

VARIJABILNOST VISINSKOG RASTA I PREŽIVLJENJA POTOMSTAVA IZ SJEMENSKIH SASTOJINA HRASTA LUŽNJAKA (*Quercus robur* L.) U POKUSNOM NASADU "JASTREBARSKI LUGOVI" – PRVI REZULTATI

VARIABILITY OF HEIGHT GROWTH AND SURVIVAL OF PROGENIES FROM PEDUNCULATE OAK (*Quercus robur* L.) SEED STANDS AT THE FIELD TRIAL 'JASTREBARSKI LUGOVI' – FIRST RESULTS

Maja POPOVIĆ, Mladen IVANKOVIĆ, Saša BOGDAN

Sažetak

Dosadašnja istraživanja morfoloških i fizioloških svojstava hrasta lužnjaka u Hrvatskoj ukazala su na genetsku diferencijaciju lokalnih populacija, kao i visok stupanj genetske raznolikosti unutar svake populacije. Kako bi se dodatno istražila genetska raznolikost i diferencijacija populacija hrasta lužnjaka u Hrvatskoj, analizirani su visine i preživljenje u novoosnovanom genetičkom testu potomstva iz 16 sjemenskih sastojina i jedne gospodarske u dobi od četiri odnosno pet godina. Preživljenje u prvoj analiziranoj godini bilo je izuzetno visoko kod svih populacija, no nakon sljedećeg vegetacijskog perioda uočen je značajniji pad preživljenja. Analizom varijance za svojstvo visina za dvije uzastopne godine (2010. i 2011.), utvrđene su statistički značajne razlike između populacija. Ovisno o položaju unutar genetičkog testa za istu populaciju ili familiju utvrđeno je i različito "rasipanje" visina oko prosjeka. Proveden je Tukey-Kramer test najmanjih kvadratnih razlika za srednje visine populacija s ciljem utvrđivanja njihove povezanosti, odnosno utvrđivanja eventualnog postojanja geografskog obrasca genetske diferencijacije. Populacija HR 88 (UŠP Našice, Šumarija Koška, G.j. Lacić-Gložđe) se u obje godine diferencirala kao prosječno najviša, dok su se ostale izdvojene grupe populacija međusobno višestruko preklapale. Uspoređujući signifikantnost razlika u prosječnim visinama između populacija s njihovim geografskim položajem nije se mogao uočiti geografski obrazac diferencijacije.

Zbog utvrđenog statistički visoko značajnog efekta blokova provedena je analiza fenotipske plastičnosti istraživanih populacija s obzirom na svojstvo visine u dobi od 5 godina (*PIv*, *RDPI*), no nije utvrđen geografski obrazac razdvajanja populacija. Populacije su kategorizirane u fenotipski stabilne, nestabilne te prosječne fenotipske plastičnosti s različitim stupnjevima prilagođenosti na testne stanišne uvjete koji su vladali u analiziranim godinama. Za pomlađivanje i pošumljavanje sličnih staništa kao što je bilo stanište pokusnog nasada preporučuje se korištenje šumskog reprodukcijskog materijala iz sjemenskih sastojina, čije je potomstvo iskazalo prosječnu do visoku fenotipsku stabilnost s visokim stupnjem prilagođenosti (u smislu preživljenja i visinskog rasta).

Rezultate ovog istraživanja treba shvatiti kao preliminarne i poticaj za nastavak istraživanja.

KLJUČNE RIJEČI: hrast lužnjak, genetički test polusrodnika, adaptivna genetska diferencijacija i raznolikost, fenotipska plastičnost.

¹ Maja Popović, dipl. ing. šum., Dr. sc. Mladen Ivanković, Zavod za genetiku, oplemenjivanje šumskog drveća i sjemenarstvo, Hrvatski šumarski institut, Cvjetno naselje 41, 10450 Jastrebarsko, e-mail: majap@sumins.hr

² Izv. prof. dr. sc. Saša Bogdan, Zavod za šumarsku genetiku, dendrologiju i botaniku, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Hrvatska.

Uvod Introduction

Jedna od najvrjednijih autohtonih vrsta u Europi, pa tako i u Hrvatskoj, je hrast lužnjak. Zauzima vrlo širok areal (Ducousso i Bordacs 2004, Idžojić 2009), koji je uvjetovao vrlo izraženu varijabilnost njegovih morfoloških i fizioloških svojstava (Krstinić 1996). Od ekoloških čimbenika, voda je od izuzetnog značenja za hrast lužnjak koji u Hrvatskoj uspijeva na različitim tipovima hidromorfnih tala, uz različiti režim plavljenja (Vidaković i dr. 1996). Krstinić i sur. (1996) navodi izdiferenciranost lokalnih populacija uvjetovanu upravo izražajnom varijabilnosti edafskih i hidroloških uvjeta staništa. Posljednjih dvadesetak godina glavnina istraživanja provedena je upravo radi utvrđivanja varijabilnosti morfoloških i fizioloških svojstava lužnjaka u Hrvatskoj. Rezultati relativno brojnih radova ukazali su na postojanje visokog stupnja unutarpopulacijske genetske raznolikosti za različita analizirana fenotipska svojstva (Franjić 1993, Franjić 1993a, Franjić 1994, Gračan 1996, Franjić 1996, Franjić 1996a, Franjić i Škvorc 2001, Bogdan i dr. 2004, Bogdan i dr. 2008, Ivanković i dr. 2011), ali i na značajnu genetsku diferencijaciju populacija s obzirom na kvantitativna svojstva (Gračan i dr. 1991, Franjić 1993, Franjić 1993a, Franjić 1994, Franjić 1996, Franjić 1996a, Krstinić i dr. 1996, Roth 1999, Perić i dr. 2000, Franjić i Škvorc 2001, Roth 2003, Bogdan i dr. 2009, Ivanković i dr. 2011).

Genetska raznolikost (varijabilnost i diferencijacija), kao dio ukupne biološke raznolikosti, predstavlja bogatstvo različitih alela između jedinki koje čine neku biološku vrstu (Konvencija o biološkoj raznolikosti Ujedinjenih naroda 1992). Različiti prirodno i antropogeno uvjetovani čimbenici utječu na genetsku raznolikost, koja vrsti omogućava prilagođavanje na promjene okoliša putem mehanizma prirodne selekcije. Prirodna selekcija, genetski drift, mutacije i migracije gena pripadaju kategoriji tzv. evolucijsko-adaptacijskih čimbenika koji utječu na oblikovanje genetske strukture vrste i prilagođavanje populacija u različitim okolišnim uvjetima (Bogdan i dr. 2011). Međutim, sve intenzivniji negativni antropogeni utjecaji na prirodne ekosustave i pojedine biljne vrste poput: onečišćenja tla, vode i zraka, fragmentacije i degradacije staništa i djelovanja globalnih klimatskih promjena, dovode u pitanje stabilnost šuma. S tim u svezi je genetska raznolikost važan preduvjet za adaptivni potencijal šumskih vrsta drveća u promjenjivim uvjetima okoliša. U današnjim stresnim ekološkim prilikama s naglim promjenama, prirodni čimbenici evolucije djeluju presporo na prilagodbu vrsta novonastalim prilikama (što je ujedno i osnova očuvanja prirodnog sastava šumskih sastojina), te time djelovanje čovjeka u svrhu očuvanja genofonda poprima sve veće značenje.

Za uspješno provođenje mjera očuvanja potrebno je prethodno utvrditi razinu, obrazac i uzroke genetske raznoli-

kosti neke vrste (Gračan 1996, Krstinić i dr. 1996, Bogdan i dr. 2011). Utvrđivanje genetske raznolikosti i diferencijacije populacija moguće je putem analiza pokusnih nasada, odnosno tzv. genetičkih testova u kojima se potomstvo iz biranih populacija uzgaja u podjednakim okolišnim uvjetima. U takvim testovima se analizira fenotipska varijabilnost koja je uvjetovana genetskom i okolišnom komponentom. Ako se utjecaj okolišne komponente svede na minimum, odnosno ako se potomstvo testira u približno jednakim uvjetima okoline, fenotipska varijabilnost svojstava od interesa može se pripisati njihovim genetskim razlikama (Falconer i Mackay 1996, Eriksson i dr. 2006, White i dr. 2007).

Istraživanja međupopulacijske diferencijacije većine navedenih autora nije odgovala geografskom obrascu, iako neka istraživanja ukazuju na geografsku diferencijaciju odnosno diferencijaciju između određenih sjemenskih zona (Roth 1999, Roth 2003, Krstinić i dr. 1996). Kod potonjih, utvrđeni karakter diferencijacije ukazuje na ekotipski obrazac genetskih razlika između populacija, koji podrazumijeva diferencijaciju s obzirom na okolišne uvjete koji vladaju u pojedinim sastojinama.

Sposobnost genotipa pak, da pod utjecajem različitih ekoloških prilika ispoljava različite fenotipske vrijednosti nekog svojstva naziva se fenotipska plastičnost (Bradshaw 1965 iz Valladares i dr. 2006). Razina fenotipske plastičnosti je genetski uvjetovana, a predstavlja važan mehanizam prilagođavanja okolišu. Utvrđivanje fenotipske plastičnosti postaje ključno kada se želi istražiti odgovor vrsta na promjene u okolišu, ali i unutarvrstnog (populacijskog) odgovora na globalne klimatske promjene (Valladares i dr. 2006). Dosadašnja istraživanja pokazala su kako se fenotipska plastičnost razlikuje, kako između vrsta, tako i između populacija iste vrste. Neke populacije ispoljavaju slične prosječne fenotipske vrijednosti, odnosno stabilne su neovisno u kojim se okolišnim uvjetima nalaze, dok druge ispoljavaju vrlo raznolike prosječne fenotipske vrijednosti tj. imaju veću fenotipsku plastičnost (Pemac i Tucic 1998, Valladares i dr. 2002a,b, 2005, West-Eberhard 2003, Bradshaw 2006 prema Valladares i dr. 2006).

S obzirom na prethodno spomenute kontradiktornosti o obrascu genetske diferencijacije, može se reći da adaptivna genetska raznolikost hrasta lužnjaka u Hrvatskoj još uvijek nije dovoljno istražena. Zbog toga je pokrenut novi projekt istraživanja genetske varijabilnosti na potomstvu iz 16 sjemenskih sastojina i jedne gospodarske, koje reprezentiraju cjelokupno područje rasprostranjenosti hrasta lužnjaka u Hrvatskoj. Cilj projekta je utvrditi stupanj i obrazac genetske diferencijacije populacija, ali isto tako i unutarpopulacijske genetske raznolikosti. U ovom su radu prikazani prvi rezultati analize visina i preživljenja biljaka u jednom od ukupno tri osnovana genetička testa s familijama iz uzorkovanih sjemenskih sastojina.

Materijal i metode

Material and methods

tijekom jeseni 2006. godine sakupljen je sjemenski materijal u 16 sjemenskih sastojina hrasta lužnjaka (selekcioniран šumski reprodukcijски materijal) i jednoj gospodarskoj sastojini u kategoriji šumskog reprodukcijskog materijala poznato podrijetlo, koje reprezentiraju cjelokupan areal hrasta lužnjaka u Hrvatskoj (tablica 1). U svakoj odabranoj sastojini žirevi su sakupljeni ispod krošanja 25 stabala koja su međusobno bila udaljena najmanje 50 metara, radi izbjegavanja srodstvene povezanosti.

Sakupljan je zdrav i neoštećen žir bez obzira na dimenzije. Svaka sjemenska regija (prema Pravilniku o provenijencijama svojiti šumskog drveća NN 107/08) zastupljena je najmanje s jednom, dok su neke regije zastupljene i s više populacija.

Rani test osnovan je u rasadniku Hrvatskog šumarskog instituta u Jastrebarskom. Posebno se obraćala pozornost na očuvanje podrijetla svake pojedine biljke, te su žirevi zasijani na gredice odvojeno po majčinskim stablima (familijama polusrodnika) i sastojinama (populacijama). Tijekom prvog i drugog vegetacijskog razdoblja provedene su agrotehničke mjere uklanjanja korova i kemijskog tretiranja fungicidima protiv hrastove pepelnice koju uzrokuje gljiva *Microspora albitoides*.

Genetički test potomstva, u kojemu se populacije i familije testiraju u realnijim okolišnim uvjetima, osnovan je tijekom studenog i prosinca 2008. godine na području gospodarske jedinice Jastrebarski lugovi (Šumarija Jasrebarsko, Uprava Šuma Podružnica Karlovac), odjel/odsjek 19b, sa dvogodišnjim sadnicama (2+0). Nasad se nalazi na jedinstvenoj površini od 3,75 ha, približno istih okolišnih uvjeta, s naznakom mikrodepresija odnosno mikrouzvisina. Osnovani test postavljen je prema eksperimentalnom dizajnu randomiziranog potpunog blok sustava s 3 ponavljanja (engl. *RCB design*). U svakom ponavljanju (bloku) nalazi se 17 hrvatskih populacija hrasta lužnjaka te 5 austrijskih, no one nisu predmet ovoga rada. Svaka populacija zastupljena je s 20 različitih familija (jednu familiju čine biljke koje potječu od zajedničkog majčinskog stabla), a svaka familija sa po pet biljaka. Odnosno tri ponavljanja sa 17 populacija, 20 familija po populaciji i pet biljaka po familiji, ukupno 5100 biljaka na kojima su provedena mjerenja. Biljke su sađene u razmaku od 2,0 m unutar reda i 2,5 m između redova. Uokolo mjernih biljaka zasađena su i dva reda zaštitnog pojasa, s istim potomstvom iz uzorkovanih sjemenskih sastojina kao i mjerne biljke. Sve mjerne biljke i prvi red zaštitnog pojasa biljaka zaštićeni su polipropilenskim štitnicima tzv. Tuley-evim cijevima, koji su biorazgradivi i mladu biljku u prvim godinama razvoja štite ponajprije od biotičkih okolišnih čimbenika.

Tablica 1. Podaci o sastojinama u kojima je sakupljen žir.

Table 1 Data about stands where acorns were collected

Broj No.	Oznaka populacije Population mark	Uprava šuma Podružnica Forest Administration	Šumarija Forest office	Gospodarska jedinica; odjel/odsjek Working unit; compartment/subcompartment	Geografska širina Latitude	Geografska dužina Longitude	Nadmorska visina (m) Elevation
1	HR 12	Vinkovci	Gunja	Trizlovi-Rastovo; 9b, 9d	44,916	18,833	85
2	HR 16	Vinkovci	Otok	Slavir; 35d, 48g, 48h	45,033	18,900	81
3	HR 58	Osijek	Darda	Haljevo-Kozaračke šume; 52a	45,733	18,583	90
4	HR 160	Nova Gradiška	Trnjani	Ilijanska-Jelas; 13a, 14b, 15b,26a,b	45,133	18,116	86
5	HR 163	Nova Gradiška	Stara Gradiška	Ljeskovača; 18e	45,183	17,183	98
6	HR 203	Bjelovar	Vrbovec	Česma; 72a	45,833	16,666	105
7	HR 317	Zagreb	Kutina	Kutinske nizinske šume; 30b	45,433	16,683	95
8	HR 318	Zagreb	Lipovljani	Josip Kozarac; 43a, 54a, 113a	45,433	16,816	96
9	HR 330	Zagreb	Velika Gorica	Turopoljski lug; 8a, 9b	45,674	16,160	99
10	HR 368	Sisak	Sunja	Posavske šume; 123a, 124a,b,c,d	45,266	16,716	97
11	HR 387	Karlovac	Karlovac	Rečički lugovi; 26a,b,c,e, 48a,c,d,e	45,550	15,733	108
12	HR 389	Karlovac	Karlovac	Domačaj-Kovačevački lug; 14a,b	45,483	15,700	114
13	HR 577	Požega	Požega	Poljadijske šume; 48c	45,350	17,800	168
14	HR 609	Buzet	Buzet	Mirna; 8d	45,347	13,817	22
15	HR 627	Koprivnica	Repaš	Repaš Gabajeva greda; 20a,f, 25a	46,150	17,183	115
16	HR 88	Našice	Koška	Lacić Gložđe; 69a	45,566	18,233	95
17	HR AM*	Vinkovci	Otok	Lože; 65a	45,095	18,813	92

*Gospodarska sastojina, Normal management forest stand(others were seed stands)

Test je postavljen unutar prirodnog staništa hrasta lužnjaka na nadmorskoj visini 116–117 m, a uokolo se nalaze sastojine hrasta lužnjaka. Površina je prije osnivanja pokusnog nasada bila šikara obrasla grmljem nakon neuspjele prirodne obnove hrasta lužnjaka, međutim sada su uz posađeni hrast lužnjak u manjem obimu prirodno primiješane i druge vrste drveća i grmlja (običnog graba, trušljike i crne johe te lijeske i gloga).

Prva evidencija uspjeha osnivanja provedena je tijekom svibnja, te u rujnu 2009. godine na površini cijelog genetičkog testa. Pregledana je svaka biljka, te zabilježen broj suhih biljaka. Izmjere visina biljaka na pokusu provedene su u listopadu 2010. godine nakon druge sezone rasta biljaka na terenu, te u zimi 2012. godine nakon treće vegetacije. Izmjerene su sve biljke u pokusnom nasadu, a mjerenje je obavljeno mjernim letvama s 1 cm točnosti.

Statistička obrada podataka

Statistical analysis

deskriptivna statistička analiza provedena je pomoću MEANS procedure u SAS statističkom paketu (SAS 2000), s ciljem utvrđivanja prosječnih vrijednosti analiziranih svojstava, njihovih minimalnih i maksimalnih vrijednosti, kao i pripadajućih standardnih devijacija.

Analiza varijance obavljena je MIXED procedurom u SAS-u. Izračunate su komponente varijance i statistička značajnost slučajnih efekata tj. izvora varijabilnosti. Analizirani izvori varijabilnosti su: populacije, familije unutar populacija, interakcija blokova i populacija te interakcija blokova s familijama unutar populacija. Isto tako izračunata je statistička značajnost fiksnog izvora varijabilnosti (blokovi).

Analiza varijance za svojstvo visine u dvije sukcesivne godine provedena je prema sljedećem linearnom modelu (1):

$$y_{ijkl} = \mu + B_i + P_k + F(P)_{jk} + BP_{ik} + BF(P)_{ijk} + e_{ijkl} \quad (1)$$

gdje su:

y_{ijkl} – vrijednost visine jedinice;

μ – ukupna srednja vrijednost;

B_i – efekt i -tog bloka (replikacije), $i=1,2,3$;

P_k – efekt k -te populacije, $k=1,2,\dots,17$;

$F(P)_{jk}$ – efekt j familije unutar populacije k , $j=1,2,\dots,20$;

BP_{ik} – interakcija blokova i populacija;

$BF(P)_{ijk}$ – interakcija blokova i familija unutar populacija;

e_{ijkl} – efekt slučajne pogreške.

Istom procedurom (MIXED) procijenjene su srednje visine populacija metodom najmanjih kvadratnih odstupanja (engl. *Least square means*). Tukey-Kramer test signifikantnosti proveden je s ciljem utvrđivanja postojanja geografskog obrasca diferencijacije.

Za procjenu fenotipske plastičnosti populacija upotrijebljena su dva indeksa, PIV (engl. *Phenotypic Plasticity Index*) – indeks fenotipske plastičnosti baziran na maksimalnim i minimalnim srednjim vrijednostima visina, te RDPI (eng. *Relative Distance Plasticity Index*) fenotipski indeks relativne udaljenosti, prema Valladares i dr. (2006).

$$PIV = (\max sr - \min sr) / \max sr$$

gdje su:

$\max sr$ – maksimalna srednja vrijednost visine populacije u bloku

$\min sr$ – minimalna srednja vrijednost visine populacije u bloku

$$RDPI = S(d_{ij@i'j'} / (x_{i'j'} + x_{ij})) / n$$

gdje su:

$d_{ij@i'j'}$ – udaljenost/razlika prosječne visine populacije između dva bloka

x_{ij} – prosječna visina populacije u jednom bloku

$x_{i'j'}$ – prosječna visina populacije u drugom bloku

Rezultati

Results

Preživljenje populacija – Survival of populations

U proljeće, prve godine nakon sadnje na terenu preživljenje je bilo odlično, čak 99,31 %, odnosno od ukupno 5100 biljaka samo se 35 biljaka osušilo. Pregled i evidencija preživljena biljaka na pokusnoj plohi opet su provedeni u 2010. godine (dob 4 god.) te u 2011. godini (dob 5 god.).

Dok je preživljenje u dobi 4 godine bilo izuzetno visoko kod svih populacija (opći prosjek iznosio je 98,86 %), nakon sljedećeg vegetacijskog perioda dogodio se značajniji pad preživljenja (slika 1) i to kod populacija HR 330, HR 609 i HR 203. S druge strane, populacije HR 12, HR 387 i HR 58 istakle su se s najmanjim padom vrijednosti preživljenja.

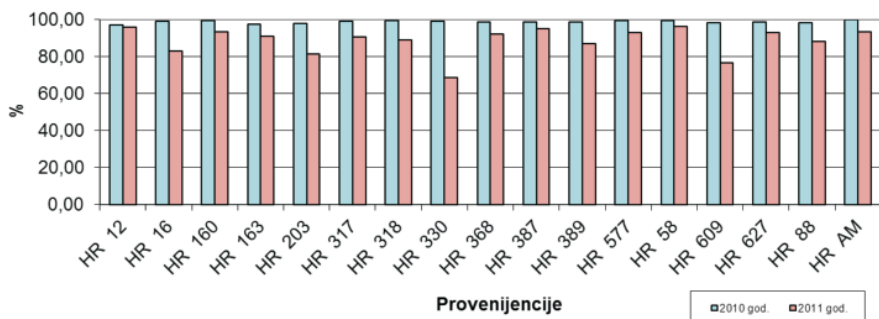
Visine populacija u dobi 4 i 5 godina – Population heights at age 4 and 5 yrs.

Nakon drugog vegetacijskog perioda u dobi 2+2 godine, prosječna visina biljaka bila je 162,3 cm. Najmanju prosječnu visinu od 154,8 cm imala je populacija HR 12 (UŠP Vinkovci, Šumarija Gunja), a prosječno je najviša bila populacija HR 88 (UŠP Našice, Šumarija Koška) s prosjekom od 179,3 cm (slika 2.).

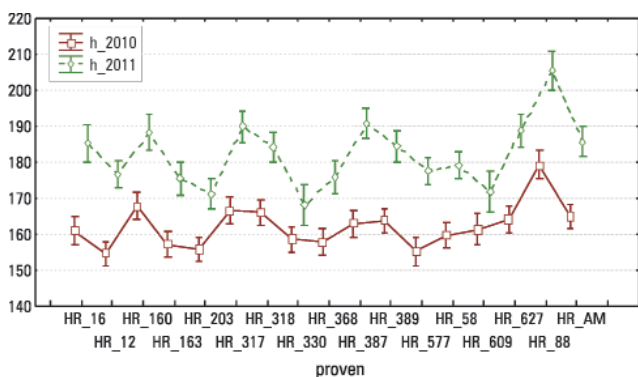
Usporedbom veličine standardnih devijacija za istraživane populacije (slika 2.), može se zapaziti relativna ujednačenost varijabilnosti visina unutar populacija.

Na slici 2 prikazane su i prosječne vrijednosti visine populacija iz 2011. godine, do kada su biljke rasle tri vegetacijska

Preživljenje u testu potomstva hrasta lužnjaka



Slika 1. Preživljenje populacija hrasta lužnjaka na terenskom pokusu starosti 2+2 i 2+3 godina
Figure 1 Mean survival of pedunculate oak populations at the field trial at age of 2+2 and 2+3 years



Slika 2. Prosječne visine populacija u testu potomstva hrasta lužnjaka 2010. i 2011. godine (dob 4 i 5 god.)
Figure 2 Mean population heights in 2010. and 2011. (age 4 and 5 yrs.)

perioda na staništu pokunsog nasada (dob 5 god.). Ista- knula se populacija HR 88 s najvišom prosječnom visinom (204,5 cm), iako preživljenje iste populacije za obje godine nije bilo izvrsno, 2010. godina 98,33 % i 2011. godina 88,33 %, što je za obje godine bilo ispod prosječnog preživljenja u testu. U rangu visina slijedile su je populacije HR 387 (UŠP Karlovac, Šumarija Karlovac) 190,8 cm i HR 317 (UŠP Zagreb, Šumarija Kutina) 189,9 cm. Treći vegetacijski pe- riod nije donio razliku u rangiranju najviše populacije HR 88, međutim populacija HR 12 koja je 2010. godine bila najniža, za samo godinu dana promijenila je redoslijed za šest mjesta, te joj je prosječna visina iznosila 176,7 cm, dok je prosječna visina svih biljaka u pokusu iznosila 182,7 cm.

Može se uočiti da su se populacije HR 330 i HR 609 odli- kovale najmanjim porastom prosječne visine u dvije sukce- sivne godine.

Može se uočiti znatno veća unutarpopulacijska varijabilnost visina u odnosu na prethodnu godinu, što je vidljivo usporedbom veličine standardnih devijacija u dvije analizirane godine.

Analize varijabilnosti visinskog rasta – Analysis of height growth variability

Rezultati provedene analize varijance za slučajne efekte va- rijabilnosti: populacije, familije unutar populacija, interak- cije blokova s populacijama i interakcije blokova s famili- jama unutar populacija, prikazani su u tablicama 2 i 3. Tablica 4 prikazuje izračunatu statističku značajnost fiksnog izvora varijabilnosti – blokova.

Procjene srednjih visina populacija izračunate su metodom najmanjih kvadratnih odstupanja (engl. *Least square means*), te je proveden Tukey-Kramer test signifikantnosti iz- među procijenjenih prosjeka za populacije, tablice 5 i 6.

Analizom varijance za svojstvo visine u dvije sukcesivne godine utvrđene su statistički značajne razlike uzrokovane svim ispitivanim izvorima varijabilnosti, izuzev efekta fa- milija (tablica 2 i 3).

Vidljivo je kako je efekt populacija bio statistički značajan u obje analizirane godine, dok efekt familija (ugniježden unutar populacija) nije, odnosno utvrđena je veća varijabil-

Tablica 2. Komponente varijance i statistička značajnost analiziranih slučajnih efekata za visine 2010. godine.
Table 2 Variance components and their statistical significance for the studied populations in 2010th

Izvor varijabilnosti (slučajni) – Source of Variability	Komponenta varijance – Component of Variance	% komponente varijance – % Component of Variance	St. greška – Standard Error	Z vrijednost – Z value	Pr > Z
Populacije – Population	25,1409	2,33	12,9624	1,94	0,0262
Familije – Family	7,448	0,69	8,867	0,84	0,2005
Blok x populacija – block x population	18,0211	1,67	7,8069	2,31	0,0105
Blok x familija (populacija) – block x family	67,1439	6,22	15,2179	4,41	<,0001
Ostatak – Residual	961,09	89,09	21,4365	44,83	<,0001

Tablica 3. Komponente varijance i statistička značajnost analiziranih slučajnih efekata za visine 2011. godine.**Table 3** Variance components and their statistical significance for the studied populations in 2011th

Izvor varijabilnosti (slučajni) – Source of Variability	Komponenta varijance – Component of Variance	% komponente varijance – % Component of Variance	St. greška – Standard Error	Z vrijednost – Z value	Pr>Z
Populacije – Population	56,739	3,87	30,2366	1,88	0,0303
Familije – Family	1,0035	0,07	12,8092	0,08	0,4688
Blok x populacija – block x population	59,129	4,04	19,6668	3,01	0,0013
Blok x familija (populacija) – block x family	107,12	7,31	22,533	4,75	<,0001
Ostatak – Residual	1241,13	84,71	29,5512	42	<,0001

Tablica 4. Statistička značajnost fiksnog efekta blokova za visine 2010. i 2011. godine.**Table 4** Statistical significance of the block fixed effect for heights 2010th and 2011th

Fiksni izvor varijabilnosti (blokovi) – Fixed Source of Variability	Br. stupnjeva slobode – Num DF	Dn. stupnjeva slobode – Dn. DF	F vrijednost – F value	Pr>F
2010. godina	2	32	10,6	0,0003
2011. godina	2	32,1	11,92	0,0001

nost između populacija nego između familija unutar svake populacije. Efekti interakcije (interakcija blok × populacije, blok × familije unutar populacija) bili su statistički izrazito značajni. Odnosno uočeno je različito rangiranje populacija i familija u pojedinim blokovima. Najveći udio ukupne varijabilnosti zauzimala je komponenta varijance ostatka.

Efekt blokova je također bio statistički visoko značajan (tablica 4). Razlog tomu je bilo to što su visine biljaka u prvom bloku bile prosječno značajno više nego u drugom i trećem. Prosječne visine u drugom i trećem bloku se međusobno nisu razlikovale. Većina populacija bila je prosječno viša u prvom bloku, iako su neke populacije prosječno najviše bile u drugom (HR 88 – 211,27 cm, HR 389 – 187,38 cm) ili pak trećem bloku (HR 12 – 180,27 cm) (v. tablicu 7.).

Zbog utvrđenih statistički značajnih razlika između populacija provedena je njihova analiza s ciljem utvrđivanja povezanosti, te utvrđivanja eventualnog postojanja geografskog obrasca diferencijacije. Ova analiza provedena je Tukey-Kramer testom najmanjih kvadratnih razlika za srednje visine populacija.

Rangiranje i grupiranje biljaka s obzirom na prosječnu visinu, za 2010. i 2011. godinu, prikazano je u tablicama 5 i 6. Populacije između kojih nije bilo statistički značajnih razlika povezane su i označene istim slovom. Može se primijetiti izdvojenost populacije HR 88 (UŠP Našice, Šumarija Koška) koja se u obje godine diferencirala kao najviša od svih. Uspoređujući signifikantnost razlika između populacija s njihovim geografskim položajem ne može se uočiti nikakav geografski obrazac diferencijacije.

Godine 2010. izdvojilo se šest grupa populacija. Prvu grupu činila je samo populacija HR 88 koja se značajno razlikovala od svih ostalih, te nije bila povezana s ostalim grupama. Ostale grupe su se međusobno višestruko preklapale.

Tako su se npr. dvije populacije HR 160 i HR 163 koje potječu iz iste UŠP (Nova Gradiška) statistički značajno razlikovale, dok se HR 160 nije razlikovala od udaljenijih populacija HR 317 (UŠP Zagreb, Šumarija Kutina) i HR AM (UŠP Vinkovci, Šumarija Otok). Isto tako populacija HR 163 se nije razlikovala od HR 368 (UŠP Sisak, Šumarija Sunja) i HR 203 (UŠP Bjelovar, Šumarija Vrbovec) koje potječu iz različitih sjemenskih regija.

U 2011. godini izdvojilo se sedam grupa populacija. Ponovno se populacija HR 88 izdvojila od svih ostalih. Grupa

Tablica 5. Srednje vrijednosti visina populacija procijenjene metodom najmanjih kvadratnih odstupanja i statistička značajnost njihovih razlika i izdvojene grupe populacija dobivena Tukey-Kramer testom (2010. godina).**Table 5** Population groups given by Tukey-Kramer's test for height (2010th)

Populacija – Population	Procjena (cm) – Estimation	Standardna greška procjene – St. error	Grupe* – Group*
HR 88	179,25	18,827	a
HR 160	168,06	18,701	b
HR 317	166,62	18,732	b c
HR 318	166,19	18,701	b c
HR AM	164,97	1,867	b c d
HR 627	164,2	18,795	b c d e
HR 389	163,78	18,796	b c d e f
HR 387	163,13	18,795	b c d e f
HR 609	161,44	18,827	b c d e f
HR 16	161,04	18,732	b c d e f
HR 58	159,84	18,701	b c d e f
HR 330	158,72	18,764	c d e f
HR 368	157,9	18,795	c d e f
HR 163	157,38	18,891	d e f
HR 203	155,77	18,859	e f
HR 577	155,33	18,701	e f
HR 12	154,73	18,924	f

* Populacije koje povezuje isto slovo se međusobno statistički ne razlikuju. Populations connected with the same letter are not statistically different

Tablica 6. Srednje vrijednosti visina populacija procijenjene metodom najmanjih kvadratnih odstupanja i statistička značajnost njihovih razlika dobivena Tukey-Kramer testom (2011. godina).

Table 6 Population groups given by Tukey-Kramer's test for height (2011th)

Populacija – Population	Procjena (cm) – Astimation	Standardna greška procjene – St. error	Grupe* – Group*
HR 88	206,01	22,866	a
HR 387	190,95	22,005	b
HR 317	189,66	22,567	b c
HR 627	188,64	2,224	b c
HR 160	188,22	22,199	b c d
HR AM	185,65	22,199	b c d e
HR 16	184,49	23,546	b c d e
HR 389	184,4	22,992	b c d e
HR 318	184,36	22,776	b c d e
HR 58	179,43	21,928	c d e f
HR 577	177,51	22,279	d e f g
HR 12	176,69	21,928	e f g
HR 368	175,63	2,236	e f g
HR 163	175,42	22,482	e f g
HR 609	171,55	2,454	f g
HR 203	170,83	23,779	f g
HR 330	167,56	25,936	g

* Populacije koje povezuje isto slovo se međusobno statistički ne razlikuju.
Populations connected with the same letter are not statistically different

'f' se nije preklapala s grupom 'b', dok su se prethodne godine ove grupe višestruko preklapale. Također, novo izdvojena grupa 'g' s populacijama HR 577 (UŠP Požega), HR 12 (UŠP Vinkovci), HR 368 (UŠP Sisak), HR163 (UŠP Nova Gradiška), HR 609 (UŠP Buzet), HR 203 (UŠP Bjelovar) i HR 330 (UŠP Zagreb) nije se preklapala s grupama 'b' i 'c'. Može se uočiti kako izdvojene grupe populacija nisu ukazivale na geografski obrazac diferencijacije, isto kao i pret-

hodne godine. Dodatno, istaknute promjene u preklapanju grupa između dvije analizirane godine za juvenilan stadij biljaka ukazuju na podložnost promjenama i različito rangiranje u ranim godinama razvoja (dob od 5 godina), te se tek nakon određenog vremenskog perioda može sa većom sigurnošću odrediti obrazac diferencijacije populacija.

Fenotipska plastičnost za visine populacija u dobi 5 godina – Fenotypic plasticity for population height at age of 5 yrs

Iz tablice 7 vidljivo je kako je većina populacija svoje maksimalne visine postigla u prvom bloku (visine populacija označene podebljano). Najbolje populacije u prvom bloku bile su HR 16 (UŠP Vinkovci, Šumarija Otok, g.j. Slavir 35d, 48g, 48h) – 204,99 cm, HR AM (UŠP Vinkovci, Šumarija Otok, g.j. Lože 65a) – 203,34 cm, i HR 317 (UŠP Zagreb, Šumarija Kutina, g.j. Kutinske nizinske šume 30b) – 202,51 cm.

Međutim najbolja populacija cijelog testa HR 88 svoj maksimum od 211,27 cm dostigla je u drugom bloku, dok je također u preostala dva bloka pokazivala vrijednosti više od ukupnog prosjeka po bloku. Najmanju prosječnu vrijednost (163,40 cm) imala je populacija HR 330 (UŠP Zagreb, Šumarija Velika Gorica, registrirana kao sastojina kasnog hrasta lužnjaka) u trećem bloku, dok je ista populacija i u ostalim blokovima pokazala niže vrijednosti visina od prosjeka.

Zbog utvrđenog statistički visoko značajnog efekta blokova provedena je analiza istraživanih populacija s obzirom na fenotipsku plastičnost, izraženo preko dva indeksa (tablica 8). Oba indeksa na sličan način objašnjavaju plastičnost populacija, što znači da veća vrijednost indeksa znači i veću fenotipsku plastičnost. Populacije koje imaju najviši indeks fenotipske plastičnosti HR 16 (UŠP Vinkovci, Šumarija Otok), HR 387 (UŠP Karlovac, Šumarija Karlovac), te HR 58 (UŠP Osijek, Šumarija Darda) ujedno bi trebale imati veću i lakšu sposobnost prilagodbe izmijenjenim i novim

Tablica 7. Prosječne visine populacija po blokovima za 2011. godinu

Table 7 Average population heights by blocks in 2011th

Populacija – Population	blok 1 – Block 1	blok 2 – Block 2	blok 3 – Block 3	Populacija – Population	blok 1 – Block 1	blok 2 – Block 2	blok 3 – Block 3
HR 12	177,12	<u>172,68</u>	180,27	HR 387	201,68	<u>172,33</u>	198,2
HR 16	204,99	180,31	<u>164,34</u>	HR 389	185,5	187,38	<u>180,26</u>
HR 160	195,83	189,53	<u>179,31</u>	HR 577	<u>171,4</u>	183,97	177,48
HR 163	189,75	170,62	<u>165,49</u>	HR 58	194,64	175,72	<u>167,86</u>
HR 203	182,81	<u>164,47</u>	164,55	HR 609	181,08	169,51	<u>163,99</u>
HR 317	202,51	184,32	<u>181,68</u>	HR 627	201,45	184,43	<u>179,65</u>
HR 318	196,06	<u>174,85</u>	182,19	HR 88	<u>191,55</u>	211,27	210,68
HR 330	172,63	167,71	<u>163,4</u>	HR AM	203,34	<u>176,29</u>	177,09
HR 368	185,78	170,35	170,66	Uk prosjek	190,48	178,57	176,89

– brojevi označeni 'bold' prikazuju najveću visinu populacije; bold – highest mean population height

– brojevi označeni sa podvukom predstavljaju najmanju visinu populacije ovisno o bloku; underlined – lowest mean population height

Tablica 8. Indeksi fenotipske plastičnosti za visine populacija za 2011. godinu

Table 8 Fenotypic plasticity indices for population height in 2011th

Populacija – Population	RDPI	Plv
HR 12	0,01	0,04
HR 16	0,07	0,20
HR 160	0,03	0,08
HR 163	0,05	0,13
HR 203	0,04	0,10
HR 317	0,04	0,10
HR 318	0,04	0,11
HR 330	0,02	0,05
HR 368	0,03	0,08
HR 387	0,05	0,15
HR 389	0,01	0,04
HR 577	0,02	0,07
HR 58	0,05	0,14
HR 609	0,03	0,09
HR 627	0,04	0,11
HR 88	0,03	0,09
HR AM	0,05	0,13
Uk prosjek	0,04	0,10

uvjetima okoliša. Sve tri populacije potječu iz tri različite sjemenske regije i nisu geografski blizu. Dok primjerice populacije sa niskim vrijednostima indeksa HR 12 (UŠP Vinkovci, Šumarija Gunja), HR 389 (UŠP Karlovac, Šumarija Karlovac) i HR 330 (UŠP Zagreb, Šumarija Velika Gorica) su sastojine registrirane u Registru šumskih sjemenskih objekata kao forma kasnog hrasta lužnjaka.

Niske, slične fenotipske vrijednosti plastičnosti imaju neke geografski bliže populacije HR 577 (UPŠ Požega, Šumarija Požega), HR 160 (UŠP Nova Gradiška, Šumarija Trnjani) i HR 368 (UŠP Sisak, Šumarija Sunja), međutim populacija HR 163 (UŠP Nova Gradiška, Šumarija Stara Gradiška) koja se geografski nalazi između dotičnih populacija ima relativno visok indeks plastičnosti 0,13. Susjedne populacije HR 387 (UŠP Karlovac, Šumarija Karlovac, g.j. Rečički lugovi) i HR 389 (UŠP Karlovac, Šumarija Karlovac, g.j. Domačaj-Kovačevačli lug) te HR 16 (UŠP Vinkovci, Šumarija Otok) i HR 12 (UŠP Vinkovci, Šumarija Gunja) imaju potpuno suprotne vrijednosti indeksa, visoke odnosno niske. Niti za ovo istraživano svojstvo nije uočen geografski obrazac razdvajanja populacija.

Rasprava Discussion

Utvrđeno je prosječno preživljenje istraživanih populacija nakon dva sukcesivna vegetacijska perioda u uvjetima pokusnog nasada (u dobi 4 i 5 godina) – slika 1. Može se uo-

čiti značajniji pad prosječnog preživljenja nakon drugog analiziranog vegetacijskog perioda. Treba podsjetiti da se ovaj pad u preživljenju dogodio nakon vegetacijskog perioda 2011. godine – perioda u kojemu je vladala ekstremna suša s obzirom na referentno razdoblje 1961. – 1990. godine prema podacima DHMZ-a. Međutim, populacije su različito reagirale na navedeni sušni stres, te su se kao populacije s najvećim padom preživljenja istakle HR 330, HR 609 i HR 203. Vjerojatno je da su upravo ove populacije slabije prilagođene na stanišne uvjete koji su tijekom navedenog vegetacijskog perioda vladali u pokusnom nasadu,

Analizom visina jednogodišnjih sadnica ovog pokusa uočeno je kako je međupopulacijska diferencijacija bila nešto veća od unutarpopulacijske varijabilnosti (Ivanković i dr. 2011). Također, analizom 4-godišnjih sadnica utvrđene se statistički značajne razlike između populacija, što ukazuje na genetsku diferencijaciju istraživanih populacija. Genetski uvjetovane razlike mogu se pretpostaviti zbog ujednačenih okolišnih uvjeta koji vladaju u genetičkom testu i ispoljavaju se kao razlike između fenotipskih svojstava. Kako bi se utvrdio obrazac diferencijacije, proveden je Tukey-Kramer test kojim se utvrdilo koje se populacije međusobno statistički značajno razlikuju. Populacije su grupirane u šest odnosno sedam grupa, ovisno o godini za koje su analize visina provedene, no nije uočena geografska pravilnost razdvajanja populacija. Geografski obrazac nije uočen niti kod prethodnog istraživanja visine jednogodišnjih sadnica istih populacija (Ivanković i dr. 2011).

Statistički značajne razlike s obzirom na efekt interakcije bloka i populacije, te bloka i familije unutar populacije (tablice 2 i 3), ukazuju na različito rangiranje populacija, odnosno familija, u pojedinim blokovima. To znači kako ista populacija ili familija ima različite srednje visine ovisno o bloku (tablica 5). Utvrđene razlike u prosječnim visinama populacija između blokova vjerojatno su uzrokovane interakcijama istraživanih populacija s različitim mikrostanišnim prilikama, koji su tijekom analiziranog razdoblja vladali u blokovima. Detaljne analize tih mikrostanišnih razlika nisu provedene i možemo samo pretpostaviti da su se stanišni uvjeti blokova mogli razlikovati s obzirom na dinamiku podzemnih voda, biljkama dostupnu sunčevu svjetlost, kao i s obzirom na dinamiku temperature tla i zraka. Može se pretpostaviti da su mikrorazlike u dostupnoj svjetlosti i temperaturama između blokova mogle biti uvjetovane njihovom prostornom orijentacijom i utjecajem starije starije sastojine hrasta lužnjaka koja se nalazi uz pokusni nasad i djelomično graniči s njegovim prvim i drugim blokom.

Efekt familija nije bio statistički značajan, iz čega proizlazi kako nije utvrđeno postojanje značajnih unutarpopulacijskih genetskih razlika, iako dosadašnja istraživanja kod nas ukazuju na značajnu unutarpopulacijsku varijabilnost hrasta lužnjaka (Perić i dr. 2000, Bogdan i dr. 2004, Bogdan i dr. 2008,

Bogdan i dr. 2009, Katičić Bogdan 2012). Budući kako je svojstvo visine pod značajnim okolišnim utjecajem, pretpostavka je da su mikrostanišne razlike između blokova uzrokovale velike razlike u rangiranju familija ovisno o blokovima. Utvrđene interakcije familija s okolišem (različitim blokovima u pokusnom nasadu) bile su glavni uzrok maskiranja razlika u visinskom rastu između familija, odnosno maskiranja statistički značajne unutarpopulacijske raznolikosti.

Analiza pomoću Tukey-Kramerovog testa provedena je kako bi se utvrdio eventualni geografski obrazac diferencijacije populacija. Test je izdvojio jednu zasebnu i nekoliko međusobno povezanih grupa, međutim razlike odnosno sličnosti populacija vidljivo nisu geografski uvjetovane. Za obje godine izdvojila se posebno jedna populacija HR 88 (UŠP Našice, Šumarija Koška) koja prema testu nije povezana niti s jednom drugom izdvojenom grupom populacija. Ostale grupe su međusobno povezane preko zajedničkih populacija, donosno neke populacije mogu istovremeno spadati u više grupa.

Sličan obrazac razdvajanja populacija, odnosno udruživanja u populacija u klastere neovisno o njihovom geografskom položaju, dobiven je u prethodnim istraživanjima morfoloških karakteristika hrasta lužnjaka (Franjić 1996, Franjić 1996a, Franjić i Škvorc 2001, Bogdan i dr. 2008, Bogdan i dr. 2009, Ivanković i dr. 2011). Može se reći kako su vrlo vjerojatne pretpostavke iz prethodnih istraživanja, da je različita genotipska kompozicija svake populacije posljedica razlika u staništu odnosno različitog selekcijskog pritiska na populacije. S obzirom na područje gdje pridolazi hrast lužnjak kod nas postoji izražena varijabilnost edafskih i hidroloških uvjeta staništa, koja je uvjetovala vrlo izraženu genetsku izdiferenciranost njegovih lokalnih populacija (Krstinić i dr. 1996). Utvrđenim udruživanjem populacija sličnijih ekoloških mikroklimatskih uvjeta, a istovremeno geografski udaljenijih, kao npr. podravske i zapadnopoljske populacije, s velikom sigurnošću može se tvrditi kako su baš ekološki uvjeti od odlučujućih za diferencijaciju populacija, ali i za razdjelbu na sjemenske jedinice.

Zbog uočenog različitog rangiranja populacija unutar blokova s obzirom na svojstvo visina, odnosno statističke značajnosti fiksnog izvora varijabilnosti, blokova, provedena je analiza fenotipske plastičnosti. Iz analize se može uočiti kako su susjedne populacije izrazito suprotnih vrijednosti indeksa fenotipske plastičnosti, visoki – niski indeks. Populacije kasnolistajućeg tzv. kasnog hrasta lužnjaka imaju vrlo nizak indeks fenotipske plastičnosti (HR 12, HR 389 i HR 330), dok su geografski susjedne populacije visokog indeksa plastičnosti također i populacije ranije listajućih formi hrasta. Međutim populacije kasnog hrasta lužnjaka ne izdvajaju se prilikom analiza povezanosti populacija, odnosno prilikom utvrđivanja postojanja geografskog obrasca diferencijacije za svojstvo visina.

S obzirom na utvrđene indekse plastičnosti, ali i vrijednosti prosječnih visina i preživljenja, populacije se mogu podijeliti na fenotipski stabilne s relativno visokim stupnjem prilagođenosti na istraživano stanište pokusnog nasada (HR 88, HR 160, HR 389, HR 368, HR 12, HR 577), fenotipski nestabilne s visokim stupnjem prilagođenosti na specifične mikrostanišne prilike unutar istraživanog nasada (HR 387, HR AM, HR 163, HR 58), fenotipski stabilne s niskim stupnjem prilagođenosti na stanište pokusnog nasada (HR 330, HR 609) i fenotipski nestabilne s niskim stupnjem prilagođenosti na stanište pokusnog nasada (HR 16). Preostale populacije (HR 317, HR 318, HR 627 i HR 203) iskazale su prosječnu fenotipsku plastičnost. Od navedenih populacija koje su bile prosječno fenotipski plastične, sve su bile iznadprosječno visoke i iznadprosječnog preživljenja tj. pokazale su visoku prilagođenost na istraživano stanište, izuzev populacije HR 203 koja je bila ispodprosječna u oba svojstva. Za praktičnu su uporabu upravo zanimljive ove populacije koje su fenotipski stabilne (niže plastičnosti), ali ujedno ispoljavaju pozitivne fenotipske vrijednosti. Takve se populacije mogu koristiti na širokom području raznovrsnih staništa. S druge strane, korisne su i fenotipski nestabilne populacije (visoke plastičnosti), ali koje pokazuju pozitivne fenotipske vrijednosti na specifičnim staništima. Takve se populacije mogu preporučiti za korištenje u specifičnim stanišnim uvjetima na kakva pokazuju visoku prilagođenost.

Zaključci Conclusions

Utvrđene statistički značajne razlike između populacija ukazuju kako postoji genetska diferencijacija između istraživanih populacija hrasta lužnjaka. Obrazac genetske diferencijacije populacija nije se mogao objasniti njihovim geografskim položajem, već je vjerojatniji uzrok diferencijacije različitost lokalnih stanišnih uvjeta u njihovim matičnim sastojinama. Razlike između blokova ukazuju na ovisnost položaja populacije u pokusnom nasadu (mikroreljefu), te su ovisno o bloku populacije imale različite prosječne visine biljaka. Zahvaljujući visokom stupnju interakcije familija s okolišnim razlikama blokova, nije utvrđena značajna unutarpopulacijska genetska raznolikost.

Različiti indeksi fenotipske plastičnosti također upućuju na genetsku diferencijaciju populacija, međutim niti u ovom slučaju nije uočen geografski obrazac razdvajanja. Populacije su kategorizirane u fenotipski stabilne, nestabilne i prosječne fenotipske plastičnosti s različitim stupnjevima prilagođenosti na testne stanišne uvjete koji su vladali u analiziranim godinama.

Pravilnim korištenjem šumskog reprodukcijskog materijala, na temelju znanstvenih spoznaja, mogu se poduzeti aktivne mjere sprječavanja negativnih procesa koji vode osi-

romašenju genetske raznolikosti. Za pomlađivanje i pošumljavanje sličnih staništa kao što je bilo stanište pokusnog nasada, može se preporučiti korištenje šumskog reprodukcijskog materijala iz sjemenskih sastojina čije je potomstvo iskazalo prosječnu do visoku fenotipsku stabilnost s visokim stupnjem prilagođenosti (u smislu preživljenja i visinskog rasta). To su bile populacije: HR 88, HR 160, HR 389, HR 368, HR 12, HR 577, HR 317, HR 318 i HR 627. Nasuprot tomu, trebalo bi izbjegavati korištenje šumskog reprodukcijskog materijala od populacija koje su pokazale nisku razinu prilagođenosti, neovisno o njihovoj fenotipskoj stabilnosti. To su bile populacije: HR 330, HR 609, HR 16 i HR 203.

Rezultate dobivene analizama podataka za samo dvije uzastopne godine treba shvatiti kao preliminarne rezultate i naznake genetskog obrasca diferencijacije hrasta lužnjaka u Hrvatskoj te poticaj za nastavak istraživanja.

Zahvala

Acknowledgements

Ovo istraživanje dio je znanstvenog projekta MZOS 024-0242108-2099 – "Oplemenjivanje i šumsko sjemenarstvo" (Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske), znanstveno-istraživačkog projekta "Masovna i individualna selekcija, izbor i bonitiranje sjemenskih objekata" (Hrvatske šume d.o.o. Zagreb) te znanstveno-istraživačkog projekta "Testiranje sjemenskih sastojina lužnjaka (*Quercus robur* L.) putem usporednih testova" (Hrvatske šume d.o.o. Zagreb; Uprava šuma Podružnica Karlovac).

Ovim putem autori se zahvaljuju za financijsku podršku. Zahvaljujemo i svim djelatnicima Hrvatskih šuma d.o.o. Zagreb, koji su sudjelovali u organizaciji i provedbi sakupljanja sjemena u sjemenskim sastojinama, te osnivanja pokusne plohe i time omogućili ovo istraživanje.

Literatura

Literature

- Bogdan, S., I. Katičić-Trupčević, D. Kajba, 2004: Genetic Variation in Growth Traits in a *Quercus robur* L. Open-Pollinated Progeny Test of the Slavonian Provenance. *Silvae Genetica* 53 (5–6): 198–201.
- Bogdan, S., D. Bedeniković, M. Ivanković, 2008: Rezultati genetičkog testa s familijama dobivenim slobodnim oprašivanjem plus stabala hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) iz sjemenske regije srednja Podravina. *Rad. – Šumar. inst. Jastrebov*. 43 (2): 93–114.
- Bogdan, S., A. Jelušić, M. Ivanković, 2009: Testiranje genetske varijabilnosti hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) iz sjemenskih sastojina u Hrvatskoj – prvi rezultati. U: Matic, S., Anić, I. (ur.) Zbornik radova sa znanstvenog skupa "Šume hrasta lužnjaka u promijenjenim stanišnim i gospodarskim uvjetima", HAZU, IU-FRO, Akademija šumarskih znanosti, Hrvatske šume d.o.o., 169–181, Zagreb.
- Bogdan, S., D. Kajba, M. Ivanković, J. Gračan, 2011: Očuvanje genetske raznolikosti crnog bora (*Pinus nigra* Arnold). U: Matic, S. (ur.) Šume Hrvatskog sredozemlja. Akademija šumarskih znanosti, Hrvatske šume d.o.o., Hrvatsko šumarsko društvo, 352–358, Zagreb.
- Bradshaw, A. D., 1965: Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. *Advances in Genetics*, 13: 115–155.
- Bradshaw, A.D. 2006: Unravelling phenotypic plasticity – why should we bother? *New Phytologist*, 170: 644–648.
- DHMZ: Klimatski atlas Hrvatske 1961.–1990. i 1971.–2000. http://klima.hr/razno/publikacije/klimatski_atlas_hrvatske.pdf
- DHMZ: Odstupanje od klimatskog prosjeka 1961–1990 za 2011. godinu. http://klima.hr/ocjene_arhiva.php
- Ducouso, A., S. Bordacs, 2004: EUFORGEN Technical guideline for conservation and use for pendunculate and sessile oaks (*Quercus robur* and *Q. petraea*) International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 6p
- Eriksson, G., I. Ekberg, D. Capham, 2006: An introduction to Forest Genetics. Uppsala. 186.
- Falconer, D. S., T. F. C. Mackay, 1996: Introduction to Quantitative Genetics. Longman Group Ltd. 464 str.
- Franjić, J., 1993: Veličina žira kao pokazatelj individualne varijabilnosti hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). *Glas. šum. Pokuse*, posebno izd. 4: 195–205.
- Franjić, J., 1993a: Morfometrijska analiza lista i ploda hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj. Magistarski rad – PMF Zagreb.
- Franjić, J., 1994: Morphometric leaf analysis as an indicator of common oak (*Quercus robur* L.) variability in Croatia. *Ann. Forest.* 19 (1): 1–32.
- Franjić, J., 1996: Morfometrijska analiza varijabilnosti lista posavskih i podravnih populacija hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L., *Fagaceae*) u Hrvatskoj. *Glas. šum. Pokuse* 32: 153–214.
- Franjić, J., 1996a: Multivariate analysis of leaf properties in the common oak (*Quercus robur* L., *Fagaceae*) populations of Posavina and Podravina in Croatia. *Ann. Forest.* 21 (2): 23–60.
- Franjić, J., Z. Škvorc, 2001: Dosadašnji rezultati istraživanja varijabilnosti hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L., *Fagaceae*) u Hrvatskoj. U: S. Matic, A. P. B. Krpan, J. Gračan (ur.) Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama. Šumarski fakultet Zagreb, Šumarski institut Jastrebarsko, Hrvatske šume Zagreb, 53–59.
- Gračan, J., 1996: Masovna selekcija. U: D. Klepac (ur.), *Hrast lužnjak u Hrvatskoj*, HAZU i "Hrvatske šume" p.o., Vinkovci – Zagreb, 118–127.
- Garčan, J., N. Komlenović, P. Rastovski, 1991: Pokus populacija hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). *Šumarski list* 6–9: 245–260, Zagreb.
- Idžojtić, M. 2009: Dendrologija – list, Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Suizdavači: Hrvatske šume d.o.o., Zagreb i Akademija šumarskih znanosti, Zagreb, 904p.
- Ivanković, M., M. Popović, S. Bogdan, 2011: Varijabilnost morfometrijskih svojstava žireva i visina sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) iz sjemenskih sastojina u Hrvatskoj. *Šumarski list – Poseban broj*, 46–58, Zagreb.
- Katičić Bogdan, I., 2012: Genetska raznolikost hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u klonskim sjemenskim plantažama u Hrvatskoj. Disertacija. p 165.

- Konvencija o biološkoj raznolikost (Convention of biodiversity), 1992: <http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf>. United Nations.
- Krstinić, A., 1996: Unutarpopulacijska i međupopulacijska varijabilnost hrasta lužnjaka. U: D. Klepac (ur.), Hrast lužnjak u Hrvatskoj, HAZU i "Hrvatske šume" p.o., Vinkovci – Zagreb, 112–118.
- Krstinić, A., I. Trinajstić, J. Gračan, J. Franjić, D. Kajba, M. Britvec, 1996: Genetska izdiferenciranost lokalnih populacija hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj. U: Matić, S., J. Gračan, (ur.), Skrb za hrvatske šume od 1846. do 1996. Zaštita šuma i pridobivanje drva 2, Hrvatsko šumarsko društvo, 159–168. Zagreb.
- NN 107/08 Pravilnik o područjima provenijencija svojiti šumskog drveća od gospodarskog značaja
- Pemac, D. i B. Tucic 1998: Reaction norms of juvenile traits to light intensity in *Iris pumila* (Iridaceae): a composition of population from exposed and shaded habitats. *Plant Systematics and Evolution*, 209: 159–176.
- Perić, S., J. Gračan, B. Dalbelo-Bašić, 2000: Flushing variability of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in provenance experiment in Croatia. *Glas. Šum. pokuse* 37: 395–412. Zagreb.
- Roth, V., 1999: Neka svojstva sjemena hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) iz raznih sjemenskih zona i rajona Hrvatske. *Rad. Šumar. Inst.* 38(2): 195–210. Jastrebarsko.
- Roth, V., 2003: Neki pokazatelji rasta hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) iz sjemenskih zona i rajona Hrvatske u rasadničkom testu. *Rad. Šumar. Inst.* 38(2): 195–210. Jastrebarsko.
- SAS 2000: SAS Institute Inc. SAS OnlineDoc®, Version 8. <http://v8doc.sas.com/sashtml>
- Valladares, F., L. Balaguer, E. Martinez-Ferri, E. Perez-Corona, E. Manrique, 2002 a: Plasticity, instability and canalization: is the phenotypic variation in seedlings of sclerophyll oaks consistent with the environmental unpredictability of Mediterranean ecosystems? *New Phytologist*, 156: 457–467.
- Valladares, F., J.M. Chico, I. Aranda, L. Balaguer, P. Dizengremel, E. Manrique, E. Dreyer, 2002 b: Greater high light seedling tolerance of *Quercus robur* over *Fagus sylvatica* is linked to a greater physiological plasticity. *Trees, Structure and Function*, 16: 395–403.
- Valladares F., S. Arrieta, I. Aranda, D. Lorenzo, D. Tena, D. Sanchez-Gomez, F. Suarez, J.A. Pardos 2005: Shade tolerance, photoinhibition sensitivity and phenotypic plasticity of *Ilex aquifolium* in continental-Mediterranean sites. *Tree Physiology*, 25: 1041–1052.
- Valladares, F., D. Danchez-Gomez, M. A. Zavala, 2006: Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. *Journal of Ecology* 94: 1103–1116.
- Vidaković, M., 1966: Genetika i oplemenjivanje šumskog drveća. Sveučilište u Zagrebu. Zagreb, 277.
- Vidaković, M., A. Krstinić, J. Gračan, 1996: Očuvanje genofonda hrasta lužnjaka u Hrvatskoj. U: D. Klepac (ur.), Hrast lužnjak u Hrvatskoj, HAZU i "Hrvatske šume" p.o., Vinkovci – Zagreb, 112–118.
- White, T. L., W. T. Adams, D. B. Neale, 2007: *Forest Genetics*. Wallingford, UK, Cambridge, MA: CAB International, p682.
- West-Eberhard, M.J., 2003: *Development Plasticity and Evolution*. Oxford University Press, New York.

Summary

Previous studies of morphological and physiological trials of pedunculate oak in Croatia revealed genetic differentiation of local populations as well as high degrees of genetic diversity within each population. For further research of genetic diversity and differentiation of oak populations in Croatia, height and survival were analysed in a newly genetic test which contains progeny from 16 seed stands and one regular management forest stand (Table 1) at the age of four and five years, respectively (Figure 1 and 2). Survival for first analysed year was extremely good, but after the next vegetation period visibly decreased. Analysis of variance for mean height of two consecutive years (2010th and 2011th) revealed significant differences between populations (Table 2 and 3). Depending on the position within the genetic test same populations or families had different "dispersal" of mean height. We conducted a Tukey-Kramer test of the least square mean difference of population heights in order to determine their relationship, and to determine a possible geographic pattern of genetic differentiation (Table 5 and 6). Population HR 88 (FA Našice, Forestry Office Koška, Working unit Lacić-Gložde) in both years differentiated as the highest of all, while other isolated groups of populations multiple overlapped. Comparing the significant difference in average height between populations and their geographic location geographic pattern of differentiation could not be observed (Table 5 and 6).

An analysis of phenotypic plasticity of the studied populations for population height at age of 5 years was performed (Table 7) because of statistically significant effect of blocks. No geographic pattern of differentiation between populations was observed for the plasticity indices (PIV, RDPI) (Table 8). Populations were categorized into phenotypically stable, unstable, and with average phenotypic plasticity with varying degrees of adaptedness to the test site conditions that prevailed in the analysed years. For reforestation and afforestation of similar habitats as was at the field trial it is recommended to use forest reproductive material from seed stands whose progeny expressed average to high phenotypic stability with a high degree of adaptedness (in terms of survival and height growth).

The results of this study should be considered as preliminary and stimulus for further research.

KEY WORDS: pedunculate oak, genetic test, adaptive genetic differentiation and diversity, phenotypic plasticity.