

## VARIJABILNOST MORFOMETRIJSKIH SVOJSTAVA ŽIREVA I VISINA SADNICA HRASTA LUŽNJAKA (*QUERCUS ROBUR* L.) IZ SJEMENSKIH SASTOJINA U HRVATSKOJ

ACORN MORPHOMETRIC TRAITS AND SEEDLING HEIGHTS  
VARIATION OF PEDUNCULATE OAK (*QUERCUS ROBUR* L.)  
FROM THE SEED STANDS IN CROATIA

Mladen IVANKOVIĆ<sup>1</sup>, Maja POPOVIĆ<sup>1</sup>, Saša BOGDAN<sup>2</sup>

*SAŽETAK:* Radi verifikacije važećih sjemenskih zona hrasta lužnjaka u Hrvatskoj na temelju znanstvenih spoznaja, započela su nova istraživanja genetske varijabilnosti u području prirodnog areala ove vrste. U jesen 2006. godine prikupljeno je sjeme iz tzv. priznatih sjemenskih sastojina, čija je osnovna uloga izvorište kvalitetnijeg sjemena za potrebe umjetne obnove gospodarskih sastojina. U radu se prikazuju rezultati morfometrijske analize sjemena i visina jednogodišnjih sadnica podrijetlom iz 17 uzorkovanih sastojina, koje reprezentiraju cjelokupni areal hrasta lužnjaka u Hrvatskoj. Iz svake je sastojine prikupljeno sjeme od 25 stabala, a na uzorku od 30 sjemenki po stablu izmjereni su duljina, maksimalna širina i masa žira, te su na temelju duljine i širine izračunati volumen žira (prema formuli za izračunavanje volumena valjka) i indeks žira (omjer duljine i širine). U rasadniku Hrvatskog šumarskog instituta osnovan je rani, rasadnički test, te su tijekom jeseni i zime 2007. godine, starosti biljaka 1+0, obavljene prve izmjere visina.

Analiza varijance provedena je MIXED procedurom u SAS-u, a analizirani su: fiksni učinak važećih sjemenskih zona te slučajni učinci populacija unutar zona i stabala unutar populacija. Cilj analize varijance bio je utvrditi značajnost međuzonskih, međupopulacijskih i unutarpopulacijskih razlika za istraživana svojstva sjemena i visine jednogodišnjih sadnica. Tukey-Kramer testom u SAS-u analiziran je obrazac razlika između uzorkovanih populacija. Rezultati su pokazali da se važeće sjemenske zone nisu statistički značajno razlikovale niti za jedno analizirano svojstvo. Uzorkovane sastojine međusobno su se statistički značajno razlikovale u svim istraživanim svojstvima sjemena. Najveće prosječne dimenzije imali su žirevi iz sjemenske sastojine kasnolistajuće forme hrasta lužnjaka Domačaj-Kovačevski lug (Šumarija Karlovac), dok su najmanje dimenzije imali žirevi iz sastojine Česma (Šumarija Bjelovar). Utvrđene međupopulacijske razlike nisu odgovarale važećoj sjemenskoj razdjelbi, tj. nisu potvrdile geografski obrazac diferencijacije populacija. Utvrđena je vi-

<sup>1</sup> Dr. sc. Mladen Ivanković, znanstveni savjetnik,  
Maja Popović, dipl. ing. šum., znanstveni novak,  
Hrvatski šumarski institut. Zavod za genetiku, oplemenjivanje  
šumskog drveća i sjemenarstvo.  
Cvjetno naselje 41; HR-10450 Jastrebarsko.  
e-mail: mladeni@sumins.hr; majap@sumins.hr

<sup>2</sup> Doc. dr. sc. Saša Bogdan, Šumarski fakultet Sveučilišta u  
Zagrebu. Zavod za šumarsku genetiku, dendrologiju i botaniku.  
Svetošimunska 25. 10000 Zagreb,  
e-mail: sasa.bogdan@zg.htnet.hr

soko statistički značajna unutarpopulacijska varijabilnost za istraživanja svojstva sjemena (razlike između stabala odnosno familija unutar populacija).

Prosječne vrijednosti visine jednogodišnjih sadnica bile su najniže kod populacije Česma (Šumarija Vrbovec) i Repaš Gabajeva greda (Šumarija Repaš), dok su najviše bile kod populacije Lacić Gložde (Šumarija Koška) i Rečički lugovi (Šumarija Karlovac). I za svojstvo visine uočena je statistički značajna diferencijacija između populacija, iako je još veći stupanj varijabilnosti utvrđen između familija unutar svake populacije. Provedena je analiza s ciljem utvrđivanja postojanja geografskog obrasca međupopulacijske diferencijacije. Međutim niti za svojstvo visine sadnica nije se mogao uočiti geografski obrazac diferencijacije analiziranih populacija.

Provedena korelacijska analiza između visina jednogodišnjih sadnica i morfometrijskih svojstava sjemena nije pokazala statistički značajnu povezanost.

*ključne riječi*: sjemenska razdjelba, sjemenska zona, područje provenijencije, ekotipska varijabilnost

## UVOD – Introduction

Pravilnikom o područjima provenijencija svojti šumskog drveća od gospodarskog značenja (NN 107/08) određena je važeća sjemenska razdjelba šuma hrasta lužnjaka u Hrvatskoj. Šume hrasta lužnjaka podijeljene su na tri sjemenske zone, te je preporučeno da sjemenskim i sadnim materijalom treba prometovati unutar pojedinih zona. Navedena razdjelba (zonacija) određena je na temelju ekoloških razlika, produktivnosti sastojina i administrativno-gospodarskih posebnosti u području kontinentalnog i submediteranskog područja rasprostranjenosti vrste. Pravilnik je proizašao iz Zakona o šumskom reprodukcijskom materijalu (NN 75/09) koji je usklađen s Uputom Europskog vijeća o prometovanju šumskim reprodukcijskim materijalom (Council Directive 1999/105/EC).

Temelj za pravilnu sjemensku razdjelbu trebale bi biti adaptivne genetske razlike unutar određene vrste drveća na geografskom području njene rasprostranjenosti. Ako takve razlike postoje, onda se područje rasprostranjenosti razdjeljuje na sjemenske zone, odnosno područja provenijencija između kojih vrsta pokazuje adaptivne genetske razlike. Sjemenskom se razdjelbom propisuje prometovanje šumskim reprodukcijskim materijalom samo unutar pojedine sjemenske zone, odnosno područja provenijencije, jer se pretpostavlja da su provenijencije genetski prilagođene na specifične okolišne uvjete unutar svojih područja.

Obnova hrastovih šuma u Hrvatskoj provodi se uzgojnim postupcima tzv. prirodne obnove, dok se umjetna obnova dopušta ukoliko urod sjemena u sastojini koja se obnavlja nije dostatan ili prirodna obnova nije uspješno izvedena. Postupak prirodne obnove podrazumijeva korištenje izvornog sjemena sastojine koja se obnavlja. Međutim, uslijed raznovrsnih problema uzrokovanih ponajviše neredovitošću punih uroda, sve se češće prometuje šumskim reprodukcijskim materijalom (ŠRM-om), te se pri obnovi sastojina koristi sjeme i/ili sadnice podri-

jetlom iz drugih sastojina. Sukladno naputcima OECD-a (engl. Organisation for Economic Co-operation and Development) i Vijeća Europe (1999/105/EC), prometovanje šumskim reprodukcijskim materijalom u Hrvatskoj regulirano je Zakonom iz 2009. godine (NN 75/09). Temeljna načela navedenog zakona nalažu da šumski reprodukcijski materijal treba biti razvrstan u različite kategorije koje su definirane kao: 1. *poznato podrijetlo*, 2. *selekcioniran*, 3. *kvalificiran* i 4. *testiran*.

Zasada je u Hrvatskoj ŠRM moguće razvrstati samo u prve tri kategorije, jer posljednja podrazumijeva genetsku provjeru roditeljskih stabala putem posebno dizajniranih usporednih ili genetičkih testova. Nadalje, ŠRM hrasta lužnjaka kategorije *kvalificiran* (ŠRM dobiven iz sjemenskih plantaža) zasada se može naći u vrlo ograničenim količinama. Stoga, u ovom trenutku, raspoložemo uglavnom sa ŠRM-om kategorija *poznato podrijetlo* i *selekcioniran*. Kategorija *poznato podrijetlo* odnosi se na "reprodukcijski materijal podrijetlom iz sjemenskog izvora unutar određene provenijencije" (NN 75/09, članak 6.). Kategorija *selekcioniran* odnosi se na reprodukcijski materijal "podrijetlom iz sjemenskih sastojina unutar određene provenijencije koje se fenotipski razlikuju od populacija druge provenijencije" (NN 75/09, članak 6.).

Vidljivo je da se u definicijama kategorija ponavlja izraz "područje provenijencije", koji se prema članku 4. Zakona definira kao "lokalitet ili grupa lokaliteta vrlo sličnih ekoloških uvjeta u kojima sastojine ili sjemenski izvori pokazuju slične fenotipske ili genetske značajke, uzimajući u obzir i visinske granice, gdje je to moguće". Sukladno članku 19. Zakona, ministar za pojedinu gospodarski važnu svojtu šumskog drveća pravilnikom propisuje područje provenijencije. Sastavni dio tog pravilnika je i karta s ucrtanim granicama područja provenijencija. Navedeni pravilnik donesen je 19. rujna 2008. godine (NN 107/08).

Važeća razdjelba šuma hrasta lužnjaka na područja provenijencija učinjena je na temelju pretpostavki i spoznaja o ekološkim razlikama između izdvojenih zona, kao i na temelju administrativnih granica Uprava šuma Podružnica tvrtke Hrvatske šume d.o.o. Zagreb. Tako je područje rasprostranjenosti razdijeljeno na tri sjemenske zone (1. Zona nizinskih šuma Podravine i Podunavlja, 2. Zona nizinskih šuma Posavine, srednje Hrvatske i Pokuplja i 3. jugozapadna zona submediteranskih šuma – Motovunska šuma), te 6 sjemenskih regija (podzona). Praksa da se sjemenske zone izdvajaju na temelju ekoloških razlika između geografskih područja i na temelju administrativnih granica između šumarskih tvrtki koje gospodare šumama, uobičajena je u gotovo svim zemljama koje su provele sjemensku razdjelbu.

Osnova razdjelbe na temelju ekoloških razlika je pretpostavka da razlike u ekološkim uvjetima putem mehanizama prirodne selekcije uzrokuju genetsku diferencijaciju unutar vrste. Prema takvim pretpostavkama, populacije koje se rasprostiru na geografskom području u kojemu vladaju slični ekološki uvjeti prilagođene su upravo na takve uvjete, a ne na uvjete koji vladaju u drugim geografskim područjima. Stoga se preporučuje da se takva geografska područja proglašavaju područjima provenijencija i da se reprodukcijски materijal koristi isključivo unutar istog područja u kojemu mu je i podrijetlo. Međutim, proces prilagođavanja i genetske diferencijacije populacija nije uzrokovan samo mehanizmima selekcije, već ga oblikuju i drugi tzv. evolucijsko-adaptacijski čimbenici, a to su migracije gena, mutacije i genski drift (White *et al.* 2007).

Dosadašnje spoznaje ukazuju da s jedne strane selekcijski pritisak mora biti vrlo snažan, a s druge strane čimbenik migracija gena vrlo slab, da bi u konačnici ekološke razlike uzrokovale genetsku diferencijaciju i prilagodbu populacija unutar jedne vrste. Zbog toga se genetska diferencijacija unutar vrsta šumskog drveća javlja najčešće između ekološki (prvenstveno klimatski) vrlo različitih geografskih područja koja su međusobno geografski znatno udaljena. Izuzetak čine vrste koje se rasprostiru na velikom rasponu nadmorske visine, gdje su klimatske razlike puno veće i na manjim udaljenostima. Općenito, kod šumskih vrsta koje se

odlikuju velikim područjem rasprostranjenosti i malim rasponom nadmorske visine (u koje pripada i hrast lužnjak), rijetko su dokazane značajne genetske razlike između populacija na geografski malom području (White *et al.* 2007; Eriksson *et al.* 2006). Zahvaljujući tim spoznajama, u mnogim je zemljama Europe došlo do revizije i liberalizacije sjemenskih zona tj. do smanjivanja njihova broja.

Prema dosadašnjim istraživanjima varijabilnosti hrasta lužnjaka u Hrvatskoj, većina je autora ukazala na postojanje genetske diferencijacije između populacija koje potječu sa većeg područja rasprostranjenosti (Krstinić *et al.* 1996, Franjić 1996, Perić *et al.* 2000, Roth 2003, Bogdan *et al.* 2009, Kajba *et al.* 2011). Istraživanja koja su obuhvatila manje geografsko područje nisu potvrdila međupopulacijsku diferencijaciju (Bogdan *et al.* 2004). Međutim, postoje razlike u interpretaciji obrasca utvrđene genetske diferencijacije. Dok Roth (2003) izvješćuje o diferencijaciji koja odgovara važećoj sjemenskoj razdjelbi šuma hrasta lužnjaka, većina drugih autora ukazuje na ekotipski obrazac međupopulacijske diferencijacije (neovisan o geografskoj podjeli, već o mikroekološkim parametrima koji vladaju u prirodnim sastojinama i koji su kompleksno distribuirani u geografskom prostoru).

Zbog toga je pokrenut novi projekt istraživanja genetske varijabilnosti na uzorku od 17 sjemenskih sastojina, koje reprezentiraju cijeli areal ove vrste u Hrvatskoj. Cilj je ovog istraživanja utvrditi količinu i obrazac genetske varijabilnosti hrasta lužnjaka u Hrvatskoj, putem analize morfometrijskih svojstava žireva, te visina jednogodišnjih sadnica u rasadničkom testu potomstva iz uzorkovanih sjemenskih sastojina.

Pretpostavke su da bi rezultati trebali pokazati značajne međuzonske razlike ukoliko su populacije zaista prilagođene na ekološke uvjete unutar zasebnih područja provenijencija (sjemenskih zona). Međutim, treba naglasiti da ovaj rad predstavlja samo početna istraživanja, jer analizirana svojstva ne mogu biti precizni pokazatelj tzv. adaptivne genetske varijabilnosti.

## MATERIJALI I METODE – *Material and Methods*

U rujnu i listopadu 2006. godine sakupljen je sjemenski materijal u šesnaest tzv. priznatih sjemenskih sastojina i jednoj gospodarskoj sastojini 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 okularno zdrav i neoštećen žir bez obzira na dimenzije. Svaka sjemenska podzona (regija)

zastupljena je najmanje s jednim uzorkom, dok su neke podzone zastupljene i s više uzoraka.

Žirevi su zasijani na gredice u rasadniku Hrvatskog šumarskog instituta u Jastrebarskom, odvojeno po majčinskim stablima i sastojinama. Tijekom prvog vegetacijskog razdoblja provedene su uzgojne mjere mehaničkog ukanjanja korova i kemijskog tretiranja fungicidima protiv hrastove pepelnice koju uzrokuje gljiva *Microsphaera alphitoides*.

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

Table 1 Data on stands where acorns were collected

| Broj No. | Oznaka populacije<br><i>Population mark</i> | Uprava šuma<br>Podružnica<br><i>Forest Administration</i> | Šumarija<br><i>Forest office</i> | Gospodarska jedinica;<br>odjel/odsjeke<br><i>Working unit; compartment/<br/>subcompartment</i> | Važeća sjemenska zona<br><i>The current seed zone</i>    |
|----------|---|---|----------------------------------|--|--|
| 1        | HR 12                                       | Vinkovci  | Gunja                            | Trizlovi-Rastovo; 9b, 9d   | 1.2. Nizinske šume Posavine, srednje Hrvatske i Pokuplja |
| 2        | HR 16                                       | Vinkovci  | Otok                             | Slavir; 35d, 48g, 48h  | 1.2. Nizinske šume Posavine, srednje Hrvatske i Pokuplja |
| 3        | HR 58                                       | Osijek  | Darda                            | Haljevo-Kozaračke šume; 52a  | 1.1. Nizinske šume Podravine i Podunavlja                |
| 4        | HR 160                                      | Nova Gradiška   | Trnjani                          | Ilijanska-Jelas; 13a, 14b, 15b, 26a, b   | 1.2. Nizinske šume Posavine, srednje Hrvatske i Pokuplja |
| 5        | HR 163                                      | Nova Gradiška   | Stara Gradiška                   | Ljeskovača; 18e  | 1.2. Nizinske šume Posavine, srednje Hrvatske i Pokuplja |
| 6        | HR 203                                      | Bjelovar  | Vrbovec                          | Česma; 72a   | 1.2. Nizinske šume Posavine, srednje Hrvatske i Pokuplja |
| 7        | HR 317                                      | Zagreb  | Kutina                           | Kutinske nizinske šume; 30b  | 1.2. Nizinske šume Posavine, srednje Hrvatske i Pokuplja |
| 8        | HR 318                                      | Zagreb  | Lipovljani                       | Josip Kozarac; 43a, 54a, 113a  | 1.2. Nizinske šume Posavine, srednje Hrvatske i Pokuplja |
| 9        | HR 330                                      | Zagreb  | Velika Gorica                    | Turopoljski lug; 8a, 9b  | 1.2. Nizinske šume Posavine, srednje Hrvatske i Pokuplja |
| 10       | HR 368                                      | Sisak   | Sunja                            | Posavske šume; 123a, 124a, b, c, d   | 1.2. Nizinske šume Posavine, srednje Hrvatske i Pokuplja |
| 11       | HR 387                                      | Karlovac  | Karlovac                         | Rečički lugovi; 26a, b, c, e, 48a, c, d, e   | 1.2. Nizinske šume Posavine, srednje Hrvatske i Pokuplja |
| 12       | HR 389                                      | Karlovac  | Karlovac                         | Domačaj-Kovačevački lug; 14a, b  | 1.2. Nizinske šume Posavine, srednje Hrvatske i Pokuplja |
| 13       | HR 577                                      | Požega  | Požega                           | Poljadijske šume; 48c  | 1.2. Nizinske šume Posavine, srednje Hrvatske i Pokuplja |
| 14       | HR 609                                      | Buzet   | Buzet                            | Mirna; 8d  | 4.1. Submediteranske šume jugozapadne zone (do Tigarice) |
| 15       | HR 627                                      | Koprivnica  | Repaš                            | Repaš Gabajeva greda; 20a, f, 25a  | 1.1. Nizinske šume Podravine i Podunavlja                |
| 16       | HR 88                                       | Našice  | Koška                            | Lacić Gložđe; 69a  | 1.1. Nizinske šume Podravine i Podunavlja                |
| 17       | HR AM <sup>1</sup>                          | Vinkovci  | Otok                             | Lože; 65a  | 1.2. Nizinske šume Posavine, srednje Hrvatske i Pokuplja |

Izmjere žireva provedene su na poduzorku od 30 komada svakog od 25 stabala za svaku pojedinu sastojinu. Ukupno je izmjereno 13.938 žireva.

Na svakom žiru izmjerena su sljedeća svojstva: duljina žira (**I**), širina žira (na najširem dijelu) (**d**) i masa žira (**m**).

Iz vrijednosti izmjera, izračunata su sljedeća svojstva: indeks žira (**I<sub>id</sub>**), volumen žira (**V**) na temelju formule za izračun volumena valjka i prosječni broj žireva u jednom kilogramu (**N<sub>kg</sub>**).

Duljina i širina žira mjereni su pomičnim mjerilom s očitanjem točnosti na 0,5 mm. Masa žira mjerena je preciznom vagom s očitanjem točnosti na 0,01 g. Sje-me je sakupljano tijekom mjeseca rujna. Pakirano je u papirnate vrećice, te držano na sobnoj temperaturi do vaganja u prosincu.

Indeks žira izračunat je kao kvocjent duljine i širine žira. Volumen žira izračunat je po formuli za volumen valjka (oblik žira aproksimiran je valjkom). Prosječan broj žireva u jednom kilogramu izračunat je na temelju

prosječne mase jednog žira, zasebno za svako uzorkovano majčinsko stablo.

Visine uzgojenih jednogodišnjih sadnica izmjerene

su u proljeće 2008. godine, kada je vegetacija još bila u stanju mirovanja. Mjerenja su obavljena pomoću mjerne vrpce s preciznošću 0,5 cm.

### Statistička obrada podataka – Statistical analysis

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

Analiza varijance provedena je pomoću MIXED procedure u SAS-u (SAS 2000), s ciljem utvrđivanja statističke značajnosti različitih izvora varijabiliteta (efekata). Analizirani su efekti: važećih sjemenskih zona, populacija (sjemenskih sastojina) unutar regija i stabala (familija) unutar populacija.

Analiza varijance provedena je prema sljedećem linearnom modelu (1):

$$y_{ijkl} = \mu + R_i + P_j + F(P)_{jk} + e_{ijkl} \quad (1)$$

gdje su:  $y_{ijkl}$  – izmjerena vrijednost svojstva na žiru

(sadnici)  $l$  stabla (familije)  $k$  unutar populacije  $j$  i sjemenske zone  $i$ ;

$\mu$  – ukupna sredina svih izmjera za promatrano svojstvo;

$R_i$  – fiksni efekt sjemenske regije  $i$  ( $i = 1,2,3...7$ );

$P_j$  – slučajni efekt populacije  $j$  ( $j = 1,2,3...17$ );

$F(P)_{jk}$  – slučajni efekt stabla (familije)  $k$  unutar populacije  $j$ ;

$e_{ijkl}$  – ostatak ili eksperimentalna greška.

Ispitivanje signifikantnosti razlika najmanjih kvadratnih sredina između istraživanih populacija provedeno je Tukey-Kramer-ovim testom u SAS-u (SAS 2000).

Korelacijska analiza između visina jednogodišnjih sadnica i morfometrijskih svojstava izmjerenih na uzorku sjemena obavljena je uporabom CORR procedure u SAS-u.

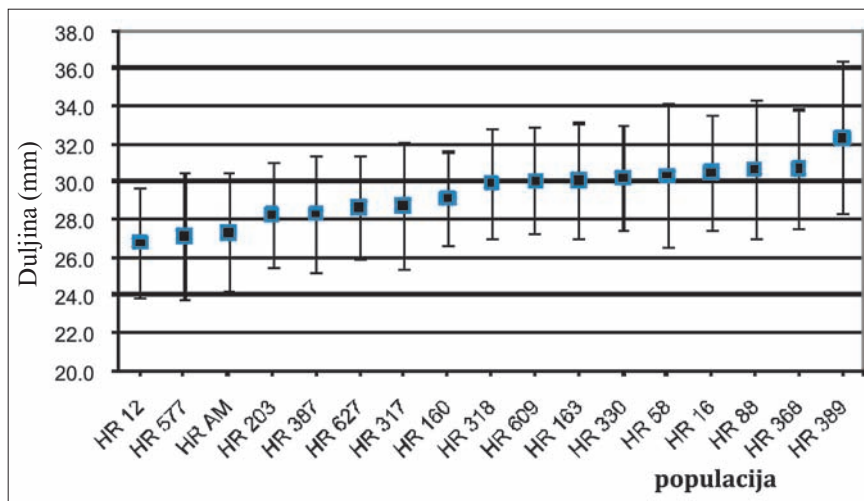
## REZULTATI – Results

### Morfometrijska svojstva žireva – Morphometric traits of acorn

Na slici 1 prikazane su prosječne duljine žireva za sve populacije počevši od populacije s najmanjim do one s najvećim prosjekom. Populacija HR 389 (Domačaj-Kovačevački lug) iz Šumarije Karlovac (tablica 1) koja se ističe najvišim prosjekom duljine žireva priznata je sjemenska sastojina kasnog hrasta lužnjaka (*Quercus robur* var. *tardiflora*). Ispodprosječne duljine žireva imale su populacije HR 12, HR 577, HR AM, HR 203, HR 387, HR 627, HR 317 i HR 160. Od navedenih, populacija HR 12 (Trizlovi-Rastovo; Šumarija Gunja) imala je najmanje prosječne duljine žireva, a također je priznata sjemenska sastojina kasnog hrasta lužnjaka.

Na slici 1 prikazane su prosječne vrijednosti širine žireva od populacije s najmanjim do populacije s najvećim iznosom prosječne širine. Kod ovog svojstva došlo je do promjene u rangiranju populacija. Populacije HR 317, HR 160, HR 368 i HR 389 nisu mijenjale svoju poziciju, tj. ostale su na istom rangu kao što su bile i za prosječne duljine žireva. Populacija HR 389 je i kod ovog svojstva imala najveće vrijednosti. Znatno užim vrijednostima širine žira od ostalih odlikovala se populacija HR AM.

Volumen žireva izračunat je prema formuli za izračun volumena valjka. Prosječan volumen jednog žira za



Slika 1. Prosječne vrijednosti duljine žireva istraživanih populacija.

Figure 1 Acorn length mean values of studied populations

sve analizirane populacije iznosi 5,86 cm<sup>3</sup>. Raspon prosječnih vrijednosti kretao se od 4,40 cm<sup>3</sup> do 7,85 cm<sup>3</sup>. Najniže vrijednosti imala je populacija HR AM (Lože; Šumarija Otok), a najviše HR 389 (Domačaj-Kovačevački lug; Šumarija Karlovac).

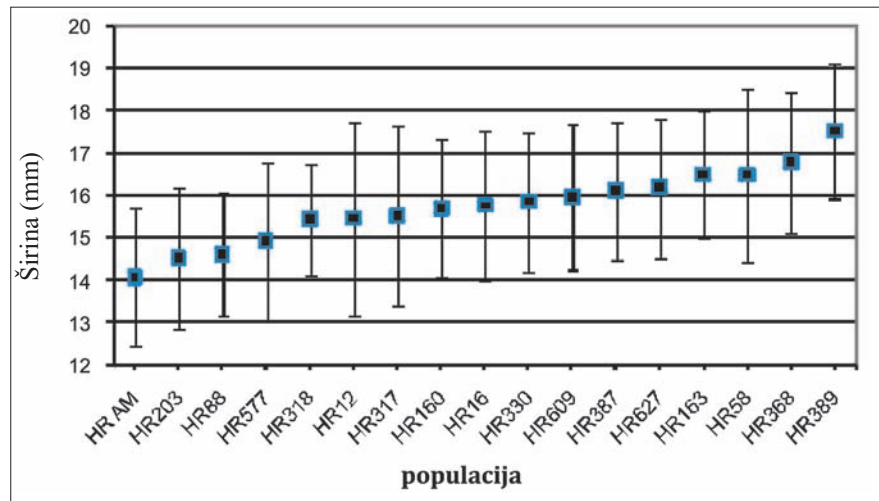
Populacija HR 389 u svim svojstvima imala najviše prosječne vrijednosti, a populacija HR 368 je u rangu bila odmah ispod nje.

Za svojstvo indeks žira, raspon prosječnih rezultata kretao se od 1,74 (populacija HR 12) do 2,12 (populacija HR 88), a ukupan prosjek za sve istražene populacije bio je 1,89. Najnižu minimalnu vrijednost indeksa

imala je populacija HR 577 (1,07), a najvišu maksimalnu populacija HR AM (3,69).

Prosječan broj sjemenki (žireva) u jednom kilogramu za sve populacije iznosio je 207 komada u kilogramu. Raspon se kretao od prosječnih 164 (populacija HR 389 - Domačaj-Kovačevački lug; Šumarija Karlovac) do 257 komada/kg (populacija HR 577 Poljadijske šume; Šumarija Požega).

Provedena analiza varijance za slučajne efekte prikazana je u tablici 2. Ispitivani slučajni izvori varijabilnosti (efekti) bili su populacije unutar zone i familija unutar populacije. Brojevi u tablici označavaju postotke varijance analiziranih efekata. Rezultati su pokazali statistički značajne razlike uvjetovane ispitivanim izvorima varijabilnosti. Uočljivo je da je varijabilnost između stabala unutar svake populacije znatno veća nego između populacija



Slika 2. Prosječne vrijednosti širine žireva istraživanih populacija.

Figure 2 Acorn width mean values of studied populations

unutar zona, posebice za svojstvo indeksa žira. Komponenta varijance ostatka (varijanca uzrokovana efektom razlika između žireva istog majčinskog stabla) zauzima najveći udio ukupne varijabilnosti za sva analizirana svojstva žira i svojstvo visine jednogodišnjih sadnica.

Talica 2. Postotci komponenata varijance za istraživana svojstva žira i jednogodišnjih sadnica, te njihova statistička značajnost.

Table 2 The percentages of variance components for the studied acorn and one-year seedling traits and their statistical significanc

| Izvor varijabilnosti<br><i>Source of variability</i>       | Duljina žira<br><i>Acorn lenght</i> | Širina žira<br><i>Acorn widht</i> | Odnos<br>duljina/širina<br><i>The ratio<br/>lenght/widht</i> | Masa žira<br><i>Acorn mass</i> | Volumen žira<br><i>Acorn volume</i> | Visina<br>jednogodišnjih<br>sadnica<br><i>One-year<br/>seedling height</i> |
|--|-------------------------------------|-----------------------------------|--|--------------------------------|-------------------------------------|--|
| Populacije unutar zone<br><i>Populations within zone</i>   | 18,5**                              | 20,3**                            | 11,2*  | 12,9**                         | 22,4**                              | 9,9*   |
| Stabla unutar populacije<br><i>Trees within population</i> | 30,9***                             | 31,6***                           | 39,8***  | 30,9***                        | 27,5***                             | 7,2***   |
| Ostatak<br><i>Residual</i>                                 | 50,6***                             | 48,***                            | 49,0***  | 56,2***                        | 50,0***                             | 82,8***  |

\*\*\* statistički značajno na razini od 0,1 %, *statistically significant at the level of 0,1%*;

\*\* statistički značajno na razini od 1 %, *statistically significant at the level of 1%*;

\* statistički značajno na razini od 5 %, *statistically significant at the level of 5%*;

Tablica 3 prikazuje rezultate MIXED procedure analize varijance (SAS 2000) za fiksni efekt sjemenskih zona. Posljednja kolona prikazuje vjerojatnost nul hipoteze (sjemenske zone se značajno razlikuju). Vjerojatnosti za sva ispitivana svojstva žira bile su znatno veće od statističkog praga ( $p < 0,05$ ). Stoga proizlazi da razlike između važećih sjemenskih zona nisu bile međusobno statistički značajno različite niti za jedno istraživano morfometrijsko svojstvo žira, kao niti za svojstvo visine jednogodišnjih sadnica.

Zbog utvrđenih statistički značajnih razlika između populacija provedena je njihova analiza s ciljem utvrđivanja postojanja geografskog obrasca. Ova analiza pro-

vedena je Tukey-Kramer-ovim testom najmanjih kvadratnih razlika za sva istraživana svojstva žira osim svojstva broja žireva u kilogramu.

Za svojstvo volumena žira test Tukey-Kramer daje najviše grupa, njih četiri. Prvu grupu čine dvije populacije HR 389 i HR 368. Grupe A i B međusobno su povezane preko populacije HR 368, dok se grupe B i C, kao i grupe C i D više preklapaju. Populacije između kojih nema statistički značajnih razlika povezane su istim slovom (tablica 4).

Tablica 3. Tip 3 F-test značajnosti efekta sjemenskih zona (fiksni efekt) za istraživana svojstva žira i jednogodišnjih sadnica  
 Table 3 Type 3 significance F-test of the seed zone effect (fixed effect) for the studied acorn and one-year seedling traits

| Svojstvo – Trait  | Stupnjevi slobode brojnika<br><i>Numerator degrees of freedom</i> | Stupnjevi slobode nazivnika<br><i>Denominator degrees of freedom</i> | F    | p      |
|---|---|--|------|--------|
| Duljina žira – <i>Acorn length</i>                                | 2   | 13,9   | 0,33 | 0,7245 |
| Širina žira – <i>Acorn width</i>                                  | 2   | 13,8   | 0,03 | 0,9669 |
| Masa žira – <i>Acorn mass</i>                                     | 2   | 14,1   | 0,14 | 0,8688 |
| Odnos duljina/širina<br><i>The ratio length/width</i>             | 2   | 13,9   | 0,19 | 0,8274 |
| Volumen žira – <i>Acorn volume</i>                                | 2   | 13,9   | 0,06 | 0,9377 |
| Visina jednogodišnjih sadnica<br><i>One-year seedling heights</i> | 2   | 14   | 0,81 | 0,4645 |

Tablica 4. Grupe populacija dobivene Tukey-Kramer-ovim testom za svojstvo volumena žira.

Table 4 Population groups derived Tukey-Kramer's test for the properties of acorn volume

| Oznaka provenijencije<br><i>Mark of the provenance</i> | Šumarija<br><i>Forest office</i> | Gospodarska jedinica; odjel/odsjek<br><i>Working unit; compartment/subcompartment</i> | Grupa<br><i>Group</i> |
|--|----------------------------------|---|-----------------------|
| HR 389   | Karlovac                         | Domačaj-Kovačevački lug; 14a,b  | A                     |
| HR 368   | Sunja                            | Posavske šume; 123a, 124a,b,c,d   | A B                   |
| HR 58  | Darda                            | Haljevo-Kozaračke šume; 52a   | B C                   |
| HR 163   | Stara Gradiška                   | Ljeskovača; 18e   | B C                   |
| HR 609   | Buzet                            | Mirna; 8d   | B C                   |
| HR 330   | Velika Gorica                    | Turopoljski lug; 8a, 9b   | B C                   |
| HR 16  | Otok                             | Slavir; 35 d, 48g, 48h  | B C                   |
| HR 627   | Repaš                            | Repaš Gabajeva greda; 20a,f, 25a  | B C                   |
| HR 387   | Karlovac                         | Rečički lugovi; 26a,b,c,e, 48a,c,d,e  | C                     |
| HR 160   | Trnjani                          | Ilijanska-Jelas; 13a, 14b, 15b, 26a,b   | C                     |
| HR 318   | Lipovljani                       | Josip Kozarac; 43a, 54a, 113a   | C                     |
| HR 317   | Kutina                           | Kutinske nizinske šume; 30b   | C                     |
| HR 88  | Koška                            | Lacić Gložđe; 69a   | C D                   |
| HR 12  | Gunja                            | Trizlovi-Rastovo; 9b, 9d  | C D                   |
| HR 577   | Požega                           | Poljadijske šume; 48c   | C D                   |
| HR 203   | Vrbovec                          | Česma; 72a  | C D                   |
| HR AM  | Otok                             | Lože; 65a   | D                     |

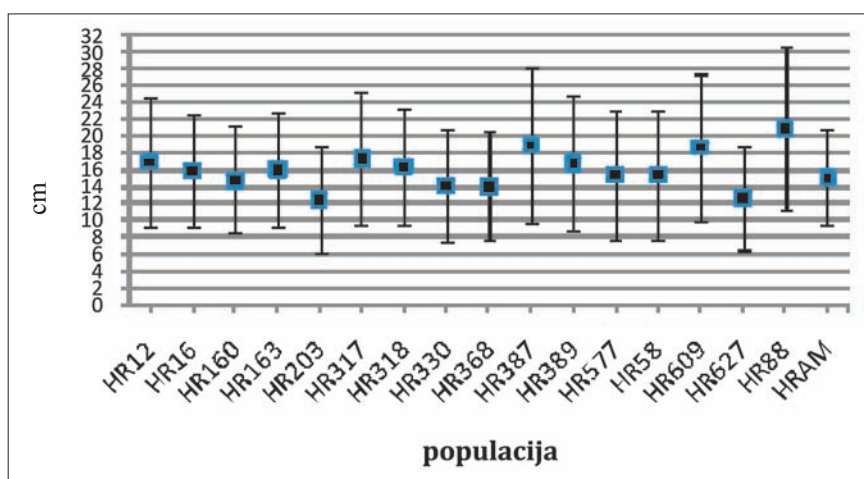
### Analiza visina jednogodišnjih sadnica – *Seedling heights analysis*

Prosječne vrijednosti za visine sadnica nakon prvog vegetacijskog perioda kretale su se od najmanje vrijednosti 12,6 cm kod populacije HR 203 (Česma; Šumarija Bjelovar) do najviše 20,9 cm kod populacije HR 88 (Lacić-Gložđe, Šumarija Koška).

Na slici 3 prikazane su aritmetičke sredine visina po ispitivanim sjemenskim sastojinama. Rasponi iznad i ispod aritmetičke srednje vrijednosti označavaju standardne devijacije. Može se vidjeti da su populacije HR 203 i HR 627 bile prosječno najniže, dok su najviše bile HR 88 te HR 387.

Provedena analiza varijance prikazana je u tablici 2. Cilj analize varijance bio je utvrditi komponente varijance i njihove statističke zna-

čajnosti za slučajne izvore varijabilnosti koji su u ovom slučaju populacije i familije unutar populacija. Analiza



Slika 3. Prosječne vrijednosti visina jednogodišnjih sadnica hrasta lužnjaka po istraživanim populacijama.

Figure 3 Average values of one-year seedlings height by studied populations

ukazuje na statistički značajne razlike uvjetovane ispitivanim izvorima varijabilnosti. Vidi se da je varijabilnost između populacija nešto viša nego između familija unutar svake populacije. Komponenta varijance ostatka zauzima najveći udio ukupne varijabilnosti.

Tablica 3 prikazuje rezultate MIXED procedure analize varijance za fiksni efekt važećih sjemenskih zona. Primijenjena procedura kod analize statističke značajnosti uzima u obzir i druge izvore varijabilnosti (populacije i familije unutar populacija). Ispitivanje značajnosti efekta sjemenskih zona pokazalo je da one nisu bile međusobno statistički značajno različite za svojstvo visine jednogodišnjih sadnica.

Zbog statistički značajnih razlika između populacija provedena je njihova analiza Tukey-Kramer-ovim testom najmanjih kvadratnih razlika s ciljem utvrđivanja postojanja geografskog obrasca diferencijacije. Rezultati ove analize prikazani su u tablici 5. Populacije između kojih nema statistički značajnih razlika povezane su istim slovom. Može se uočiti da je test razdvojio nekoliko međusobno povezanih grupa populacija. Međutim ne može se uočiti geografski obrazac utvrđene diferencijacije populacija.

Tablica 5. Grupe populacija dobivene Tukey-Kramer-ovim testom za svojstvo visina jednogodišnjih sadnica.

Table 5 Groups of populations given by Turkey-Kramer's test for the one-year seedlings height

| Oznaka provenijencije<br><i>Mark of the provenance</i> | Šumarija<br><i>Forest office</i> | Gospodarska jedinica; odjel/odsjek<br><i>Working unit; compartment/subcompartment</i> | Grupa<br><i>Group</i> |
|--|----------------------------------|---|-----------------------|
| HR 203   | Vrbovec                          | Česma; 72a  | A                     |
| HR 627   | Repaš                            | Repaš Gabajeva greda; 20a,f, 25a  | A B                   |
| HR 368   | Sunja                            | Posavske šume; 123a, 124a,b,c,d   | A B C                 |
| HR 330   | Velika Gorica                    | Turopoljski lug; 8a, 9b   | A B C D               |
| HR 160   | Trnjani                          | Ilijanska-Jelas; 13a, 14b, 15b, 26a,b   | B C D                 |
| HR AM  | Otok                             | Lože; 65a   | B C D E               |
| HR 58  | Darda                            | Haljevo-Kozaračke šume; 52a   | C D E                 |
| HR 577   | Požega                           | Poljadijske šume; 48c   | C D E                 |
| HR 16  | Otok                             | Slavir; 35 d, 48g, 48h  | D E                   |
| HR 163   | Stara Gradiška                   | Ljeskovača; 18e   | D E                   |
| HR 318   | Lipovljani                       | Josip Kozarac; 43a, 54a, 113a   | D E F                 |
| HR 389   | Karlovac                         | Domačaj-Kovačevački lug; 14a,b  | D E F                 |
| HR 12  | Gunja                            | Trizlovi-Rastovo; 9b, 9d  | E F                   |
| HR 317   | Kutina                           | Kutinske nizinske šume; 30b   | F                     |
| HR 609   | Buzet                            | Mirna; 8d   | F G                   |
| HR 387   | Karlovac                         | Rečički lugovi; 26a,b,c,e, 48a,c,d,e  | F G                   |
| HR 88  | Koška                            | Lacić Gložđe; 69a   | G                     |

## RASPRAVA – Discussion

### Deskriptivni parametri i korelacije između istraživanih svojstava

#### *Descriptive parameters and correlations between studied traits*

Duljina žira prema dobivenim rezultatima kretala se prosječno od 26,8 mm do 32,4 mm, s minimumom od 15,0 mm i maksimumom od 45,0 mm te standardnom devijacijom od 2,5 mm do 4,0 mm. Franjić *et al.* (2001) u radu o varijabilnosti oblika žira hrasta lužnjaka u Hrvatskoj dobivaju sljedeće rezultate: prosječna duljina žireva kretala se od 26,2 mm do 31,9 mm, s minimumom od 15,1 mm i maksimumom 41,6 mm te standardnom devijacijom od 2,0 mm do 4,1 mm. Usporedimo li rezultate ova dva rada vidljivo je da su vrijednosti vrlo slične.

Duljine žireva u radu Roth-a (1999) iznosile su prosječno od 30,5 mm do 37,0 mm, s minimumom od 20,4 mm i maksimumom 49,8 mm. Usporedbom s ovim radom vidljiva je velika razlika u prosječnim duljinama te minimumima i maksimumima. Razlog tomu najvjerojatnije leži u načinu sakupljanja žira za izmjere. Naime, Roth (1999)

navodi da se žir sakupljao kao za rasadničku proizvodnju sadnica hrasta pri čemu se vrlo sitan žir ne sakuplja.

Od inozemnih radova Nikolić *et al.* (2002) navode prosječnu duljinu žira od 23,8 mm do 32,3 mm, s rasponom rezultata od 20,7 mm do 35 mm na uzorku uzetom iz klonske sjemenske plantaže Banov Brod (Republika Srbija). Smole *et al.* (1992) navode prosječnu duljinu od 1,2 cm do 3,6 cm u svom radu o važnosti morfoloških karakteristika za identifikaciju vrsta hrasta. Upitno je koliko se ovi rezultati mogu uspoređivati s našima, ali zanimljivo je da se prosječni rezultati koje navode Nikolić *et al.* (2002) slažu s onima u ovom istraživanju.

Jovanović i Vukićević (1983) navode da je žir dug od 20-40 mm, rijetko duži. U ovom radu raspon je nešto veći, ali se općenito može zaključiti da se podaci podudaraju.



Izmjerom širine žireva rezultati su pokazali da se prosječna širina kreće od 14,1 mm do 17,5 mm, s min. od 7,0 mm i maks. 29,0 mm te standardnom devijacijom 1,4-2,1 mm. Franjić *et al.* (2001) dobivaju rezultate od min. 9,8 mm do maks. 21,5 mm, s prosječnom širinom od 13,0 mm do 17,8 mm te standardnom devijacijom od 1,0 mm do 2,0 mm. Rezultati prosječne širine su po vrijednosti neznatno različiti. Vrijednosti standardne devijacije također su po iznosu bliske.

Roth (1999) navodi da se prosječna širina na uzorku iz priznatih i izabranih sastojina kretala od 16,6 mm do 18,4 mm. Prosječne širine koje iznosi Roth znatno su veće i od onih koje daju Franjić *et al.* (2001) i od naših. Ove razlike također se mogu pripisati načinu uzorkovanja, jer Roth napominje da se vrlo sitan žir nije sakupljao za njegova istraživanja, dok se u ovom radu nastojao uzeti uzorak bliži prirodnom opsegu varijabilnosti.

Nikolić *et al.* (2002) navode prosječnu širinu u iznosu od 13,9 mm do 18,0 mm, s rasponom od 12,4 mm do 19,6 mm. Smole *et al.* (1992) iznose prosječnu širinu od 0,9 cm do 1,7 cm. Prosječne širine koje daju Nikolić *et al.* (2002) vrlo su slične ovima u našem radu, ali i dalje ostaje upitnost usporedbe s obzirom na metodu rada i različite provenijencije.

Indeks duljine i širine u našem radu kretao se prosječno od 1,74 do 2,12, s rasponom od 1,07 do 3,69 te standardnom devijacijom od 0,17 do 0,36. Franjić *et al.* (2001) navode raspon indeksa od 1,09 do 2,85 s prosječnim vrijednostima od 1,68 do 2,35 te standardnim devijacijama od 0,12 do 0,32. Roth (1999) piše da se odnos duljine i širine u njegovim uzorcima kretao od 1,7 do 2,2. Krstinić (1996) navodi da je taj odnos kod žira hrasta lužnjaka veći od 1,6. Može se reći da navedena istraživanja potvrđuju tvrdnju koju iznosi Krstinić.

Prosječna masa pojedinačnog žira u našem istraživanju kretala se od 3,89 g do 6,11 g, s rasponom rezultata od 0,59 g do 14,17 g te standardnom devijacijom od 1,20 g do 1,96 g. Ukupni prosjek za sve populacije iznosi 4,84 g. Iz podataka o masi 1000 komada žireva koje daje Roth (1999) možemo izraziti prosječnu masu jednog žira. Tako dobivena prosječna masa kretala se od 4,43 g do 6,67 g s ukupnim prosjekom od 5,73 g. I ovdje je vidljivo da su podaci koje daje Roth (1999) znatno veći od ovih u našem radu. Kao i u prethodnim usporedbama i ovdje ćemo kao razlog ove uočljive razlike navesti način uzimanja uzorka za izmjeru.

Nikolić *et al.* (2002) kod rezultata za prosječnu masu navode da se ona kreće od 2,8 g do 6,1 g, s rasponom vrijednosti od 1,97 g do 7,32 g. Naši rezultati za masu se znatno razlikuju od neposredno navedenih, iako se duljina i širina prilično podudaraju, ali je opet upitna mogućnost usporedbe, jer se radi o potpuno različitim populacijama.

Volumen žira kretao se prosječno od 4,4 cm<sup>3</sup> do 7,8 cm<sup>3</sup>, te standardnom devijacijom od 1,41 cm<sup>3</sup> do 2,27 cm<sup>3</sup>. U

dostupnoj literaturi nije bilo rezultata volumena žira hrasta lužnjaka s kojim bi mogli uspoređivati dobivene vrijednosti. Jedino Roth *et al.* (2009) prikazuju rezultate volumena žira za krupni, žir srednje veličine i sitni žir, ali se zbog te podjele i različite formule izračuna volumena rezultati ne mogu uspoređivati. Naime, Roth *et al.* (2009), koristili su formulu za volumen stošca, dok se u ovom radu koristila formula za izračun volumena valjka.

Prosječan broj sjemenki u kilogramu koji smo dobili iz prosječne mase žira iznosi od 164 do 257 s prosjekom za sve populacije od 207 komada. Ti su podaci u okvirima dosadašnjih izvješća o prosječnom broju žireva u kilogramu za hrast lužnjak (Matić *et al.* 1996). Regent (1972) navodi da je broj žireva u kilogramu od 130 do 290, s prosjekom od 180. Herman (1971) navodi od 177 do 325 komada u kilogramu, a prosječno 250 do 300 kom./kg. Roth (1999) navodi od 131 do 226 komada žira u kilogramu. Građević (1993) navodi da je ukupan prosjek broja komada sjemenki hrasta lužnjaka iz sjemenskih sastojina u Hrvatskoj 191. Naši podaci su po rasponu najbliži onima koje iznosi Roth (1999).

Visina izmjerenih jednogodišnjih sadnica prema rezultatima ovoga rada kretala se prosječno od 12,6 cm do 20,9 cm, te standardnom devijacijom od 5,7 cm do 9,7 cm.

Što se tiče visina jednogodišnjih biljaka Roth (1999) navodi da po standardu koji se danas koristi, sadnice hrasta lužnjaka starosti (1+0), s visinom od 20 cm do 25 cm pripadaju u II. kvalitetni razred, a sadnice iznad 25 cm pripadaju I. kvalitetnom razredu. Prema tomu, većina sadnica analiziranih u ovome radu ne zadovoljavaju kriterije ulaska u I. i II. kvalitetni razred. Vjerojatni razlog tomu je što se za potrebe ovog istraživanja htjelo analizirati reprezentativan uzorak potomaka iz naših sjemenskih sastojina, neovisno o veličini sjemena i sadnica, dok se u rasadničkoj proizvodnji uobičajeno provodi selekcija sjemena i sadnica po veličini.

Provedena korelacijska analiza između visina jednogodišnjih sadnica i morfometrijskih svojstava sjemena nije pokazala statistički značajnu povezanost. Zanimljiv je negativni korelacijski koeficijent između visine i mase žira koji upućuje na neobičnu pojavu da su iz žira manje mase nastale sadnice većih visina. Međutim, budući da ovaj korelacijski koeficijent nije bio statistički značajan ne može se donositi jasan zaključak o ovoj povezanosti. Roth *et al.* (2009) dobili su statistički značajne razlike u visinama jednogodišnjih sadnica između tri kategorije krupnoće žireva. Razlike u rezultatima mogu se pripisati različitoj metodologiji, jer su ovdje analizirani korelacijski odnosi između srednjih sastojinskih vrijednosti krupnoće žira i visina na uzorku od 17 hrvatskih populacija dok su Roth *et al.* (2009) analizirali odnose između svojstava na uzorku jedne sastojine.

### Varijabilnost istraživanih svojstava – *Variation of studied traits*

Provedena analiza varijance za morfometrijska svojstva sjemena pokazala je statistički značajne razlike uvjetovane efektima populacija, čime je potvrđena pretpostavka o značajnoj međupopulacijskoj diferencijaciji. Međutim, varijabilnost za analizirana svojstva sjemena između pojedinačnih stabala unutar svake populacije bila je znatno veća nego između populacija. Štoviše, ukupno gledajući, za sva analizirana svojstva žira najveći udio zauzimala je komponenta varijance ostatka. To je komponenta varijance koja je uzrokovana varijabilnošću žireva koji potječu od istih pojedinačnih stabala. Ispitivanje značajnosti efekta važećih sjemenskih zona pokazalo je da one nisu međusobno statistički značajno različite niti za jedno istraživano morfometrijsko svojstvo. Nepostojanje značajnih razlika između sjemenskih zona suprotno je rezultatima Roth-a (1999). Razlike su mogle biti uzrokovane različitim sjemenskim materijalom na kojemu su istraživanja provedena (ne potječe iz istih populacija, ali i različit pristup uzorkovanju sjemena). Međutim, u ovom je radu primijenjena preciznija statistička metoda kojom je moguće istovremeno analizirati različite razine varijabilnosti i njihovu statističku značajnost, te smo skloniji razlike u rezultatima pripisati metodi analize. Naime, Roth (1999) je koristio jednostavni test signifikantnosti razlika između aritmetičkih sredina sjemenskih zona (t-test), dok je u ovom istraživanju korištena tzv. MIXED procedura analize varijance (SAS 2000) koja kod analize statističke značajnosti istovremeno uzima u obzir i druge izvore varijabilnosti (populacije unutar zona i stabla unutar populacija).

Ovi rezultati pokazuju da se veličina varijabilnosti za analizirana svojstva sjemena smanjuje s veličinom promatranog prostora. To znači da su najveće razlike bile između žireva s istog stabla, nakon toga između žireva koji potječu s različitih stabala unutar iste populacije, zatim između žireva koji potječu iz različitih populacija, dok su najmanje razlike utvrđene između žireva koji potječu iz različitih sjemenskih zona (posljednje čak niti nisu bile statistički značajne). Na analizirana svojstva sjemena utječu genetski čimbenici (genetska konstitucija majčinskih stabala, ali i muških polinatora unutar populacija koji sudjeluju u oplodnji) i brojni okolišni čimbenici (npr. hormonski i fiziološki odnosi unutar pojedinih dijelova majčinskog stabla; mikrorazlike u dostupnom svjetlu, vlažnosti i temperaturi između specifičnih dijelova krošnje; mezoekolišne razlike u svjetlosti, vlažnosti i temperaturi uvjetovane položajem majčinskih stabala unutar populacija; te mikroekolišne razlike između različitih populacija). Budući da su analizirani žirevi sakupljeni u prirodnim populacijama, nije moguće razdvojiti utjecaj genetskih od okolišnih čimbenika na promatrana morfometrijska svojstva. Međutim, rezultati upućuju da su na analizirana svojstva sjemena

najveći utjecaj imali mikroekolišni čimbenici i genetska konstitucija pojedinačnih stabala unutar populacija, a najmanji makroekolišne razlike i genetska diferencijacija između istraživanih populacija (dok okolišne razlike i genetska diferencijacija između sjemenskih zona uopće nisu imale značajan utjecaj).

Iako su međupopulacijske razlike imale relativno najmanji udio u ukupnoj varijabilnosti svojstava sjemena, one su ipak bile statistički značajne, što se ne smije zanemariti. Statistički značajna komponenta varijance uzrokovana međupopulacijskim razlikama ukazuje na postojanje genetske diferencijacije između istraživanih populacija (usp. tablicu 2). Da bi se utvrdio obrazac te diferencijacije proveden je Tukey-Kramer test kojim se egzaktno utvrđuje koje se populacije međusobno statistički značajno razdvajaju. Ovaj test nije dao rezultate iz kojih bi se mogla uočiti geografska pravilnost u razdvajanju populacija niti za jedno analizirano svojstvo sjemena (usp. tablicu 4). To upućuje na zaključak o ekotipskom obrascu međupopulacijske diferencijacije za analizirana svojstva sjemena.

Provedena analiza varijance za svojstvo visine jednogodišnjih sadnica ukazala je na statistički značajne razlike uvjetovane efektima populacija i familija unutar populacija (usp. tablicu 2). Varijabilnost između familija unutar svake populacije bila je znatno veća nego između populacija, dok je komponenta varijance ostatka zauzimala najveći udio ukupne varijabilnosti. Ispitivanje značajnosti efekta važećih sjemenskih zona pokazalo je da one nisu međusobno statistički značajno različite (usp. tablicu 3). Dobiveni rezultati potpuno su sukladni rezultatima analize morfometrijskih svojstava sjemena. I ovdje se može primijetiti da se veličina varijabilnosti smanjuje s veličinom promatranog prostora tj. najveće su razlike bile između potomaka istog majčinskog stabla, dok su najmanje razlike utvrđene između jedinki koji pripadaju različitim sjemenskim zonama (nisu bile statistički značajne). Međutim kod ovog je svojstva primijećena nešto veća varijabilnost između populacija nego između familija potomaka koji potječu s različitih stabala unutar iste populacije (tj. unutarpopulacijska varijabilnost).

Visoke i statistički značajne razlike između individualnih majčinskih stabala, odnosno između familija unutar populacija ukazuju na visoku razinu unutarpopulacijske genetske raznolikosti. Visok stupanj unutarpopulacijske varijabilnosti karakteristična je pojava za većinu vrsta šumskog drveća, a može se objasniti značajnim migracijama gena (izmjeni gena između različitih populacija putem prirodnih procesa, ali i ljudskim djelovanjem) i niskim stupnjem lokalne adaptiranosti (Bogdan 2009).

Statistički značajna komponenta varijance uzrokovana međupopulacijskim razlikama ukazuje na posto-

janje genetske diferencijacije između istraživanih populacija. Za razliku od morfometrijskih svojstava sjemena, svojstvo visine je znatno bolji pokazatelj genetske diferencijacije, jer su sadnice koje potječu iz različitih populacija uzgojene i izmjerene na istom lokalitetu (rasadnik Hrvatskog šumarskog instituta). Time je utjecaj okoliša sveden na minimum, te se utvrđene razlike u visinama biljaka između populacija mogu najvećim dijelom pripisati međusobnim genetskim razlikama. Štoviše, pokazalo se da je za ovo svojstvo međupopulacijska diferencijacija bila veća nego unutarpopulacijska varijabilnost.

Da bi se utvrdio obrazac te diferencijacije, proveden je Tukey-Kramer test kojim se egzaktno utvrđuje koje se populacije međusobno statistički značajno razdvajaju. Ovaj test za svojstvo visina jednogodišnjih sadnica hrasta lužnjaka nije dao rezultate iz kojih bi mogli uočiti

neku geografsku pravilnost u grupiranju populacija. Tako se npr. populacija HR 88 (Lacići-Gložđe, Koška) statistički značajno razlikovala od geografski najbližih populacija HR 58 (Darda), HR 577 (Poljadijske šume, Požega) i HR 627 (Repaš), dok se istovremeno nije razlikovala od udaljenih populacija (HR 387 – Karlovac, Rečički lugovi i HR 609 – Buzet). Takav karakter diferencijacije ukazuje na ekotipski obrazac međupopulacijske diferencijacije hrasta lužnjaka u Hrvatskoj tj. diferencijaciju koja je uzrokovana prilagodbom na specifične makrookolišne prilike (npr. vlažnost, temperaturu ili edafske posebnosti koji vladaju u matičnim sastojinama). Međutim, za potvrdu hipoteze o ekotipskom obrascu varijabilnosti potrebno je obaviti dodatna istraživanja koja će obuhvatiti nastavak praćenja adaptivnih svojstava u dizajniranim pokusnim nasadima i njihovu usporedbu s ekološkim parametrima matičnih sastojina.

### ZAKLJUČCI – *Conclusions*

Na temelju provedenog istraživanja morfometrijskih svojstava žira i visina jednogodišnjih sadnica hrasta lužnjaka iz sjemenskih sastojina u Hrvatskoj, kao i usporedbom svojstava na uzorku istih populacija, može se zaključiti:

- Rezultati pokazuju da se razina varijabilnosti za analizirana svojstva smanjuje s veličinom istraživanog prostora. To znači da su najveće razlike između žireva s istog stabla, nakon toga između žireva koji potječu s različitih stabala unutar iste populacije, zatim između žireva koji potječu iz različitih populacija, dok su najmanje razlike utvrđene između žireva koji potječu iz različitih sjemenskih zona.
- Slično se može zaključiti i za svojstvo visine jednogodišnjih sadnica, iako su za ovo svojstvo razlike između populacija bile nešto veće nego između familija unutar populacija.
- Nije utvrđena statistički značajna povezanost između visina jednogodišnjih sadnica i analiziranih morfometrijskih svojstava sjemena hrasta lužnjaka.
- Statistički značajne razlike između populacija, za sva analizirana svojstva, jasno ukazuju na genetsku diferencijaciju naših populacija hrasta lužnjaka.

Međutim, međupopulacijska diferencijacija nije odgovala geografskom obrascu.

- Utvrđeni karakter diferencijacije ukazuje na ekotipski obrazac genetskih razlika između populacija hrasta lužnjaka u Hrvatskoj tj. diferencijaciju koja je uzrokovana prilagodbom na specifične mikrookolišne prilike (npr. vlažnost, temperaturu ili edafske posebnosti koji vladaju u matičnim sastojinama). Za potvrdu hipoteze o ekotipskom obrascu genetske raznolikosti potrebno je provesti dodatna istraživanja u genetičkim testovima (testovi provenijencija i potomstva).
- Razlike između trenutno važećih sjemenskih zona nisu bile statistički značajne niti za jedno analizirano svojstvo, čime nije potvrđena opravdanost važeće sjemenske razdjelbe. Usprkos tomu, treba naglasiti da analizirana morfometrijska svojstva sjemena nisu adaptivno vrijedna svojstva, dok rezultati za visine jednogodišnjih sadnica nisu dovoljno pouzdani s obzirom na vrlo ranu dob biljaka. Stoga, ove rezultate treba shvatiti samo kao preliminarne i kao poticaj za nastavak istraživanja genetske raznolikosti hrasta lužnjaka u Hrvatskoj.

### ZAHVALA – *Acknowledgements*

Prikazani rezultati proizašli su iz znanstvenog projekta (Oplemenjivanje i šumsko sjemenarstvo), provedenog uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske. Istraživanje je također uključeno u znanstvenoistraživački rad Hrvatskih šuma d.o.o. Zagreb, zadatak “Masovna i individualan selek-

cija, izbor i bonitiranje sjemenskih objekata”. 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 pokusnih ploha i time omogućili ovo istraživanje.

### LITERATURA – *References*

Bogdan, S., D. Kajba, I. Katičić, 2004: Genetic Variation in Growth Traits in a *Quercus robur* L.

Open-Pollinated Progeny Test of the Slavonian Provenance.” *Silvae Gen.* 53 (5–6): 198–201.

- Bogdan, S., A. Jelušić, M. Ivanković, 2009: Testiranje genetske varijabilnosti hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) iz sjemenskih sastojina u Hrvatskoj – prvi rezultati. U: Matić, S., Anić, I. (ur.) Zbornik radova sa znanstvenog skupa "Šume hrasta lužnjaka u promijenjenim stanišnim i gospodarskim uvjetima", HAZU, IUFRO, Akademija šumarskih znanosti, Hrvatske šume d.o.o., 169–181, Zagreb.
- Bogdan, S., 2009: Genetika s oplemenjivanjem drveća i grmlja (interna skripta). Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 207 str.
- Council Directive 1999/105/EC, 1999: Official Journal of the European Communities. 24. str.
- Eriksson, G., I. Ekberg, D. Clapham, 2006: An Introduction To Forest Genetics, Second edition, SLU Repro, 94–105, Uppsala.
- Franjić, J., 1996: Morfometrijska analiza varijabilnosti lista posavskih i podravskih populacija hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj. Glas. Šum. pokuse 33: 153–214, Zagreb.
- Franjić, J., B. Dalbello-Bašić, Ž. Škvorc, 2001: Acorn form variability in the common oak (*Quercus robur* L.) in Croatia. Satureia 11: 383–394.
- Franjić J, S. Bogdan, Ž. Škvorc, K. Sever, D. Krstonošić, 2009: Fenološka sinkroniziranost klonova hrasta lužnjaka iz klonskih sjemenskih plantaža u Hrvatskoj. U: Matić, S., Anić, I. (ur.), Zbornik radova sa znanstvenog skupa „Šume hrasta lužnjaka u promijenjenim stanišnim i gospodarskim uvjetima”, HAZU, IUFRO, Akademija šumarskih znanosti, Hrvatske šume d.o.o., 153–168, Zagreb.
- Gradečki, M., K. Poštenjak, V. Topolovec, 1993: Analiza nekih kvalitativnih osobina sjemena hrasta lužnjaka iz sjemenskih sastojina u Hrvatskoj. Rad. Šum. Inst. Jastrebar. 28 (1–2): 37–54.
- Herman, J., 1971: Šumarska dendrologija. Stanbiro, 242–252, Zagreb.
- Jovanović, B., E. Vukićević, 1983: Šumarska enciklopedija, Svezak II. U: Potočić, Z. (ur.), Jugoslavenski leksikografski zavod, Hrast: 66, Lužnjak: 74–75, Zagreb.
- Kajba, D., I. Katičić, S. Bogdan, 2011: Procjena genetskih parametara u testovima polusrodnika hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) iz sjemenskih zona Posavine, Podravine i Podunavlja (*Estimation of Genetic Parameters in Open Pollinated Progeny Trials from Plus Trees of Pedunculate Oak (Quercus robur L.) Selected in Posavina and Podravina and Podunavlje Seed Zones*). Croatian Journal of Forest Engineering 32(1): 177–192.
- Krstinić, A., 1996: Unutarpopulacijska i međupopulacijska varijabilnost hrasta lužnjaka. U: Vidaković, M. (ur.), Oplemenjivanje hrasta lužnjaka u Hrvatskoj. U: Klepac, D. (ur.), Hrast lužnjak u Hrvatskoj, HAZU i Hrvatske šume d.o.o., 112–118. Vinkovci-Zagreb.
- 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.
- Nikolić, N. P., S. Orlović, 2002: Genotypic variability of morphological characteristics of english oak (*Quercus robur* L.) acorn. Zbornik za prirodne znanosti, Matica Srpska 102: 53–58. Novi Sad.
- NN 107/08: Pravilnik o područjima provenijencija svojti šumskog drveća od gospodarskog značaja. Narodne novine 107/08.
- NN 75/09: Zakon o šumskom reprodukcijском materijalu. Narodne novine 75/09.
- Perić, S., J. Gračan, B. Dalbello-Bašić, 2000: Flushing variability of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in provenance experiment in Croatia. Glas. Šum. pokuse 37: 395–412. Zagreb.
- Regent, B., 1980: Šumsko sjemenarstvo. Jugoslavenski poljoprivredno-šumarski centar, Služba šumske proizvodnje, 167–169. Beograd.
- 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.
- Roth, V., T. Dubravac, I. Pilaš, S. Dekanić, Z. Brekalo, 2009: Krupnoća žira hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) i kitnjaka (*Quercus petraea* Libl.), kao čimbenik rasta i razvoja sadnica. Šum. list 133(5–6): 257–266. Zagreb.
- SAS 2000: SAS Institute Inc. SAS OnlineDoc®, Version 8. <http://v8doc.sas.com/sashtml>
- White, T. J., W. T. Adams, D. B. Neale, 2007: Forest Genetics, CAB International, 94–109; 218–219. Wallingford.

*SUMMARY: Seed zone delineation of pedunculate oak in Croatia was done according to ecological differences, stand productivity and administrative borders of Forest Range Offices (NN 107/08). Oak forests are divided into three seed zones and it is recommended to transfer reproductive material only within zones. Seed delineation was performed due to Croatian Forest Reproductive Material Transfer Law (NN 75/09) that was aligned with EU Directive on forests reproductive material (1999/105/EC). Seed delineation should be done according to genetic differences between various zones i.e. provenance regions. Aiming at verification of current seed zones in Croatia, and on the basis of general knowledge on pedunculate oak genetic variation, research on genetic variation of the species in Croatia has been started. Due to that, seeds were collected within so called registered seed stands which are normally used as a seed sources for regeneration of managed oak stands.*

*Results of the study of seed morphometric analyses are presented in this paper. Seed were collected during autumn 2006 below 25 trees within each of 17 seed stands that represented whole distribution range of the species in Croatia (Table 1). 30 acorn from each tree were sampled for morphometric analysis and measured the height of seedlings. Acorn length, widths and masses and seedlings height were measured and acorn volumes were calculated according to formula for cylinder volume (Figure 1, 2).*

*ANOVA was performed by MIXED procedure in SAS, in order to analyze significance of various effects. Results showed that current seed zones were not statistically significant effect (there were no significant differences between them), but there were significant differences between populations within zones, as well as between trees within populations (Table 2). Table 3 shows Type 3 significance F-test for fixed effect of populations within seed zones for studied acorn traits and for one-year seedling height.*

*Determined populations differences did not match current seed delineation i.e. there were no obvious geographic pattern in between population variability for studied acorn traits as well as analyzed seedlings traits. Tukey-Kramer's test was performed to determine the form and the differentiation which populations are separated statistically significantly. Test did not give results from which we could observe regularity in the geographical separation of populations for analyzed seedlings traits (Table 5). Population HR 88 (Lacići-Gložđe, Koška) was significantly differed from the geographically closed population HR 58 (Darda), HR 577 (Poljadijske šume, Požega) and HR 627 (Repaš), while at the same time did not differ from the distant population (HR 387 – Karlovac, Rečički lugovi and HR 609 – Buzet).*

*Statistically significant differences between populations for all analyzed traits clearly indicate the genetic differentiation of oak populations. However interpopulation differentiation did not correspond to the geographical pattern. Specific character of differentiation indicates ecotypic pattern of genetic differences between oak populations in Croatia, i.e. differentiation that are caused by adaptation to specific micro-environmental conditions (e.g. humidity, temperature and edaphic features). To confirm the hypothesis of ecotype pattern of genetic diversity is necessary to conduct additional research in genetic tests (provenance and progeny tests). Differences between currently seed zones were not statistically significant for any of the analyzed traits, which has not confirmed valid justification of current seed delineation. Nevertheless, it should be noted that the analysis of seed morphometric traits are not adaptively valuable properties, while the results of the one-year seedling heights are not sufficiently reliable due to a very early age of plants. Therefore these results should be regarded only as a stimulus for further research of oak genetic diversity in Croatia.*

*Key words: seed delineation, provenance region, morphometric traits, acorn, seedling heights, seed zones*