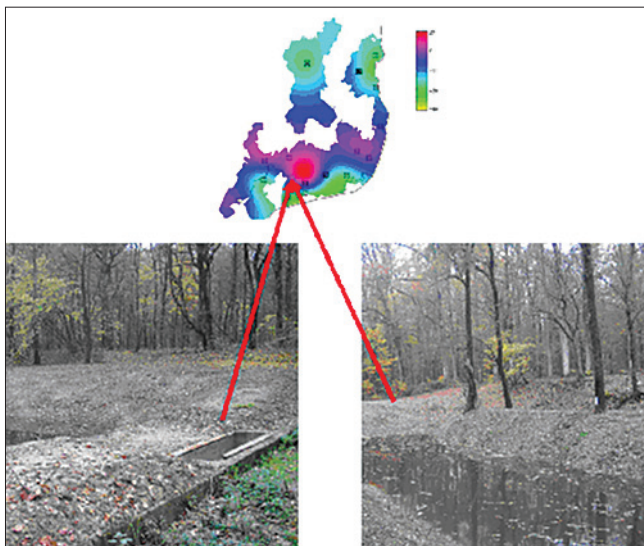
Figure 7. Estimation of disturbance of natural hydrologic conditions in Česma and Bolčanski lug- Velika on soil depths: A) 20 cm; B) 60 cm; C) 130 cm; D) 200 cm (marked green colors present areas with significant drop of watertable, red are areas with increased waterlogging)

### REKONSTRUKCIJA VODNOG REŽIMA NIZINSKIH ŠUMA *The reconstruction of the water regime of the lowland forests*

Antropogenizacija nizinskih šumskih ekosustava, bilo kroz hidrotehničke aktivnosti bilo putem šumskog gospodarenja, dovela je do znatno većih prostornih oscilacija vlažnosti, odnosno do izmijenjenih uvjeta u odnosu na prirodno stanje. Kao što je vidljivo, poseban problem predstavlja tzv. depresija vodnog lica podzemnih voda uz stare vodotoke i kanale. Pretpostavka je da

sastojinskog sklopa, i to posebno u sastojinama gdje je izvršen dovršni sijek. Uklanjanjem stabala, izostaje učinak transpiracije te dolazi do trenda povećanja vlažnosti tla (zamočvarenje). S druge strane, primjetan je nedostatak vlažnosti na lokalitetima u blizini novoizgrađenih obodnih kanala Česme i Velike, te uz staro isušeno korito Česme koje više nije u funkciji, jer nije, osim u slučaju visokih vodnih valova, povezano s glavnim umjetnim koritom. Naveden gubitak vlažnosti može se objasniti na način da kanali i korita koji zasijecaju šumski prostor djeluju na sniženje razine podzemnih voda u određenoj prostornoj dimenziji, što se naziva i učinak eksfiltracije. Iz navedene razlike prostornih modela vlažnosti možemo utvrditi kako su u prirodnim uvjetima varijacije vode u tlu na cijelom prostoru šume bile znatno manje, odnosno ravnomjernije raspoređene.

navedene depresijske zone vodnog lica uz stara korita djeluju na povećano i brže otjecanje vode, odnosno nježno dreniranje iz šume. Ovaj problem je posebno izražen u vrijeme sušnih epizoda (npr. 2000. i 2003. god.) kada, zbog sve ekstremnijih sušnih prilika u regiji, dolazi do pojačanog trenda opadanja podzemnih voda tijekom ljetnog perioda, što je dovelo i do znatnog pove-



Slika 8. Izgled i položaj prve akumulacije na starom koritu Česme  
Figure 8 First water accumulation on the old Česma riverbed

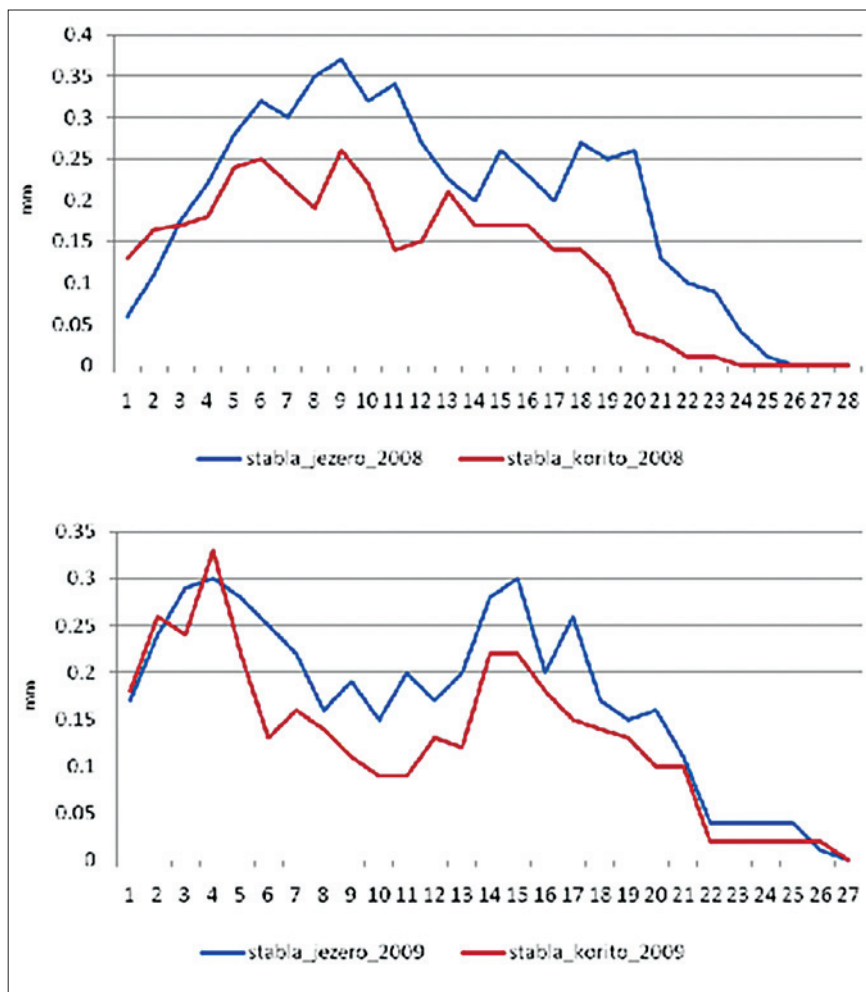
ćanja sušenja šuma. Izgrađena kanalska mreža uz šumske prometnice, povezana na stare vodotoke kao glavne recipijente, djeluje također i na ubrzano površinsko otjecanje vode iz šume nakon većih oborina, te se samo jedan dio uspijeva zadržati u tlu. Kao što smo svjedoci u proteklom desetljeću, kao posljedica globalnog zatopljenja pojavljuju se sve ekstremniji klimatski događaji (toplinski udari, ekstremne oborine) što dovodi do pojačanja prirodnih nepogoda, kao što su suše i poplave (Pilaš et al. 2010). Iako u godišnjem prosjeku temperature i oborine ne odskakuju značajno od višegodišnjih vrijednosti, sve je izraženija neregularnost pojave i stupanj intenziteta, što neupitno izaziva stres kod svih organizama koji sačinjavaju nizinske šumske ekosustave.

Kao jedna od mogućih mjera sprječavanja štetnih posljedica, ponajprije s obzirom na sušu, a poučeni dugogodišnjim iskustvom u vodno-šumskim odnosima, nametnula se izgradnja pregrada na isušnim vodotocima, kako bi se voda što više zadržala unutar šume. Na temelju zaključaka iz prethodno



Slika 9. Izgrađena prva akumulacija na starom koritu Česme  
Figure 9 First accumulation on the old Česma riverbed

obavljene analize ekološko-vodnih uvjeta u šumi Česma, a u suradnji između šumarske znanosti i prakse, na dijelu korita stare Česme u 2007. godini izgrađena je pregrada s preljevnicom (slika 8). Tijekom zimskog razdoblja došlo je do punjenja gornjeg dijela vodotoka vodom, čime je stvorena akumulacija (umjetno jezero) u starom koritu u dužini od dva kilometra.



Slika 10. Dinamika sezonskog debljinskog rasta na prsnoj visini na grupama stabala uz jezero i korito (kontrola).

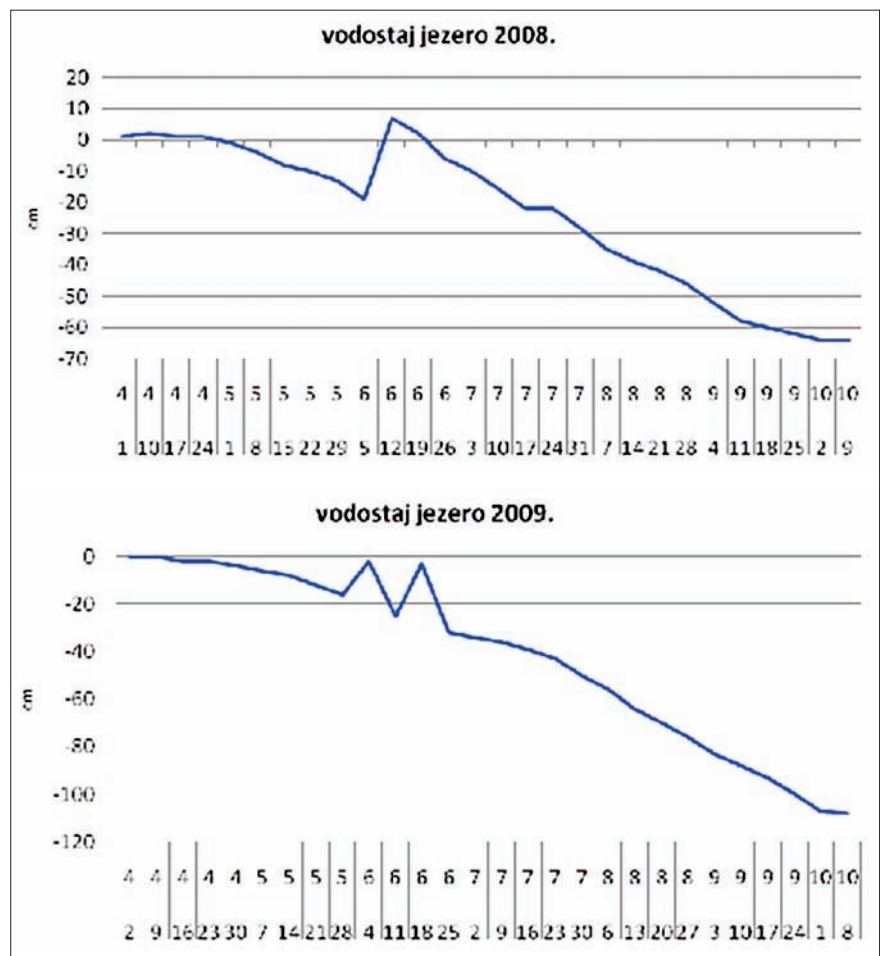
Figure 10 Dynamics of seasonal radial increment on two group of trees, nearby lake and control (no effect)

Radi sagledavanja utjecaja koji je naveden zahvat imao na šumu, tijekom 2008. i 2009. g. izabrane su dvije grupe od po pet stabala hrasta lužnjaka unutar stare rubne sastojine, gotovo podjednake starosti, na kojima je provedeno praćenje sezonskog prirasta. Jedna grupa stabala nalazila se u području zahvata, odnosno uz retenciju, dok se druga grupa stabala (kontrola) nalazila nizvodno izvan utjecaja uz staro korito. Rezultati praćenja sezonskog rasta prikazani su na slici 9. Osim sezonskog prirasta izvršeno je i praćenje vodostaja u akumulaciji za isto razdoblje (Slika 9).

Iako mjereno na relativno malom broju uzoraka stabala, iz ovih preliminarnih rezultata vrlo je očito kako je izgrađena akumulacija imala vrlo pozitivan utjecaj na rast okolnih sastojina hrasta lužnjaka. Povećana zaliha vode te smanjenje ekfiltracije vode iz tla kao rezultat izgrađene akumulacije, rezultirala je osjetno većim sezonskim prirastom kao i produljenjem rasta u vegetacijskom razdoblju. Dodatna zaliha vode u akumulaciji, kojom je omogućena opskrba okolnih sastojina vodom zbog vjerojatnog podizanja razina podzemnih voda, djelovala je na sezonski rast u znatno većoj mjeri, što je vidljivo iz usporedbe s kontrolnom plohom izvan tog utjecaja. Iz ovih rezultata možemo utvrditi kako postoji vrlo pozitivan učinak izgrađene retencije na rast šuma u zaobilju. Osim samog učinka na rast sastojina, povratkom vode u šumu u značajnoj mjeri se djelovalo i na povećanje njene biološke funkcije. Voda je omogućila naseljavanje



Slika 12a. i b. Druga akumulacija na vodotoku Česme  
Figure 12a and b Second dam and accumulation in Česma riverbed







Slika 13. "Dunav"  
Figure 14 "Danube"

znatno veća zaustava s preljevnicom, čime je stvorena znatno veća akumulacija vode nego u prvom zahvatu

(Slika 12 i 13). Izgrađena akumulacija djelovala je na povrat vode u mreži vodotoka na području šume, čiji je utjecaj procijenjen na oko 1000 ha, odnosno na skoro 20 km kanala i tokova unutar šume. Navedenim zahvatom postignuti su uvjeti kakvi su i nekad vladali na tom močvarnom staništu, šuma je poprimila vrlo prirodan izgled, a i stvorene su nove mogućnosti korištenja toga prostora. Kako bi eliminirali eventualne negativne posljedice navedenih zahvata na šumu, na prostoru oko akumulacija osnovan je monitoring koji uključuje daljnje praćenje sezonskog rasta stabala, praćenje uroda sjemena i produkcije lisne mase. Osim praćenja samih sastojina, uspostavljen je i monitoring kvalitete vode, odnosno različitih hidroloških komponenti; oborine, procjeđivanje kroz krošnje, na dvije akumulacije i na novom koritu Česme (tijekom 2010. g. obavljeno je šest uzorkovanja na tih pet lokaliteta). Krajem 2010. g. unutar šume bit će postavljena i automatska mjerna stanica za praćenje osnovnih meteoroloških parametara.

### ZAKLJUČAK – Conclusion

Kod prirodnih šumskih ekosustava kao što su to nizinske šume u Hrvatskoj, trenutne okolnosti, kao i budućí scenariji klimatskih promjena, ukazuju na to kako je neupitna pojava sve izrazitijih ekstremnih klimatskih prilika koje će djelovati na narušavanje uvjeta, a na koje smo navikli kroz dugogodišnju praksu gospodarenja šumama. Šume će sve češće biti izložene trendu dugoročnog smanjivanja raspoložive zalihe vode u tlu te eksczesnim uvjetima koji proizlaze iz vjerojatnih kombinacija sušnih epizoda i toplinskih udara. S druge strane, kao što smo svjedoci u 2010. godini, poplave i njihovo štetno djelovanje bit će također sve intenzivnije zbog pojave sve ekstremnijih oborinskih uvjeta. Međutim, uz promišljanje korištenja svih raspoloživih resursa koje šumarstvo ima na raspolaganju, ovakvi utjecaji u budućnosti, ako se već ne mogu otkloniti, onda se mogu barem djelomično smanjiti, kako bi se umanjio i negativan rizik na šume. Razmatranje budućih aktivnosti, pa čak i onih koje nisu neposredno vezane uz gospodarenje šumama, kao na primjer dvije izgrađene akumulacije na

području Česme, mora postati sastavni dio planiranja u šumarstvu kako bi se umanjili budućí rizici globalnog zatopljenja. Aktivnosti na rekonstrukciji vodnog režima nizinskog ekosustava Česme, pokazale su pozitivan utjecaj na povećanje općih bioloških funkcija i proizvodnost šume, što je utvrđeno u ovom istraživanju. Te aktivnosti, iako antropogene, provedene su uz detaljno sagledavanje prirodnih vodnih uvjeta koji su u šumi nekada vladali, tako da je pomoću njih izvršen korak prema povratu prirodnosti ekosustava, a ni najmanje se nije djelovalo na pogoršanje stabilnosti. Stvaranje ovakvih zaliha vode, osim što je povoljno za ekosustav, značajno je i u puno širem socioekonomskom kontekstu, jer u RH postoji velik broj sličnih šumskih površina s približno istim mogućnostima, a tu zadržanu vodu mogu koristiti i drugi sektori izvan šumarstva. Isto tako, navedena mjera može predstavljati i jednu od mogućnosti za povećanje retencijske sposobnosti slivnog područja pri izradi planova gospodarenja poplavama, kao jedan od segmenata EU direktive o poplavama.

### 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.
- Bates B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu, J.P. Palutikof, 2008: Climate change and water; Technical paper of the intergovernmental panel on climate change; IPCC Secretariat; 210, Geneva
- Blavet, D., E. Mathe, J.C. Leprun, 1999: Relations between soil colour and waterlogging duration in representative hillside of the West African granitogneisic bedrock. *Catena* Vol. 39: 187–210.
- Chang, M., 2006: Forest hydrology, An introduction to Water and Forests, CRC-Taylor & Francis, 474.
- Cowardin, L.M., V. Carter, F.C. Golet, E.T. LaRoe, 1979: Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. U.S. Fish and Wildlife Service, FWS/OBS-79/31, Washington, DC.
- Ćirić M. 1984: Pedologija. Svjetlost, OOUR Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, 312, Sarajevo

- Environmental laboratory. 1987. Corps of Engineers Wetland Delineation Manual. Technical Report Y-87-1. U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- European Environmental Agency. 2008: About climate change; European Environment Agency; Web-document. <http://www.eea.europa.eu/themes/climate/about-climate-change>
- Fiedler, S., M. Sommer, 2004: Water and redox conditions in wetland soils-Their influence on pedogenic oxides and morphology. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. (68): 326–335.
- Hurt, G.W., V.W. Carlisle, 2001: Delineating Hydric Soils. Wetland soils, genesis, Hydrology, Landscapes and Classification, CRC Press LLC, 183–206.
- Ivkov, M., 1994: Simuliranje razvoja sastojina uz pomoć modela ovisnosti debljinskog prirasta o razini podzemnih voda. *Glas. Šum. pokuse* (30): 95–141, Zagreb
- Martinović, J., 2003: Gospodarenje šumskim tlima u Hrvatskoj. Šumarski institut, Jastrebarsko. 521. Jastrebarsko.
- Mayer, B., 1987: Režim podzemnih i površinskih voda u tlima nizinskih šuma Pokupskog bazena u razdoblju 1981–1986. godine. Završna studija. Šumarski institut Jastrebarsko, SVIZ – Zagreb 1–139. Jastrebarsko.
- Mayer, B., 1989: Ekološki značaj režima podzemnih i površinskih voda za nizinske šume Pokupskog bazena. Disertacija, Šumarski fakultet Zagreb.
- 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.
- Mayer, B. 1996: Hidropedološki odnosi na području nizinskih šuma Pokupskog bazena. *Rad. Šumar. Inst.* 31 (1/2):37–89, Jastrebarsko.
- 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.
- Pilaš, I., K.H. Feger, U. Vilhar, A. Wahren, 2010: Multidimensionality of Scales and Approaches for Forest–Water Interactions, Forest Management and the Water Cycle: An Ecosystem-Based Approach, Ecological Studies, Springer Science + Business Media, 351–380
- Richardson, J.L., R.B. Daniels 1993: Stratigraphic and hydraulic influences on soil color development. *Soil Color. SSSA Special Publication* no. 31.
- Tiner, R.W., D. G. Burke, 1995: Wetlands of Maryland. pp. 7. U.S. Fish and Wildlife Service, Hadley, Ma and Maryland Department of Natural Resources, Annapolis, MD, Cooperative publication.
- Vilhar, U, Š., Fajon, 2007: Vpliv gozda in gozdno-gojitvenih ukrepov na hidrološki režim vodozbirnega območja. In: Kovač M (ed) *Gozd in voda: rezultati projekta [Interreg III A].* Gozdarski inštitut Slovenije, Zavod za gozdove Slovenije, 16.–21., Ljubljana
- Vrbek, B., I. Pilaš, N. Pernar, 2010: Observed climate change in Croatia and its impact on the Hydrology of Lowlands, Forest Management and the Water Cycle: An Ecosystem-Based Approach, Ecological Studies, Springer Science + Business Media, 141–163.

*SUMMARY: Amongst the existing forest types in Europe, the specific biological function of water is nowhere more distinctive than in the lowland forest ecosystems. Consequently, no existing forest types are more shaped by historic hydrologic conditions, altered by manmade deviations from the natural water regime and vulnerable to consequences of global warming. The lowermost parts of the lowland forests, the wetlands, present the transitional zones between terrestrial and aquatic ecosystems i.e. ponds, lakes, streams and rivers. Nowadays, due to excessive urbanization and the spread of agriculture, the total area of lowland forests and wetlands has been significantly reduced. One of the largest complexes of alluvial floodplain wetlands and lowland forests in Europe are situated in the South-East Europe, in the Sava and Drava River basins, tributaries to the Danube River. The Sava River is a unique example of a river where the floodplains are still intact, supporting both flood alleviation and biodiversity. Continental lowland forests in Croatia cover an area of more than 200.000 ha with a significant role in forestry production, flood reduction, recharging groundwater reserves, as well as filtering pollutants. The natural forest vegetation consists of mainly hardwood tree*

species such as the common oak (*Quercus robur* L.), field ash (*Fraxinus excelsior* Vahl.), common hornbeam (*Carpinus betulus* L.) and softwood species such as black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Geartn.), poplars (*Populus* sp.) and willows (*Salix* sp.). For the biological diversity of lowland forests and attached wetlands is strongly important specific combination of hydrology and soils. The development of these forests in history was determined by regular seasonal alternations of groundwater tables (hydro period) and periodic flooding. This paper presents the possibilities for the re-establishment of the water regime of lowland forests as one option to reduce the impact of climate change in the future. To reduce negative impacts of anthropogenic alternations in the groundwater regime from the past and to attenuate slow down future very possible prolongation of droughts and water scarcity in the lowlands, various forest managerial and engineering practices could be considered. Basically, there are potentially two main contrasted measures of soil water balance manipulation: drainage of soils (through drainage ditches and channels) which contribute to decreasing the groundwater tables and forest management i.e. (tendering and thinning) which contribute to increased soil water content and increase in the groundwater level. Through these water table management practices, the amount of soil water required for the survival of lowland forests could be maintained to some degree to attenuate the negative hydrologic trends and natural hazards such as droughts. The comprehensive methodological review of activities that must precede such reconstruction activities are presented. As the initial segment all the major components of floodplain ecosystems – the morphology of the terrain, hydrography, soils stratigraphy, vegetation and anthropogenic influences – should be assessed. As a next step methodological options towards how to obtain the knowledge of the natural water regime prior anthropogenic hydrotechnical activities which caused the creation of the ecosystem in its current form are presented. For this purpose the morphology of hydromorphic soils i.e. relict indicators of natural water regime in lowland habitats are assessed. The next step includes the spatial determination of critical areas or hot spots, threatened by excessive falls in the groundwater level on which specific measures can be applied to return to natural water regime conditions (i.e. water retention in dry riverbeds).

*Key words:* Lowland forests, water regime, groundwater, relict indicators, soil morphology, hydro-technical measures