

# FENOTIPSKA VARIJACIJA SVOJSTAVA LISTOVA U PRIRODNIM POPULACIJAMA *Quercus petraea* (*(Matt.) Liebl.*) U BOSNI I HERCEGOVINI

## PHENOTYPIC VARIATION IN LEAF IN MATURAL POPULATIONS OF *Quercus petraea* (*(Matt.) Liebl.*) IN BOSNIA AND HERZEGOVINA

Mirzeta MEMIŠEVIĆ HODŽIĆ<sup>1</sup>, Azra ČABARAVDIĆ<sup>1</sup>, Dalibor BALLIAN<sup>1,2</sup>

### SAŽETAK

Hrast kitnjak (*Quercus petraea* (Matt.) Lieblein) jedna je od ekonomski i ekološki vrlo važnih vrsta šumskog drveća i javlja se u oko 15% svih šuma u Bosni i Hercegovini. Prirodne populacije hrasta kitnjaka u Bosni i Hercegovini predstavljaju specifične zajednice koje se razlikuju od jedinki iz svog optimuma u zapadnoj, južnoj i istočnoj Europi, te predstavljaju genetičke specifikume bitne za očuvanje biološke raznolikosti hrasta kitnjaka u Europi. Istraživanjem morfoloških svojstava listova željelo se utvrdi stupanj unutarpopulacijske i međupopulacijske varijabilnosti hrasta kitnjaka na području Bosne i Hercegovine, te veze između variranja populacija u fenotipskim svojstvima i geoklimatskih čimbenika. Rezultati istraživanja bit će iskorišteni prilikom odabira mjera za očuvanje ove vrste šumskog drveća.

Analizirano je 13 svojstava listova hrasta kitnjaka, sakupljenih sa 237 stabala iz 24 prirodne populacije.

Rezultati su pokazali da su koeficijenti varijacije za sva mjerena svojstava u rasponu od 13.3% za duljinu plojke, do 26.5% za duljinu peteljke. Analiza varijance (ANOVA) otkrila je postojanje fenotipskih varijacija unutar i među populacijama. Varijacija unutar populacija bila je prosječno 28.44% i veća nego između populacija (prosječno 16.2%). Klaster analiza pokazala je razdvajanje populacija u dva glavna klastera, gdje su jednom klasteru pripale populacije Jajce Komotin i Fojnica, a drugom klasteru sve ostale populacije. Većina analiziranih svojstava lista (osim duljine peteljke, omjera širine i duljine lista i broja režnjeva) bila je u korelaciji sa geografskom širinom, srednjom temperaturom kvartala s najviše padalina i količinom padalina u najtoplijem kvartalu.

Ovi rezultati mogu biti korišteni za očuvanje raznolikosti i upravljanje resursima hrasta kitnjaka u budućnosti.

**KLJUČNE RIJEČI:** *Quercus petraea*, populacija, varijacija, listovi, morfološka svojstva

### UVOD INTRODUCTION

Hrast kitnjak (*Quercus petraea* (Matt.) Lieblein) jedna je od ekonomski i ekološki vrlo važnih vrsta šumskog drveća i javlja se u oko 15% svih šuma u Bosni i Hercegovini (Matić i dr. 1971). Jedinke hrasta kitnjaka mogu biti vrlo dugovječne (preko 1 000 godina u nekim slučajevima) i mogu

dostići visinu višu od 40 m te promjer od tri do četiri metra (Colin Prentice i Helmisaari 1991, Praciak i sur. 2013, Eaton i sur. 2016). Drvo hrasta kitnjaka i hrasta lužnjaka igralo je važnu ulogu u razvoju društava u Europi, osiguravajući drvo za ogrjev, plodove za ishranu stoke, koru za štavljenje i drvo za građevinarstvo (Eaton i sur. 2016).

<sup>1</sup> Dr. sc. Mirzeta Memišević Hodžić, prof. dr. sc. Azra Čabaravdić, prof. dr. sc. Dalibor Ballian, Univerzitet u Sarajevu, Šumarski fakultet, Sarajevo, Bosna i Hercegovina

<sup>2</sup> Prof. Dr. sc. Dalibor Ballian, Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Sarajevo, Bosna i Hercegovina / Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana, Slovenija

\*dopisni autor: Mirzeta Memišević Hodžić, email: m.memisevic-hodzic@sfsa.unsa.ba

Ducouso i Bordacs (2004) navode da su u prošlosti ljudi svojim aktivnostima značajno smanjili rasprostranjenost hrasta kitnjaka i hrasta lužnjaka, ali da se pokrivenost hrastovim šumama povećala od 19. stoljeća zahvaljujući organiziranom podizanju novih hrastovih šuma. U Europi postoji duga tradicija gospodarenja hrastovim šumama, koja se čini vrlo konzervativnom u pogledu genetskih resursa, ali je utjecaj različitih praksi podizanja novih šuma relativno nepoznat, navode Ducouso i Bordacs (2004), te ističu unošenje egzotičnih genotipova kroz umjetne nasade kao osnovnu prijetnju, koja je u prošlosti bila zanemarena. Ove populacije su u velikom riziku od nestanka, jer je broj jedinki s kojih se sakuplja sjeme mali, staništa su nestabilna i ljudski utjecaj je često značajan (Ducouso i Bordacs 2004).

Fenotipska varijacija odražava rezultat genetske varijacije i fenotipske plastičnosti kao odgovor na varijacije u okolišu. To je izraz prilagodbe biljaka na različite uvjete okoliša (Liu i sur. 2022), pa je fenotipska varijacija važna u istraživanju prilagodbe okoliša i evolucije biljaka (Edelar i sur. 2017). Proučavanje varijacija svojstava važno je za genetsko poboljšanje i očuvanje genetskih resursa hrasta kitnjaka. Ta istraživanja mogu pomoći u razumijevanju mehanizama reakcije, odnosno odgovora i obrazaca varijacija biljaka na okoliš, što je važno za prikupljanje, očuvanje i procjenu resursa biljnih germplazmi (Wang i sur. 2023). Varijacije prirodnih populacija hrasta kitnjaka kod nas i u okruženju nisu dovoljno istražene i hitno su potrebna daljnja istraživanja.

Postojeće studije o fenotipskoj (Bruschi i sur. 2003) i genetičkoj raznolikosti (Gömöry 2001, Ballian i sur. 2007, Ballian i Bogunić 2012, Ballian 2016, Bruschi i sur. 2003a, Rebrean i sur. 2023, Tóth i sur. 2023), navode postojanje unutarpopulacijske i međupopulacijske varijabilnosti hrasta kitnjaka u Bosni i Hercegovini i različitim dijelovima Europe. Bruschi i sur. (2003a) navode postojanje diferencijacije populacije prema morfološkim i molekularnim bilježima, ali se obrasci diferencijacije morfoloških svojstava nisu poklapali sa mikrosatelitnom diferencijacijom, jer na molekularnoj razini nije bilo interakcija s okolinom. U pogledu fenotipske varijacije u morfološkim svojstvima lista i anatomiji hrasta kitnjaka Bruschi i sur. (2003b) utvrdili su velike varijacije unutar stabla zbog položaja grana, posebice u debljini i produktivnosti (40%). Za 19 od 32 varijable, varijacije među stablima bile su niže od varijacija unutar stabla, što su objasnili položajem grana (Bruschi i sur. 2003).

Informacije o fenotipskim varijacijama hrasta kitnjaka i njihovim odnosima s geoklimatskim faktorima na razini populacije ključne su za planiranje mjera genetskog očuvanja i unapređenja stanja populacija hrasta kitnjaka.

Naši glavni ciljevi bili su (1) kvantificirati fenotipsku varijaciju analiziranih svojstava listova; (2) odrediti udio feno-

tipske varijacije između i unutar populacija; i (3) ispitati obrazac varijacije populacija i njegovu povezanost s geoklimatskim faktorima. Rezultati ovoga istraživanja trebali bi pružiti osnovu za genetsko poboljšanje, očuvanje raznolikosti, uzgoj šuma i upravljanje resursima hrasta kitnjaka u Bosni i Hercegovini.

## MATERIJAL I METODE MATERIAL AND METHODS

### Materijal – Material

Materijal je prikupljen sa po osam do deset stabala po populaciji u 24 prirodne populacije u Bosni i Hercegovini tijekom 2023. godine. Osnovni podaci o populacijama prikazane su u tablici 1.

Zemljopisne lokacije uzorkovanih populacija određene su pomoću GPS-a, a sastoje se od zemljopisne širine, dužine i nadmorske visine. U istraživanju su korišteni bioklimatski podaci preuzeti sa WorldClim portala (<https://www.worldclim.org/data/bioclim.html>, pristup 10.05. 2022.). Nazivi klimatskih elemenata prikazani su u tablici 2.

**Tablica 1.** Geolokacije istraživanih prirodnih populacija *Q. petraea*  
**Table 1.** Geolocations of investigated natural populations of *Q. petraea*

Rb No	Lokalitet Locality	Veličina uzorka Sample size	Zemljopisna širina Latitude	Zemljopisna dužina Longitude	Nadmorska visina (m) Altitude (m)
1	Bihać Gata	10	15,81	44,99	287,5
2	Bosanska Krupa	10	16,18	45,05	373,3
3	Bužim Baštra	10	16,15	45,08	544,5
4	Čelinac	10	17,33	44,71	245,7
5	Drvar	10	16,34	44,40	550,4
6	Fojnica	10	18,04	43,98	492,3
7	Goražde	10	18,89	43,68	824,5
8	Jajce Komotin	10	17,29	44,40	591,6
9	Kakanj B. Luka	10	18,27	44,33	706,7
10	Kakanj Slagošćići	10	18,33	44,25	858,0
11	Ključ	8	16,67	44,56	691,3
12	Konjic Jasenik	10	17,85	43,98	817,7
13	Kreševo Jelaške	9	18,17	43,91	787,8
14	Lašva Desetnik	10	17,98	44,18	390,2
15	Olovo C. Čuprija	10	18,50	44,26	815,0
16	Sanski Most	10	16,56	44,83	401,7
17	Srebrenik	10	18,62	44,70	465,8
18	Tarčin	10	18,14	43,80	712,6
19	Teočak	10	19,16	44,71	120,0
20	Tešanj	10	17,74	44,65	280,5
21	Teslić Čečava	10	17,99	44,57	598,0
22	Tjentište Vrbnica	10	18,73	43,43	1202,7
23	Zavidovići	10	18,31	44,48	518,6
24	Živinice Litve	10	18,71	44,44	219,9



**Slika 1.** Geolokacije 24 uzorkovane populacije *Quercus petraea*

**Figure 1.** Geolocations of the 24 populations sampled of *Quercus petraea*

**Tablica 2.** Lista bioklimatskih varijabli (WorldClim baza podataka)

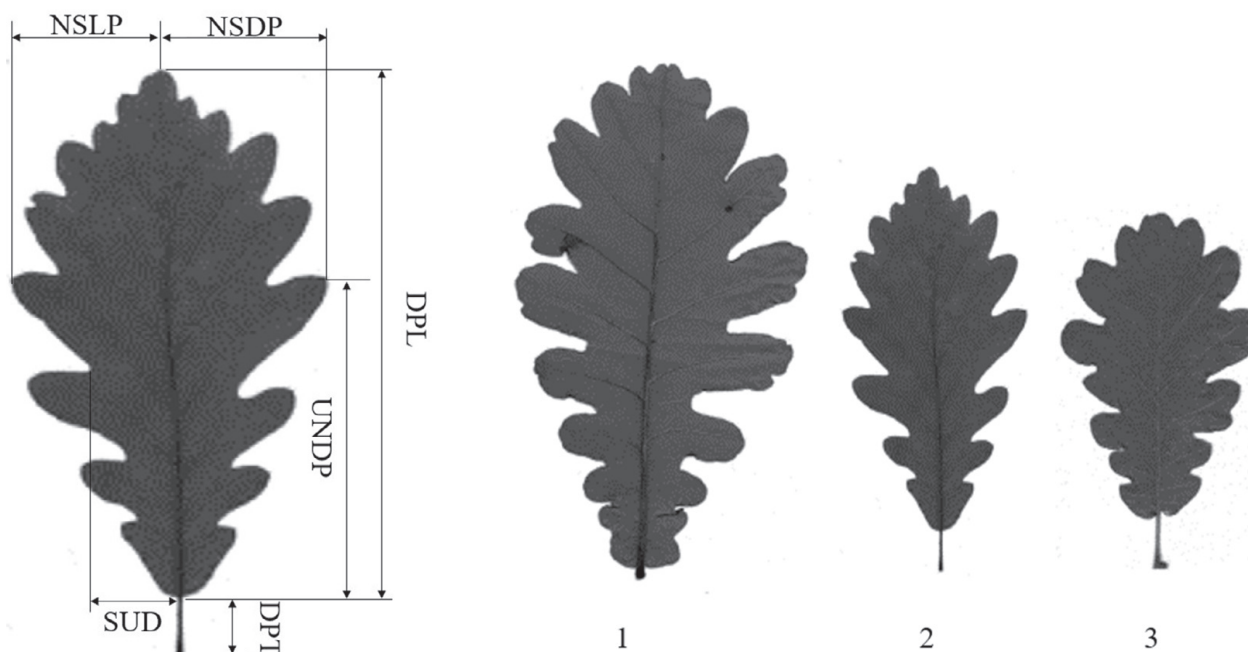
**Table 2.** List of bioclimatic variables (WorldClim database)

Varijabla Variable	Opis varijable Variable description
BI01	Srednja godišnja temperatura / <i>Annual Mean Temperature</i>
BI02	Srednji dnevni raspon (mjesečni prosjek) temperature / <i>Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp – min temp))</i>
BI03	Izotermalnost / <i>Isothermality (BI02/BI07) (×100)</i>
BI04	Sezonalnost temperature / <i>Temperature Seasonality (standard deviation ×100)</i>
BI05	Maksimalna temperatura najtoplijeg mjeseca / <i>Max Temperature of Warmest Month</i>
BI06	Minimalna temperatura najhladnijeg mjeseca / <i>Min Temperature of Coldest Month</i>
BI07	Godišnji raspon temperature (BI05-BI06) / <i>Temperature Annual Range (BI05-BI06)</i>
BI08	Srednja temperatura kvartala s najviše padalina / <i>Mean Temperature of Wettest Quarter</i>
BI09	Srednja temperatura najsušnijeg kvartala / <i>Mean Temperature of Driest Quarter</i>
BI010	Srednja temperatura najtoplijeg kvartala / <i>Mean Temperature of Warmest Quarter</i>
BI011	Srednja temperatura najhladnijeg kvartala / <i>Mean Temperature of Coldest Quarter</i>
BI012	Godišnja količina padalina / <i>Annual Precipitation</i>
BI013	Padaline mjeseca s najviše padalina / <i>Precipitation of Wettest Month</i>
BI014	Padaline mjeseca s najmanje padalina / <i>Precipitation of Driest Month</i>
BI015	Sezonalnost padalina (koeficijent varijacije) / <i>Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)</i>
BI016	Kvartal s najvišom količinom padalina / <i>Precipitation of Wettest Quarter</i>
BI017	Kvartal s najmanjom količinom padalina / <i>Precipitation of Driest Quarter</i>
BI018	Količina padalina u najtoplijem kvartalu / <i>Precipitation of Warmest Quarter</i>
BI019	Količina padalina u najhladnijem kvartalu / <i>Precipitation of Coldest Quarter</i>

Listovi hrasta kitnjaka sakupljeni su sa plodnih izbojaka (kratkorasta) i južno eksponiranog dijela krošnje adultnih stabala na osami ili stabala na rubovima šuma, koja su se u ranijim istraživanjima pokazala podobnim za morfometrijske analize, te dobri reprezentivi istraživanih populacija (Tri najstić 1988, Franjić 1994, 1996 a, 1996b). Sakupljeno je po 30 listova po stablu. Listovi su zatim herbarizirani, osušeni te mjereni.

### Morfometrijske analize – Morphometric analyses

Suhi listovi su mjereni digitalnim pomičnim mjerilom (u mm). Na svakom listu izmjereno je šest fenotipskih svojstava (Slika 2): duljina plojke (DPL), duljina peteljke (DPT), udaljenost najšireg dijela plojke od baze plojke sa desne strane (UNDP), najveća širina desne poluplojke (NSDP), najveća širina lijeve poluplojke (NSLP), širina usječenog dijela plojke ispod najveće širine sa lijeve strane (SUD). Izračunata je ukupna duljina lista (duljina plojke + duljina peteljke) (UD), ukupna širina plojke (širina lijeve poluplojke + širina desne poluplojke) (US), odnos širine naspram duljine lista (OSD) i odnos duljine peteljke naspram duljine plojke (OPP). Izvršeno je brojanje režnjeva sa desne strane (BR), te ocjenjivanje dlakavosti (DL) u četiri kategorije; 1 – nema, 2 – u pazuhu lista, 3 – na cijelom listu, 4 – uz središnji nerv) i ocjenjivanje oblika baze lista (OBL) (prema shemi, Slika 2).



**Slika 2:** Mjerene i ocjenjivane karakteristika lista: DPL – duljina plojke, DPT – duljina peteljke, UNDP – udaljenost najšireg dijela plojke od baze plojke sa desne strane, NSDP – najveća širina desne poluplojke, NSLP – najveća širina lijeve poluplojke, SUD – širina usječenog dijela plojke ispod najveće širine sa lijeve strane; OBL – oblik baze lista prema Fortini et al. (2015)

**Figure 2:** Measured and evaluated characteristics of the leaf: DPL – length of the leaf blade, DPT – length of the leaf petiole, UNDP – distance of the widest part of the blade from the base of the blade on the right side, NSDP – maximum width of the right half blade, NSLP – maximum width of the left half-blade, SUD – width of the incised part of the leaf below the maximum width on the left side; OBL – leaf base shape according to Fortini et al. (2015)

### Statistička analiza – Statistical analysis

Deskriptivna statistika obuhvaćala je maksimalnu, minimalnu, prosječnu vrijednost, standardnu devijaciju (SD) i koeficijent varijacije (CV) kao relativna mjera varijabiliteta, koristeći sve podatke. Koeficijent varijacije izračunat je kao:

$$CV = \frac{SD}{\bar{x}} \cdot 100\%$$

Koeficijent diferenciranja populacija ( $V_{st}$ ) je izračunat kao:

$$V_{st} = \frac{\sigma_i^2}{\sigma_i^2 + \sigma_{j(i)}^2} \cdot 100\%$$

gdje je  $\sigma_i^2$  – varijansa između populacija, a  $\sigma_{j(i)}^2$  – varijansa unutar populacija (Wang i dr. 2023).  $\sigma_i^2$  i  $\sigma_{j(i)}^2$  su dobijene primjenom ugniježdene analize varijance (ANOVA) (faktori stabla ugniježdene unutar faktora populacije), prema sljedećem linearnom modelu:

$$Y_{ijk} = u + \alpha_i + \beta_{j(i)} + e_{(ijk)}$$

gdje je:  $Y_{ijk}$   $k$ -ta vrijednost na  $j$ -tom stablu u  $i$ -toj populaciji,  $u$  je ukupan prosjek,  $\alpha_i$  je slučajna (random) efektivna vrijednost u  $i$ -toj populaciji,  $\beta_{j(i)}$  je slučajna efektivna vrijednost  $j$ -tog stabla u  $i$ -toj populaciji, i  $e_{(ijk)}$  je eksperimentalna greška  $ijk$ -te opservacijske vrijednosti, što je varijacija unutar stabala.

Testiranjem homogenosti raspodjela između populacija za ocjenjivana svojstva dlakavosti i oblika baze lista primijenjen je  $\chi^2$  test homogenosti raspodjela.

Kako bi se istražila korelacija između fenotipskih svojstava provedena je standardizacija varijabli, te su Pearsonovi koeficijenti korelacije i statistička značajnost dobiveni pomoću funkcije 'cor.test' u R verzija 4.1.3 (R Core Team 2016).

Analiza glavnih komponenti (PCA) korištena je za kondenzaciju fenotipskih svojstava u nekoliko glavnih komponenti i istraživanje kontinuuma varijacije osobina. PCA je provedena korištenjem korelacijske matrice standardiziranih srednjih vrijednosti varijabli stabla. Analiza glavnih komponenti provedena je pomoću R paketa MorphTools2 u R verziji 4.1.3 (R Core team 2016) prema priručniku Koutecký (2015). Nadalje, konstruiran je dendrogram najbližih euklidskih udaljenosti na temelju metode neponderiranih parnih grupa s aritmetičkim sredinama (UPGMA) kako bi se provjerila struktura između proučavanih populacija. Euklidske udaljenosti određene su R funkcijom 'dist' korištenjem srednjih vrijednosti populacije standardiziranih metodom Z-score, a zatim su podvrgnute postupku klasteriranja (UPGMA metoda) korištenjem funkcije 'clust' u R paketu MorphTools2.

Analiza korelacije između mjerenih svojstava listova i geografskih i klimatskih faktora provedena je kroz izračun Pearsonovog koeficijenta korelacije.

## REZULTATI RESULTS

### Fenotipska varijacija svojstava

Rezultati provedene statističke analize prikazani su u tablici 3. Za sva mjerena svojstva, koeficijent varijacije (CV) kretao se od 13.3% za duljinu plojke lista do 26.5% za duljinu peteljke lista.

### Fenotipska varijacija između i unutar populacija

Varijacije za 11 istraživanih fenotipskih svojstava mogu se podijeliti u 2 razine: između populacija i unutar populacija. Fenotipska svojstva listova bila su značajno ( $p < 0,001$ ) različita unutar i među populacijama (Tablica 4). Srednja vrijednost koeficijenta diferencijacije populacija iznosila je 35,66%. Udio varijance između populacija kreće se od 8,3% za odnos duljine naspram širine lista do 30,8% za duljinu plojke lista. Udio varijance između stabala unutar populacija kreće se od 13,8% za udaljenost najšireg dijela plojke od baze plojke do 37,99% za duljinu peteljke lista.

Rezultati testa homogenosti raspodjela između populacija prikazani su u tablici 5. Rezultati ukazuju na statistički visoko signifikantne razlike između populacija kada su u pitanju dlakavost lista i oblik baze lista ( $p < 0.01$ ).

**Tablica 3.** Zbirna statistika za 11 morfoloških svojstava proučavanih u 237 stabala *Quercus petraea* iz 24 prirodnih populacija u Bosni i Hercegovini  
**Table 3.** Summary statistics of the 11 morphological characters studied in the 237 trees of *Quercus petraea* from the 24 natural populations in Bosnia and Herzegovina

Oznaka svojstva Trait label	Svojstvo lista Leaf trait	Minimum	Maximum	Prosjeak Mean	Standard Deviation	CV (%)
DPL	Duljina plojke lista (mm) / Leaf blade length	55,0	127,0	85,9	11,4	13,3
DPT	Duljina peteljke lista (mm) / Petiole length	4,0	29,0	14,4	3,8	26,5
UNDP	Udaljenost najšireg dijela plojke od baze plojke (mm) / Distance of the leaf's widest part from the leaf base (mm)	15,0	97,0	49,6	11,0	22,2
NSDP	Najveća širina desne poluplojke (mm) / Maximum width of the right half-blade (mm)	15,0	39,0	26,8	4,3	16,1
NSLP	Najveća širina lijeve poluplojke (mm) / Maximum width of the left half-blade (mm)	14,0	41,0	27,1	4,4	16,4
SUD	Širina usječenog dijela lista ispod najveće lijeve širine (mm) / Width of the incised part below the max left width (mm)	5,0	23,0	13,3	3,5	26,3
UD	Ukupna duljina lista (mm) / Total leaf length (mm)	63,0	138,0	100,3	13,0	13,0
US	Ukupna širina lista (mm) / Total leaf width (mm)	32,0	75,0	53,9	8,0	14,8
OSD	Odnos širine naspram duljine lista / Leaf width vs. leaf length ratio	0,5	0,8	0,6	0,1	11,9
OPP	Odnos duljine peteljke naspram duljine plojke / Petiole length vs. blade length ratio	0,1	0,3	0,2	0,0	25,7
BR	Broj režnjeva sa desne strane (komada) / Number of lobes on the right half-blade	1,0	8,0	5,9	1,1	19,1

CV – koeficijent varijacije (variation coefficient)

**Tablica 4.** Udio komponenti varijance, koeficijenta diferencijacije populacije i F vrijednosti 11 svojstava na temelju svih podataka u 24 prirodne populacije *Quercus petraea* u Bosni i Hercegovini

**Table 4.** The proportion of variance components, population differentiation coefficients and F values of 11 traits based on all the data in 24 natural populations of *Quercus petraea* in Bosnia and Herzegovina

Oznaka svojstva Trait label	Svojstvo lista Leaf trait	Udio komponenti varijanse (%) Proportion of Variance Components (%)			Koeficijent Diferencijacije Populacija Population Differentiation Coefficient (%)	F vrijednost F Value	
		Između populacija Among Populations	Između stabala unutar populacija Among Trees within Populations	Između stabala (Rezidualna) Within Trees (Residual)		Između populacija Among Populations	Između stabala unutar populacija Among Trees within Populations
DPL	Duljina plojke lista (mm) / Leaf blade length (mm)	30,8	31,85	37,35	49,16	240,1***	23,6***
DPT	Duljina peteljke lista (mm) / Petiole length (mm)	11,1	37,99	50,91	22,61	78,3***	20,8***
UNDP	Udaljenost najšireg dijela plojke od baze plojke (mm) / Distance of the leaf's widest part from the leaf base (mm)	11,6	13,8	74,6	45,67	46,6***	5,9***
NSDP	Najveća širina desne poluplojke (mm) / Maximum width of the right half-blade (mm)	14,82	26,98	58,2	35,45	80,2***	13,3***
NSLP	Najveća širina lijeve poluplojke (mm) / Maximum width of the left half-blade (mm)	15,16	25,71	59,13	37,1	79,9***	12,5***
SUD	Širina usječenog dijela lista ispod najveće lijeve širine (mm) / Width of the incised part below the max left width (mm)	18,85	20,04	61,11	48,46	90,6***	9,7***
UD	Ukupna duljina lista (mm) / Total leaf length (mm)	29,18	32,8	38,03	47,08	225,3***	23,8***
US	Ukupna širina lista (mm) / Total leaf width (mm)	17,97	31,77	50,26	36,13	111,7***	17,7***
OSD	Odnos širine naspram duljine lista / Leaf width vs. leaf length ratio	8,3	30,72	60,98	21,27	50,3***	14,3***
OPP	Odnos duljine peteljke naspram duljine plojke / Petiole length vs. blade length ratio	10,39	36,51	53,1	22,15	70,8***	19,2***
BR	Broj režnjeva sa desne strane (komada) / Number of lobes on the right half-blade	9,19	24,66	66,16	27,14	47,4***	10,9***
<b>Prosjeck/Average</b>		16,12	16,12	28,44	55,44	35,66	

\*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$ .

Najveći broj listova nije imao dlakavosti (77,6%), po 1% listova imalo je dlakavost u pazuhu listova i na cijelom listu, a 21,4% listova je imalo dlakavost uz središnji nerv. Velik udio listova sa dlakavošću uz središnji nerv imale su populacije Bužim-Baštra, Ključ, Lašva-Desetnik, Srebrenik, Tjen-tišće-Vrbnica, Zavidovići i Živinice-Litva.

Najveći broj listova imao je oblik baze lista 2 (73,3%), oblik baze lista označen sa 3 imalo je 22% listova, a oblik baze lista označen sa 1 imalo je 4,7% listova.

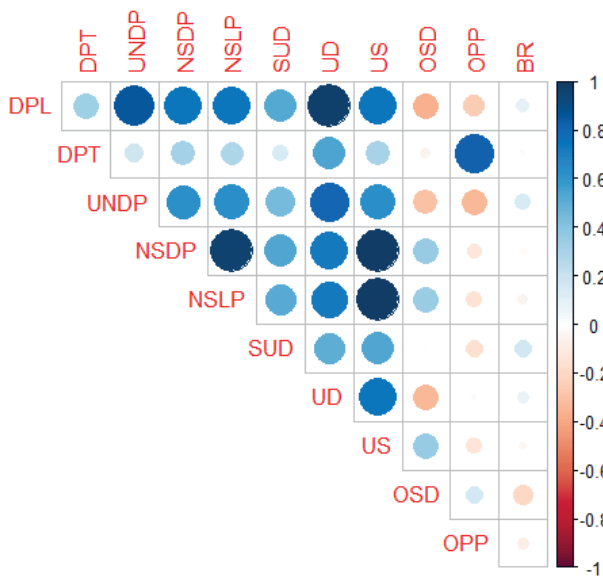
### Korelacije između 11 svojstava lista

Pearsonov koeficijent korelacije korišten je za ispitivanje korelacija između 11 fenotipskih svojstava na srednjim vrijednostima stabla i prikazan na slici 5. Prvih 8 svojstava pokazalo je statistički značajnu pozitivnu korelaciju. Najveću pozitivnu korelaciju međusobno su pokazala svojstva NSDP i US (0,99) i NSLP i US (0,99), svojstva NSDP i NSLP (0,97), NSDP i UD (0,97), DPL i UNDP (0,86), DPT i OPP (0,82) i UNDP i UD (0,8). Najveću vrijednost negativnih

**Tablica 5.** Rezultati testa homogenosti raspodjela između populacija za ocjenjivana svojstva

**Table 5.** Results of the test of homogeneity of distributions among populations for the assessed traits

Svojstvo/Trait	Test	Sig.
Ocjena dlakavosti lista / Evaluation of hairiness	X-squared = 2776.1	df = 69, p-value < 2.2e-16
Oblik baze lista / Shape of the leaf base	X-squared = 1305.3	df = 46, p-value < 2.2e-16



**Slika 5.** Analiza korelacije između 11 fenotipskih svojstava na razini stabla. Plava boja predstavlja pozitivnu, a narančasta negativnu korelaciju. Što je krug veći i boja tamnija, korelacija je jača (\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ ). Fenotipska svojstva označena su skraćenicama prikazanim u tablici 3.

**Figure 5.** Correlation analysis among 11 phenotypic traits at the tree-level. Blue and orange colors represent positive and negative correlation, respectively. The bigger the circle and the darker the color, the stronger the correlation (\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ ). Phenotypic traits are labelled by abbreviations shown in Table 3.

korelacija međusobno su pokazala svojstva DPL i OSD (-0.36), UD i OSD (-0.34), UNDP i OSD (-0,31) i DPL i OPP (-0,25).

### Glavne komponente i klaster analiza za 11 svojstava listova

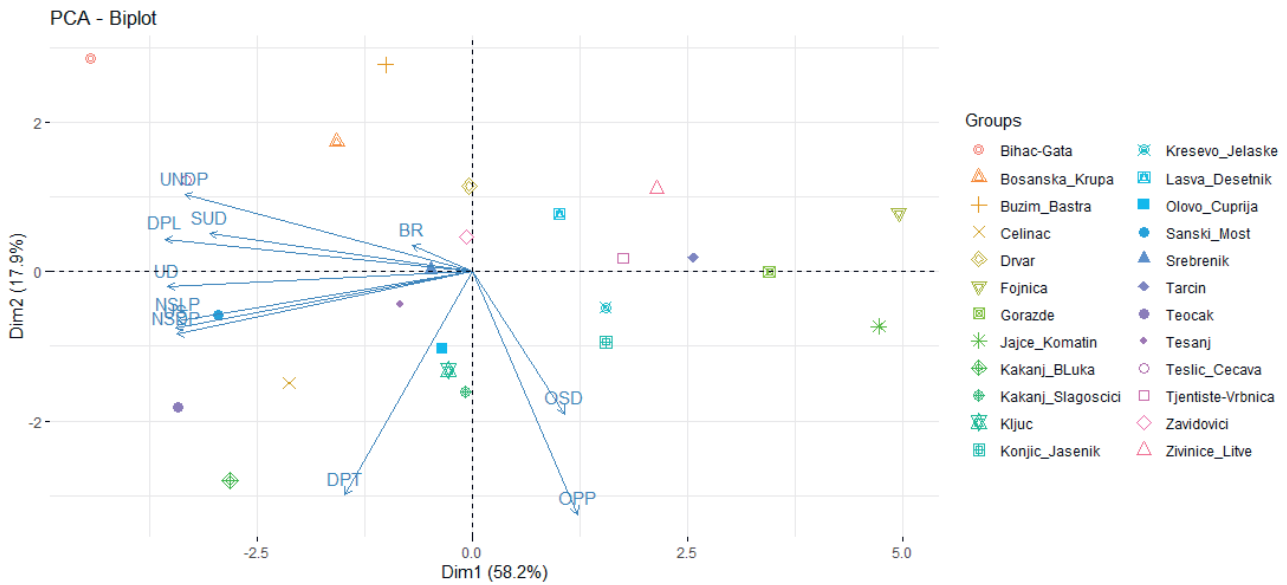
Analiza glavnih komponenti korištena je za sumiranje varijacija među stablima u 11 morfoloških svojstava listova u neovisne smjerove varijacije (Tablica 6). Svojstvene vrijednosti prve tri glavne komponente bile su veće od 1, a zajedno su činile 88,8% varijacije. Glavni smjer varijacije (PC1, 58,2%) pokazao je negativne pondere za sva svojstva osim za odnos širine naspram duljine lista i odnos duljine peteljke naspram duljine plojke. Druga glavna komponenta (PC2, 17,9%) pokazala je pozitivne pondere za duljinu plojke lista, udaljenost najšireg dijela plojke od baze plojke, širinu usječenog dijela lista ispod najveće širine lijeve poluplojke i broj režnjeva sa desne strane. Treća glavna komponenta (PC3, 12,7%) pozitivne pondere pokazala je sa duljinom plojke, duljinom peteljke, širinom usječenog dijela lista ispod najveće širine lijeve poluplojke, ukupnom duljinom lista, odnosom duljine peteljke naspram duljine plojke i brojem režnjeva s desne strane.

Biplot konstruiran pomoću prve dvije glavne komponente prikazan je na slici 6. Na slici se uočava da se razlike između

**Tablica 6.** Vektori glavnih komponenti, svojstvene vrijednosti, stopa doprinosa i kumulativna stopa doprinosa prvih 11 glavnih komponenti na temelju srednjih vrijednosti stabla za 11 svojstava

**Table 6.** Principal component vectors, eigenvalues, contribution rates and cumulative contribution rates of first 5 principal components based on tree means for the 11 traits

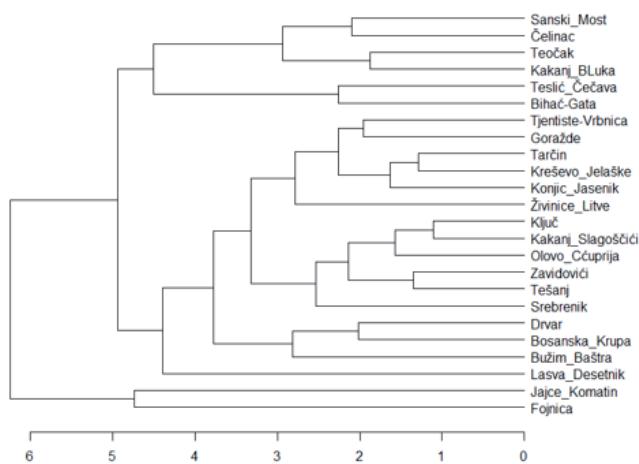
Svojstva/Traits	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11
Duljina plojke lista (mm) / Leaf blade length (mm)	-0,384	0,085	0,107	0,171	0,062	0,195	-0,001	0,439	0,357	-0,37	-0,554
Duljina peteljke lista (mm) / Petiole length (mm)	-0,159	-0,58	0,328	0,17	0	-0,045	-0,066	-0,619	0,301	-0,081	-0,121
Udaljenost najšireg dijela plojke od baze plojke (mm) / Distance of the leaf's widest part from the leaf base (mm)	-0,359	0,201	-0,028	0,081	0,347	-0,834	-0,078	-0,034	-0,029	0	0
Najveća širina desne poluplojke (mm) / Maximum width of the right half-blade (mm)	-0,369	-0,163	-0,194	-0,135	0,037	0,067	0,756	-0,071	-0,189	0,335	-0,224
Najveća širina lijeve poluplojke (mm) / Maximum width of the left half-blade (mm)	-0,368	-0,128	-0,238	-0,064	0,137	0,26	-0,628	-0,057	-0,361	0,346	-0,231
Širina usječenog dijela lista ispod najveće lijeve širine (mm) / Width of the incised part below the max left width (mm)	-0,328	0,098	0,06	-0,189	-0,887	-0,214	-0,101	-0,011	-0,019	0	0
Ukupna duljina lista (mm) / Total leaf length (mm)	-0,381	-0,039	0,162	0,189	0,057	0,168	-0,014	0,276	0,385	0,406	0,608
Ukupna širina lista (mm) / Total leaf width (mm)	-0,371	-0,146	-0,218	-0,1	0,088	0,166	0,054	-0,064	-0,278	-0,678	0,453
Odnos širine naspram duljine lista / Leaf width vs. leaf length ratio	0,116	-0,37	-0,589	-0,434	0,009	-0,173	-0,097	0,152	0,501	0	0
Odnos duljine peteljke i duljine plojke / Petiole length vs. blade length ratio	0,132	-0,631	0,256	0,091	-0,06	-0,243	-0,006	0,557	-0,371	0	0
Broj režnjeva s desne strane (komada) / Number of lobes on the right half-blade	-0,075	0,068	0,544	-0,797	0,233	0,051	-0,034	0,032	0,014	0	0
Vlastita vrijednost / Eigenvalue	2,529	1,403	1,184	0,907	0,568	0,27	0,113	0,049	0,025	0	0
Stopa doprinosa / Contribution rate	0,582	0,179	0,127	0,075	0,029	0,007	0,001	0	0	0	0
Kumulativna stopa doprinosa / Cumulative contribution rate	0,582	0,76	0,888	0,963	0,992	0,999	1	1	1	1	1



**Slika 6.** Biplot analize glavne komponente (PC) na temelju srednjih vrijednosti stabla za 11 morfometrijskih svojstava u 24 proučavane populacije *Quercus petraea*

**Figure 6.** Biplot of the principal component (PC) analysis based on tree means of 11 morphometric traits in the 24 studied *Quercus petraea* populations

populacija vežu za skupinu morfoloških varijabli lista: UNDP, SUD, DPL, UD, NSLP i NSDP (PCA1) i skupinu OSD, OPP i DPT (PCA2). Najveće razlike u morfološkim svojstvima lista javljaju se između populacija Bihac-Gata i Fojnica sa značajno manjim dimenzijama lista (PCA1). U skupini populacija s većim dimenzijama lista, najveće razlike javljaju se između populacija Bihac-Gata i Kakanj-Begića Luka s najvećim DPT (PCA2).



**Slika 7.** Odnos klastera 24 populacije *Quercus petraea* na temelju UPGMA metode i 11 morfoloških svojstava listova. Euklidska udaljenost korištena je za definiranje fenotipske udaljenosti između proučavanih populacija (morfološki podaci korištenjem populacijskih srednjih vrijednosti i standardizirani Z-score metodom). Brojevi uzorkovanih stabala svake populacije prikazani su u tablici 1.

**Figure 7.** Cluster relationship of the 24 *Quercus petraea* populations based on UPGMA method and the 11 leaf morphological traits. The Euclidean distance was used to define the phenotypic distance between the studied populations (morphological data using population means, standardized by the Z-score method). The sampled tree numbers of each population are shown in Table 1.

Na temelju standardiziranih srednjih vrijednosti populacije za 11 morfoloških svojstava, 24 populacije se može podijeliti u dva klastera pomoću UPGMA metode (Slika 7). Prvi klaster se sastoji od populacija Fojnica i Jajce-Komatin, što se može objasniti manjom zemljopisnom udaljenošću između ovih populacija, a drugi klaster od svih ostalih populacija. Drugi klaster se sastoji od populacija koje su prilično nepovezane. Postoje poveznice klastera na nižim razinama koje se mogu objasniti, jer su populacije bliske, kao što su populacije Tarčin, Kreševo i Konjic, zatim populacije Sanski Most i Čelinac, te populacije Zavidovici i Tešanj. Klaster analiza pokazuje velik broj nelogičnih odstupanja, koja se vjerojatno mogu povezati s povijesnim događanjima u populacijama hrasta kitnjaka, kada je tijekom 19. stoljeća zajedno s hrastom lužnjakom intenzivno sječen (Begović 1978, Memišević 2008). Tim sjećama su značajno narušene populacijske strukture hrasta kitnjaka, te danas raspoložemo samo manjim dijelom nekada vrlo bogatog genofonda, jer su glacialna pribježišta hrasta kitnjaka bila blizu područja koja istražujemo (Ballian i sur. 2007, Slade i sur. 2008).

### Korelacije između morfoloških svojstava listova i geografskih i klimatskih faktora

Rezultati korelacijske analize između mjerenih svojstava listova i geografskih i klimatskih faktora prikazani su u tablici 7. Vrijednosti Pearsonovog koeficijenta korelacije ukazuju na to da odnos duljine plojke i duljine peteljke lista značajno korelira s geografskim i većim brojem klimatskih faktora. Najveći broj analiziranih svojstava listova (osim duljine peteljke, odnosa širine i duljine lista, te broja re-



**Tablica 7.** Pearsonov koeficijent korelacije između morfoloških svojstava listova i geografskih i klimatskih faktora**Table 7.** Pearson's correlation coefficient between leaf morphological characteristics and geographical and climatic factors

	DPL	DPT	UNDP	NSDP	NSLP	SUD	UD	US	OSD	OPP	BR
X	-0.333	0.392	-0.398	-0.284	-0.280	-0.526**	-0.225	-0.283	0.119	0.628**	0.188
Y	0.650**	0.004	0.712**	0.604**	0.570**	0.838**	0.592**	0.590**	-0.238	-0.481*	0.209
BI01	0.344	-0.231	0.435*	0.317	0.276	0.438*	0.267	0.298	-0.160	-0.480*	0.243
BI02	-0.110	-0.206	0.007	0.036	0.047	0.007	-0.141	0.042	0.303	-0.104	-0.139
BI03	-0.251	-0.188	-0.137	-0.036	-0.032	-0.083	-0.266	-0.034	0.449*	0.018	-0.209
BI04	0.093	-0.050	0.191	0.162	0.150	0.167	0.075	0.157	0.083	-0.110	0.164
BI05	0.195	-0.249	0.318	0.243	0.221	0.302	0.128	0.233	0.025	-0.382	0.127
BI06	0.471*	-0.197	0.539**	0.397	0.321	0.570**	0.390	0.360	-0.317	-0.563**	0.059*
BI07	0.004	-0.193	0.114	0.093	0.103	0.080	-0.035	0.099	0.177	-0.175	-0.069
BI08	0.492*	0.506*	0.465*	0.449*	0.423*	0.545**	0.549**	0.438*	-0.220	0.135	0.305
BI09	0.029	-0.142	0.022	-0.128	-0.059	-0.158	-0.002	-0.093	-0.216	-0.187	-0.232
BI010	0.301	-0.201	0.399	0.293	0.258	0.387	0.234	0.277	-0.114	-0.418*	0.240
BI011	0.411*	-0.263	0.491*	0.350	0.302	0.484*	0.322	0.328	-0.242	-0.567**	0.271
BI012	0.133	-0.375	0.133	-0.025	-0.014	0.103	0.047	-0.019	-0.264	-0.466*	-0.148
BI013	0.129	-0.313	0.153	-0.113	-0.115	-0.023	0.055	-0.114	-0.425*	-0.404	-0.035
BI014	-0.066	-0.439*	-0.074	-0.181	-0.173	-0.109	-0.148	-0.178	-0.150	-0.376	-0.176
BI015	0.096	0.393	0.153	0.057	0.039	-0.034	0.166	0.048	-0.123	0.310	0.231
BI016	0.152	-0.358	0.165	-0.075	-0.073	0.049	0.067	-0.074	-0.395	-0.463*	-0.085
BI017	0.010	-0.429*	0.009	-0.130	-0.119	-0.046	-0.077	-0.125	-0.208	-0.427*	-0.200
BI018	0.559**	0.147	0.538**	0.413*	0.392	0.641**	0.538**	0.404	-0.383	-0.270	0.261
BI019	-0.092	-0.426*	-0.101	-0.215	-0.194	-0.170	-0.169	-0.205	-0.148	-0.350	-0.233

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

žnjeva) u korelaciji je s geografskom širinom, te srednjom temperaturom kvartala s najviše padalina i količinom padalina u najtoplijem kvartalu.

## DISKUSIJA DISCUSSION

Fenotipske varijacije biljaka javljaju se kao rezultat djelovanja gena s jedne i faktora okoliša s druge strane, kroz dugi period evolucije (Miljković i sur. 2019) te se tako može reći da obilje fenotipskih varijacija u izvjesnoj mjeri može odražavati genetsku raznolikost istraživanog materijala (Wang i sur. 2023). Tako je fenotipizacija svojstava jedna od osnovnih metoda za istraživanje i ocjenu raznolikosti genetskih resursa šumskog drveća, a što je ključno za njihovo gospodarenje i očuvanje (Wang i sur. 2023). Nažalost, površina rasprostiranja bosanskohercegovačkih populacija hrasta kitnjaka je kroz povijest značajno reducirana (Begović 1978), kao i sama struktura stabala u populacijama, što se uz neadekvatan sustav gospodarenja odražava i na rezultate ovoga istraživanja.

Veličina i oblik lista također su rezultat interakcije više genetskih i okolišnih faktora (Gonzalez i dr. 2012), te fenotipske varijacije ovih svojstava nose informacije o genetskim i okolišnim varijacijama (Wright i sur. 2005, Niinemets i Sack 2006, Reich i sur. 2007, Niinemets 2015, Guet i sur. 2015). Veličina lista, morfologija, struktura i orijentacija izravno

utječu na učinkovitost fotosinteze i imaju važan utjecaj na produktivnost (Marron i Ceulemans 2006), a oblik i veličina lista su adaptivna svojstva povezana sa svojstvima rasta i rani pokazatelj prinosa biomase (Marron i sur. 2007, Gebauer i sur. 2016). Također u istraživanjima koja su provedena na hrastu lužnjaku nađena je pozitivna korelacija između veličine lista i uzrasta kod potomstva (Ballian i Memišević Hodžić 2022) te time svojstva lista dobivaju na značaju.

U ovom istraživanju procjenjivali smo varijacije 13 fenotipskih svojstava listova hrasta kitnjaka iz 24 prirodne populacije u Bosni i Hercegovini. Utvrđena je fenotipska varijacija unutar i između populacija, ali je varijacija između stabala unutar populacije bila veća od varijacije između populacija za sva istraživana svojstva, kao što su za hrast lužnjak u Bosni i Hercegovini utvrdili Ballian i sur. (2010). Koeficijent varijacije svojstava kretao se od 11,9% za odnos širine naspram dužine lista (13% za ukupnu duljinu lista i 13.3% za duljinu plojke lista), do 26,5% za dužinu peteljke lista.

Provedena istraživanja na genetičkoj razini kod hrasta kitnjaka u Bosni i Hercegovini (Ballian i sur. 2007, Ballian i Bogunić, 2012, Ballian 2016), potvrđuju postojanje unutarpopulacijske i međupopulacijske varijabilnosti, kao što smo dobili i u ovom istraživanju. Nažalost ta istraživanja su obuhvatila samo manji broj populacija, te ne mogu ukazati na pravu sliku, za razliku od ovog istraživanja. U ovom istraživanju najveće vrijednosti koeficijenta diferencijacije utvr-

đen je za svojstva duljine plojke (49.16%), te širina usječenog dijela ispod najveće lijeve širine (48.46%). Prethodne studije hrasta kitnjaka koje su koristile molekularne markere pokazale su da se veći dio genetske varijacije nalazi unutar populacija, a manji dio između populacija (Gömöry i sur. 2001, Bruschi i sur. 2003, Ballian i sur. 2007, Ballian i Bogunić 2012, Ballian 2016, Rebrean i sur. 2023).

Također smo istraživali odnose između svojstava lista iz prirodnih populacija hrasta kitnjaka i geoklimatskih faktora te utjecaje tih faktora na fenotipsku varijaciju svojstava lista. Utvrđena je niska pozitivna korelacija, bez statističke značajnosti na razini povjerenja od 95%, između svojstava lista i analiziranih okolišnih faktora (geografskih i klimatskih varijabli zajedno). Arab i sur. (2021) također su utvrdili visok stupanj plastičnosti listova hrasta kitnjaka na atmosferske i pedosferske uvjete, te sugeriraju da hrast kitnjak ima visok potencijal kako bi se nosio s uvjetima rasta koji se očekuju kao posljedica budućih klimatskih promjena. Ovo tim više, jer ga u Bosni i Hercegovini nalazimo na sušnijim i skeletnijim staništima (Stefanović 1977, Stefanović i sur. 1983), a i dolazi na toplim tlima ofiolitske zone. Bruschi (2010) u rasadničkom testu šest populacija hrasta kitnjaka izloženih sušnom stresu utvrđuje znatnu diferencijaciju u srednjim svojstvima listova za sadnice proučavanih populacija, dok su zadržale nekoliko morfoloških razlika uočenih na terenu. Budući da su ove razlike u morfologiji pronađene u populacijama koje u rasadničkom testu rastu pod istim uvjetima, vjerojatno je da su registrirane razlike posljedica genetskih razlika. Međutim, nađen je visok stupanj fenotipske varijacije sa značajnim interakcijama populacija  $\times$  način tretmana vodom. Općenito, Bruschi (2010) navodi da podrijetlo hrasta kitnjaka određuje varijacije u fenotipskoj plastičnosti kada se biljke uspoređuju pod različitim vodnim režimima. Naša dobivena varijabilnost pokazala je da je najveći broj svojstava u korelaciji sa srednjom temperaturom kvartala s najviše padalina te količinom padalina u najtoplijem kvartalu. Tako u klaster analizi imamo povezivanje populacija koje imaju različite količine padalina, ali i razlike u njihovom godišnjem rasporedu. Ovdje se možemo i kritički osvrnuti na korištene podatke, koji nisu uvažavali mikrolokalne prilike u kojima raste hrast kitnjak. Stoga u budućim istraživanjima treba uvažavati i same mikroklimatska svojstva populacija. Primijenjena metoda se pokazala vrlo dobrom u istraživanju morfologije hrasta kitnjaka, te se može primijeniti i na druge vrste, uz dodatno uvažavanje mikroklimatskih svojstava populacija.

## ZAKLJUČCI CONCLUSIONS

Listovi hrasta kitnjaka iz 24 prirodne populacije iz Bosne i Hercegovine značajno su se razlikovali između i unutar populacija, a unutarpopulacijska varijabilnost bila je veća od međupopulacijske. Najviši koeficijent varijacije imalo je

svojstvo duljine peteljke lista (26.5%), a najmanji duljina plojke (13.3%).

Najveći broj analiziranih svojstava listova (osim duljine peteljke, odnosa širine i duljine lista, te broja režnjeva) u korelaciji je s geografskom širinom te srednjom temperaturom kvartala s najviše padalina i količinom padalina u najtoplijem kvartalu.

Kako raspoložemo populacijama koje su se kroz povijest intenzivno sjekle, njihova genetska struktura je znatno izmijenjena, te u ovom istraživanju nismo dobili klinalnu varijabilnost koju smo očekivali, kada je riječ o nadmorskim visinama ili pravcu istok - zapad.

Dobivenu varijabilnost trebamo očuvati, jer će populacije hrasta kitnjaka kroz buduće generacije težiti uravnoteženom stanju, uz korekcije genetske strukture prirodnom selekcijom i migracijom.

## ZAHVALA ACKNOWLEDGMENTS

Zahvaljujemo se Ministarstvu obrazovanja i nauke Federacije Bosne i Hercegovine za podršku projektu „Istraživanje unutarpopulacijske i međupopulacijske varijabilnosti hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* (Matt.) Lieblein.) u Bosni i Hercegovini i izrada prijedloga mjera konzervacije“ kroz program financiranja naučno-istraživačkih projekata u Federaciji Bosne i Hercegovine za 2022. godinu, tokom kojeg smo prikupili potrebne podatke za pisanje ovoga rada. Zahvaljujemo se dr. Adnanu Hodžiću za učešće u aktivnostima projekta (istraživanje lokaliteta, herbariziranje, skladištenje i sušenje sakupljenog materijala te unos podataka), te studentima Nedimu Nogi (bachelor šumarstva), Selmi Huseinović (bachelor šumarstva) i Selmi Vehabović (bachelor hortikulture) za učešće u aktivnostima mjerenja prikupljenih uzoraka hrasta kitnjaka i unos podataka.

(\*ovaj odlomak nije lektoriran)

## LITERATURA REFERENCES

- Arab, L., Seegmueller, S., Kreuzwieser, J., Eiblmeier, M., Dannemann, M., Rennenber, H., 2022: Significance of current weather conditions for foliar traits of old-growth sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) trees. *Trees* **36**, 777–791. <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02249-x>
- Ballian D., 2016: Genetska struktura populacija hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* (Matt.) Lieblein) u Bosni i Hercegovini na temelju analize izoenzimskih biljega. *Šumarski list*, 3–4: 127–135.
- Ballian D., Bogunić F. 2012: Genetička struktura sjemenskih sastojina hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* (Matt.) Lieblein.) u Federaciji Bosne i Hercegovine. ANU – BiH Posebna izdanja, knjiga CXLV-odjeljenje prirodnih nauka, Naučna konferencija “Šume indikator kvaliteta okoliša”. Zbornik radova, knjiga 19: 77–88.
- Ballian D., Ivanković M., Slade D., 2007: Razdioba populacija hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) u Bosni i Hercegovini pomoću kloroplastne DNK (cpDNK) i njezina primjena

- u šumarstvu. Glasnik Šumarskog fakulteta u Banja Luci, 7: 97–111.
- Ballian, D., Memišević Hodžić, M. 2022: Varijabilnost hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u bosanskohercegovačkom testu provenijencija: korelacije između svojstava rasta i morfologije lista. *Šumarski list*, 146 (1–2), 41–49. <https://doi.org/10.31298/sl.146.1-2.4>
  - Ballian, D., Memišević, M., Bogunić, F., Bašić, N., Marković, M., Kajba, D., 2010: Morfološka varijabilnost hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) na području Hrvatske i zapadnog Balkana. *Šumarski list* 7–8: 371–386.
  - Begović, B., 1978: Razvojni put šumske privrede u Bosni i Hercegovini u periodu austrougarske uprave (1878–1918) sa posebnim osvrtom na eksploataciju šuma i industrijsku preradu drveta. Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Djela, Knjiga LIV, Odjeljenje društvenih nauka, Knjiga 31: 164–165.
  - Bruschi, P., Grossoni, P., Bussotti, F., 2003: Within- and among-tree variation in leaf morphology of *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. natural populations. *Trees*. 17. 164–172. [10.1007/s00468-002-0218-y](https://doi.org/10.1007/s00468-002-0218-y).
  - Bruschi, P., Vendramin, G.G., Bussotti, F., Grossoni, P., 2003: Morphological and molecular diversity among Italian populations of *Quercus petraea* (Fagaceae). *Ann Bot.* 2003 May;91(6):707–16. [doi: 10.1093/aob/mcg075](https://doi.org/10.1093/aob/mcg075).
  - Colin Prentice, I., Helmisaari, H., 1991: *Forest Ecology and Management* 42, 79 (1991).
  - Ducouso A., Bordacs, S., 2004: EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for pedunculate and sessile oaks (*Quercus robur* and *Q. petraea*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, str. 1–6.
  - Eaton, E., Caudullo, G., Oliveira, S., de Rigo, D., 2016: *Quercus robur* and *Quercus petraea* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: European Atlas of Forest Tree Species. pp. 161–164.
  - Edelaar, P.; Jovani, R., Gomez-Mestre, I., 2017: Should i change or should i go? Phenotypic plasticity and matching habitat choice in the adaptation to environmental heterogeneity. *Am. Nat.* 2017, 190, 506–520. <http://orcid.org/0000-0003-0094-8195>.
  - Fortini P., Di Marzio, P., Di Pietro, R., 2015: Differentiation and hybridization of *Quercus frainetto*, *Q. petraea*, and *Q. pubescens* (Fagaceae): insights from macro-morphological leaf traits and molecular data. *Plant Syst Evol* (2015) 301:375–385 DOI [10.1007/s00606-014-1080-2](https://doi.org/10.1007/s00606-014-1080-2).
  - Franjić, J., 1994a: Morphometric leaf analysis as an indicator of Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) variability in Croatia. *Ann. Forest.* 19(1): 1–32.
  - Franjić, J., 1996a: Multivarijatna analiza svojstava lista posavskih i podravskih populacija hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L., Fagaceae) u Hrvatskoj. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb. *Anali za šumarstvo* 21/2: 23–60.
  - Franjić, J., 1996b: Morfometrijska analiza varijabilnosti lista posavskih i podravskih populacija hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L., Fagaceae) u Hrvatskoj. *Glasnik za šumske pokuse* 33: 153–214.
  - Gebauer, R.; Vanbeveren SP, P.; Volarik, D.; Plichta, R.; Ceulemans, R. Petiole and leaf traits of poplar in relation to parentage and biomass yield. *Forest Ecol. Manag.* 2016, 362, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.11.036>
  - Gömöry, D., Yakovlev, I., Zhelev, P. Jedináková, J., Paule, L. 2001: "Genetic Differentiation of Oak Populations within the *Quercus robur/Quercus petraea* Complex in Central and Eastern Europe." *Heredity* 86, no. 5 (2001): 557–563. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2540.2001.00874.x>.
  - Gömöry, D., Yakovlev, I., Zhelev, P. et al. Genetic differentiation of oak populations within the *Quercus robur/Quercus petraea* complex in Central and Eastern Europe. *Heredity* 86, 557–563 (2001). <https://doi.org/10.1046/j.1365-2540.2001.00874.x>
  - Gonzalez, N.; Vanhaeren, H.; Inze, D. Leaf size control: Complex coordination of cell division and expansion. *Trends Plant Sci.* 2012, 17, 332–340. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.02.003>
  - Guet, J.; Fabbrini, F.; Fichot, R.; Sabatti, M.; Bastien, C.; Brignolas, F. Genetic variation for leaf morphology, leaf structure and leaf carbon isotope discrimination in European populations of black poplar (*Populus nigra* L.). *Tree Physiol.* 2015, 35, 850–863. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv056>
  - Koutecky, P., 2015: MorphoTools: A set of R functions for morphometric analysis. *Plant Syst. Evol.*, 301, 1115–1121. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00606-014-1153-2>
  - Legendre, P.; Fortin, M.J., 1989: Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio* 1989, 80, 107–138. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00048036>
  - Li, H.; Wang, R.; Tian, Z.; Xu, J.; Sun, W.; Duan, R.; Fu, H.; Li, Y.; Zhang, Y.; Dong, L. Phenotypic variation and diversity in fruit, leaf, fatty acid, and their relationships to geoclimatic factors in seven natural populations of *Malania oleifera* Chun et S.K. Lee. *Forests* 2022, 13, 1733. <https://doi.org/10.3390/f13101733>
  - Li, H.; Wang, R.; Tian, Z.; Xu, J.; Sun, W.; Duan, R.; Fu, H.; Li, Y.; Zhang, Y.; Dong, L., 2022: Phenotypic variation and diversity in fruit, leaf, fatty acid, and their relationships to geoclimatic factors in seven natural populations of *Malania oleifera* Chun et S.K. Lee. *Forests*, 13, 1733. <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/10/1733>
  - Liu, Z.R.; Gao, C.J.; Li, J.; Miao, Y.C.; Cui, K., 2022: Phenotypic diversity analysis and superior family selection of industrial raw material forest species-*Pinus yunnanensis* Franch. *Forests*, 13, 618. <https://doi.org/10.3390/f13040618>
  - Mantel, N., 1967: Detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Res.* 1967, 27, 209.
  - Marron, N., Dillen, S.Y., Ceulemans, R. 2007: Evaluation of leaf traits for indirect selection of high yielding poplar hybrids. *Environ. Exp. Bot.* 2007, 61, 103–116. <https://doi.org/10.1016/j.envenxpbot.2007.04.002>
  - Marron, N.; Ceulemans, R. 2006: Genetic variation of leaf traits related to productivity in a *Populus deltoides* × *Populus nigra* family. *Can. J. For. Res.* 2006, 36, 390–400. <https://doi.org/10.1139/x05-245>
  - Matic V., Drinić, P., Stefanović, V., Ćirić, M., Beus, V., Bozalo, G., Golić, S., Hamzić, U., Marković, L.J., Petrović, M., Subotić, M., Talović, N., Travar, J., 1971: Stanje šuma u SR Bosni i Hercegovini prema inventuri šuma na velikim površinama u 1964–1968. godini. Šumarski fakultet i Institut za šumarstvo u Sarajevu, posebna izdanja, str. 1–639.
  - Memišević, M. 2008: Eksploatacija kao razlog nestanka hrasta lužnjaka (*Quercus robur*, L.) u periodu od 1878. do 1914. godine u Bosni i Hercegovini. *Naše šume*, 12(13), 39–40.
  - Miljkovic, D., Stefanovic, M., Orlovic, S., Nedic, M.S., Kesic, L., Stojnic, S. 2019: Wild cherry (*Prunus avium* (L.) L.) leaf shape and size variations in natural populations at different elevations. *Alp. Bot.* 2019, 129, 163–174. <https://doi.org/10.1007/s00035-019-00227-1>
  - Niinemets, Ü. 2015: Is there a species spectrum within the worldwide leaf economics spectrum? Major variations in leaf func-

- tional traits in the Mediterranean sclerophyll *Quercus ilex*. *New Phytol.* 2015, 205, 79–96. <https://doi.org/10.1111/nph.13001>
- Niinemets, Ü., Sack, L. 2006: Structural determinants of leaf light-harvesting capacity and photosynthetic potentials. In *Progress in Botany*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2006; Volume 67, pp. 385–419. [https://doi.org/10.1007/3-540-27998-9\\_17](https://doi.org/10.1007/3-540-27998-9_17)
  - Oguchi, R., Onoda, Y., Terashima, I., Tholen, D. 2018: Leaf Anatomy and Function. In *The Leaf: A Platform for Performing Photosynthesis*; Adams, W.W., III, Terashima, I., Eds.; Advances in Photosynthesis and Respiration: Cham, Switzerland, 2018; pp. 97–139
  - Oksanen, J., Blanchet, F.G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solyomos, P., et al. 2017: Package 'Vegan': Community Ecology Package; Version 2.4-2. Available online: <https://github.com/vegan-devs/vegan>
  - Praciak, A. (editor) 2013: *The CABI encyclopedia of forest trees* (CABI, Oxfordshire, UK, 2013).
  - R Core Team. R, 2016: *A Language and Environment for Statistical Computing*; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria. Available online: <http://www.R-project.org/>
  - Rebrean, F.A., Fustos, A., Szabo, K., Lisandru, T.-T., Rebrean, M.S., Varga, M.I., Pamfil, D., 2023: Genetic Diversity and Structure of *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. Populations in Central and Northern Romania Revealed by SRAP Markers. *Diversity* 2023, 15, 1093. <https://doi.org/10.3390/d15101093>
  - Reich, P.B., Wright, I.J., Lusk, C.H. 2007: Predicting leaf physiology from simple plant and climate attributes: A global GLOPNET analysis. *Ecol. Appl.* 2007, 17, 1982–1988. <https://doi.org/10.1890/06-1803.1>
  - Ren, J., Ji, X., Wang, C., Hu, J., Nervo, G., Li, J. 2020: Variation and Genetic Parameters of Leaf Morphological Traits of Eight Families from *Populus simonii* × *P. nigra*. *Forests* 2020, 11, 1319. <https://doi.org/10.3390/f11121319>
  - Slade D., Škvorc, Z., Ballian, D., Gračan, J., Papeš, D. 2008: The chloroplast DNA polymorphisms of White Oaks of section *Quercus* in the Central Balkans. *Silvae Genetica* 57 (4–5): 227–234.
  - Sluis, A., Hake, S. 2015: Organogenesis in plants: Initiation and elaboration of leaves. *Trends Genet.* 2015, 31, 300–306. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2015.04.004>.
  - Stefanović V. 1977: Fitocenologija sa pregledom šumskih fitocenoza Jugoslavije. *Zavod za udžbenike Sarajevo*, str. 1–283.
  - Stefanović V., Beus, V., Burlica, Č., Dizdarević, H., Vukorep, I., 1983: Ekološko-vegetacijska rejonizacija Bosne i Hercegovine, Sarajevo, 1983, Šumarski fakultet, Posebna izdanja br. 17: 1–55.
  - Tóth, E. G., Cseke, K., Benke, A., Lados B.B., Tomov, V.T., Zhelev, P., Kámpe, J.D., Borovics, A., Köbölkuti, Z.A., 2023: Key triggers of adaptive genetic variability of sessile oak [*Q. petraea* (Matt.) Liebl.] from the Balkan refugia: outlier detection and association of SNP loci from ddRAD-seq data. *Heredity* (2023) 131:130–144; <https://doi.org/10.1038/s41437-023-00629-2>
  - Trinajstić, I., 1988: Taksonomska problematika hrasta lužnjaka *Quercus robur* L. u flori Jugoslavije. *Glas. Šum. pokuse* 24: 101–116.
  - Wang, C.; Gong, H.; Feng, M.; Tian, C., 2023: Phenotypic Variation in Leaf, Fruit and Seed Traits in Natural Populations of *Eucommia ulmoides*, a Relict Chinese Endemic Tree. *Forests* 2023, 14, 462. <https://doi.org/10.3390/f14030462>
  - Wright, I.J., Reich, P.B., Cornelissen, J.H.C., Falster, D.S., Groom, P.K., Hikosaka, K., Lee, W., Lusk, C.H., Niinemets, Ü., Oleksyn, J. 2005: Modulation of Leaf Economic Traits and Trait Relationships by Climate. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 2005, 14, 411–421. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822x.2005.00172.x>

## SUMMARY

Sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Lieblein) is one of the economically and ecologically very important species of forest trees, which occurs in about 15% of all forests in Bosnia and Herzegovina. The natural populations of sessile oak in Bosnia and Herzegovina represent specific communities that differ from individuals from their optimum in Western, Southern, and Eastern Europe and are essential for the preservation of sessile oak biodiversity in Europe. The goal of the research is to determine the degree of intra-population and inter-population variability of the oak in Bosnia and Herzegovina by analyzing the morphological traits of leaves, as well as the relationship between the variation of populations in phenotypic properties and geo-climatic factors. The results will be used when choosing conservation measures for this forest tree species.

Thirteen traits of leaves (shown in Figure 2) were analyzed on 237 trees from 24 natural populations (Table 1, Figure 1) of sessile oak.

The results showed that the coefficients of variation for all measured traits ranged from 13.3% for the leaf blade length to 26.5% for the leaf petiole length (Table 3). Analysis of variance (Table 4) revealed the existence of phenotypic variation within and among populations. Variation within populations was on average 28.44% and higher than among populations (average 16.2%). Cluster analysis showed the separation of populations into two main clusters, where Jajce-Komotin and Fojnica populations belonged to one cluster, and all other populations to the other cluster (Figure 7). Most of the leaf traits analyzed (except petiole length, leaf width-to-length ratio, and the number of lobes) were correlated with latitude, the mean temperature of the quarter with the most precipitation, and the amount of precipitation in the warmest quarter (Table 7).

The obtained variability of traits should be preserved because sessile oak populations will strive for a balanced state in the future, with corrections of the genetic structure through natural selection and migration.

**KEY WORDS:** *Quercus petraea*, natural populations, variation, leaves, morphological traits