

JE LI HRAST LUŽNJAK U HRVATSKOJ VRSTA KLIMATOGENE RASPROSTRANJENOSTI?

IS THE PEDUNCULATE OAK SPECIES OF
CLIMATOGENIC DISTRIBUTION IN CROATIA?

Oleg ANTONIĆ*

SAŽETAK: U ovom se radu raspravlja o ekološkim uvjetima prostorne razdiobe hrasta lužnjaka u Hrvatskoj. Hrast lužnjak je u Hrvatskoj glavna vrsta drveća u dvije šumske zajednice: *Genisto elatae* - *Quercetum roboris* Ht. 1938 i *Carpino betuli* - *Quercetum roboris* (Anić 1959) emend. Rauš 1969. U prvoj zajednici koja dolazi u poplavnim nizinama, prisutnost hrasta lužnjaka, kao i većine ostalih biljnih vrsta, uvjetovana je dopunskim vlaženjem podzemnom vodom i poplavama, odnosno njegova rasprostranjenost nije klimatogena. Druga zajednica je floristički slična klimatogenoj zajednici hrasta kitnjaka i običnog graba (*Epimedio-Carpinetum betuli* (Ht. 1938) Borhidi 1963). Iako ostale vrste zajednice *Carpino betuli* - *Quercetum roboris* nisu utjecane podzemnom vodom zbog plićeg zakorjenjivanja, prisutnost hrasta lužnjaka, kao vrste koja razvija dubok korijenov sustav, često je (ali ne i uvijek) uvjetovana dopunskim vlaženjem podzemnom vodom i u toj zajednici. To je posebno istaknuto na lakšim tlima s nepovoljnim hidropedološkim karakteristikama (malen kapilarni uspon i kapacitet tla za dostupnu vodu). Pored toga, areali zajednica *Carpino betuli* - *Quercetum roboris* i *Epimedio* - *Carpinetum betuli* imaju sličnu makroklimu, ali se razlikuju geomorfološki – prva zajednica izbjegava nagnute terene, što neizravno ukazuje na vlažnija staništa. Može se općenito zaključiti da je hrast lužnjak u Hrvatskoj rasprostranjen izvan dopunski vlaženih područja (podzemnom vodom i/ili poplavama) samo kada su hidropedološki i/ili geomorfološki uvjeti povoljni.

Poznavanje okolišnih uvjeta koji kontroliraju pridolazak i uspijevanje hrasta lužnjaka na određenom području važno je za gospodarenje šumom, kao i za projektiranje hidrotehničkih zahvata na načelima održiva razvoja. U skladu s tim, trebat će provesti dodatna istraživanja koja će omogućiti detaljno razumijevanje interakcija između okolišnih čimbenika (npr. hidroloških i hidropedoloških karakteristika, evaporacije, transpiracije, oborine) koji zajedno rezultiraju prisutnošću lužnjaka na određenom području, uključujući problem unutarvrstne (ekološke rase hrasta lužnjaka) i međuvrstne (u smjeru hrasta kitnjaka) genetske varijabilnosti.

Ključne riječi: hrast lužnjak, vegetacijski klimaks, makroklima, podzemna voda, zakorjenjivanje, hidropedološke karakteristike, nagib terena, hrast kitnjak.

UVOD – Introduction

Vegetacijski klimaks je u najopćenitijem smislu konačni stadij razvoja vegetacije koji je u ravnoteži s okolišnim uvjetima, odnosno ne mijenja se sve dok su oko-

* Oleg Antonić, Institut Ruđer Bošković, Bijenička 54, Zagreb
e-mail: oantonic@rudjer.irb.hr

lišni uvjeti konstantni. Pojam klimaksa u znanost o vegetaciji uvodi Clements (1916, 1936), definirajući ga kao vegetaciju koja je dominantno uvjetovana klimom šireg područja (makroklimom). Ovakvo shvaćanje pojma klimaksa (teorija monoklimaksa) prihvaćeno je i u nas vrlo primjenjivanom fitosociološkom pristupu Braun-Blanqueta (1964), čemu odgovara i često rabljeni pojam "klimatogena (klimazonalna) vegetacija". Suprotno tome, u teoriji poliklimaksa (npr. Tansley 1935, Daubenmire 1966), na jednom području može postojati više relativno trajnih stadija razvoja vegetacije u relativnoj ravnoteži s okolišem, koji mogu biti dominantno uvjetovani klimom područja (klimatogeni klimaks), ali i drugim okolišnim čimbenicima. Činjenica da bi svi ostali relativno trajni stadiji nekog područja prešli u klimatogeni klimaks kada bi prestalo djelovanje okolišnih čimbenika koji ih uvjetuju, u ovom je pristupu samo teorijskog značenja, jer se odnosi na krupniju vremensku skalu, redovno podrazumijevajući geomorfološke promjene. S druge strane, slijedeći teoriju monoklimaksa, na nekom užem području može postojati više klimakasnih vegetacijskih tipova samo na različitim geološkim podlogama (npr. u Gorskom kotaru šuma bukve i jele (*Abieti - Fagetum* s.l.) na vapnencima i dolomitima, a šuma jele s rebračom (*Blechno - Abietetum* Ht. 1950) na silikatima) ili tamo gdje razvedeni reljef lokalno modificira globalnu prostornu razdiobu klimatskih čimbenika (vidi npr. Antičić 1996a, 1996b, Antičić i dr. 1997). Spomenute dvije teorije u sebi zapravo i nisu proturječne: monoklimaks je hipotetski konačni stadij razvoja vegetacije bez obzira na vrijeme potrebno da se on dostigne, dok je poliklimaks skup svih relativno trajnih vegetacijskih stadija nekog područja koji su, svaki na svome staništu, rezultat singenetske sukcesije (npr. od livade, preko šikare i pionirske šume, do relativno trajnog stadija, usporedi npr. Glavač 1987).

Obilježje klimaksa, osim vegetacijskim tipovima (biljnim zajednicama), može se pridijeliti i određenoj

vrsti drveća. Slijedimo li teoriju monoklimaksa, u vrste klimaksa možemo ubrojati samo one koje barem u jednom dijelu svog areala grade trajne, makroklimatski uvjetovane vegetacijske stadije. Takve su primjerice u nas hrast kitnjak (*Quercus petraea* Liebl.) i bukva (*Fagus sylvatica* L.). Slijedimo li teoriju poliklimaksa, tada u vrste klimaksa možemo pribrojiti i smreku (*Picea abies* L.) koja gradi trajne stadije u mrazištima na našem kršu (npr. *Aremonio-Piceetum* Ht. 1938) uvjetovane ponajprije specifičnom topoklimom, koja ne pogoduje razvoju makroklimatskog klimaksa (*Abieti - Fagetum* s.l.). Takvi trajni vegetacijski stadiji u teoriji monoklimaksa označavaju se često pojmom "paraklimaks" (usporedi npr. Vukelić i Rauš, 1998). Pionirske vrste koje ne grade trajne stadije (npr. breza, *Betula pendula* Roth), nisu ni prema jednom pristupu vrste klimaksa. Mnoge vrste koje su u jednom dijelu svog areala klimatogenog rasprostranjenja, u drugom dijelu areala grade neklimatogene biljne zajednice. Tako primjerice jela (*Abies alba* Mill.) osim gore spomenutih klimatogenih zajednica gradi i biljnu zajednicu s milavom (*Calamagrostio - Abietetum* Ht. 1950), čiji je sukcesijski razvoj prema klimaksu (*Abieti - Fagetum* s.l.) znatno usporen edafski (strmi i kameniti vapnenački tereni sa slabo razvijenim tlama).

Prema teoriji poliklimaksa, hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) je u nas vrsta klimaksa koja u nizinskim područjima gradi trajne stadije. Prema teoriji monoklimaksa, on bi to bio samo u slučaju da gradi sastojine čije je rasprostranjenje klimatogeno, bez obzira na potrebu za dopunskim vlaženjem zone zakorjenjivanja poplavama i/ili podzemnom vodom. Pitanje klimatogenosti rasprostranjenja hrasta lužnjaka u Hrvatskoj nije samo teorijskog značenja, nego je također iznimno važno s gledišta optimalnog gospodarenja našom najvrijednijom vrstom drveća, pogotovo u svjetlu razloga propadanja lužnjakovih šuma (usporedi npr. Prpić i Anić, 2000). To je pitanje predmet ovog rada.

RASPRAVA – Discussion

Interpretacija literaturnih podataka – Interpretation of literature data

Šume u kojima je hrast lužnjak glavni edifikator u nas se uglavnom rasprostiru u riječnim nizinama uz Dravu, Savu, Kupu, Dunav i njihove pritoke (Rauš, 1996). Te šume se sintaksonomski općenito svrstavaju u dvije glavne zajednice: šumu hrasta lužnjaka s velikom žutilovkom (*Genisto elatae - Quercetum roboris* Ht. 1938) i šumu hrasta lužnjaka i običnog graba (*Carpino betuli - Quercetum roboris* (Anić 1959) emend. Rauš 1969). Prva zajednica, poznata i kao "slavonska šuma hrasta lužnjaka", sintaksonomski pripada svezi *Alno - Quercion roboris* Ht. 1954, koja obuhvaća vlažne nizinske šume na povremeno plavljenim terenima

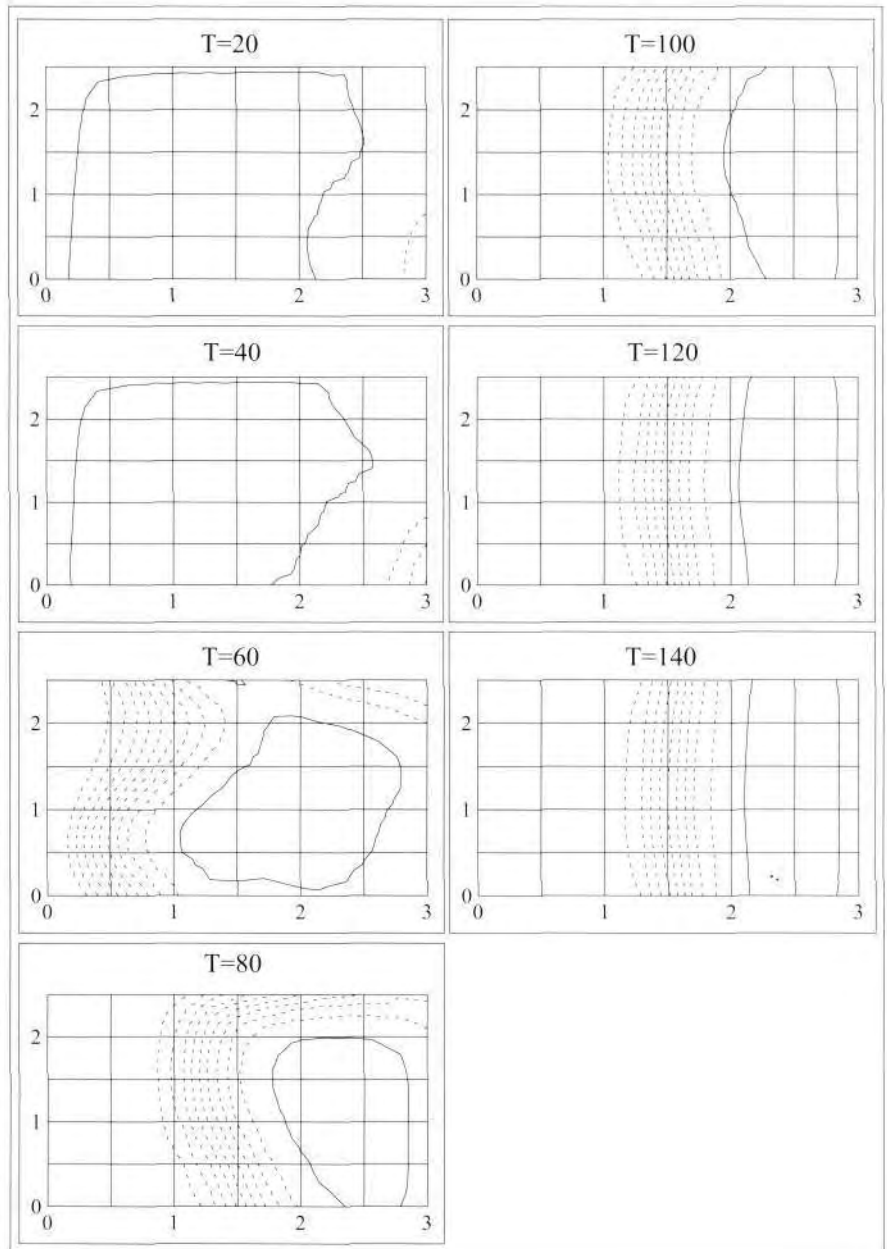
(nize), s relativno visokom razinom podzemne vode (usporedi npr. Vukelić i Rauš, 1998). Te šume u smislu mikrozonacije vegetacije pridolaze iznad šuma iz sveze *Alnion glutinosae* Malcuit 1929, u kojima dominiraju crna joha i poljski jasen, i koje obraštaju redovito plavljene terene s čestom stagnirajućom vodom i visokom razinom podzemne vode (bare), a ispod šuma hrasta lužnjaka i običnog graba iz sveze *Carpinion betuli* Isll. 1932, koje obraštaju terene izvan domašaja poplavne i stagnirajuće vode, uz nižu razinu podzemne vode (grede).

Sukladno tome, šuma hrasta lužnjaka s velikom žutilovkom nije klimatogena zajednica, jer je dominantno uvjetovana dopunskim vlaženjem podzemnom vodom i povremenim poplavama, pa u tom dijelu svog areala ni lužnjak nije vrsta klimatogenoga rasprostranjenja. Značenje dopunskog vlaženja dodatno ilustrira fragmentarni pridolazak te zajednice na nadmorskoj visini od 440 m u Drežničkom polju, te u Motovunskoj šumi u dolini rijeke Mirne unutar submediteranske vegetacije, u oba slučaja daleko izvan glavnoga areala u panonskoj nizini (usporedi npr. Rauš, 1996).

S druge strane, tipična šuma lužnjaka s običnim grabom (*Carpinus betuli* - *Quercetum roboris typicum* Rauš 1969), u kojoj ostali fitoindikator (usporedi Rauš et al. 1992, Vukelić i Rauš, 1998) upućuju na odsutnost dopunskog vlaženja rizosfere poplavama i/ili podzemnom vodom, općenito se smatra klimaksom nizinskog područja (Vukelić i Rauš, 1998), shvaćenog u smislu teorije monoklimaksa. Posve je jasno da se najvažniji fitoindikator te zajednice, obični grab (*Carpinus betulus* L.) može smatrati vrstom drveća čije je rasprostranjenje klimatogeno, jer on ne podnosi stajaću vodu i visoku razinu podzemne vode, a također gradi i klimatogene sastojine s hrastom kitnjakom na višim terenima (*Epimedio - Carpinetum betuli* (Ht. 1938) Borhidi 1963). Klimatogenost pridolaska lužnjaka u toj zajednici nije tako očita, ponajprije zbog znatno dubljeg zakorjenjivanja.

Istraživanje zakorjenjivanja hrasta lužnjaka u šumi Repaš u Prekodravlju (Prpić i dr. 1987, vidi također Prpić i Anić, 2000), pokazuju da na tlima lakše teksture poniruće korijenje hrasta lužnjaka dopire do ljetnih razina podzemne vode i u zajednici s običnim grabom (gotovo do 3 m dubine), u jednom slučaju čak probijajući sloj matičnog supstrata šljunka debljine 1.5 m. Isto tako, simulacije prirašćivanja hrasta lužnjaka u zavisnosti od razine podzemne vode, korištenjem empirijskog matematičkog modela razvijenog za isto područje

(Antonić et al. 1999, Antonić et al. u tisku-a), pokazuju (slika 1.) da su mlade sastojine tolerantne na različite razine podzemne vode, dok se starošću zona tolerantnosti smanjuje, da bi se nakon starosti od približno stotinu godina stabilizirala u opsegu koji je cijeli u zoni korijenovog sustava, bez obzira na biljnu zajednicu.



Slika 1. Vjerojatnost da je kombinacija srednje godišnje dubine do podzemne vode (apscisa, vrijednosti u metrima) i godišnji opseg variranja podzemne vode (ordinata, vrijednosti u metrima) na referentnoj točki u šumi Repaš prihvatljiva sa stajališta održavanja šumskih ekosustava: T = starost hrasta lužnjaka u godinama. Puna vjerojatnosna izolinijska predstavlja vjerojatnost od 100 %. Ostale vjerojatnosti (od 10 do 90 %) prikazane su točkastim izolinijskama s korakom od 10 %.

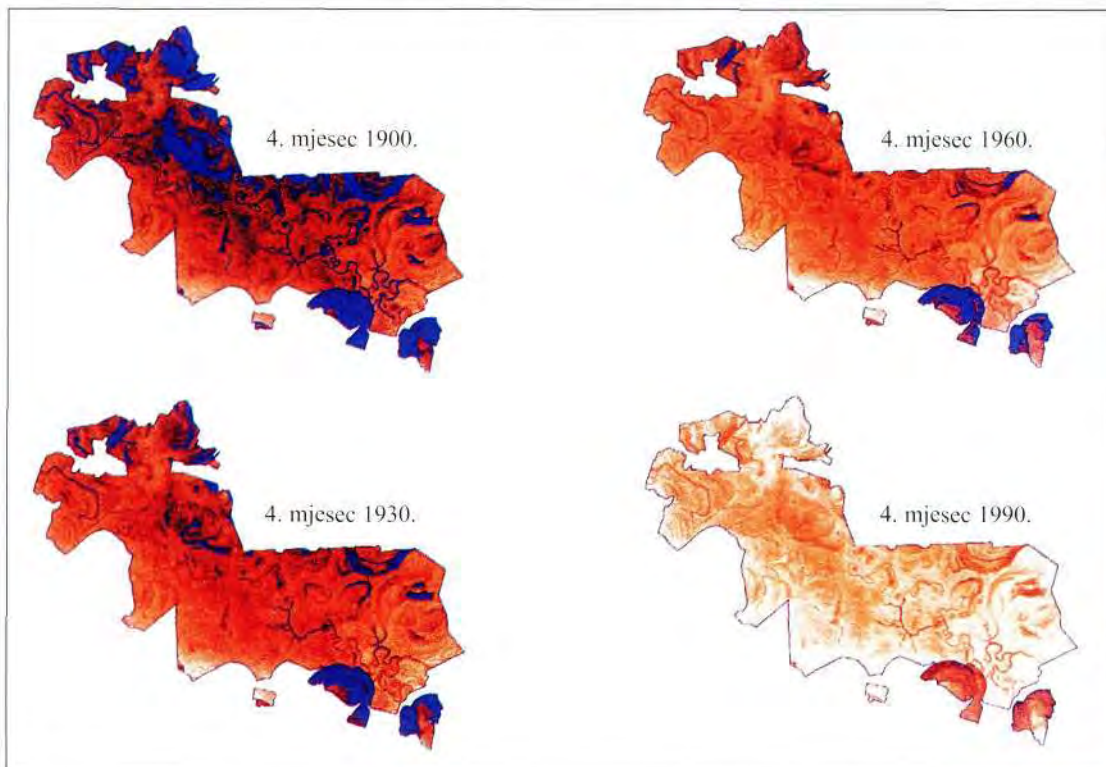
Figure 1. Probability that combination of mean annual groundwater depth (x-axis, values in meters) and annual range of groundwater levels (y-axis, values in meters) at the referent point in Repaš forest is acceptable from the view of survival of forest ecosystems. T = pedunculate oak age (year). Solid line of probability contour represents probability of 100 %. Other probabilities (from 10 % to 90 %) are shown as dotted lines of contours with step of 10 %.

Rekonstrukcije prostornih razdioba srednje mjesečne dubine do podzemne vode matematičkim modelom za područje šume Repaš (slika 2.), pokazuju značajan pad razina podzemne vode tijekom dvadesetog stoljeća (Antonić et al. 1999, Antonić et al. u tisku-a), što se tumači produblјivanjem korita rijeke Drave (Biondić i Vidaković-Šutić, 1998), koje je u odnosu na prirodni proces vjerojatno ubrzano hidrotehničkim mjerama zaštite od poplava (presijecanje meandara). Posljedica toga je vegetacijska sukcesija obilježena ponajprije značajnim širenjem običnog graba (Prpić i dr. 1987). Dendrokronološka analiza dugih izvrtaka iz zrelih sastojina u Repašu (Hatić i dr. 2000) pokazuje da je lužnjak na spomenute promjene, koje su se odigrale postupno tijekom cijele ophodnje, reagirao znatnim povećanjem prirasta uslijed porasta boniteta staništa. Može se pretpostaviti da su te promjene izvršile selekciju onih jedinki koje su se mogle bolje prilagoditi na suše stanišne uvjete, ponajprije slijedeći podzemnu vodu korijenovim sustavom na veću dubinu. U zadnjem desetljeću, posebice u sušnim godinama i starijim sastojinama, u Repašu su zabilježena značajna sušenja lužnjaka (baza podataka JP Hrvatske šume), što upućuje

na pretpostavku da daljnji pad razine podzemne vode vodi ugrožavanju opstanka lužnjaka na tom području.

Na temelju svega iznesenog, može se zaključiti da je na području Repaša pridolazak lužnjaka uvjetovan dopunskim vlaženjem rizosfere podzemnom vodom čak i u zajednici s grabom. Da je to tako i na nekim drugim područjima, neizravno sugerira Mayer (1996) prikazujući općeniti odnos lužnjakovih zajednica i pripadnih tipova tla u Hrvatskoj, iz čega proizlazi da zajednica lužnjaka i graba redovito dolazi i na hipoglejnim tlima, što podrazumijeva utjecaj podzemne vode na pedogenezu.

Suprotno tomu, na tlima teže teksture, najčešće razvijenim iznad prapora kao matične podloge, zajednica lužnjaka i graba dolazi i na višim nadmorskim visinama (do 300 m), dakle dosta iznad korita nizinskih rijeka i izvan dosega podzemne vode (Rauš i dr. 1992, Vukelić i Rauš, 1998). Sukladno tomu, lužnjak je i u ostalom dijelu svog areala (npr. Velika Britanija, Sjeverozapadna Europa) dominantna vrsta na tlima teže teksture do 300 m nadmorske visine (Archibold, 1995), dok u južnijem dijelu areala (Pirineji, Apenini, Centralne Alpe) pridolazi i iznad 1100 m (vidi npr. Jovanović i Vukićević, 1983). To znači da postoje staništa



Slika 2. Primjeri prostornih razdioba srednje mjesečne dubine podzemne vode u šumi Repaš, procijenjene matematičkim modelom za svaki mjesec svake godine tijekom 20. stoljeća. Travanj je odabran za prikaz kao mjesec u kojemu su maksimalne razine podzemne vode najčešće (utjecaj topljenja snijega). Vrijednosti su prikazane u skali smeđe boje od 0 m - tamno do 3 m (maksimalna dubina zakorjenjivanja) i više - svjetlo. Plava boja indicira depresije s površinskom vodom.

Figure 2. Examples of spatial distributions of monthly mean groundwater depth in forest Repaš estimated by the mathematical model for each month of each year during the 20th century. April is chosen for illustration as the month in which maximal groundwater levels are most frequent (influence of snow melt). Values are shown in the brown scale from 0 m - dark to the 3 m (maximal depth of rooting) and more - light. Blue indicates depressions with surface water.

na kojima lužnjak ne zavisi o dopunskom vlaženju, iako treba imati na umu da je u našoj zemlji na takvim staništima često osjetljiv na sušu (Prpić, 1996). Bez obzira na to, mora se zaključiti da je hrast lužnjak vrsta klimatogenog rasprostranjenja barem u dijelu svog areala u Hrvatskoj.

Iz toga slijedi da potreba lužnjaka za dopunskim izvorima vlage na konkretnom staništu zavisi i od drugih okolišnih čimbenika, ponajprije hidropedoloških svojstava (vodni kapaciteti tla, kapilarno podizanje), te klimatskih čimbenika koji utječu na vodni režim (oborina, evaporacija, transpiracija). To je primjetno čak i unutar relativno malih područja poput šume Repaš, na što ukazuje složenost spomenutog matematičkog modela priraščivanja hrasta lužnjaka (Antonić i dr. 1999, An-

tonić i dr. u tisku-a). U tom modelu dominiraju one varijable koje opisuju interakcije izvornih okolišnih čimbenika (dubina podzemne vode, opseg variranja podzemne vode, evapotranspiracija, kapilarni uspon, kapacitet tla za vodu), drugim riječima oblik zavisnosti prirasta od jednog okolišnog čimbenika mijenja se promjenom drugog.

Na temelju literaturnih podataka, može se zaključiti da se pitanje klimatogenosti rasprostranjenja hrasta lužnjaka u Hrvatskoj, odnosno potencijalni utjecaj makroklimе s jedne i eventualna potreba za dopunskim vlaženjem podzemnom vodom s druge strane, ne mogu promatrati odvojeno od hidropedoloških svojstava na konkretnom staništu.

Usporedba okolišnih značajki areala šuma lužnjaka i kitnjaka s grabom – Comparison of environmental characteristics of areas under pedunculate and sessile oak forests with common hornbeam

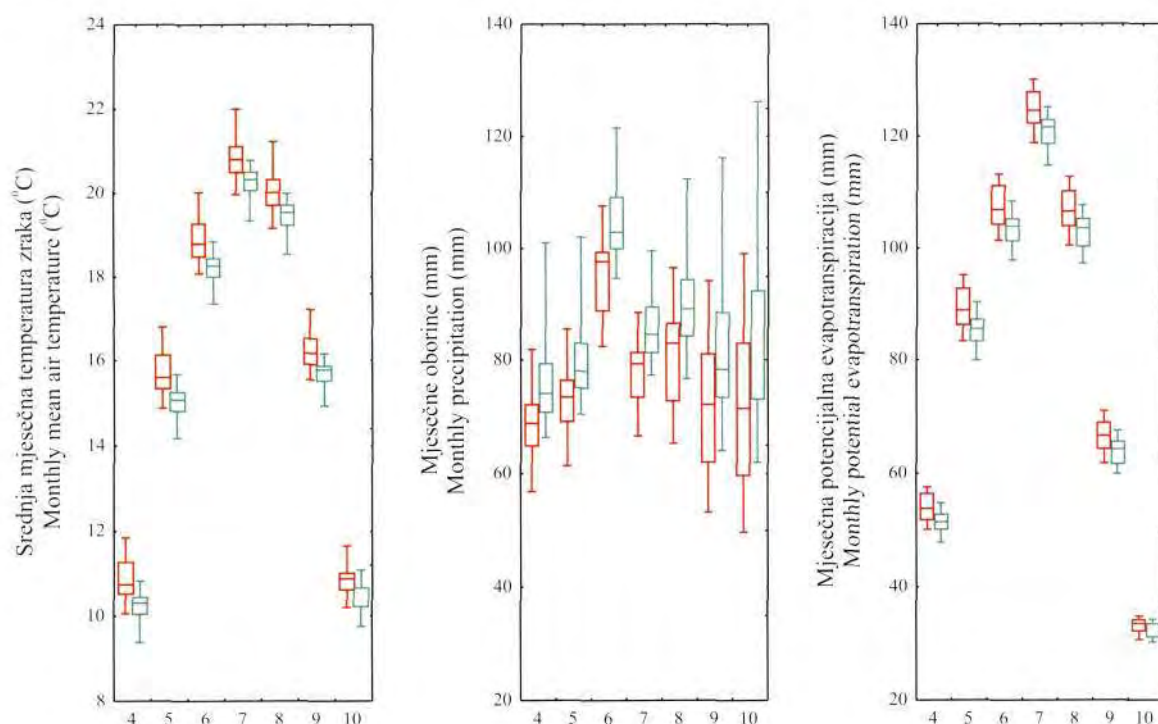
U visinskoj zonaciji vegetacije, iznad šume hrasta lužnjaka i običnog graba, u našim krajevima pridolazi klimatogena zajednica hrasta kitnjaka i običnog graba (*Epimedio-Carpinetum betuli*). Te dvije zajednice pripadaju istoj svezi (*Carpinion betuli*) i između sebe su floristički znatno sličnije (usporedi npr. Vukelić i Rauš 1998), nego što su to dvije gore spomenute lužnjakove zajednice. Hipotetski govoreći, kada hrast lužnjak kod nas nigdje ne bi bio vrsta klimatogenog rasprostranjenja, tada bi jamačno u ravničarskom području panonske Hrvatske to bio hrast kitnjak, i to u zajednici s običnim grabom. Sukladno tomu, pitanju iz naslova može se pristupiti i usporedbom makroklimе u arealima dvije spomenute zajednice, što je za potrebe ovoga rada i učinjeno za područje panonske Hrvatske. Kao izvor podataka o vegetaciji poslužila je karta realne šumske vegetacije Hrvatske u mjerilu 1:500000 (Trinajstić i dr. 1992), koja je digitalizirana i rasterizirana uz prostornu razlučivost od 300 x 300 m.

Kao izvor podataka za tri odabrana makroklimatska pokazatelja (srednja mjesečna temperatura, mjesečna oborina i mjesečna potencijalna evapotranspiracija) korišteni su interpolacijski modeli visoke pouzdanosti (Antonić i dr., u tisku-b), uz osrednjavanje za razdoblje 1956-1995. Za prostornu interpolaciju korišteni su podaci mjereni na 127 meteoroloških postaja za temperaturu zraka i oborinu, dok je potencijalna evapotranspiracija za svaku postaju procijenjena modelom prema Priestly i Taylor (1972), u funkciji srednje mjesečne temperature zraka i srednje mjesečne Sunčeve iradijacije na površini tla (izračunate iz iradijacije na vrhu atmosfere i naoblake, Nikolov i Zeller, 1992). Interpolacija klimatskih pokazatelja provedena je uzimajući u obzir nadmorsku visinu, na istoj mreži 300 x 300 m, s kojom je rasterizirana karta šum-

ske vegetacije, a svi su sadržaji objedinjeni u jednostavni geografski informacijski sustav.

Razdioba makroklimatskih pokazatelja unutar areala zajednica lužnjaka i kitnjaka s grabom prikazana je grafički za svaki mjesec tijekom vegetacijske sezone (slika 3.). Iako su razlike između zajednica očite za sve pokazatelje u svim mjesecima, može se isto tako uočiti da s obzirom na sve pokazatelje i u svim mjesecima postoji preklapanje u približno jednoj polovini do tri četvrtine ukupnog areala svake zajednice. Iz toga se može pretpostaviti da granica rasprostranjenja te dvije zajednice nije isključivo kontrolirana makroklimom, te da je u području jednake makroklimе lužnjak konkurentniji zbog utjecaja dopunskog vlaženja podzemnom vodom i/ili poplavama. S obzirom da se danas, ponajprije zbog djelovanja čovjeka (poljoprivreda, promet, urbanizacija), areali te dvije zajednice u Hrvatskoj gotovo nigdje ne dodiruju (usporedi Trinajstić i dr. 1992), može se pretpostaviti da su makroklimatske razlike između područja njihovog prirodnog rasprostranjenja još i manje. Bez obzira na to, detaljno sagledavanje makroklimatskih razlika između areala lužnjaka i kitnjaka u Hrvatskoj trebalo bi obuhvatiti i druge makroklimatske pokazatelje (primjerice prema Ellenbergu 1978, kitnjak je na području srednje Europe osjetljiviji od lužnjaka na zimske studeni), što treba biti predmetom budućih istraživanja. Ipak, važno je uočiti da postojeće razlike u oborini i evapotranspiraciji prikazane u ovom radu, obje idu u smjeru većeg potencijalnog vodnog deficita u arealu lužnjakove zajednice u odnosu na kitnjakovu, što potencijalno naglašava značaj podzemne vode kao izvora dopunskog vlaženja.

U prilog tomu govore i razlike između promatranih zajednica u značajkama reljefa. Na slici 4. prikazana je razdioba površina pod obje zajednice prema nagibu te-



Slika 3. Razdioba makroklimatskih pokazatelja unutar sadašnjih areala zajednice hrasta lužnjaka i običnog graba (smeđi likovi) i zajednice hrasta kitnjaka i običnog graba (zeleni likovi). Linija unutar pravokutnika predstavlja medijanu. Gornja i donja granica pravokutnika predstavljaju opseg unutar kojeg pada 50 % svih vrijednosti ($\pm 25\%$ od medijane). Dužina iznad i ispod pravokutnika predstavlja opseg unutar kojeg je 95 % svih vrijednosti ($\pm 42.5\%$ od medijane).

Figure 3 Distribution of macroclimate parameters within the recent areas of pedunculate oak - common hornbeam community (brown shapes) and sessile oak - common hornbeam community (green shapes). The line within rectangle represents the median. Upper and lower boundary of rectangle represent range within which 50 % of all values fall ($\pm 25\%$ from median). The segments above and below of rectangle represent range within which is 95 % of all values ($\pm 42.5\%$ from median).

rena (izvedenog iz digitalnog visinskog modela razlučivosti 300 x 300 m) za područje cijele panonske Hrvatske. Lužnjakova zajednica u velikoj većini svog areala dolazi na terenima praktično bez nagiba, što se može interpretirati kao težnja vlažnijem staništu na dva načina: 1) u smislu minimizacije površinskog i bočnog otjecanja (maksimalno iskorištenje oborine) i 2) u smislu potencijalnog kontakta rizosfere s podzemnom vodom. Kitnjakova zajednica, iako također najčešća na ravničarskim terenima, dolazi i na nagnutim terenima, što posredno oslikava njezinu dominantnu zavisnost o makroklimi.

Sve izneseno upućuje na zaključak da se zajednica lužnjaka i graba u značajnom dijelu svog današnjeg areala nalazi pod utjecajem dopunskog vlaženja. U kontekstu ove rasprave važno je pitanje u kojoj mjeri naša ravničarska područja u kojima se ne očituje utjecaj dopunskog vlaženja potencijalno pripadaju lužnjaku, a u kojoj kitnjaku. Procjene u tom smjeru znatno su otežane već spomenutom činjenicom da je upravo u zoni dodira areala lužnjaka i kitnjaka najizraženiji antropogeni utjecaj.

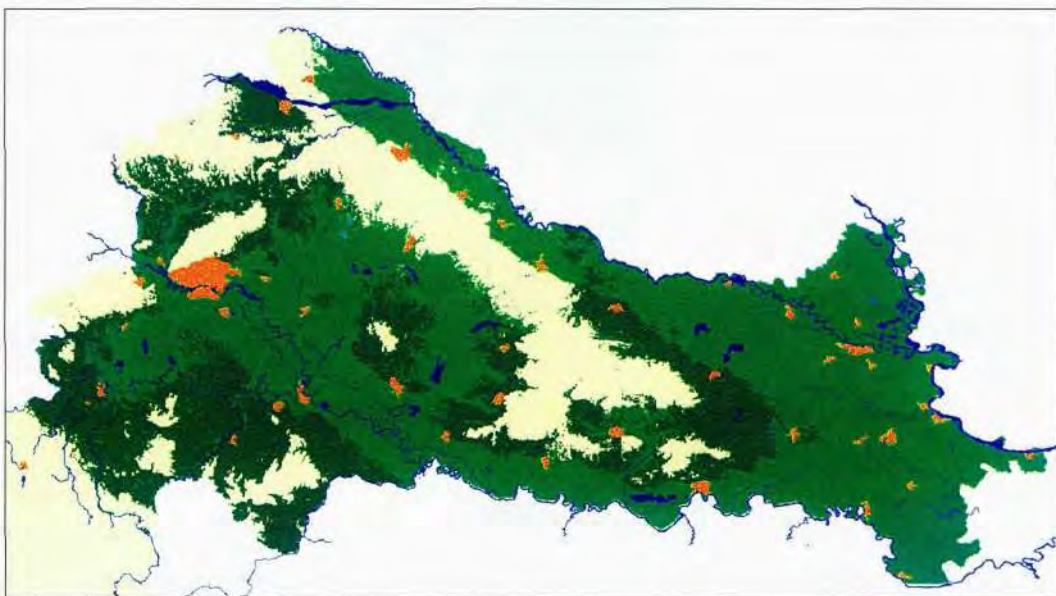
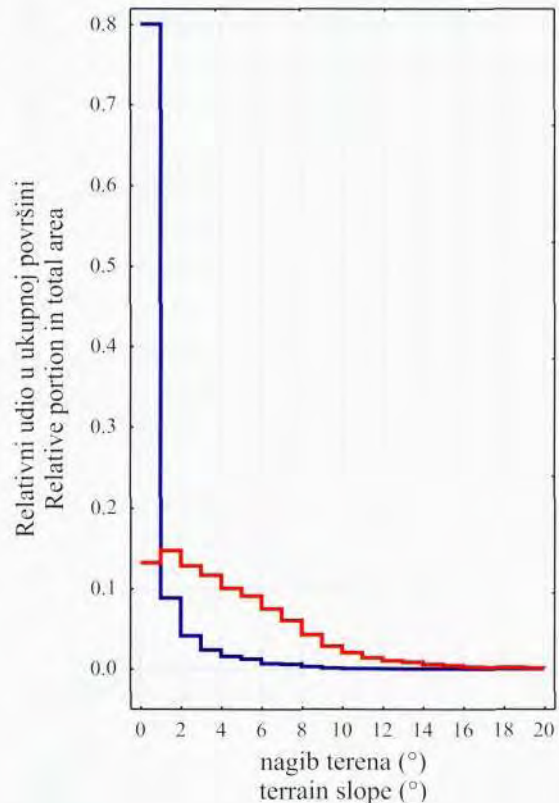
Antičić i dr. (2000) razvili su matematički model

predviđanja prostorne razdiobe glavnih tipova šuma u Hrvatskoj u funkciji prostornih razdioba makroklimatskih pokazatelja (srednja mjesečna temperatura zraka, mjesečna oborina, srednja mjesečna Sunčeva iradijacija na površini tla, mjesečna evapotranspiracija), te osnovnih značajki reljefa (nagib i orijentacija terena). Prostorne razdiobe spomenutih makroklimatskih pokazatelja izvedene su prostornom interpolacijom mjerenja na 127 meteoroloških postaja uz uvažavanje nadmorskih visina iz digitalnog visinskog modela (Antičić i dr., u tisku-b), te osrednjene za razdoblje 1956-1995. Podaci o šumskoj vegetaciji preuzeti su od Trinajstića i dr. (1992) i poopćeni na devet glavnih klimatogenih tipova – vegetacijskih zona (usporedi Trinajstić i dr. 1992 i Antičić i dr. 2000), koje u sebi uključuju edafski uvjetovane zajednice. U tom poopćenju prvi tip (nizinske bjelogorične šume) objedinjuje šume hrasta lužnjaka, barske šume poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) i crne johe (*Alnus glutinosa* (L.) Gärtn.), te ritske šume vrba (*Salix* sp.) i topola (*Populus* sp.). Drugim riječima, u izgradnji spomenutog modela prejudicirana je klimatogenost rasprostranjenja hrasta lužnjaka u zajednici s grabom na području

cijelog areala te zajednice u Hrvatskoj, u smislu hipotetskog završnog stadija u sukcesiji svih ostalih tipova šuma koje pridolaze na istom području. Drugi tip (prigorske bjelogorične šume) objedinjuje klimatogene i edafske šume hrasta kitnjaka. Ostali tipovi nisu bitni za ovu raspravu. Model je razvijen kao neuronska mreža, koja za svaki od devet glavnih šumskih tipova računa vjerojatnost pojave za zadane makroklimatske parametre i osnovne značajke reljefa. Konačna klasifikacija određene prostorne jedinice (300 x 300 m) s obzirom na njezin makroklimat i osnovne značajke reljefa u određeni vegetacijski tip, provodi se odabirom onog tipa koji ima najveću vjerojatnost pojave. Ukupna točnost klasifikacije modelom za područje cijele Hrvatske u odnosu na kartiranu vegetaciju iznosi približno 80 %. S tim se modelom može procijeniti vjerojatnost pojave određenog tipa i izvan njezinog sadašnjeg areala (model potencijalne šumske vegetacije), što je za potrebe ovoga rada i učinjeno za spomenuti prvi i drugi tip u području panonske Hrvatske (slika 5.).

Slika 4. Razdioba nagiba terena unutar sadašnjih areala zajednice hrasta lužnjaka i običnog graba (plava linija) i zajednice hrasta kitnjaka i običnog graba (crvena linija).

Figure 4 Distribution of terrain slopes within the recent areas of pedunculate oak - common hornbeam community (blue line) and sessile oak - common hornbeam community (red line).



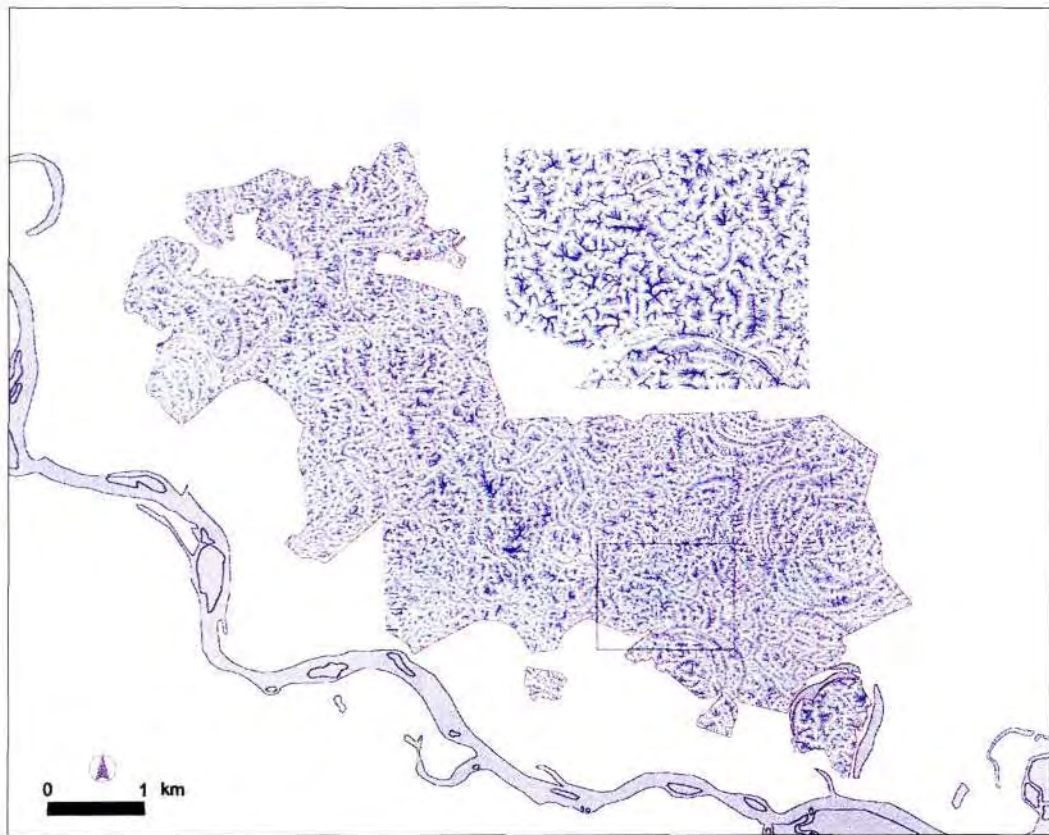
Slika 5. Model prostorne razdiobe glavnih tipova šuma u Hrvatskoj (potencijalna šumska vegetacija) izveden iz makroklimat i osnovnih značajki reljefa (Antoničić et al., 2000). Svjetlo zeleno - nizinske bjelogorične šume (glavna vrsta je hrast lužnjak), tamno zeleno - prigorske bjelogorične šume (glavna vrsta je hrast kitnjak), žuto - ostali tipovi (gorske šume bukve, visokogorske šume bukve i jele). Plavo - vodene površine, smeđe - urbana područja.

Figure 5 The model of spatial distribution of main forest types in Croatia (potential forest vegetation) derived from macroclimate and basic relief characteristics (Antoničić et al., 2000). Light green - lowland deciduous forests (main species is pedunculate oak), dark green - submontane deciduous forests (main species is sessile oak), yellow - other types (montane beech forests, altimontane beech-fir forests). Blue - surface water, brown - urban areas.

Na slici je vidljivo da u modeliranoj potencijalnoj šumskoj vegetaciji u panonskoj Hrvatskoj tip s lužnjakom zauzima vrlo velike površine, a tip s kitnjakom čak ponegdje (sjever Hrvatske) potpuno izostaje iz vegetacijske zonacije, pa se na tip s lužnjakom izravno nastavlja brdske šume bukve. Takav se rezultat iz perspektive gornje rasprave može smatrati nerealnim i uzrokovao je ponajprije činjenicom da korišteni model ne uzima u obzir utjecaj podzemne vode, predviđajući rasprostranjenje lužnjaka samo na temelju makroklimi i osnovnih značajki reljefa.

Prirodno razgraničenje areala lužnjaka i kitnjaka, kao i precizno prostorno određenje klimatogenosti luž-

njakovog rasprostranjenja, moći će se izvesti tek kada se model potencijalne šumske vegetacije unaprijedi ugradnjom ostalih potencijalnih makroklimatskih procjenitelja (npr. minimalne temperature zraka, vlaga zraka), ali i procjenitelja koji opisuju utjecaj dopunskog vlaženja podzemnom i poplavnom vodom. To su ponajprije značajke tla povezane s teksturom (kapilarno podizanje, vodni kapaciteti tla), zatim dubina do podzemne vode, te značajke reljefa poput potencijalne akumulacije površinskim tečenjem (Beven i Kirkby 1979, Burt i Butcher 1985, vidi sliku 6.) i dubine u lokalnim sabirnicama vode (Antonić 1996b, Antonić i dr. u tisku-c, vidi sliku 7.).

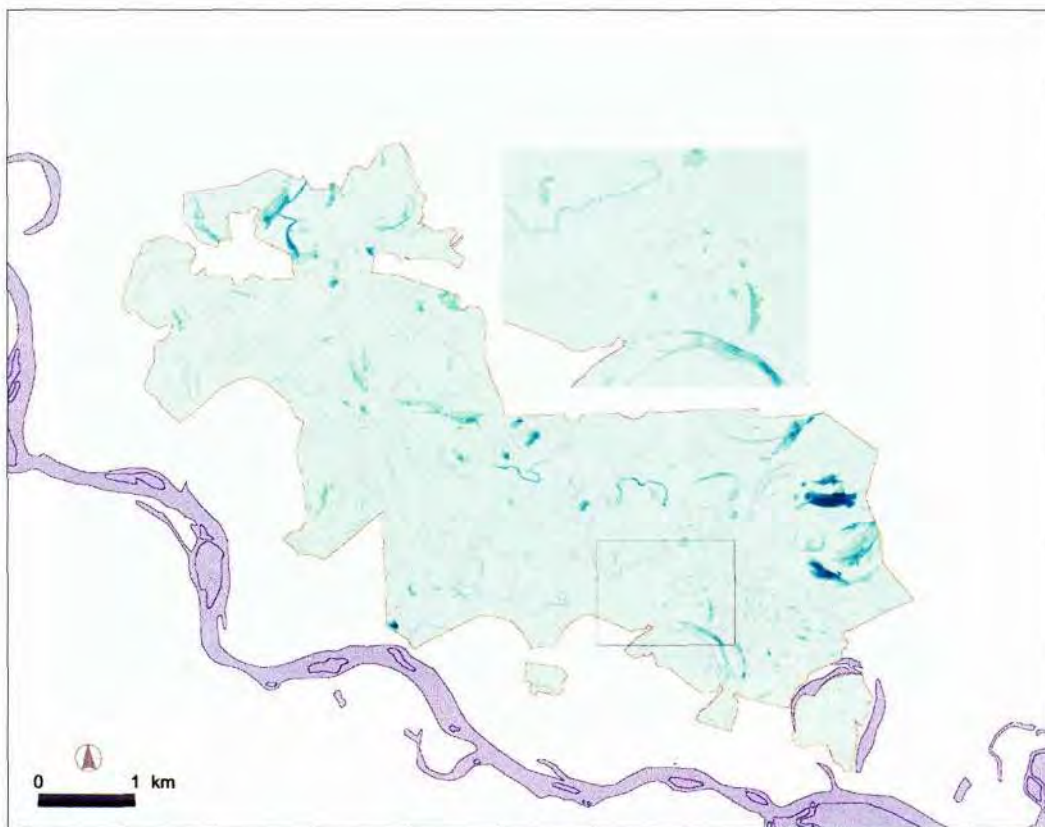


Slika 6. Prostorna razdioba indeksa potencijalne akumulacije površinskim tečenjem u šumi Repaš, prikazana u skali plave boje. Najtamnija područja predstavljaju potencijalne vodotoke ili depresije sa stajaćom vodom.

Figure 6 Spatial distribution of potential flow accumulation index in Repaš forest, shown in the blue scale. The darkest areas represent potential water flows and depressions with stagnant water.

Može se očekivati da će biti potrebna i dodatna istraživanja u području fiziologije obje vrste (transpiracijski koeficijent, građa lista i puči), te u području hidrologije i hidropedologije naših ravničarskih slivova, s posebnim naglaskom na vjerodostojnom i reprezentativnom monitoringu podzemne vode i vlažnosti tla u rizosferi.

Pri tome će trebati uzeti u obzir i utjecaj unutarvrstne (ekološke rase) i međuvrstne genetske varijabilnosti lužnjaka i kitnjaka, kao dvije filogenetski vrlo srodne vrste, čija specijacija nije do kraja razjašnjena (usporedi npr. Kleinschmit i Kleinschmit 2000).



Slika 7. Prostorna razdioba dubine u lokalnim sabirnicama za šumu Repaš, prikazana u skali zelene boje od svjetlog (0 m, otvoren teren izvan sabirnice) do tamnog (2 m).

Figure 7 Spatial distribution of depths in sinkholes for Repaš forest, shown in the green scale from light (0 m, open slope out of the sinkhole) to the dark (2 m).

ZAKLJUČAK – Conclusion

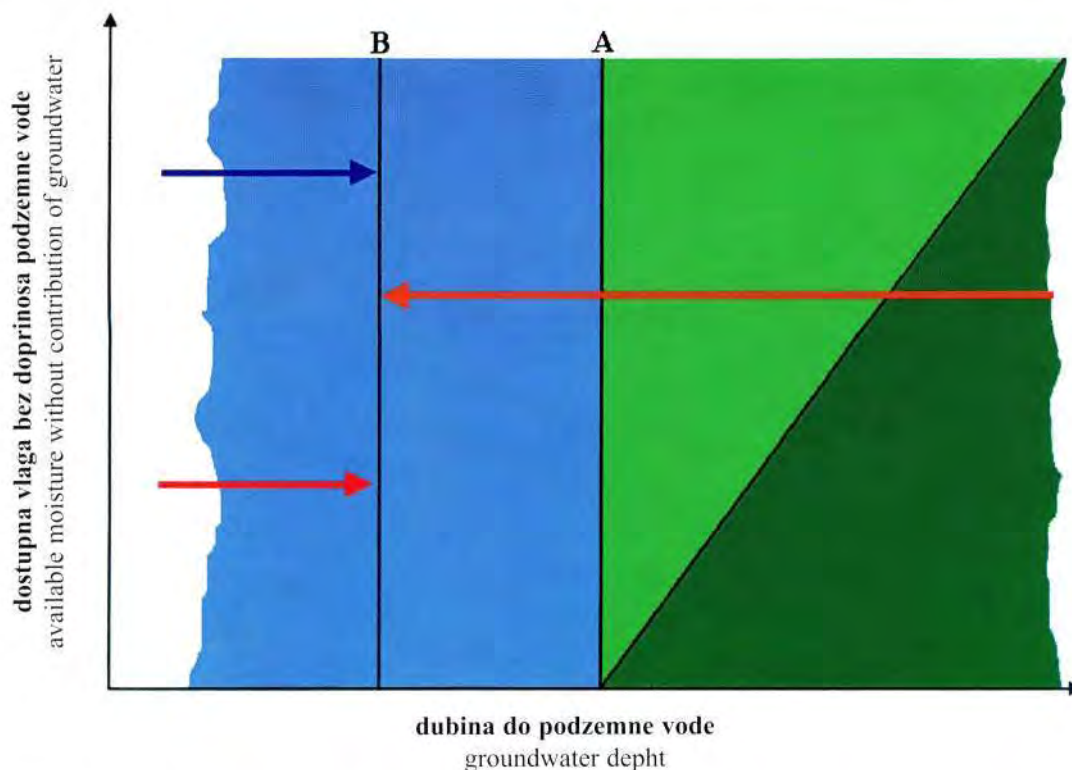
Hrast lužnjak je vrsta čije je rasprostranjenje i uspijevanje dominantno uvjetovano potrebom za značajnom količinom fiziološki aktivne vlage u tlu tijekom vegetacije (usporedi npr. Ivkov, 1994). Fiziološki aktivna vlaga tla posljedica je cijelog niza utjecaja: makroklimatskih (oborina, evaporacija, transpiracija), hidropedoloških (kapilarno podizanje, vodni kapaciteti, infiltracija), hidroloških (dubina do podzemne vode, učestalost poplava) i geomorfoloških (nagib terena, položaj terena u slivu, položaj terena u lokalnim sabirnicama – mikrodepresijama). Prostorne granice ekološke niše lužnjaka određene su međudjelovanjem svih tih utjecaja. Lužnjak se može smatrati vrstom klimatogenog rasprostranjenja samo ondje gdje dopunski izvori vlaženja (podzemna voda, poplave) ne doprinose osiguravanju dovoljne količine fiziološki aktivne vlage potrebne za rast i razvoj. U kojoj su mjeri ti uvjeti ostvareni unutar lužnjakovog areala u Hrvatskoj, ne može se precizno procijeniti zbog nedostatka podataka.

Hrast kitnjak je vrsta klimatogenog rasprostranjenja, čije sastojine možda predstavljaju monoklimaks ne samo prigorskog, nego i ravničarskog područja, tamo

gdje skup navedenih utjecaja ne osigurava lužnjaku dovoljno vlage. Obje vrste hrasta grade sastojine s običnim grabom, koji se zbog plićeg zakorjenjivanja može smatrati vrstom klimatogenog rasprostranjenja i na svim staništima s lužnjakom (slika 8.).

Vrednovanje značaja utjecaja koji uvjetuju pridolazak hrasta lužnjaka na konkretnom staništu iznimno je važno za šumarsku struku iz perspektive njegovog sušenja i razloga koji do toga dovode. Dosada su to najčešće bili hidrotehnički zahvati, ali u budućnosti to može biti i globalno zatopljenje koje bi moglo mnogostruko izmijeniti doprinos hidroloških i makroklimatskih utjecaja opskrbi lužnjaka vodom na konkretnim staništima. O tome posebno valja voditi računa u planiranju i projektiranju hidrotehničkih zahvata u blizini lužnjakovih sastojina, koje treba, gdje god je to moguće, usmjeravati prema meliorativnom utjecaju, a drugdje inzistirati na prihvatljivim tehničkim rješenjima i/ili zaštitnim mjerama.

Sličan problem granice lužnjakovog rasprostranjenja postoji i na suprotnoj strani njegove ekološke niše – na barskoj granici šume gdje se javljaju uvjeti prevlaživa-



Slika 8. Shematiziran prikaz pridelaska glavnih vrsta drveća s obzirom na vlažnost tla u ravničarskom području Hrvatske. A - dubina zakorjenjivanja hrasta lužnjaka, B - dubina zakorjenjivanja običnog graba. Svjetlo zeleno područje - prisutnost hrasta lužnjaka uvjetovana makroklimom, svjetlo plavo područje - prisutnost hrasta lužnjaka uvjetovana dopunskim vlaženjem podzemnom vodom, tamno zeleno područje - hrast kitnjak, smeđa strelica - obični grab, tamno plava strelica - poljski jasen, ljubičasta strelica - crna joha.

Figure 8 Schematic representation of distribution of the main tree species related to the soil moisture in the lowland areas of Croatia. A - depth of rooting of pedunculate oak, B - depth of rooting of common hornbeam. Light green area - presence of pedunculate oak conditioned by macroclimate, light blue area - presence of pedunculate oak conditioned by the additional moistening by groundwater, dark green area - sessile oak, brown arrow - common hornbeam, dark blue arrow - narrow-leaved ash, purple arrow - sticky alder.

nja i anaerobiozisa (i gdje se javlja posebna fiziološka rasa hrasta lužnjaka, usporedi Prpić, 1976) na koje je lužnjak znatno osjetljiviji od ostalih vrsta drveća nizijskih šuma (poljski jasen, crna joha). Taj problem tematski ne pripada u ovu raspravu, ali je za šumarsku struku podjednako važan.

U budućnosti valja provesti detaljno istraživanje ekoloških uvjeta sadašnjeg i potencijalnog lužnjakovog rasprostranjenja u Hrvatskoj. Postojeće spoznaje o problemu ukazuju da je djelovanje pojedinih okolišnih

čimbenika (makroklimatskih, hidroloških, hidropedoloških, geomorfoloških) na pridozatak i uspijevanje lužnjaka na konkretnom staništu između sebe mnogostruko povezano, što znači da se ti čimbenici ne mogu razmatrati odvojeno jedan od drugoga. Spomenuto će istraživanje morati zbog specifičnosti problema biti u domeni autekologije, populacijske ekologije, populacijske genetike i ekološkog modeliranja, a postojeće sinekološke spoznaje biti će važna podloga u njegovom planiranju.

LITERATURA – References

- Antonić, O. 1996a: Modeli utjecaja topoklime na vegetaciju krša (doktorska disertacija). Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet.
- Antonić, O. 1996b: Application of the Spatial Modelling in the Karst Bioclimatology. *Cro. Met. J.*, 31, 95-102.
- Antonić, O., Kušan, V. i Hrašovec, B. 1997: Microclimatic and topoclimatic differences between the phytocoenoses in the "Viljska ponikva" sinkhole, Mt. Risnjak, Croatia. *Cro. Met. J.* 32, 37-49.
- Antonić, O., Hatić, D., Križan, J. i Bukovec, D. 1999: HE Novo Virje: Prihvatljivi režim podzemnih voda sa stajališta održanja šumskih ekosustava. Oikon d.o.o., Zagreb.

- Antonić, O., Bukovec, D., Križan, J., Marki, A. i Hatić, D., 2000: Spatial distribution of major forest types in Croatia as a function of macroclimate, *Natura Croatica*, 9, 1-13.
- Antonić, O., Hatić, D. i Križan, J. (u tisku-a): Modelling groundwater regime acceptable for the forest survival after the building of the hydroelectric power plant, *Ecol. Modelling*.
- Antonić, O., Križan, J., Marki, A. i Bukovec, D. (u tisku-b): Spatio-temporal interpolation of climatic variables over large region of complex terrain using neural networks, *Ecol. Modelling*.
- Antonić, O., Hatić, D. i Pernar, R. (u tisku-c): DEM-based depth in sink as an environmental estimator, *Ecol. Modelling*.
- Archibald, O. W. 1995: *Ecology of World Vegetation*. Chapman and Hall, London.
- Beven, K. J. i Kirkby, M. J. 1979: A physically-based variable contributing area model of basin hydrology. *Hidrol. Sci. Bull.* 24, 43-69.
- Biondić, D. i Vidaković-Šutić, R. 1998: Morphological processes on the downstream part of the Drava river. *Proceedings of the International Conference on European River Development (ICERD)*. 16-18 April, Budapest, Hungary.
- Braun-Blanquet, J. 1964: *Pflanzensoziologie – Grundlagen der Vegetationskunde*. III. ed., Springer - Verlag, Wien, New York.
- Burt, T. P. i Butcher, D. P. 1985: Topographic controls of soil moisture distributions. *J. Soil Sci.* 36, 469-486.
- Clements, F. E. 1936: Nature and structure of the climax. *J. Ecol.* 24: 252-284.
- Clements, F. E. 1916: *Plant succession: Analysis of the development of vegetation*. Carnegie Inst. Wash. Publ. 242: 1-512.
- Daubenmire, R. 1966: *Vegetation: Identification of typical communities*. *Science* 151: 291-298.
- Ellenberg, H. 1978: *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. 82 p.
- Glavač, V. 1987: Sukcesija. *Šumarska enciklopedija*, II. izdanje (3): 298-299.
- Hatić, D., Antonić, O., Španjol, Ž. i Križan, J. 2000: Growth of old oak trees in Croatia: The preliminary results of the TGECC programme. *Glas. šum. pokuse* 37. 311-321.
- Ivkov, M. 1994: Simuliranje razvoja sastojina uz pomoć modela ovisnosti debljinskog prirasta o razini podzemnih voda. *Glas. šum. pokuse* 30. 95-141.
- Jovanović, B., i Vukičević, E. 1987: Hrast lužnjak. *Šumarska enciklopedija*, II. izdanje (2): 74-76.
- Kleinschmit, J. i Kleinschmit, J. G. R. 2000: *Quercus robur - Quercus petraea: A critical review of the species concept*. *Glas. šum. pokuse* 37. 441-452.
- Mayer, B. 1996: Hidrološka problematika osobito s gledišta površinskog dijela krovine. U: *Hrast lužnjak u Hrvatskoj*. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti i Javno poduzeće Hrvatske šume, Zagreb. 55-71.
- Nikolov, N. T. i Zeller, K. F. 1992: A solar radiation algorithm for ecosystem dynamic models. *Ecol. Modelling* 61. 149-168.
- Pearlstine, L., McKellar, H. i Kitchens, W. 1985: Modelling the impacts of river diversion on bottomland forest communities in the Santee river floodplain, South Carolina. *Ecol. Modelling* 29. 283-302.
- Phipps, R. L. 1979: Simulation of wetlands forest vegetation dynamics. *Ecol. Modelling* 7. 257-288.
- Priestly, C. H. B. i Taylor, R. J. 1972: On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Mont. Weather Rev.* 100. 81-92.
- Prpić, B. 1976: Reagiranje biljaka hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) iz dva različita staništa na različite uvjete vlažnosti. *Šumarski list* 3-4. 117-123.
- Prpić, B., Rauš, Đ., Pranjić, A., Matić, S., Vranković, A., Seletković, Z., Lukić, N., Papeš, B., Žnidarić, G. i Skenderović, J. 1987: *Studija hidrološke sanacije šume Repaš*. Zavod za istraživanja u šumarstvu Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. 33 pp.
- Prpić, B., Vranković, A., Rauš, Đ., Matić, S., Pranjić, A. i Meštrović, Š. 1994: Utjecaj ekoloških i gospodarskih činilaca na sušenje hrasta lužnjaka u gospodarskoj jedinici Kalje šumskog gospodarstva Sisak. *Glas. šum. pokuse* 30. 361-420.
- Prpić, B. 1996: Propadanje šuma hrasta lužnjaka. U: *Hrast lužnjak u Hrvatskoj*. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti i Javno poduzeće Hrvatske šume, Zagreb. 273-298.
- Prpić, B. i Anić, I. 2000: The role of climate and hydraulic operations in the stability of the pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stands in Croatia. *Glas. šum. pokuse* 37. 229-239.
- Rauš, Đ., Trinajstić, I., Vukelić, J. i Medvedović, J. 1992: *Biljni svijet hrvatskih šuma*. U: *Šume u Hrvatskoj*. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Javno poduzeće Hrvatske šume, Zagreb. 33-78.
- Rauš, Đ. 1996: Šumske zajednice hrasta lužnjaka. U: *Hrast lužnjak u Hrvatskoj*. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti i Javno poduzeće Hrvatske šume, Zagreb. 27-54.

- Tansley, A. G. 1935: The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology* 16: 284-307.
- Trinajstić, I., Rauš, Đ., Vukelić, J. i Medvedović, J. 1992: Vegetacijska karta šumskih zajednica Hrvatske, M 1:500000. U: Šume u Hrvatskoj. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Javno poduzeće Hrvatske šume, Zagreb. 79-80 + 1 karta.
- Vukelić, J. i Rauš, Đ. 1998: Šumarska fitocenologija i šumske zajednice u Hrvatskoj. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

SUMMARY: Ecological conditions of spatial distribution of the pedunculate oak (Quercus robur L.) in Croatia are discussed in this paper. Pedunculate oak in Croatia is the main tree species in two forest communities: Genisto elatae - Quercetum roboris Ht. 1938 and Carpino betuli - Quercetum roboris (Anić 1959) emend. Rauš 1969. In the first community which resides on flood-plains, the presence of pedunculate oak, as well as the majority of other species, is conditioned by additional moistening by groundwater and flood, i.e. its distribution is not climatogenic. The second community is floristically similar to the climatogenic community of the sessile oak and common hornbeam (Epimedio-Carpinetum betuli (Ht. 1938) Borhidi 1963). Although the other species of Carpino betuli - Quercetum roboris community are not influenced by groundwater due to the shallower rooting, the presence of pedunculate oak, as a species which can develop deep rooting system, is often (but not always) conditioned by additional moistening by groundwater in this community too. This is especially evident on lighter soils with unfavourable hydro-pedological characteristic (low capillary rise and available soil water capacity). Besides, areas under Carpino betuli - Quercetum roboris community and Epimedio - Carpinetum betuli community have similar macroclimate, but they differ geomorphologically - the first community avoids sloped terrain which indirectly implies moister habitats. It can be generally concluded that pedunculate oak in Croatia is distributed out of additionally moistened areas (by groundwater and/or floods) only when hydro-pedological and/or geomorphological conditions are favorable.

Knowing environmental factors which control presence and growth of the pedunculated oak on the specific site is important for the forest management and also for designing of the hydro-technical measures based on principles of sustainable development. Consequently, the future research has to be undertaken to enable detailed understanding of interactions between environmental factors (e.g. hydrological and hydro-pedological characteristics, evaporation, transpiration, precipitation) which together result in the presence of pedunculate oak on the specific site, including the problem of intraspecies (ecological races of pedunculate oak) and interspecies (toward the sessile oak) genetic variability.

Keywords: pedunculate oak, vegetation climax, macroclimate, groundwater, rooting, hydro-pedological characteristics, terrain slope, sessile oak.