

Saša Bogdan^{1✉}, Dalibor Bedeniković², Mladen Ivanković³

**REZULTATI GENETIČKOG TESTA
S FAMILIJAMA DOBIVENIM SLOBODNIM
OPRAŠIVANJEM PLUS STABALA HRASTA LUŽNJAKA
(*QUERCUS ROBUR* L.) IZ SJEMENSKE REGIJE
SREDNJA PODRAVINA**

***RESULTS OF THE FIELD TRIAL
WITH OPEN-POLLINATED FAMILIES
FROM PEDUNCULATE OAK (*QUERCUS ROBUR* L.)
PLUS TREES ORIGINATING FROM THE SEED REGION
“SREDNJA PODRAVINA“***

SAŽETAK

U radu su prikazane procjene kvantitativnih genetičkih parametara dobivene analizama podataka iz pokusnog nasada s familijama dobivenim slobodnim oprašivanjem plus stabala hrasta lužnjaka. Plus stabla su selekcionirana na području sjemenske regije Srednja Podravina. Pokusni nasad (genetički test) osnovan je na lokalitetu Vukojevački šikar (UŠP Našice, Šumarija Našice, G. J. Krndija Našička, odsjek 71d), sukladno eksperimentalnom dizajnu randomiziranog potpunog blok sustava u pet ponavljanja. Kod dobi stabala od 2 + 15 godina (15 godina u terenskim uvjetima) na svim preživjelim stablima u testu obavljene su izmjere visina, opsega na prsnoj visini debla, ocijenjeni su pravnost debla, kut insercije grana, rašljivost te su provedena fenološka opažanja listanja.

Statističke analize podataka obuhvatile su deskriptivne analize primjenom MEANS procedure, analize varijance provedene VARCOMP procedurom i korelacijsku analizu u SAS softwareskom paketu. Analizom varijance ispitivana je značajnost efekata s obzirom na podrijetlo (populacija i familija polusrodnika). Od kvantitativnih genetičkih parametara izračunate su: aditivne i okolišne varijance, koeficijenti korelacije između analiziranih fenotipskih svojstava, koeficijen-

^{1✉} Sveučilište u Zagrebu; Šumarski fakultet; Zavod za šumarsku genetiku, dendrologiju i botaniku; Svetošimunska 25; 10002; Zagreb; e-mail. sasa.bogdan@zg.htnet.hr

² Donje Mekušje 65, 47000 Karlovac.

³ Šumarski institut, Jastrebarsko; Cvjetno naselje 41, 10450 Jastrebarsko

ti aditivne genetske varijabilnosti, nasljednosti u užem smislu, ostvarene genetske dobiti i očekivane genetske dobiti za dva različita tipa selekcije.

Pravnost biljaka ocijenjena je skalom od 1 do 5, od najbolje prema najlošijoj. Prosječna ocjena pravnosti svih biljaka u testu iznosila je 3,95. Selekcionirane familije također su imale lošu prosječnu ocjenu (3,88), iako nešto bolju od kontrolnih biljaka (4,25). Kut insercije grana ocijenjen je skalom od 1 do 5 (od najpovoljnijeg prema najnepovoljnijem). Prosječna ocjena svih stabala u testu iznosila je prilično nepovoljnih 3,57. Prosječna ocjena selekcioniranih familija bila je niskih 3,55, ali ipak nešto bolja od prosječne ocjene kontrolnih biljaka (3,67). Prosječna ocjena selekcioniranih familija za svojstvo rašljivosti iznosila je 0,74, dok su kontrolna stabla imala tek neznatno višu prosječnu ocjenu (0,75). Familija PS11 istaknula se sa najnižom prosječnom vrijednošću za rašljivost (tj. prosječno najnižim udjelom rašljivih jedinki), dok je najviši udio rašljivih stabala imala familija Na2.

Analiza varijance pokazala je da komponente varijance uzrokovane efektom populacija nisu bile statistički značajne niti za jedno istraživano svojstvo. Statistički značajne komponente varijance uzrokovane efektom familija utvrđene su za svojstva fenologije listanja, visine i opsega debla.

Rezultati su pokazali relativno visoke vrijednosti nasljednosti sredina familija za svojstva fenologije listanja, visine i opsega debla, dok su procijenjene individualne nasljednosti za svojstva visine i opsega osrednje. Najviše vrijednosti genetske dobiti i koeficijenta aditivne genetske varijabilnosti procijenjene su za svojstvo fenologije listanja, dok su isti parametri podjednakih vrijednosti za svojstva visine i opsega debla. Najviše vrijednosti očekivane genetske dobiti procijenjene su za metodu povratne selekcije plus stabala nakon testiranja potomstva, ali ne značajno više od očekivane genetske dobiti metodom individualne selekcije najboljih jedinki u istraživanom testu.

Na temelju rezultata i rasprave zaključeno je:

- za svojstva visina stabla, opseg debla na prsnoj visini i fenologija listanja utvrđene su statistički značajne komponente varijance uzrokovane međufamilijarnim razlikama, iz čega se može zaključiti da za navedena svojstva postoje značajne individualne genetski uvjetovane razlike između testiranih plus stabala;
- za istraživana šumsko-uzgojna svojstva (pravnost, rašljivost i kut insercije grana) nisu utvrđene statistički značajne međufamilijarne razlike, što ukazuje na zaključak da su dominantan utjecaj na fenotipsku varijabilnost tih svojstava u uvjetima testne plohe imali okolišni čimbenici;
- na temelju prethodnog može se zaključiti da nije preporučljivo provoditi selekciju i oplemenjivanje za analizirana šumsko-uzgojna svojstva u sličnim okolišnim uvjetima kao što su oni u istraživanom testu;
- nisu utvrđene genetski uvjetovane međupopulacijske razlike niti za jedno istraživano svojstvo, iz čega se može zaključiti da, s obzirom na analizirana svojstva, sjemenska regija Srednje Podravine čini jedinstvenu populaciju, odnosno zonu provenijencije;
- procijenjeni genetski parametri ukazuju na to da se za svojstva rasta (visina i opseg), kao i fenologiju listanja, najveća genetska dobit u sljedećem ciklusu oplemenjivanja može očekivati selekcijom najboljih jedinki u testu i formiranjem generativne sjemenske plantaže od tako selekcioniranih jedinki.

Ključne riječi: kvantitativni genetički parametri, nasljednost, genetska dobit, selekcija, oplemenjivanje

UVOD

INTRODUCTION

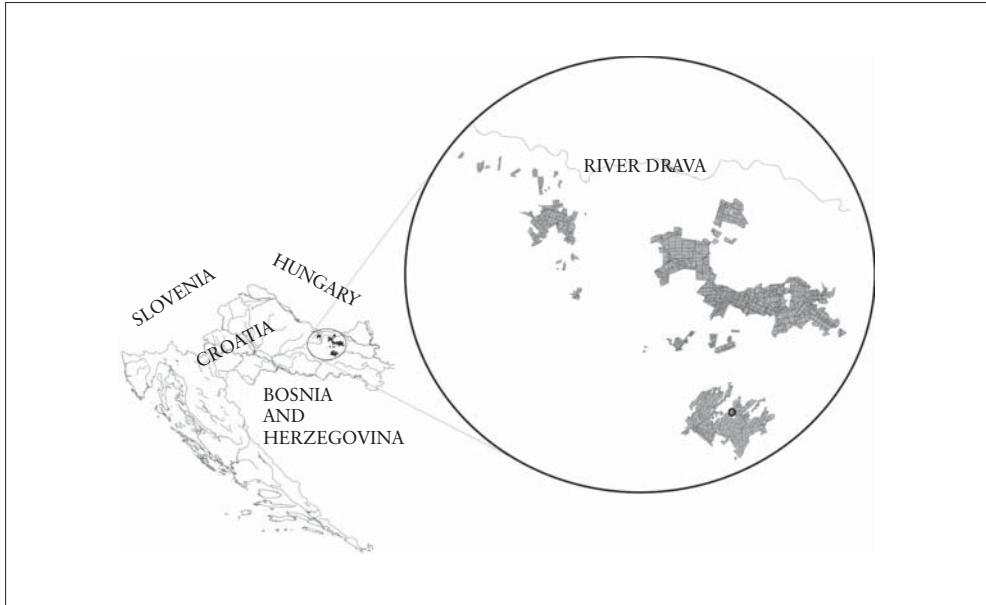
U sjemenskoj regiji Srednja Podravina (NN 2008), područjem kojim gospodari UŠP Našice, 80-ih godina započela je selekcija fenotipski najboljih stabala hrasta lužnjaka. Na temelju 10 ocjenjivanih svojstava selekcionirano je ukupno 40 plus stabala koja su heterovegetativno razmnožena te su poslužila za osnivanje dviju klonskih sjemenskih plantaža (Vidaković et al., 1996). Prva eksperimentalna plantaža osnovana je na području Šumarije Našice (rasadnik Gajić), dok je druga (proizvodna klonska sjemenska plantaža) osnovana na području Šumarije Orahovica (lokalitet Kosovac). Nakon provedene selekcije, od jednog dijela plus stabala prikupljeno je sjeme radi što brže procjene njihove genetske vrijednosti i mogućnosti za oplemenjivanje hrasta lužnjaka.

Genetički testovi su pokusni nasadi koji pružaju mogućnost testiranja plus stabala putem praćenja njihova potomstva dobivenog slobodnim oprašivanjem u podjednakim okolišnim uvjetima. Naime, fenotipska je varijabilnost uvjetovana genetskom (genetskim razlikama između testiranih familija, odnosno njihovih majčinskih stabala) i okolišnom komponentom (fenotipskim razlikama uvjetovanim različitošću okolišnih čimbenika u kojima su rasle familije). Ako familije testiramo u približno jednakim okolišnim uvjetima, tada se uočena fenotipska varijabilnost za svojstva od interesa mogu pripisati njihovim međusobnim genetski uvjetovanim razlikama (Falconer i Mackay, 1996).

Razdvajanje genetske i okolišne komponente fenotipske varijabilnosti kvantitativnih svojstava i što preciznija procjena tzv. kvantitativnih genetičkih parametara temeljni je cilj genetičkih testova. Nasljednosti, genetske dobiti i koeficijenti aditivne genetske varijabilnosti, važni su genetički parametri čije je poznavanje nužno za planiranje oplemenjivanja i očuvanja genetske raznolikosti hrasta lužnjaka, kao i drugih vrsta drveća (Jansson, 2005). Zbog različitih poteškoća (najviše uvjetovanih dugim ophodnjama i problemima u vegetativnom razmnožavanju), oplemenjivanje hrasta lužnjaka je skromno zastupljeno u šumarskim aktivnostima. Sukladno tomu i literaturni podaci o genetičkim parametrima za kvantitativna svojstva hrasta lužnjaka prilično su rijetka (Savill i Kanowski, 1993).

Uzimajući u obzir biološko-ekološke karakteristike ove vrste, evolucijsko-adaptacijske čimbenike koji uvjetuju oblikovanje genetske strukture populacija kao i dosadašnja istraživanja genetske varijabilnosti hrasta lužnjaka u Hrvatskoj (Perić et al., 2000, Bogdan et al., 2004), može se pretpostaviti da kod hrasta lužnjaka dominantan udio u ukupnoj genetskoj varijabilnosti zauzima unutarpopulacijska, odnosno individualna varijabilnost, naročito na geografski relativno malom prostoru kao što je sjemenska regija Srednje Podravine. Takav obrazac genetske varijabilnosti za ekonomski važna svojstva ukazuje na značajne genetske razlike između jedinki unutar svake populacije koje rezultiraju visokim aditivnim genetskim varijancama i značajnim mogućnostima za oplemenjivanje putem individualne selekcije (Zobel i Talbert, 1984, Falconer i Mackay, 1996).

Svrha ovog istraživanja je putem analize genetičkog testa s familijama dobivenim slobodnim oprašivanjem dijela plus stabala iz regije Srednje Podravine utvrditi



Slika 1. Karta sjemenske zone "Srednja Podravina, gdje su selekcionirana plus stabla. Kružićem je označen položaj testa.

Figure 1. Map of the seed region "Srednja Podravina" where the plus trees were selected. Field trial is marked with circle.

genetske parametre za neka ekonomski važna svojstva i time procijeniti mogućnosti za oplemenjivanje hrasta lužnjaka putem individualne selekcije.

Potrebno je napomenuti da rezultati ovakvog tipa genetičkog testa vrijede isključivo za istraživane familije odnosno njihova majčinska plus stabla, i to za podjednake okolišne uvjete kakvi su bili u testu (Falconer i Mackay, 1996). To znači da postoji realna mogućnost drukčijih rezultata i zaključaka u slučaju da je test postavljen u drugim okolišnim uvjetima (npr. u uvjetima prirodnog staništa hrasta lužnjaka). Međutim, vrijednost ovog istraživanja leži upravo u tome da se testira sposobnost prilagodbe familija na neuobičajene uvjete izvan prirodnog staništa.

MATERIJAL I METODE

MATERIAL AND METHODS

BILJNI MATERIJAL I POKUSNA PLOHA

PLANT MATERIAL AND FIELD TRIAL

Od ukupno 40 selekcioniranih plus stabala iz sjemenske regije Srednja Podravina (slika 1), 1989. godine je sakupljeno sjeme od 21 stabla koja su urodila dovoljnom količinom žira (tablica 1). Iz prikupljenog sjemena u rasadniku su uzgojene dvogodišnje sadnice te je u proljeće 1992. godine na lokalitetu Vukojevački šikar

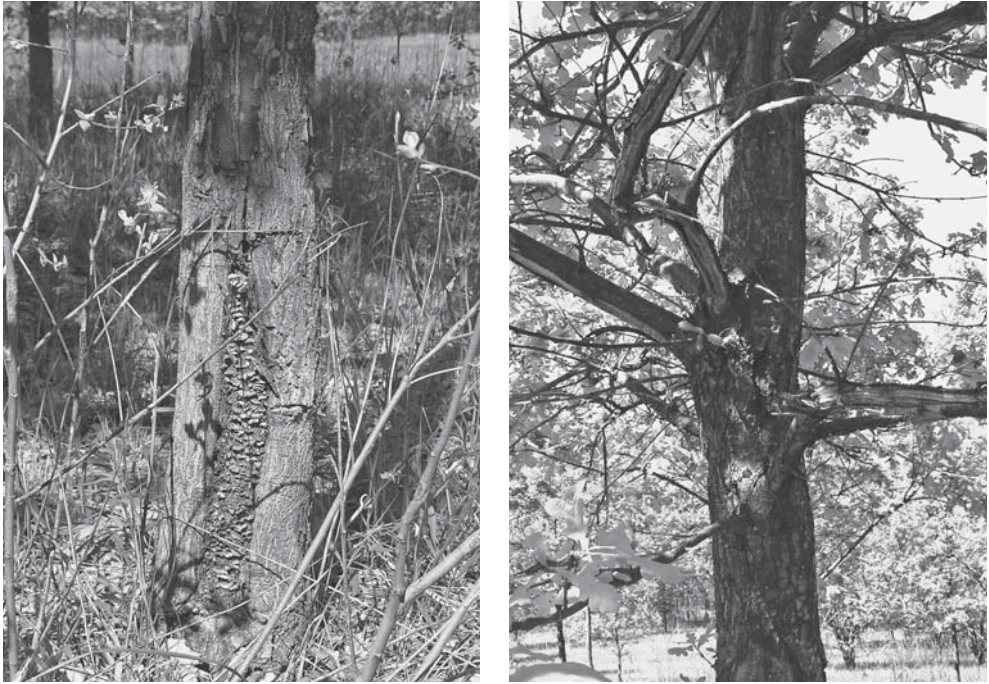
Tablica 1. Podaci o selekcioniranim plus stablima hrasta lužnjaka s područja U.Š.P. Našice koja su majčinski roditelji istraženih familija u testu Vukojevački šikar

Table 1. Data on selected pedunculate oak plus trees from which studied open-pollinated families originate

Oznaka familije	Oznaka plus stabla u KSP ¹ -i	Populacija	Gospodarska jedinica	Odsjek
			Geografsko porijeklo plus stabala	
Na1	1	D.Miholjac	Kapelački lug Karaš	21a
Na2	2	D.Miholjac	Kapelački lug Karaš	32a
Na4	4	D.Miholjac	Kapelački lug Karaš	32a
Na13	13	D.Miholjac	Kapelački lug Karaš	20a
Na18	38	D.Miholjac	Kapelački lug Karaš	83a
Na15	25	Koška	Đurdenovačke nizinske šume	45a
Na6	6	Koška	Lacić Gložde	43b
Na7	7	Koška	Lacić Gložde	13a
Na10	10	Koška	Lacić Gložde	106a
Na11	11	Koška	Lacić Gložde	69a
Na19	39	Koška	Lacić Gložde	38a
PS3	17	Slatina	Slatinske nizinske šume	34a
PS4	18	Slatina	Slatinske nizinske šume	5a
PS5	19	Slatina	Slatinske nizinske šume	7c
PS6	20	Slatina	Slatinske nizinske šume	18a
PS7	21	Slatina	Slatinske nizinske šume	5a
PS8	22	Slatina	Slatinske nizinske šume	19b
PS10	24	Slatina	Slatinske nizinske šume	5a
PS12	26	Slatina	Slatinske nizinske šume	25a
PS18	32	Slatina	Slatinske nizinske šume	19a
PS26	40	Slatina	Slatinske nizinske šume	7c
DM		Smjesa biljaka iz populacije Donji Miholjac		
K		Smjesa biljaka iz populacije Koška		
PS		Smjesa biljaka iz populacije Slatina		
PS-		Familija minus stabla iz populacije Slatina		

(UŠP Našice, Šumarija Našice, G. J. Krndija Našička, odsjek 71d) osnovan genetički test familija dobivenih slobodnim oprašivanjem selekcioniranih plus stabala (tablica 1). Test je postavljen prema eksperimentalnom dizajnu randomiziranog potpunog blok sustava u pet ponavljanja (engl. RCB dizajn). Pri osnivanju je svaka familija zastupljena u pojedinom ponavljanju sa po 4 dvogodišnje sadnice na kvadratičnim plohicama u razmaku sadnje 2.0×2.0 m. Također, test uključuje i smjese biljaka uzgojene iz sjemena prikupljenog u tri prirodne populacije u kojima se nalaze plus stabla (Koška, Slatina i Donji Miholjac), kao i biljke uzgojene iz sjemena prikupljenog s jednog fenotipski lošeg (minus) stabla (tablica 1). Navedene biljke iz prirodnih populacija i od minus stabla poslužile su kao kontrola, tj. za usporedbu s familijama koje potječu od selekcioniranih stabala.

Važno je napomenuti da je test postavljen izvan prirodnog staništa hrasta lužnjaka, na obroncima Krndije, odnosno lokalitetu Vukojevački šikar koji se nala-



Slika 2. Oštećenja debla i grana uzrokovana požarom u istraživanom testu hrasta lužnjaka
“Vukojevački šikar“

Figure 2. Trunk and branch damages caused by fire in the studied field trial

Tablica 2. Osnovni podaci o istraživanom testu familija dobivenih slobodnim oprašivanjem
selekcioniranih plus stabala hrasta lužnjaka – Vukojevački šikar

Table 2. Basic information on the studied field trial with open-pollinated families originating
from selected plus trees - “Vukojevacki šikar“

Lokalitet	Geog. širina (° N)	Geog. duljina (° E)	Nadmorska visina (m)	Godina osnivanja	Prosječno preživljenje u dobi 2 + 15 godina
Šumarija Našice; G.J. Krndija Našička; odsjek 71d ; šumski predjel Vukojevački šikar	45° 27' 10,3"	18° 07' 38,5"	160-180	1992	83 %

zi na nadmorskoj visini između 160 i 180 m i zapadne je ekspozicije (tablica 2, slika 1). Uokolo pokusne plohe nalaze se mješovite sastojine hrasta kitnjaka i obične bukve. Iako do pisanja ovog rada nisu obavljene analize ekoloških čimbenika, opravdano je za pretpostaviti da navedeno stanište nije optimalno za rast hrasta lužnjaka (prije svega zbog nepovoljnog režima vlaženja), što se općenito može vidjeti i s obzirom na izgled istraživanih stabala. Pokusnu plohu je 2001. godine zadesio požar prizemne vegetacije koji je uzrokovao vidljiva oštećenja u vidu raspuklina kore debala i donjih grana na većini stabala u testu (slika 2).



Slika 3. Test familija hrasta lužnjaka “Vukojevački šikar“ snimljen 2007. godine u razdoblju vegetacijskog mirovanja (lijevo) i u ranoproljetnom periodu (desno).

Figure 3. Studied field trial photographed in 2007. during winter period (on the left) and in the spring (on the right).

IZMJERE MEASUREMENTS

Kod dobi stabala od 2 + 15 godina (dvogodišnje sadnice nakon 15 godina u terenskim uvjetima) na svim preživjelim stablima u testu obavljene su izmjere visina, opsega na prsnoj visini debla te su ocijenjena sljedeća šumsko-uzgojna svojstva: pravnost debla, kut insercije grana i rašljivost. Šumsko-uzgojna svojstva ocijenjena su ordinalnom skalom od 1 do 5 (od najboljeg prema najlošijem stupnju svojstva, npr. za pravnost 1-pravno deblo; 5-višestruka savijenost debla). Fenološko opažanje listanja obavljeno je 27. ožujka 2007. godine, pri čemu je za svako pojedino stablo zabilježeno u kojoj se fenofazi listanja trenutačno nalazilo. Fenološke faze su unaprijed determinirane skalom od 1 do 6, gdje 1 predstavlja fazu dormantnih pupova, 2 - fazu nabubrenih pupova, 3- fazu otvorenosti pupova s vidljivim vršcima mladih listova, 4 - fazu u kojoj su vidljivi skupljeni mladi listovi, 5 - fazu u kojoj su listovi u rastvorenom stanju, ali ne potpuno ispravljenih plojki, i 6 - fazu potpuno ispravljenih plojki i normalne razvijenosti lista, iako još nepotpune veličine.

STATISTIČKA OBRADA PODATAKA STATISTICAL ANALYSES

Deskriptivni statistički parametri izračunati su primjenom MEANS procedure, dok je analiza varijance provedena VARCOMP procedurom u SAS softwareskom paketu (SAS INSTITUTE INC., 1999), prema sljedećem linearnom modelu:

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + f_{j(i)} + \varepsilon_{ijk};$$

gdje su: Y_{ijk} - podatak za individualno stablo; μ - ukupna srednja vrijednost za svojstvo; P_i - efekt i -te populacije; $f_{j(i)}$ - efekt j -te familije unutar i -te populacije; ε_{ijk} -

efekt ostatka. Prethodno je za svako svojstvo utvrđena normalnost distribucije i homogenost varijanci prema istraživanim efektima. Za svojstva pravnost, kut insercije grana, rašljivost i fenofaza listanja analize su provedene na temelju aritmetičkih sredina ploha budući da individualni podaci nisu imali normalnu distribuciju. Prilikom analize varijance efekti populacija i familija smatrani su slučajnim.

PROCJENA KVANTITATIVNIH GENETSKIH PARAMETARA QUANTITATIVE GENETIC PARAMETERS ESTIMATION

Procjena komponente varijance slučajnih efekata (populacije i familije) provedena je REML metodom. Aditivne i fenotipske varijance izračunate su uobičajenim formulama (Wright, 1976.; Becker, 1992.; Falconer i Mackay, 1992):

$$\text{aditivna genetska varijanca: } \sigma_A^2 = 4\sigma_f^2$$

$$\text{okolišna varijanca: } \sigma_E^2 = \sigma_e^2 - 3\sigma_f^2$$

$$\text{aditivni genetski koeficijent varijabilnosti: } CV_A = \frac{\sqrt{4\sigma_f^2}}{\bar{X}} \times 100$$

gdje su: σ_f^2 - komponenta varijance uzrokovana efektom familija; σ_e^2 - varijanca uzrokovana ostatkom, odnosno eksperimentalnom pogreškom; \bar{X} - aritmetička sredina za istraživane familije.

Nasljednost u užem smislu izračunata je za ona svojstva za koja je utvrđena statistički značajna komponenta varijance uzrokovana efektom familija, a na temelju vrijednosti individualnih stabala (h_i^2) i na temelju sredina familija (h_f^2) prema sljedećim formulama:

$$h_i^2 = \frac{4\sigma_f^2}{\sigma_f^2 + \sigma_e^2};$$

$$h_f^2 = \frac{\sigma_f^2}{\sigma_f^2 + \frac{\sigma_e^2}{k_1}};$$

gdje je: k_1 - koeficijent u očekivanim srednjim kvadratnim odstupanjima za h_f^2 , izračunat pomoću procedure GLM.

Genetska dobit

Za svojstva za koja je utvrđena statistički značajna komponenta varijance uzrokovana efektom familija procijenjena je ostvarena genetska dobit i očekivane genetske dobiti za dva tipa selekcijom na sljedeći način:

i) Ostvarena dobit (R) izračunata je kao umnožak razlika između aritmetičkih sredina selekcioniranih familija i aritmetičke sredine kontrolnih biljaka s vrijednošću nasljednosti sredine familija.

$$R = (\text{aritm. sredina familija} - \text{aritm. sredina kontrole}) \times h_f^2$$

ii) Očekivana genetska dobit individualnom selekcijom plus stabala iste starosti kao u testu i unutar promatrane sjemenske zone, prema formuli (Jensen et al., 1997):

$$\Delta G_1 = i\sigma_{PH}h_i^2;$$

gdje su: σ_{PH} i h_i^2 - fenotipska standardna devijacija i individualna nasljednost koji se odnose na jedinke koje bi se selekcionirale u približno jednakim okolišnim uvjetima kakvi su u istraživanom testu. i - standardizirani intenzitet selekcije ($i = 1$; tj. 158 najboljih od ukupno 415 preživjelih stabala u analiziranoj dobi).

iii) Očekivana genetska dobit povratnom selekcijom koja bi se provela u prvoj generaciji plus stabala. Pretpostavka je da su selekcionirana plus stabla poslužila za osnivanje klonske sjemenske plantaže i da će se provesti tzv. genetska melioracija, tj. odstranjivanje lošijih genotipova nakon testiranja potomstva. Za ovu vrstu selekcije korištena je sljedeća formula za procjenu očekivane genetske dobiti (Jensen et al. 1997):

$$\Delta G_2 = 2(i\sigma_{PH}h_f^2);$$

gdje su: σ_{PH} i h_f^2 - fenotipska standardna devijacija i nasljednost izračunata na temelju sredina familija, a koji se odnose na istraživane familije u približno jednakim okolišnim uvjetima kakvi su i u analiziranom testu. i - standardizirani intenzitet selekcije ($i = 1$; tj. 7 najboljih od ukupno 21 testiranih familija).

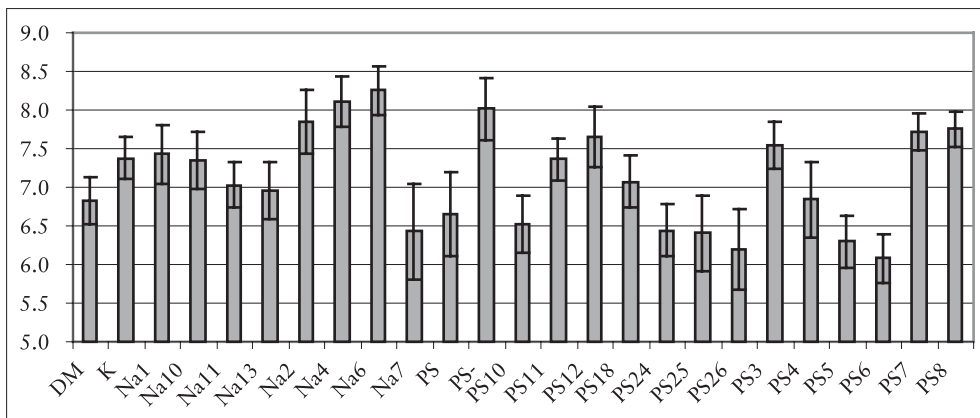
REZULTATI

RESULTS

U sedamnaestoj godini starosti (2+15 godina) preživjelo je 83 posto od ukupnog broja posađenih biljaka u istraživanom testu. Preživljavanje se po familijama kretalo od niskih 35 posto (familija Na7) do maksimalnih 100 posto (familije Na4, PS5 i PS7).

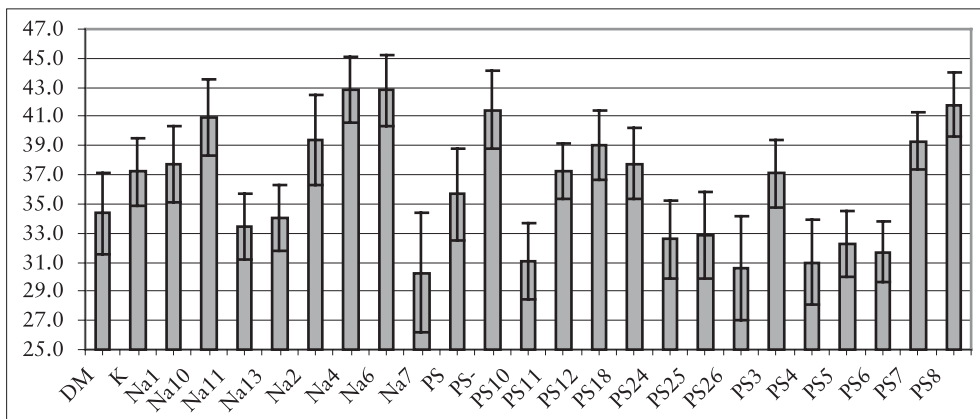
Prosječna visina biljaka u toj dobi bila je 7,1 m. Prosječna visina selekcioniranih familija (familija dobivenih slobodnim oprašivanjem selekcioniranih plus stabala) iznosila je 7,11 m, dok je aritmetička sredina visina kontrolnih biljaka (biljke uzgojene iz smjese sjemena prikupljenog u prirodnim populacijama – DM, K i PS) iznosila 6,95 m. Aritmetičke sredine familija za svojstvo visine kretale su se od minimalnih 6,1 m (familija PS6) do maksimalnih 8,3 m (familija Na6) – graf 1. Uočljivo je da prosječnom visinom dominiraju familije Na4 i Na6, ali je zanimljivo primijetiti da je familija biljaka koje potječu od jednog fenotipski lošeg stabla (tzv. minus stabla oznake PS-) također imala natprosječno visoku vrijednost aritmetičke sredine visine u analiziranoj dobi (graf 1).

Ukupna srednja vrijednost svih biljaka u testu za svojstvo opsega na prsnoj visini bila je 36,2 cm. Aritmetička sredina selekcioniranih familija iznosila je 36,0 cm, dok je sredina kontrole iznosila 35,7 cm. Rangiranje familija po vrijednostima aritmetičke sredine prsnog opsega uglavnom je bilo sukladno rangiranju prema visinama (usp. graf 1 i 2). Kao i kod visina, i kod ovog su svojstva najbolje srednje



Graf 1. Aritmetičke srednje vrijednosti i pripadajuće standardne greške za svojstvo visine u dobi od 2+15 godina (H17) po istraživanim familijama hrasta lužnjaka.

Graph 1. Arithmetic means and respective standard errors for height trait at age of 2+15 years (H17), presented by studied pedunculate oak families

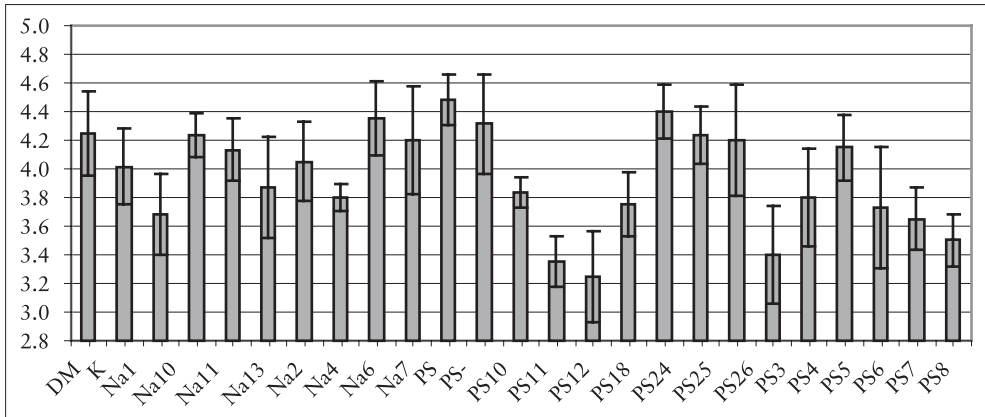


Graf 2. Aritmetičke srednje vrijednosti i pripadajuće standardne greške za svojstvo opsega na prsnoj visini u dobi od 2+15 godina (O17) po istraživanim familijama hrasta lužnjaka.

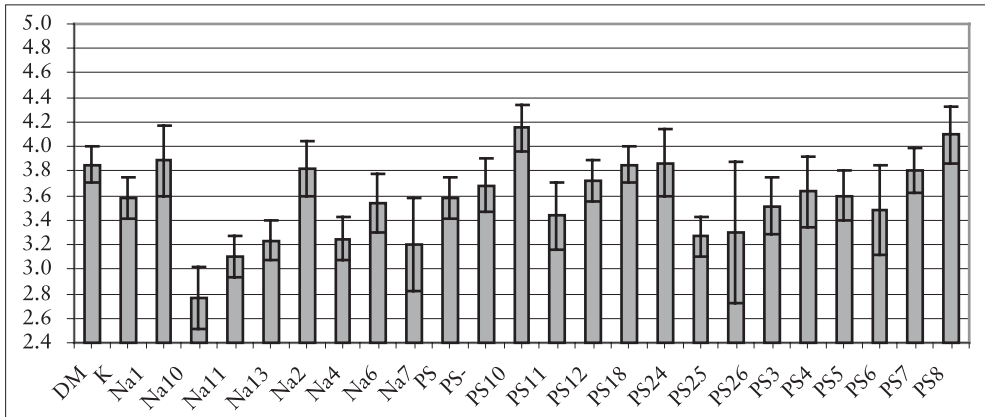
Graph 2. Arithmetic means and respective standard errors for circumference at breast height trait at age of 2+15 years (O17), presented by studied pedunculate oak families

vrijednosti imale familije Na4 i Na6 te i u ovom slučaju pomalo iznenađuje visoka srednja vrijednost opsega familije PS-

Pravnost biljaka ocijenjena je skalom od 1 do 5 (od najbolje prema najlošijoj), kako je to opisano u poglavlju Materijal i metode. Vidljivo je da je prosječna ocjena pravnosti svih biljaka u testu loša i iznosila je 3,95. Selekcionirane familije također su imale nisku prosječnu ocjenu (3,88), iako nešto višu od kontrolnih biljaka (4,25). Najviše prosječne ocjene za svojstvo pravnosti imale su familije PS11 i PS12, iako se i njihove ocjene općenito mogu smatrati osrednjima (graf 3). Najniže prosječne



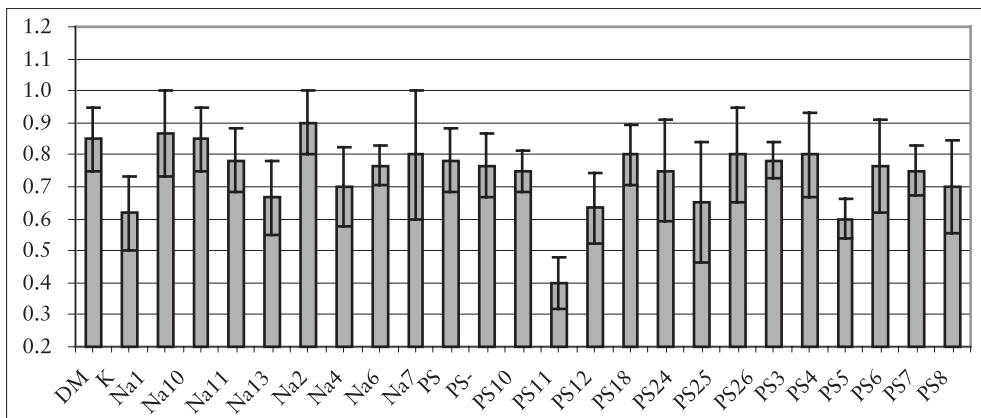
Graf 3. Aritmetičke srednje vrijednosti i pripadajuće standardne greške za svojstvo pravnosti u dobi od 2+15 godina (PRAV) po istraženim familijama hrasta lužnjaka.
Graph 3. Arithmetic means and respective standard errors for stem form trait at age of 2+15 years (PRAV), presented by studied pedunculate oak families



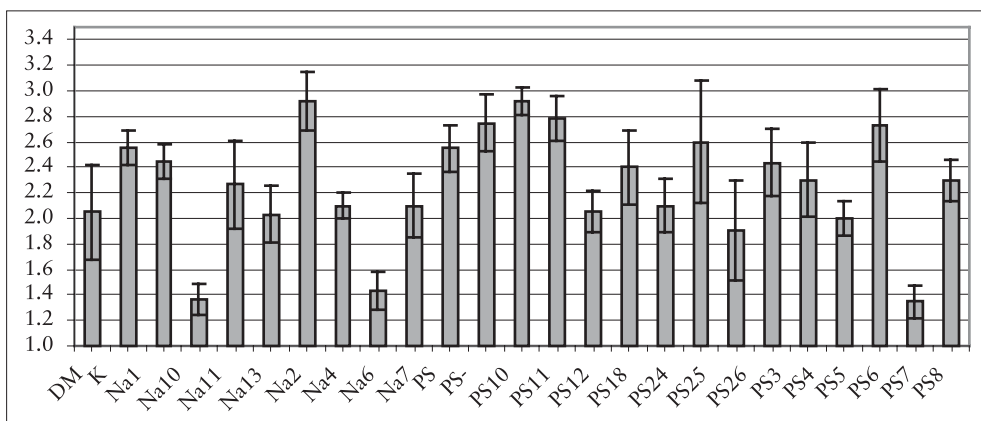
Graf 4. Aritmetičke srednje vrijednosti i pripadajuće standardne greške za svojstvo kut insercije grana u dobi od 2+15 godina (KIG) po istraženim familijama hrasta lužnjaka.
Graph 4. Arithmetic means and respective standard errors for branch angle trait at age of 2+15 years (KIG), presented by studied pedunculate oak families

vrijednosti ocjena za pravnost iskazale su kontrolne biljke iz populacije slatina (PS), te familije PS24 i Na6.

Kut insercije grana važno je šumsko-uzgojno svojstvo, a ocijenjeno je skalom od 1 do 5 (od najpovoljnijeg prema najnepovoljnijem). Vidljivo je da je prosječna ocjena svih stabala u testu iznosila prilično nepovoljnih 3,57. Prosječna ocjena selekcioniranih familija bila je niskih 3,55, ipak nešto bolja od prosječne ocjene kontrolnih biljaka (3,67). Najbolju prosječnu ocjenu za ovo svojstvo imala je familija Na10 (2,77), dok su prosječno najnepovoljniji kut insercije grana (ocjene iznad 4)



Graf 5. Aritmetičke srednje vrijednosti i pripadajuće standardne greške za svojstvo rašljivosti u dobi od 2+15 godina (RAS) po istraživanim familijama hrasta lužnjaka.
 Graph 5. Arithmetic means and respective standard errors for forking trait at age of 2+15 years (RAS), presented by studied pedunculate oak families



Graf 6. Aritmetičke srednje vrijednosti i pripadajuće standardne greške za svojstvo fenofaza listanja na dan 27. 3. 2007. godine (FENOF) po istraživanim familijama hrasta lužnjaka.
 Graph 6. Arithmetic means and respective standard errors for flushing trait at age of 2+15 years (FENOF), presented by studied pedunculate oak families

imale familije PS10 i PS8. Ostale familije, uključujući i kontrolne biljke te familiju minus stabla, imale su prosječne ocjene između 3 i 4 (graf 4).

Rašljivost je svojstvo koje se nastoji izbjeći u programima oplemenjivanja šumskog drveća s obzirom na njen negativan utjecaj na ekonomsku vrijednost stabla. U istraživanom testu utvrđeno je za svako pojedino stablo prisutnost ili odsutnost rašljivosti (ocjenama 1, odnosno 0). Grafikonom 5 prikazani su deskriptivni statistički parametri za svojstvo rašljivosti prema analiziranim familijama i kontrolnim smjesama stabala.

Tablica 3. Komponente varijance slučajnih efekata prikazane u postotku od ukupne varijabilnosti, standardne devijacije komponenata varijance i nivo njihove statističke značajnosti.

Table 3. Variance components of random effects showed in percentage of overall variation, their standard deviations and significance.

Svojstvo	Komponente varijance slučajnih efekata (%)	
	σ_p^2	σ_f^2
PRAV	2.5 ± 6.5 ^{ns}	9.9 ± 8.6 ^{ns}
KIG	10.4 ± 14.0 ^{ns}	4.9 ± 7.0 ^{ns}
RAS	0.5 ± 2.9 ^{ns}	0.0 ^{ns}
FENOF	3.9 ± 10.6 ^{ns}	29.1 ± 13.0*
H17	1.1 ± 3.0 ^{ns}	10.5 ± 4.8*
O17	0.03 ± 1.7 ^{ns}	7.8 ± 4.1*

σ_p^2 i σ_f^2 : komponente varijance za efekte populacija i familija.
 Nivo statističke značajnosti: *0.05 > p < 0.01, ^{ns} nije statistički značajno

Vidljivo je da je prosječna ocjena svih stabala u testu, kao i selekcioniranih familija iznosila 0,74, dok su kontrolna stabla imala tek neznatno višu prosječnu ocjenu (0,75). Familija PS11 istaknula se s najnižom prosječnom vrijednošću za rašljivost (tj. prosječno najnižim udjelom rašljivih jedinki), dok je najviši udio rašljivih stabala imala familija Na2 (graf 5).

Fenološka faza listanja u kojoj se svako pojedino stablo nalazi utvrđeno je 27. ožujka 2007. godine. Promatrajući ukupno, prosječno su stabla u testu bila u fenofazi 2,26 (tj. između faze bubrenja i otvaranja pupova, ali bliže fenofazi bubrenja pupova). Selekcionirane familije prosječno su bile u fenofazi 2,22, dok su smjese kontrolnih stabala istoga dana prosječno bile u fenofazi 2,38. Promatrajući istraživane familije, može se uočiti da su familije PS7, Na10 i Na6 prosječno bile najbliže fenofazi 1, tj. fazi pupova u stanju mirovanja. Familije koje su prosječno bile najbliže fenofazi otvaranja pupova su Na2, PS10 i PS11 (graf 6).

Analiza varijance provedena je s ciljem utvrđivanja komponenata varijance i njihove statističke značajnosti za efekte populacija i familija dobivenih slobodnim oprašivanjem selekcioniranih plus stabala. Iz rezultata (tablica 3) je vidljivo da komponente varijance uzrokovane efektom populacija nisu bile statistički značajne niti za jedno istraživano svojstvo. Statistički značajne komponente varijance uzrokovane efektom familija utvrđene su za svojstva fenologije listanja, visine i opsega debla.

Na temelju izračunatih komponenti varijanci, procijenjeni su genetički parametri (nasljednosti, genetske dobiti i koeficijenti aditivne varijance), i to za ona svojstva za koja je utvrđena statistička značajnost komponente varijance uzrokovane efektom familija.

Rezultati pokazuju relativno visoke vrijednosti nasljednosti sredina familija za svojstva fenologije listanja, visine i opsega debla, dok su procijenjene individualne nasljednosti za svojstva visine i opsega srednje (tablica 4). Najviše vrijednosti genetske dobiti i koeficijenta aditivne genetske varijabilnosti procijenjene su za svoj-

Tablica 4. Procijenjene nasljednosti, genetske dobiti i koeficijenti aditivne varijance za svojstva za koja je utvrđena statistička značajnost efekta familija.

Table 4. Estimated heritabilities, genetic gains and coefficients of additive variance for the traits which showed statistical significance of the family effect.

svojstvo	h_i^2	h_f^2	R (%)	G1 (%)	G2 (%)	CV (%) ^A
FENOF	-	0.68 ± 0.11	-4.8	-	20.4	29.9
H17	0.43 ± 0.04	0.67 ± 0.11	1.5	9.1	9.8	14.7
O17	0.32 ± 0.03	0.59 ± 0.13	0.4	9.3	10.1	17.1

h_i^2 – individualna nasljednost (individual heritability)

h_f^2 – nasljednost sredina familija (family mean heritability)

R - ostvarena genetska dobit tj. dobit korištenjem sjemena od testiranih plus stabala iz prirodnih populacija (realised gain by using seed from tested plus trees in natural populations)

G1 - očekivana genetska dobit individualnom selekcijom 38 % najboljih jedinki u testu (158 stabala) (expected genetic gain from individual selection of 38 % best trees within trial (158 trees).

G2 - očekivana genetska dobit povratnom selekcijom 7 od 21 testiranih plus stabala na temelju testiranja familija. (expected genetic gain from backward selection of 7 out of 21 tested plus trees on the basis of family testing)

CVA – koeficijent aditivne varijance (coefficient of additive variance)

Tablica 5. Koeficijenti korelacije između istraživanih svojstava izračunati Pearson-ovom metodom. Crvenom bojom naznačena je statistička značajnost korelacije.

Table 5. Pearson correlation coefficients between studied traits. Statistically significant coefficient is marked in red

	H17	O17	PRAV	KIG	RAS	FENOF
H17	1.00	0.87	-0.21	0.18	-0.11	0.00
O17		1.00	-0.12	0.15	-0.02	0.00
PRAV			1.00	-0.12	0.08	-0.06
KIG				1.00	0.02	0.01
RAS					1.00	0.03
FENOF						1.00

stvo fenologije listanja, dok su isti parametri podjednake vrijednosti za svojstva visine i opsega debla. Najviše vrijednosti očekivane genetske dobiti procijenjene su za metodu povratne selekcije plus stabala nakon testiranja potomstva, ali ne značajno više od očekivane genetske dobiti metodom individualne selekcije najboljih jedinki u istraživanom testu (tablica 4).

Procijenjeni koeficijenti aditivne genetske varijabilnosti za ova tri svojstva ukazuju na značajnu sposobnost prilagodbe istraživanih selekcioniranih familija na promjenu okolišnih uvjeta.

S ciljem utvrđivanja povezanosti između istraživanih svojstava provedena je korelacijska analiza. Rezultati pokazuju da je statistički značajna korelacija bila samo između svojstava visine i opsega debla (tablica 5). Korelacijski koeficijenti između svojstava rasta (visina i opseg) i pravosti bili su negativni, iako ne i statistički značajni. Negativna korelacija rasta i pravosti debla ukazuje na mo-

gućnost pozitivnog utjecaja na pravnost pri selekciji na svojstva rasta i obrnuto. Također, negativna korelacija između svojstava rasta i rašljivosti ukazuje na mogućnost istodobnog pozitivnog efekta selekcije na rast i rašljivost. Međutim, odsutnost statističke značajnosti korelacije između rasta i šumsko-uzgojnih svojstava upozorava da se dobivene rezultate ne može uvažavati u potpunosti te je daljnjim istraživanjima potrebno potvrditi ili odbaciti negativnu povezanost između svojstava rasta i ostalih šumsko-uzgojnih svojstava. Visoka i statistički značajna korelacija između visine i opsega debla navodi na visoku vjerojatnost pozitivnog efekta selekcije na oba svojstva.

RASPRAVA

DISCUSSION

Analiza visina, opsega debla kao i dodatnih šumsko-uzgojnih svojstava provedena je na 17-godišnjim stablima hrasta lužnjaka u testu familija dobivenih slobodnim oprašivanjem selekcioniranih plus stabala u području sjemenske regije Srednja Podravina, osnovanom na lokalitetu Vukojevački šikar. Test se nalazi na obroncima Krndije zapadne ekspozicije na nadmorskoj visini između 160 i 180 m. S obzirom na geografski položaj, opravdano je za pretpostaviti da lokalitet na kojemu je test smješten ekološki pripada staništu na kojem optimalno uspijevaju šume hrasta kitnjaka i hrasta medunca (Vukelić i Rauš, 1998), što je razvidno i iz površnog pregleda susjednih sastojina. Važno je napomenuti izdvojenost analiziranog testa familija hrasta lužnjaka izvan njegova prirodnog staništa, jer ta činjenica znatno utječe na interpretaciju dobivenih rezultata.

Preživljenje, rast i fenologija listanja

Prosječno preživljavanje stabala u dobi od 2+15 godina bilo je zadovoljavajuće (83 posto), međutim, pojedine familije imale su postotak preživljavanja ispod 70 posto (Na7, PS4, PS26 i PS-), dok su neke familije imale maksimalno preživljavanje (Na4, PS5, PS7). Niske vrijednosti preživljavanja kod pojedinih familija ukazuju na njihovu smanjenu prilagođenost testnim okolišnim uvjetima. Familije s najnižim postotkom preživljavanja uglavnom su se odlikovale i ispodprosječnim visinama i opsezima debla. Ova povezanost rasta i preživljavanja nije uočena kod familije dobivene slobodnim oprašivanjem minus stabla (PS-), koja je usprkos niskom preživljavanju pokazala vrlo visoke vrijednosti za svojstva rasta. Korelacijska analiza pokazala je statistički značajnu povezanost između preživljavanja i aritmetičkih sredina za svojstvo opsega debla, dok korelacijski koeficijenti između preživljavanja i ostalih svojstava nisu bili značajni.

Analizom varijance utvrđene su statistički značajne razlike između istraživanih familija za svojstva rasta (visina i opseg debla – v. tablicu 3), što ukazuje na značaj genetske komponente u fenotipskoj varijabilnosti svojstava rasta. Takvi rezultati ukazuju na to da neke familije posjeduju genetski uvjetovanu sposobnost prilagodbe na testne uvjete koju iskazuju boljim rastom i preživljavanjem.

Analizom fenoloških faza listanja 27. ožujka 2007. godine utvrđeno je da su istraživane familije prosječno bile u ranijoj fazi u usporedbi s kontrolnim biljkama (graf 6). Selekcionirane familije su se međusobno značajno razlikovale, što je potvrđeno i analizom varijance (tablica 3). Štoviše, za ovo je svojstvo utvrđen najviši udio genetske komponente u fenotipskoj varijabilnosti (efekt familija) od svih analiziranih svojstava. Tri su se familije istakle kao kasnije listajuće (Na6, Na10 i PS7), a iste su se familije odlikovale i iznadprosječnim rastom. Međutim, familija Na2 koja je imala prosječno najvišu vrijednost faze listanja (najranije listajuća) također se odlikuje visokim prosječnim vrijednostima rasta. Provedenom korelacijskom analizom nije utvrđena statistički značajna povezanost između fenologije listanja s jedne strane i svojstava rasta i preživljenja s druge strane (tablica 5), iz čega je razvidno da ranije ili kasnije listanje nije imalo značajno pozitivan utjecaj na bolji rast ili preživljavanje. Negativni korelacijski koeficijent između fenologije listanja i svojstva pravnosti naznačuje da su stabla s boljom ocjenom pravnosti ranije započela s listanjem, međutim, taj se zaključak ne može donijeti zbog statističke nesignifikantnosti korelacijskog koeficijenta. Za razliku od rezultata ovog istraživanja, u testovima litvanskih familija hrasta lužnjaka dobivenih slobodnim oprašivanjem (Baliuckas and Pliura, 2003) autori navode koreliranost između visine i fenologije listanja, a i u testu hrvatskih provenijencija hrasta lužnjaka (Perić et al., 2000) utvrđena je pozitivna korelacija fenologije listanja i visina. Za pretpostaviti je da će fenologija listanja biti korelirana s visinskim rastom u okolišu gdje ranije ili kasnije listanje može dati prednost visinskom razvoju biljke. Takvi okolišni uvjeti mogli bi biti npr. učestala pojava kasnog proljetnog mraza ili snažna kompeticija s korovnom vegetacijom. U uvjetima istraživanog testa vjerojatno je da proljetni mrazovi nisu uvjetovali bolju kompetitivnost familija s kasnijim listanjem, dok je održavanje pokusne plohe eliminiralo utjecaj kompeticije s korovnom vegetacijom u kojem bi slučaju familije s ranijim listanjem bile u prednosti. Može se pretpostaviti da su u testnim uvjetima neki drugi fiziološki procesi uvjetovali diferencijaciju familija prema visinskom rastu, vjerojatno oni povezani s hranidbenim i vodnim statusom.

Potrebno je napomenuti da rezultati ovakvog tipa genetičkog testa vrijede isključivo za istraživane familije, odnosno njihova majčinska plus stabla, i to u podjednakim okolišnim uvjetima u kojima su rasli (Falconer i Mackay, 1996). To znači da postoji realna mogućnost da bi rezultati bili drukčiji da je test postavljen u drugim okolišnim uvjetima (npr. u uvjetima prirodnog staništa hrasta lužnjaka). Vrijednost ovih rezultata leži upravo u tome da pojedine familije testirane izvan prirodnog staništa pokazuju sposobnost prilagodbe na neuobičajene stanišne prilike.

Šumsko-uzgojna svojstva

Općenito, većina stabala u testu imala je loše ocjene za analizirana šumsko-uzgojna svojstva. Prosječna ocjena pravnosti bila je prilično loših 3,95. Selekcionirane familije imale su nešto bolju prosječnu ocjenu (3,88), što ipak nije ni približno zadovoljavajuće (v. grafikon 3). Slični su rezultati dobiveni i za ostala svojstva kvalitete, tj. kut insercije grana i rašljivost (v. grafikone 4, 5). Može se reći da istraživane

familije hrasta lužnjaka pokazuju loše osobine šumsko-uzgojnih svojstava u testiranim okolišnim uvjetima, iako su neke familije pokazale nešto bolje prosječne vrijednosti (npr. familije PS11 i PS12 za svojstvo pravnosti ili familija Na10 za kut insercije grana). Provedenom analizom varijance nisu utvrđene statistički značajne razlike između familija (tablica 3), što upućuje na dominantan utjecaj okoliša na uočenu fenotipsku varijabilnost ovih svojstava. Odsutnost statističke značajnosti razlika između familija može se objasniti visokim unutarfamilijarnim varijancama. Očito je da su okolišni uvjeti pokusne plohe “maskirali” eventualne genetske razlike između istraživanih familija, te se može zaključiti da nije preporučljivo provoditi selekciju na šumsko-uzgojna svojstva hrasta lužnjaka u sličnim okolišnim uvjetima.

Kvantitativni genetički parametri

Svojstva rasta i ostala ekonomski važna svojstva šumskog drveća su tzv. metrička ili kvantitativna svojstva. Takva svojstva odlikuje da su pod utjecajem mnogo gena, od kojih svaki ima relativno mali efekt na fenotip, te da su pod značajnim utjecajem okoliša. Razdvajanje genetske i okolišne komponente fenotipske varijabilnosti kvantitativnih svojstava i što preciznija procjena tzv. kvantitativnih genetičkih parametara temeljni je cilj genetičkih testova kao što je istraživani test Vukojevački šikar. Nasljednosti, genetske dobiti i koeficijenti aditivne genetske varijabilnosti važni su genetički parametri čije je poznavanje nužno za planiranje oplemenjivanja i očuvanja genetske raznolikosti hrasta lužnjaka, kao i drugih vrsta drveća.

Nasljednost je udio aditivne genetske varijance u fenotipskoj varijabilnosti nekog svojstva, tj. indicira stupanj mogućnosti prijenosa osobina roditelja na potomstvo, dok je koeficijent aditivne genetske varijabilnosti temeljni kriterij za usporedbu genetske raznolikosti između različitih svojstava i populacija. Genetska dobit ovisi o varijabilnosti svojstva u populaciji, njegovoj nasljednosti i primijenjenom intenzitetu selekcije (Jansson, 2005).

Genetski parametri su procijenjeni za ona svojstva za koja je utvrđena statistički značajna genetska komponenta fenotipske varijabilnosti (statistički značajna varijabilnost uzrokovana efektom familija). Iz rezultata se može uočiti da je svojstvo fenologije listanja pokazalo najviše vrijednosti nasljednosti, genetske dobiti i koeficijenta aditivne varijabilnosti (tablica 4). S obzirom na to da je analiza varijance za svojstvo listanja provedena na temelju vrijednosti sredina plohica, nije bilo moguće izračunati individualnu nasljednost i genetsku dobit za metodu individualne selekcije. Procijenjeni genetski parametri ukazuju na visok stupanj genetske raznolikosti istraživanih familija s obzirom na fenologiju listanja i na njihovu značajnu sposobnost prilagođavanja različitim okolišnim uvjetima u kojima je listanje važno svojstvo prilagodbe (npr. uvjeti pojave kasnih proljetnih mrazova).

Nasljednosti procijenjene za svojstva visine i opsega debla imale su umjereno visoke vrijednosti (tablica 4). Rezultati su pokazali da se najveća genetska dobit, s obzirom na svojstva rasta, može očekivati metodom povratne selekcije 8 od 21 testiranih plus stabala. Konkretno, to bi značilo da bi se s ciljem postizanja 10 posto genetske dobiti za svojstva visine i opsega debla trebalo odstraniti 13 od 21 testiranog plus stabla iz klonske sjemenske plantaže. Ako bismo dobivene rezultate pre-

nijeli na cjelokupan broj od 40 plus stabala koliko ih se nalazi u klonskoj sjemenskoj plantaži Kosovac (Šumarija Orahovica), to bi značilo da treba odstraniti 25 plus stabala iz plantaže. Međutim, očekivana genetska dobit metodom individualne selekcije 38 posto najboljih jedinki (158 od 415 stabala) u testu nije bila značajno manja od metode povratne selekcije (v. tablicu 4). Teoretski bi primjenom te metode selekcije u stvaranju sljedeće generacije sudjelovalo 158 majčinskih stabala, što je značajno veća efektivna veličina populacije nego u slučaju povratne selekcije.

Uzimajući u obzir negativne utjecaje male efektivne veličine populacije (Hattermer, 2005), tj. križanja između malog broja roditeljskih stabala na genetsku raznolikost potomstva (prije svega utjecaje genetskog drifta i inbreedinga), preporučljivije je izabrati metodu individualne selekcije.

Vrijednosti ostvarene genetske dobiti bile su relativno niske (tablica 4), što znači da se samo praksom sakupljanja sjemena od selekcioniranih plus stabala u njihovom prirodnom staništu ne može očekivati značajna dobit za svojstva rasta i fenologije listanja. To se može objasniti time što se majčinska stabla u prirodnim populacijama oprašuju smjesom polena koja potječe od različitih muških donora iz bliže i dalje okolice. Smjesa polena vrlo lako može sadržavati i polen od muških donora slabije genetske kvalitete, što doprinosi velikoj varijabilnosti dobivenog potomstva bez obzira na genetsku kvalitetu majčinskih stabala.

Jedan od glavnih ciljeva očuvanja genofonda je održavanje potencijala prilagodbe na promjenu okoliša (Eriksson, 2001, 2005). Relativno visoke vrijednosti aditivnih koeficijenata varijabilnosti dobivene za svojstva listanja i rasta ukazuju na široku genetsku varijabilnost ishodnih plus stabala iz pripadajuće sjemenske regije i dobru mogućnost prilagodbe njihova potomstva na promjene okolišnih uvjeta. Slični rezultati dobiveni su istraživanjem testova potomstava švedskih populacija hrasta lužnjaka (Baliuckas et al., 2001).

ZAKLJUČCI

CONCLUSIONS

Analizom kvantitativnih svojstava u testu familija hrasta lužnjaka u dobi od 2+15 godina, dobivenih slobodnim oprašivanjem plus stabala iz sjemenske regije Srednja Podravina, a koji je postavljen na lokalitetu Vukojevački šikar u stanišnim uvjetima izvan prirodnog areala ove vrste, mogu se donijeti sljedeći zaključci:

1. Za svojstva visina stabla, opseg debla na prsnoj visini i fenologija listanja utvrđene su statistički značajne komponente varijance uzrokovane međufamilijarnim razlikama, iz čega se može zaključiti da za navedena svojstva postoje značajne individualne genetski uvjetovane razlike između testiranih plus stabala.
2. Za istraživana šumsko-uzgojna svojstva (pravnost, rašljivost i kut insercije grana) nisu utvrđene statistički značajne međufamilijarne razlike, što ukazuje na zaključak da su dominantan utjecaj na fenotipsku varijabilnost tih svojstava u uvjetima testne plohe imali okolišni čimbenici.

3. Na temelju prethodnog može se zaključiti da nije preporučljivo provoditi selekciju i oplemenjivanje za analizirana šumsko-uzgojna svojstva u sličnim okolišnim uvjetima kao što su oni u istraživanom testu.
4. Nisu utvrđene genetski uvjetovane međupopulacijske razlike niti za jedno istraživano svojstvo iz čega se može zaključiti da, s obzirom na analizirana svojstva, sjemenska regija Srednje Podravine čini jedinstvenu populaciju odnosno zonu provenijencije.
5. Procijenjeni genetički parametri ukazuju da se za svojstva rasta (visina i opseg), kao i fenologiju listanja, najveća genetska dobit u sljedećem ciklusu oplemenjivanja može očekivati selekcijom najboljih jedinki u testu i formiranjem generativne sjemenske plantaže od tako selekcioniranih jedinki.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGMENTS

Ovo istraživanje bilo je podloga za izradu diplomskog rada studenta Šumarskog fakulteta Dalibora Bedenikovića pod mentorskim vodstvom doc. dr. sc. Saše Bogdana, a provedeno je u sklopu Programa znanstvenoistraživačkog rada Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, koji financijski potpomaže tvrtka Hrvatske šume d.o.o. Zagreb. Ovim putem autori se zahvaljuju za financijsku podršku. Zahvaljujemo svim djelatnicima Uprave šuma podružnice Našice i Šumarije Našice koji su sudjelovali u provedbi osnivanja i održavanja pokusnog nasada Vukojevački šikar.

LITERATURA

REFERENCES

- Anić, I., 2004. Uzgajanje šuma – Interna skripta.. Zagreb. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.: 106-107.
- Bačić, T., 1981. Investigation of stomata of three oak species with light and scanning electron microscope. Acta Bot. Croat. 40: 85-90. Zagreb.
- Baliuckas, V., Lagerström, T., Eriksson, G., 2001. Within-population variation in juvenile growth rhythm and growth in *Quercus robur* L. and *Fagus sylvatica* L. Forest Genetics 8(4): 259-269.
- Baliuckas, V., Pliura, A., 2003. "Genetic Variation and Phenotypic Plasticity of *Quercus robur* Populations and Open-pollinated Families in Lithuania." Scand. J. For. Res. 18: 305-319.
- Bogdan, S., Kajba, D., Katičić, I., 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.
- Borzan, Ž., 1996. Kultivari hrast lužnjaka:104-104, Vegetativno razmnožavanje hrast lužnjaka: 108-111. U M. Vidaković, ur. Oplemenjivanje hrasta lužnjaka u Hrvatskoj. U D. Klepac, ur. Hrast lužnjak u Hrvatskoj. Vinkovci – Zagreb. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, JP Hrvatske šume.
- Borzan, Ž., 2001. Imenik drveća i grmlja. Hrvatske šume. Zagreb.

- Borzan, Ž., Littvay, T., 1989. Vegetativno razmnožavanje hrasta lužnjaka strojnim cijepljenjem. Šumarski list CXIII/11-12: 557-566. Zagreb.
- Falconer D. S., Mackay T. F. C. 1996. Introduction to Quantitative Genetics. Longman Group Ltd. 464 str.
- Eriksson, G. and Ekberg, I., 2001. An Introduction to Forest Genetics. SLU, Uppsala. Chapter 6: 60-61.
- Eriksson, G., 2005. Evolution and evolutionary factors, adaptation and adaptability. In: Th. Geburek and J. Turok (eds.) Conservation and Management of Forest Genetic Resources in Europe. Arbora Publishers, Zvolen. pp. 199-211.
- Godet, J.D., 2000. Drveće i grmlje. Zagreb. Naklada C: 106-107.
- Gračan, J., 1996. Masovna selekcija: 118, Sjemenske sastojine hrasta lužnjaka: 118-121, Podjela šuma hrasta lužnjaka na sjemenske oblasti, zone i rajone: 121-126, Genetska izdiferenciranost lokalnih populacija hrasta lužnjaka: 126, Preporuke za uporabu sjemena i reprodukcijskog materijala u Hrvatskoj: 126-127. U M. Vidaković, ur. Oplemenjivanje hrasta lužnjaka u Hrvatskoj. U D. Klepac, ur. Hrast lužnjak u Hrvatskoj. Vinkovci – Zagreb. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, JP Hrvatske šume.
- Gračan, J., Krstinić, A., Matić, S., Rauš, Đ., Seletković, Z., 1995. Šumski sjemenski rajoni u Hrvatskoj. JP Hrvatske šume:111. Zagreb.
- Hattemer, H., 2005. Genetic structures and population sizes. U Th. Geburek, J. Turok, ur. Conservation and Management of Forest Genetic Resources in Europe. Zvolen. Arbora Publishers. Str. 149-170.
- Herman, J., 1971. Šumarska dendrologija. Stanbiro. Zagreb: 242-252.
- Horvat, I., 1949. Nauka o biljnim zajednicama. Zagreb.
- Jansson, G., 2005. Quantitative genetics. U Th. Geburek, J. Turok, ur. Conservation and Management of Forest Genetic Resources in Europe. Zvolen. Arbora Publishers. Str. 213-235.
- Jovančević, M., 1966. Brdski lužnjak – posebna rasa. Šumarstvo 3-5: 3-15. Beograd.
- Jovančević, M., 1968. Brdski lužnjak – posebna rasa II. Rano testiranje genetsko-fizioloških osobina. Šumarstvo 7-8: 3-16. Beograd.
- Jovanović, M., Tucović, A., 1975. Genetics of common and sessile oak (*Quercus robur* L. and *Q. petraea* Liebl.). Ann. Forest. 7/2:23-53. Zagreb.
- Jovanović, M., Vukičević, E., 1983. Hrast lužnjak. U Z. Potočić, ur. Šumarska enciklopedija, Svezak II. Zagreb. Jugoslavenski leksikografski zavod “Miroslav Krleža”: 74-75.
- Krahl-urban, J., 1970. Versucht zur Bewurzelung von Eichen- und Besuchenstecklingen. Silvae genetica 19/4: 129-131.
- Krstinić, A., Kajba, D., 1994. Conservation of poplar and arboroscent willow genetic resources in Croatia. *Populus nigra* Network (EUFORGEN):29-36. Compilers E. Frison et al., Izmir. Turkey.
- Krstinić, A., Trinajstić, I., Gračan, J., Franjić, J., Kajba, D., Britvec, M., 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: 159-168. Hrvatsko šumarsko društvo. Zagreb.
- NN 2008. Pravilnik o područjima provenijencija svojti šumskog drveća od gospodarskog značaja. Narodne novine br 107.
- Perić, S., Gračan, J., Dalbelo-Bašić, B., 2000. “Flushing variability of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in provenance experiment in Croatia.” In: J. Vukelić (ed.) Glasnik za šumske pokuse 37: 395-412.
- Rauš, Đ., 1996. Šumske zajednice hrasta lužnjaka: 28-54. U Đ. Rauš ur. Šumske zajednice i sinekološki uvjeti Hrasta lužnjaka. U D. Klepac, ur. Hrast lužnjak u Hrvatskoj. Vinkovci – Zagreb. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, JP Hrvatske šume.

- Savill, P.S., Kanowski, P.J., 1993. "Tree improvement programs for European oaks: goals and strategies." *Ann. Sci. For.* 50 (1): 368-383.
- Šafar, J., 1966. Problem fizioloških, ekoloških i ekonomskih karakteristika i ranog listanja hrasta lužnjaka. *Šumarski list* XC/11-12: 503-515. Zagreb.
- Trinajstić, I., 1996. Taksonomska problematika hrasta lužnjaka u Hrvatskoj: 96-97, Nomenklatura Hrasta lužnjaka: 97, Rasprostranjenost hrasta lužnjaka: 98-99, Hrast lužnjak u Hrvatskoj: 99-101. U M. Vidaković, ur. Oplemenjivanje hrasta lužnjaka u Hrvatskoj. U D. Klepac, ur. Hrast lužnjak u Hrvatskoj. Vinkovci – Zagreb. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, JP Hrvatske šume.
- Vidaković, M., Trinajstić, I., Krstinić, A., Borzan, Ž., Gračan, J., 1996. Generativna reprodukcija: 104-107, Podizanje klonske sjemenske plantaže Hrasta lužnjaka: 127-128, Teorijske postavke: 128-129, Izbor plus stabala: 129-135, Cijepljenje plus stabala: 135-136, Veličina sjemenske plantaže: 136, Test potomstva plus stabala: 137, Zaključne napomene: 137-138, Međuvrsna hibridizacija: 138-139, Čuvanje genofonda hrasta lužnjaka u Hrvatskoj: 140-144. U M. Vidaković, ur. Oplemenjivanje hrasta lužnjaka u Hrvatskoj. U D. Klepac, ur. Hrast lužnjak u Hrvatskoj. Vinkovci – Zagreb. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, JP Hrvatske šume.
- Vidaković, M., Krstinić, A., 1985. Genetika i oplemenjivanje šumskog drveća. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb.
- Vukelić, J. i Rauš, Đ., 1998. Šumarska fitocenologija i šumske zajednice u Hrvatskoj. Zagreb. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet Zagreb.
- Zobel, B. i Talbert, J., 1984. Applied forest tree improvement. New York. John Wiley & Sons. 505 str.

**RESULTS OF THE FIELD TRIAL WITH OPEN-POLLINATED
FAMILIES FROM PEDUNCULATE OAK (QUERCUS ROBUR L.)
PLUS TREES ORIGINATING FROM THE SEED REGION
"SREDNJA PODRAVINA"**

Summary

Estimates of quantitative genetic parameters from a field trial with pedunculate oak open-pollinated families originating from selected plus trees are presented. The plus trees were selected within area of the seed region "Srednja Podravina". The field trial (genetic test) was established on the site called "Vukojevacki sikar" (N 45°27'10,3"; E 18°07'38,5"), according to randomised complete block design with five replications. Height, circumference on the breast height, stem form, branch angle, forking and flushing phenology were measured or assessed on all survived trees at age of 2+15 years (15 years after establishment of the trial).

Statistical analyses comprised of descriptive analyses by MEANS procedure, analyses of variance by VARCOMP procedure and correlation analyses using SAS software. Analyses of variance were performed in order to investigate significance of random effects of population and family. Several quantitative genetic parameters were assessed, namely: additive and environmental variances, correlation coefficients between studied phenotypic traits, coefficients of additive genetic variation, narrow-sense heritabilities, realised gains and expected genetic gains from two different types of selection.

Stem forms were assessed by 1 to 5 ordinal scale (1-straight and 5- multiple bending). Average score in the trial was 3.95. Selected families had also quite bad average score (3.88) though somewhat better than control trees (4.25). Branch angle were assessed by 1 to 5 scale (1- right angle; 5-acute angle). Average score in the trial was 3.57. Average score of the selected families was quite low (3.55), though somewhat better than control trees (3.67). Average score of studied families for the forking was 0.74 (0-no forks, 1- forks), while control trees had average score of 0.75. Family PS11 had the lowest average forking score (the lowest rate of forked trees), while the highest rate of forked trees had family Na2.

Analyses of variance showed that variance components caused by population effect were not significant for any of studied trait. Statistically significant variance components caused by family effect were observed for flushing phenology, height and circumference at the breast height.

Results showed relatively high family mean heritabilities for the flushing phenology, height and circumference, while individual heritabilities for height and circumference were medium. The highest estimated values of genetic gain and coefficient of additive genetic variance were given for flushing phenology, while similar values were observed for height and circumference at breast height. Expected genetic gains were highest for backward selection of the plus trees after progeny testing, but not significantly higher than expected genetic gains from individual selection of the best trees in the trial.

On the basis of the results and given discussion it was concluded: Because of statistically significant variance components caused by family effect for height, circumference at breast height and flushing phenology, it can be concluded that between tested plus trees exist significant genetic differences for respective quantitative traits;

Due to no significant family effect for stem form, forking and branch angle it can be concluded that environmental factors at the trial site had dominantly shaped phenotypic variation of those traits. Because of previous statement, it can be concluded that selecting and breeding for those traits is not advisable in similar testing environments as were in the trial;

Due to lack of significant between population differences for all studied traits it can be concluded that the seed region “Srednja Podravina“ represents uniform population i.e. it can be treated as a provenance zone;

On the basis of estimated quantitative genetic parameters it can be concluded that highest genetic gain for growth traits (height and circumference at breast height) and flushing phenology in the next breeding cycle can be expected from individual selection of the best trees in the trial which should be used for establishment of the generative seed orchard.

Key words: *quantitative genetic parameters, heritability, genetic gain, selection, breeding*